

孑遗植物水杉种子萌发的生理生态特性研究

辛霞^{1,2} 景新明^{1*} 孙红梅¹ 林坚¹ 汪晓峰³

1 (中国科学院植物研究所, 北京 100093)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100039)

3 (北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 从种子活力和抗氧化酶活性两个方面研究了温度和光照对孑遗植物水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)种子萌发的生理生态特性的影响。实验结果表明, 萌发温度对水杉种子的活力和抗氧化酶活性有较大影响, 在 19–28℃ 范围内, 种子的发芽率、发芽速率、活力指数、脱氢酶及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性均较高, 其中在 24℃ 条件下最高; 当温度低于 15℃ 或者高于 32℃ 时, 种子活力很低; 10℃ 条件下种子几乎不萌发。可以认为, 水杉种子萌发的适宜温度范围为 19–28℃, 最适温度为 24℃。光照萌发试验表明, 65 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (12 h/d) 光照对水杉种子的萌发有较大的抑制作用, 黑暗条件更适于水杉种子的萌发。自然状态下水杉种子质量很差, 空瘪率超过 90%, 加之产地春季温度不适于水杉种子的萌发, 这两者可能是限制水杉种群更新的重要因素。这也许是水杉种群中缺乏幼苗和幼树的原因之一。

关键词: *Metasequoia glyptostroboides*, 种子萌发, 温度, 光照, 脱氢酶, 抗氧化酶

中图分类号: Q94

文献标识码: A

文章编号: 1005–0094(2004)06–0572–06

Ecophysiological characteristics of seed germination of the relict plant *Metasequoia glyptostroboides*

XIN Xia^{1,2}, JING Xin-Ming^{1*}, SUN Hong-Mei¹, LIN Jian¹, WANG Xiao-Feng³

1 *Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093*

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

3 *Beijing Forestry University, Beijing 100083*

Abstract: *Metasequoia glyptostroboides*, known as a “living fossil” that was once widely distributed in the Northern Hemisphere, is now only found in a few restricted places in China. Many researches have been done on this species, but few on its seeds. Seed, as a key phase of spermatophyte life cycle, is important for regeneration and dispersal. Seed germination, which can be considered the initiation of the spermatophyte life cycle, is easily affected by environment. We studied the effects of temperature and light on ecophysiological characteristics of seed germination of *M. glyptostroboides*. Seed samples were collected from Lichuan City, Hubei Province, and stored at –20℃ before the experiment. A temperature gradient from 10℃ to 35℃ was used to study the effect of temperature on seed germination. Germination percentage, vigor index, and activities of dehydrogenase and antioxidant enzymes were used as a measure of seed vigor and stress resistance. The results indicated that temperature had a strong effect on seed vigor and activities of antioxidant enzymes. The germination rate, vigor index, and activities of dehydrogenase and antioxidant enzymes of *M. glyptostroboides* seeds were higher when temperature ranged from 19℃ to 28℃, whereas seed vigor declined greatly when the temperature was above 32℃ or below 19℃, and little germination was observed below 10℃. Our results imply that a temperature ranging from 19℃ to 28℃ is suitable for seed germination, with an optimum of 24℃. Seed germination was greatly inhibited by light (65 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 12 h/d), which implied that the germination of *M. glyptostroboides* seeds requires dark conditions. The seeds were of poor quality with the percentage of empty seed over

90%。The unsuitable temperature in the original habitat of *M. glyptostroboides*, together with the poor seed quality might be important factors limiting the regeneration of the species, and this might explain the lack of seedlings and saplings in *M. glyptostroboides* populations.

