

丛毛垂叶榕种子萌发的光敏感性及其生态意义*

王雪, 宋松泉**

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘要: 以丛毛垂叶榕 (*Ficus benjamina* L. var. *nuda*) 种子为实验材料, 研究了温度、光照、植物激素 (GA₃、6-BA、乙烯) 和含氮化合物 (硝普钠、亚硝酸盐和硝酸盐) 对种子萌发的影响, 讨论了光在丛毛垂叶榕种子萌发中的生态意义。在交替光照下 (14 h 光照, 10 h 黑暗, 12 μmol m⁻² s⁻¹), 种子在 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃ 和 30℃/20℃ 下的最终萌发率分别为 87.5%、100%、100%、100%、98%、89% 和 100%; 种子的平均萌发时间分别为 34.7 d、16.3 d、5.6 d、4.8 d、6.4 d、9 d 和 6.3 d。黑暗条件下, 种子在 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃ 和 30℃/20℃ 下萌发 35 d, 种子的萌发率为零; 添加交替光照后, 种子迅速萌发。0.5~20 μmol m⁻² s⁻¹ 的光照强度显著地增加种子的最终萌发率, 不同的光照强度对种子的最终萌发率没有明显的影响, 但影响种子的萌发速率。在 24 h 光暗周期下, 种子的最终萌发率随着光期长度的增加而显著提高。在连续光照下处理 24 h、36 h 和 48 h 后能够促进种子在随后的连续黑暗中萌发。不同浓度的 GA₃、6-BA、乙烯、硝普钠、NaNO₃ 和 NaNO₂ 处理不能代替光照在黑暗条件下促进种子萌发, 添加交替光照后, 种子迅速获得萌发能力。丛毛垂叶榕种子的上述萌发行为与其长期适应热带雨林的生境密切相关。

关键词: 丛毛垂叶榕种子; 光敏感性; 光照强度; 含氮化合物; 萌发; 植物激素

中图分类号: Q 945.79, Q 949.9

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700(2006)06-631-08

Light Sensitivity in Seed Germination of *Ficus benjamina* var. *nuda* (Moraceae) and Its Ecological Significance

WANG Xue, SONG Song-Quan**

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

Abstract: In this paper, *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds were used as experimental materials, and effects of temperature, light, phytohormone (gibberellin, 6-benzyladenine and ethylene), nitrogenous compounds (sodium nitroprusside, nitrate, and nitrite) on seed germination were studied, and ecological significance of light in seed germination was discussed. Under alternating photoperiod (14 h light, 10 h dark, 12 μmol m⁻² s⁻¹), final germination percentage of seeds was 87.5%, 100%, 100%, 100%, 98%, 89% and 100%, respectively, at 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃, 40℃ and 30℃/20℃, and mean germination time of seeds was 34.7 d, 16.3 d, 5.6 d, 4.8 d, 6.4 d, 9 d and 6.3 d, respectively. Germination percentage of seeds which were incubated for 35 d at 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃, 40℃, 30℃/20℃ and dark was zero, and these seeds rapidly germinated after addition of alternating photoperiod. Light intensity of 0.5~20 μmol m⁻² s⁻¹ markedly increased final germination rate of seeds. However, different light intensity influenced hardly final germination percentage of seeds, but altered germination rate of seeds. Under photoperiod of 24 h, final germination percentage of seeds notably increased with increasing length of light duration. The seeds treated for

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-SW-117), 中国科学院“百人计划”项目, 科技部国家科技基础条件平台工作项目 (2004DKA30430)

** 通讯作者: Author for correspondence. E-mail: sqsong@xtbg.org.cn; Tel: 0691-8715474

收稿日期: 2006-01-16, 2006-05-10 接受发表

作者简介: 王雪 (1976-) 女, 硕士研究生, 主要从事种子生物学的研究。

24 h, 36 h, and 48 h by continuous light could germinate at subsequent dark. Different concentrations of exogenous gibberellin, 6-benzyladenine, ethylene, sodium nitroprusside, nitrate and nitrite could not replace light and not accelerate seed germination, and these seeds rapidly gained germinability after addition of alternating photoperiod. Germination behavior of *F. enjamina* L. var. *nuda* seeds was closely related to long-term adaptation to tropical forests.