Key words: *Metasequoia glyptostroboides*, seed germination, temperature, light, dehydrogenase, antioxidant enzymes

水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)为第三纪孑遗植物,被称为活化石,属水杉属,是我国特有植物,并被列为国家一级保护植物(中华人民共和国国务院,2003)。原生水杉集中分布于我国的湖北、重庆、湖南三省(市)交界的利川、石柱、龙山三县的局部地区,垂直分布一般为海拔(800 -) 1000 - 1200 (- 1500) m (郑万钧, 1985; 傅立国, 1992; 应俊生和张玉龙, 1994; 汪国权, 1999)。自 1948 年胡先骕和郑万钧联名发表水杉以来,该物种一直受到全世界科研工作者的关注。目前对水杉的研究主要集中在化石记录和古地理学与古气候的解释、与红杉的关系、花粉学、生物量和生产率、比较解剖学、生物化学和遗传学、保护和园艺等方面 (Lepage *et al.*, 2002)。种子作为植物生活周期中的关键阶段,对于物种的延续和扩散具有重要作用,而目前对水杉种子的研究还较少。Cheng 等(2002)调查湖北利川原生水杉时发现,整个种群中没有幼苗和幼树(I 级和 II 级),全部是 III、IV 和 V 级树,他们认为水杉种群由于缺乏新一代幼苗而不稳定,正在退化中。

种子的萌发常常被看作是种子植物生命周期的开始,种子的萌发率和萌发速率受环境条件的影响,其中温度和光照是很重要的影响因素。温度影响种子的吸水速率、呼吸速率和代谢酶活性(Mayer & Poljakoff-Mayber, 1982),而光照则对一些野生植物种子的萌发具有重要影响(Bewley & Black, 1982)。

种子发芽率是反映种子活力的最直接指标,而发芽指数和活力指数则可综合地反映种子的活力。脱氢酶(dehydrogenase)活性能反映种子呼吸代谢作用,与种子活力之间的关系十分密切(汤佩松等, 1964; 郑光华和葛察明, 1975; 陶嘉龄和郑光华, 1991)。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)是酶促抗氧化系统的主要酶,其活性的高低可以反映种子抵抗自身自由基伤害和逆境胁迫能力的高低。

本文重点研究了温度和光照对水杉种子萌发生

理生态特性的影响,试图从种子萌发特征的角度探寻水杉种群不能自然更新的原因。

1 材料方法

供试材料水杉的种子 2001 年采自湖北省利川县。成熟种子千粒重为 2.563 g,含水量 0.11 ± 0.002 g H₂O/g DW,试验前将种子贮存于 -20℃ 冰箱内。

由于水杉种子中存在胚乳发育而胚不发育等状况(杨国华, 2001),所采集种子的空瘪率高于 90%,增加了选种的难度。试验前经过人工挑选去除空粒,使种子空瘪率降至 70%。

1.1 萌发试验

根据《国际种子检验规程》(ISTA, 1996),在培养皿内加两层湿滤纸作为发芽床,100 粒/皿,4 次重复。分别置于 10℃, 15℃, 19℃, 24℃, 28℃, 32℃ 和 35℃ 的恒温箱内,无光照条件下萌发。

逐日统计发芽数,计算发芽率(%)、发芽指数(G_t)和活力指数(V_t)。计算公式如下:

$$G_t = \sum (G_t / D_t) \quad (1)$$

$$V_t = G_t \cdot S_x \quad (2)$$

其中, G_t 指 t 天后的发芽数, D_t 指发芽天数, S_x 指发芽 x 天后的根干重。

因本实验目的在于比较不同温度对种子萌发的影响,所以发芽周期选为 16 d,而非持续到所有的发芽实验结束。

1.2 脱氢酶活性测定

采用 TTC 染色法测定脱氢酶活性(林坚等, 1994)。种子分别于 15℃, 19℃, 24℃, 28℃ 和 32℃ 下充分吸胀 5 d。取 0.5 g 种子,置于具塞试管中,加入 0.1% 的 TTC 10 mL, 35℃ 水浴中恒温 4 h (黑暗)。反应完毕后用去离子水将种子冲洗数次,用滤纸吸干表面水分以 1 比 10 的比例(W/V)加丙酮研磨,提取液于 4000 × g 离心 30 min,取上清液测定 490 nm 的吸光值。重复 3 次。以 OD/g DW 表示酶活性。

1.3 抗氧化酶活性测定

酶液的提取: 种子分别于 15℃, 19℃, 24℃, 28℃ 和 32℃ 下充分吸胀 3 d, 以 1 比 10 的比例 (W/V) 加入预冷的磷酸缓冲液 (PBS, 0.05 mol/L, pH 7.0) 提取, 冰浴, 研磨成匀浆。4℃ 条件下, 15 000 × g 离心 20 min。上清液用于酶活性的测定, 3 次重复。考马斯亮蓝 G-250 法 (Bradford, 1976) 测定蛋白质浓度。

过氧化氢酶 (CAT, E. C. 1.11.1.6) 活性测定: 根据 Cakmak 和 Marschner (1991) 的方法加以改进, 通过直接测定 H₂O₂ (吸光系数为 39.4 mmol · L⁻¹ · cm⁻¹) 的减少量来表示过氧化氢酶的活性。反应体系中含 3.4 mL PBS (0.025 mol/L, pH 7.0, 内含 0.1 × 10⁻³ mol/L EDTA), 0.2 mL H₂O₂ (0.1 mol/L) 和 0.05 mL 酶液。在 25℃ 下反应, 测定 240 nm 下光吸收值的变化。酶活力单位为 μmol · mg⁻¹ protein · min⁻¹。

过氧化物酶 (POD, E. C. 1.11.1.7) 活性测定: 参照李合生 (2000) 的方法, 根据过氧化物酶氧化愈创木酚的生成物的量 (吸光系数为 26.6 mmol · L⁻¹ cm⁻¹) 来测定其活性。反应体系中含有 3.4 mL PBS (0.025 mol/L, pH 7.0, 内含 0.1 × 10⁻³ mol/L 的 EDTA), 0.2 mL H₂O₂ (0.01 mol/L), 0.2 mL 愈创木酚 (0.05%) 和 0.2 mL 酶液。在 25℃ 下反应, 测定 470 nm 下光吸收值的变化。酶活力单位为 μmol · mg⁻¹ protein · min⁻¹。

超氧化物歧化酶 (SOD, E. C. 1.15.1.1) 活性测定 (罗广华和王爱国, 1983): 采用 SOD 抑制氮蓝四唑 (NBT) 在光下的还原作用来测定 SOD 活性。3 mL 反应液 (PBS 0.05 mol/L, pH 7.8, 1.3 × 10⁻² mol/L 甲硫氨酸, 7.5 × 10⁻⁵ mol/L NBT, 2.0 × 10⁻⁶ mol/L 核黄素和 0.1 × 10⁻³ mol/L EDTA), 加上 0.025 mL 酶提取液, 混匀后置于恒温光照培养箱中, 74 μmol · m⁻² · s⁻¹ 光照强度, 24℃ 反应 10 min。以磷酸缓冲液代替酶液为空白, 不照光处理为对照, 测定 560 nm 下的光吸收值。以抑制 NBT 光化学反应的 50% 为一个酶活性单位, SOD 比活力以 units/mg protein 表示。

1.4 光照萌发实验

24℃ 恒温培养箱内, 水杉种子在 65 μmol · m⁻² · s⁻¹ 的光照 (12 h/d) 下吸胀萌发, 研究光照对种子萌发速率和发芽率的影响。

2 结果

2.1 温度对水杉种子萌发的影响

温度对水杉种子的萌发有较大的影响 (图 1)。在 19–32℃ 的范围内, 水杉种子吸胀 3–4 d 即开始萌发, 6–10 d 内种子发芽率已经基本达到相应温度下最高发芽率的 80% 以上, 种子发芽迅速而整齐, 其中 24℃ 条件下种子发芽速率最高。在 15℃ 和 35℃ 条件下, 种子吸胀 8 d 才开始萌发, 种子活力明显下降; 10℃ 条件下, 只有 1% 的种子萌发。

在 19–32℃ 温度范围内, 水杉种子的最终发芽率和活力指数相对较高 (图 2)。其中 24℃ 条件下最高 (28.25% ± 2.22%, 0.10 ± 0.02), 与 28℃ (24.67% ± 5.13%, 0.10 ± 0.02) 之间没有显著差