Key words: *Ficus benjamina* var. *nuda* seeds; Light-sensitivity; Light intensity; Nitrogenous compounds; Germination; Phytohormone

丛毛垂叶榕 (*Ficus benjamina* L. var. *nuda*) 是垂叶榕的变种, 在我国仅分布于云南的金平、红河、西双版纳、思茅、耿马等地, 分布海拔为 350~1 300 m。印度东北部、中南半岛、泰国、菲律宾、越南、巴布尼新几内亚等也有分布 (中国科学院昆明植物所, 1995)。丛毛垂叶榕的叶可入药, 有行气、消肿、散瘀的功效, 治跌打、溃疡 (中国医学科学院药用植物研究所云南分所, 1991); 嫩枝叶也可作蔬菜食用, 树皮可用作纤维纺绳 (赵庭周等, 2001)。榕属 (*Ficus*) 植物是热带雨林中具有极其重要生态意义的关键物种, 在热带雨林的更新和演替中发挥着重要的作用 (许再富, 1994)。

已经证实一些植物激素可以部分或者全部代替光照, 在黑暗条件下促进种子萌发。GA 可以代替光照促进莴苣 (Toyomasu 等, 1998)、拟南芥 (Yamaguchi 等, 1998) 和番茄 (Groot and Karssen, 1987) 种子的萌发, GA 促进拟南芥种子萌发具有两种作用: 一是提高胚的生长能力, 二是削弱胚周围组织对胚根伸长的抑制作用 (Debeaujon and Koornneef, 2000; Yamaguchi and Kamiya, 2002)。在 GA 促进拟南芥种子的萌发中, 光的作用可能是由于光提高了拟南芥种子对赤霉素的敏感性, 在光下低浓度的外源 GA_3 可使拟南芥 GA 缺陷型突变体的种子萌发, 而在黑暗中同样浓度的外源 GA_3 则难以使 GA 缺陷型突变体的种子萌发 (李凤玲等, 2000)。细胞分裂素能够诱导需光种子莴苣的萌发 (Bewley and Black, 1994)。黑暗条件下外源乙烯诱导或促进需光种子莴苣 (热休眠) (Dunlap and Morgan, 1977)、大爪草 (Rethy 等, 1987)、三叶草 (Esashi and Leopold, 1969) 和水浮莲种子的萌发 (傅家瑞, 1985)。乙烯生物合成的抑制剂实验表明, 一些种子的休眠和萌发都需要乙烯 (Matilla, 2000)。乙烯诱导黄独脚金 (*Striga hermonthica*) 种子萌发

的作用较弱, 0.01 mmol/L 乙烯利 (Ethephon) 和 1 mmol/L L-氨基环丙烷 L-羧酸 (L-aminocyclopropane-L-carboxylic acid, ACC) 能有效地促进黄独脚金种子的萌发 (Sugimoto 等, 2003)。NO 能够促进许多植物种子的萌发, 特别是光敏感的种子的萌发 (Giba 等, 2003)。Cohn 等 (1983) 报导, 亚硝酸盐能促进不同种子的萌发。

榕树种子大多为需光种子 (管康林, 1990)。丛毛垂叶榕种子也是需光种子吗? 在黑暗条件下, 一些植物激素和含氮化合物能部分或者全部代替光照促进种子萌发吗? 本文以丛毛垂叶榕种子为材料, 研究了温度、光照、植物激素 (GA_3 、6-BA 和乙烯) 和含氮化合物 (硝普钠、 $NaNO_3$ 和 $NaNO_2$) 对种子萌发的影响, 以及讨论了光在丛毛垂叶榕种子萌发中的生态意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

丛毛垂叶榕 (*Ficus benjamina* L. var. *nuda*) 果实于 2005 年 1 月采自西双版纳勐腊县勐仑镇 (21°41'N, 101°25'E; 海拔高度为 600~700 m)。种子从果实取出后用清水清洗, 在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、70% 相对湿度 (relative humidity, RH) 中干燥 3 d, 种子的含水量为 $0.081 \pm 0.043 \text{ g H}_2\text{O/g DW}$ 时置于 15°C 下备用。

1.2 种子含水量的测定

按照国际种子检验规程 (International Seed Testing Association, 1996), 随机取 200 粒种子, 在 103°C 中烘 17 h 后称重, 以干重为基础计算含水量。