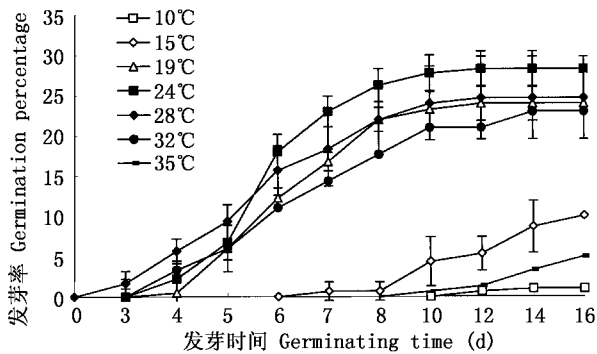


图 1 温度对水杉种子萌发速率的影响
Fig. 1 Effect of temperature on germination rate of *Metasequoia glyptostroboides* seeds

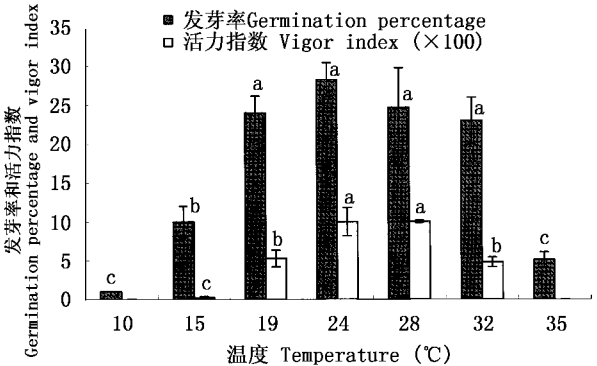


图 2 吸胀温度对水杉种子发芽率和活力指数的影响
同一系列上的字母代表差异显著性分析结果 (P = 0.05), 相同字母表示差异不显著。
Fig. 2 Effect of imbibition temperature on germination percentage and vigor index of *Metasequoia glyptostroboides* seeds. Letters of the same series in the figure stand for result of test of significance and the same letters mean no significant difference (P = 0.05).

异;温度低于 19℃ 时,种子发芽率很低;在 15℃ 和 10℃ 条件下,活力指数几乎为零;在温度高达 35℃ 时种子活力指数也几乎为零。由此可以认为,水杉种子萌发的适宜温度范围为 24 – 28℃。

2.2 萌发温度对水杉种子脱氢酶活性的影响

鉴于种子在 10℃ 和 35℃ 条件下发芽率很低,在测定脱氢酶活性时未涉及这两个温度(下同)。水杉种子在不同温度下吸胀萌发后,脱氢酶活性有显著性差异(图 3)。各温度之间相比较,24℃ 条件下充分吸胀后脱氢酶活性最高(2.18 OD/g DW),与 19℃ 下(1.95 OD/g DW) 相比没有显著差异。在实验设定的温度范围内,吸胀温度高于或者低于 24℃ 时,脱氢酶活性均呈下降趋势。此结果与萌发试验结果基本吻合。

2.3 萌发温度对水杉种子抗氧化酶活性的影响

萌发温度对水杉种子 SOD、CAT 和 POD 3 种抗氧化酶活性有较大的影响(图 4)。水杉种子在不同温度下吸胀后,3 种酶的比活力均存在显著差异,而且 3 种酶活性的变化趋势基本一致。种子在 24℃ 时充分吸胀,其 SOD、CAT 和 POD 酶的比活力均为最高(0.15 ± 0.02 units/mg protein, 0.40 ± 0.06 μmol · mg⁻¹ protein · min⁻¹, 2.33 ± 0.09 μmol · mg⁻¹ protein · min⁻¹)。在实验设定的温度范围内,温度高于或者低于 24℃ 时,SOD、CAT 和 POD 酶活性均呈下降趋势。此结果与萌发实验及脱氢酶活性结果基本一致。

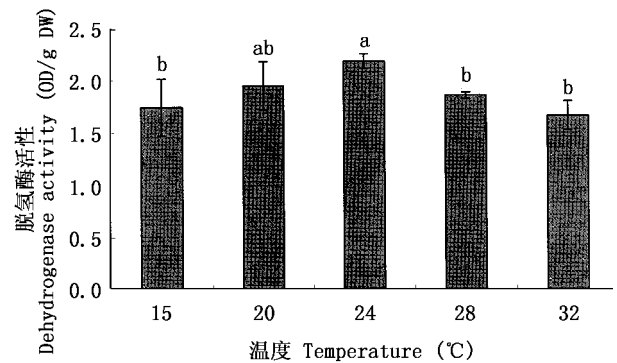


图 3 吸胀温度对水杉种子脱氢酶活性的影响
种子在 10℃ 和 35℃ 条件下发芽率很低,故未测定这两个温度下的脱氢酶活性。图中字母代表差异显著性分析结果($P=0.05$),相同字母表示差异不显著。
Fig. 3 Effect of imbibition temperature on dehydrogenase activity of *Metasequoia glyptostroboides* seeds. As the germination percentage was very low under 10℃ and 35℃, dehydrogenase activity at these two temperature had not been determined. Letters in the figure stand for result of test of significance, and the same letters mean no significant difference ($P=0.05$).

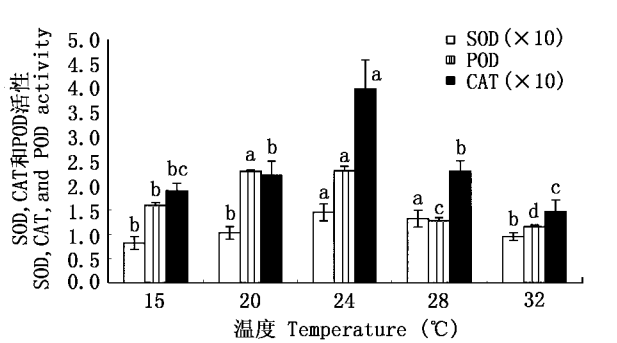


图 4 吸胀温度对水杉种子 SOD、CAT 和 POD 活性的影响
图中同一系列上的字母代表差异显著性分析结果($P=0.05$),相同字母表示差异不显著。
Fig. 4 Effect of imbibition temperature on activities of SOD, CAT and POD of *Metasequoia glyptostroboides* seeds. Letters of the same series in the figure stand for result of test of significance, and the same letters mean no significant difference ($P=0.05$).

2.4 光照对水杉种子萌发的影响

24℃ 恒温培养箱内,水杉种子在 65 μmol · m⁻² · s⁻¹ (12 h/d) 的光照强度下萌发与黑暗中萌发相比,种子的萌发速率大大降低。黑暗中,种子吸胀 4 d 开始萌发;而在光照条件下,种子吸胀 6 d 才开始萌发,发芽率也大大降低。光照对水杉种子萌发有较大的抑制作用。

光照条件下与黑暗下的结果相比较,种子最终发芽率、发芽指数和活力指数分别下降 55.8%, 60.1% 和 79.0% (表 1),说明黑暗更适于水杉种子的萌发。

表 1 光照(65 μmol · m⁻² · s⁻¹, 12 h/d) 对水杉种子萌发的影响(24℃)

	发芽率 Germination percentage (%)	发芽指数 Germination index (G_i)	活力指数 Vigor index (V_i)
黑暗 Dark	28.25 ± 2.2	4.65 ± 0.33	0.10 ± 0.02
光照 Light	12.50 ± 2.08	1.86 ± 0.27	0.02 ± 0.00

3 讨论

种子吸胀萌发过程中,呼吸代谢作用旺盛,通过线粒体电子传递链中电子漏产生自由基,自由基积累至一定水平就会对组织产生危害;而组织内含有一套抗氧化系统来维持自由基和活性氧的平衡。其

中 SOD 催化以活性氧和自由基为底物的歧化反应, 将攻击能力强的超氧阴离子自由基转化为毒性较小的 H_2O_2 ; CAT 和 POD 是清除 H_2O_2 的关键酶 (Lep-
rince *et al.*, 1990; 方允中和郑荣梁, 2002)。这几种主要的酶和一些其他的酶 (例如谷胱甘肽还原酶、抗坏血酸过氧化物酶、脱氢抗坏血酸过氧化物酶等) 一起构成了生物的抗氧化酶系统, 其活性的高低可以反映组织抵抗自身自由基伤害和逆境胁迫能力的高低。研究种子吸胀萌发过程中抗氧化酶的活性可以反映幼苗的健壮程度和对不良环境的抵抗能力。

因为湖北利川县 3、4 和 5 月的平均气温分别为 11.1℃、16.5℃ 和 20.4℃ (1951 – 1980 年数据, 国家气象局提供), 故本实验设计中选用温度最低为 10℃, 最高为 35℃。萌发实验结果表明, 水杉种子萌发需要一定的温度范围。当温度低于 15℃ 或者高于 32℃, 种子生活力受到很大抑制; 而在 24 – 28℃ 时吸胀, 种子能迅速从静止状态转向萌发状态, 表现出较高活力。脱氢酶和 3 种抗氧化酶 (SOD、POD 及 CAT) 活性测定结果表明, 水杉种子在 19 – 28℃ 下萌发时的酶活性都较高。其中 24℃ 条件下, 各项指标都表现为最高值, 表明该温度下酶能保持最高活性, 或者说在该温度下酶能被迅速活化, 使种子具备较高的活力和抗逆能力。

廖绍忠和周万良 (1989) 以发芽率为指标研究了温度对水杉种子萌发的影响, 其结果表明水杉在 28℃ 条件下发芽最好。但发芽率仅能反映种子萌发成幼苗的能力, 并不能反映幼苗的健壮程度和对不良环境的抵抗能力。我们的实验分别从萌发和抗逆能力的角度研究了温度对种子萌发的影响, 认为水杉种子萌发的适宜温度范围为 19 – 28℃, 其中最适萌发温度为 24℃。我们的研究结果还表明, 光照条件不利于水杉种子的萌发, 种子在黑暗条件下萌发更好。

谢宗强和李庆梅 (2000) 认为种子质量的好坏是影响种群未来命运的关键因子。自然状况下, 水杉种子 10 月成熟, 10 – 11 月间从母树散落。大部分水杉种子质量很差, 本实验所采集的种子空瘪率就达到 90% 以上。种子质量受很多因素影响, 例如胚珠发育不正常, 珠心早期发育中止, 雌配子体和胚发育不良等 (杨国华, 2001)。本实验所用水杉种子的产地秋季平均气温仅 12 – 13℃, 而且短暂, 很快

进入霜冻期; 而春季 3、4 月份平均气温只有 13.8℃, 远远低于水杉种子萌发所需的最适温度 24℃。

本实验结果表明, 水杉种子在 15℃ 下吸胀萌发时的发芽率、发芽指数、活力指数仅为 24℃ 下的 35.3%、12.1%、2.1%; 脱氢酶、SOD、CAT、POD 活性也有不同程度的降低; 其萌发速率更是远远低于在 24℃ 下吸胀的种子, 后者经过 10 d 就能达到最高发芽率, 而前者需要更长时间才能完成萌发。水杉产地春季相对较低的气温一方面降低了其种子发芽率, 使得原本质量就很差的种子库雪上加霜; 另一方面, 低温延滞萌发, 不利于水杉在种间竞争中抢占生态位和种群更新。由此推断春季低温是限制水杉种群更新的一个重要因素, 这也许是水杉种群中缺乏幼苗和幼树的原因之一。

参考文献

Bewley, J. D. and Black, M. 1982. *Physiology and Biochemistry of Seeds*. Springer-Verlag, Heidelberg.
Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, **72**: 248 – 254.
Cakmak, I. and Marschner, H. 1991. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, **98**: 1222 – 1227.
Cheng, D. D., Liu, S. X. and Qu, J. P. 2002. Study on the habitat and classification of the native dawn redwoods in Lichuan, Hubei, China. In: LePage, B. A., Williams, C. J. and Lai, X. L. (eds.), *International Metasequoia Symposium*. China University of Geosciences, Wuhan, 9 – 10.
Fang, Y. Z. (方允中) and Zheng, R. L. (郑荣梁). 2002. *Theory and Application of Free Radical Biology* (自由基生物学的理论与应用). Science Press, Beijing. (in Chinese)
Fu, L. G. (傅立国). 1992. *Chinese Redbook—Rare and Endangered Plant Species* (中国植物红皮书——稀有濒危植物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
ISTA (International Seed Testing Association). 1996. *International Rules of Seed Testing* (国际种子检验规程). China Agricultural Press, Beijing. (in Chinese)
LePage, B. A., Williams, C. J. and Lai, X. L. 2002. *International Metasequoia Symposium*. China University of Geosciences, Wuhan, 9 – 52.
Lepince, O., Deltour, R., Thorpe, P. C., Atherton, N. M. and Hendry, G. A. F. 1990. The role of free radicals and

- radical processing systems in loss of desiccation tolerance in germinating maize (*Zea mays* L.). *New Phytologist*, **116**: 573 – 580.
- Liao, S. Z. (廖绍忠) and Zhou, W. L. (周万良). 1989. Seed germination experiment of *Metasequoia glyptostroboides*. *Sichuan Forestry Science and Technology* (四川林业科技), **10**: 71 – 74. (in Chinese)
- Li, H. S. (李合生). 2000. *Experimental Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry* (植物生理生化实验原理和技术). Higher Education Press, Beijing, 1 – 278. (in Chinese)
- Lin, J. (林坚), Zheng, G. H. (郑光华) and Zhang, Q. C. (张庆昌). 1994. Effect of equilibrium pre-moisten on the prevention to the imbibitional damage of ultradried peanut seeds. *Botanical Research* (植物学集刊), **7**: 294 – 298. (in Chinese with English abstract)
- Luo, G. H. (罗广华) and Wang, A. G. (王爱国). 1983. Gel electrophoresis and activity of superoxide dismutase in plant. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), (6): 44 – 45. (in Chinese)
- Mayer, A. M. and Poljakoff-Mayber, A. 1982. *The Germination of Seeds* (3rd edn.). Pergamon Press, Oxford.
- The State Council of the People's Republic of China (中华人民共和国国务院). 2003. *List of Wild Plant of State Priority Conservation* (1st group) (国家重点保护野生植物名录第一批). Law Press, Beijing.
- Tang, P. S. (汤佩松), Zheng, G. H. (郑光华), Ke, C. M. (葛察明), Liu, C. J. (刘长江) and Zhang, Y. J. (张义君). 1964. The loss in dehydrogenase activity of poplar seeds during storage and its reactivation with pyridine nucleotides. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), **6**: 535 – 537. (in Chinese with English abstract)
- Tao, K. L. (陶嘉龄) and Zheng, G. H. (郑光华). 1991. *Seed Vigor* (种子活力). Science Press, Beijing, 123. (in Chinese)
- Wang, G. Q. (汪国权). 1999. *Rediscovery and Research of Metasequoia glyptostroboides* (水杉的发现与研究). Jiangxi Higher Education Press, Nanchang. (in Chinese)
- Xie, Z. Q. (谢宗强) and Li, Q. M. (李庆梅). 2000. Seed characteristics of endangered plant *Cathaya argyrophylla*. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 82 – 86. (in Chinese with English abstract)
- Yang, G. H. (杨国华). 2001. *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng. In: National Service Center for State-Owned Forest Farms and Forest Seed and Seedling Affairs of the Forestry Administration (国家林业局国有林场和林木种苗工作总站) (ed.), *Seeds of Woody Plants in China* (中国木本植物种子). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Ying, T. S. (应俊生) and Zhang, Y. L. (张玉龙). 1994. *Endemic Genus of Spermatophyte in China* (中国种子植物特有属). Science Press, Beijing, 17, 41. (in Chinese)
- Zheng, G. H. (郑光华) and Ke, C. M. (葛察明). 1975. Rapid test experiment on *Citrus* seed viability. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **17**: 325 – 328. (in Chinese)
- Zheng, W. J. (郑万钧). 1985. *Sylva Sinica* (中国树木志). China Forestry Publishing House, Beijing, 310 – 313. (in Chinese)

(责任编辑: 周玉荣)