1.3 种子萌发率的测定

种子经选择后, 播种于垫有两层滤纸的培养皿 ($d = 6 \text{ cm}$) 中, 加入 5 ml 水或者其他溶液, 然后在不同的温度和光照下萌发。胚根突破种皮 1 mm 计算为萌发。

1.4 种子的平均萌发时间

种子的平均萌发时间 (mean germination time, MGT) (d) = $\sum Ni \cdot Di / \sum Ni$ 。其中 Ni 表示第 i 天萌发的种子数; Di 表示萌发的天数。

1.5 光恢复实验

(1) 种子在不同温度和黑暗条件下萌发 35 d 后，添加交替光照 (alternating photoperiod, 14 h 光照, 10 h 黑暗; 光照强度为 $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 后，继续萌发。

(2) 不同浓度的赤霉素 (GA_3)、6-苄基腺嘌呤 (6-BA)、乙烯、硝普钠 (Sodium nitroprusside, SNP)、 NaNO_3 和 NaNO_2 处理的种子在 30°C 黑暗中萌发 42 d 后，添加交替光照后，继续萌发。

所有的数据为 100 粒种子重复 4 次的平均值 $\pm$ SD。

2 结果

2.1 温度对种子萌发的影响

丛毛垂叶榕种子的千粒重为 $0.438 \pm 0.010 \text{g}$ 。在交替光照下，萌发温度显著地影响丛毛垂叶榕种子的萌发率和萌发速率；在 15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 、 35°C 、 40°C 和 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ (变温, 白天 14h , 30°C ; 晚上 10h , 20°C) 下，种子的最终萌发率分别为 87.5%、100%、100%、100%、98%、89% 和 100% (图 1)；种子的 MGT 分别为 34.7 d、16.3 d、5.6 d、4.8 d、6.4 d、9 d 和 6.3 d；种子萌发 50% 的热时间 (thermotime, 度·天 [$^\circ\text{C} \cdot \text{d}$]) 分别约为 $645^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $296^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $125^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $126^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $221^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $304^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 和 $163^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ；种子达到最终萌发率的热时间分别约为 $915^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $660^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $275^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $480^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $385^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $920^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 和 $413^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。种子萌发的适宜

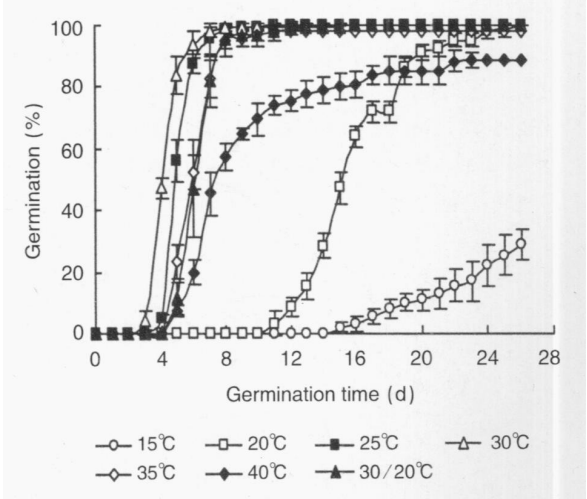


图 1 温度对丛毛垂叶榕种子萌发率和萌发速率的影响。交替光照, 14 h 光照, 10 h 黑暗; 光照强度, $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Fig. 1 Effect of temperature on germination percentage and germination rate of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds. Alternating photoperiod with 14 h light and 10 h dark; light intensity, $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

温度为 $25^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 以及 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ ，在 15°C 和 40°C 下种子的最终萌发率和萌发速率下降。此外，丛毛垂叶榕种子被脱水至 $0.026 \text{g H}_2\text{O/g DW}$ 时，在交替光照和 30°C 下种子的萌发率仍然为 96%，表明丛毛垂叶榕种子是耐脱水的正常性种子。

2.2 光照对种子萌发的影响

2.2.1 光对种子萌发的作用 黑暗条件下，种子在 15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 、 35°C 、 40°C 和 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 下萌发 35 d 的萌发率为零；添加交替光照后，种子迅速萌发 (图 2)。值得注意的是，添加交替光照后，温度仍然是影响种子萌发的重要因子。添加交替光照后，种子在 15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 、 35°C 和 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 下萌发 50% 所需的时间分别约为 18 d、8.3 d、3.8 d、2.5 d、3.8 d 和 2.5 d；以及 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 变温不能代替光照促进种子萌发 (图 2)。

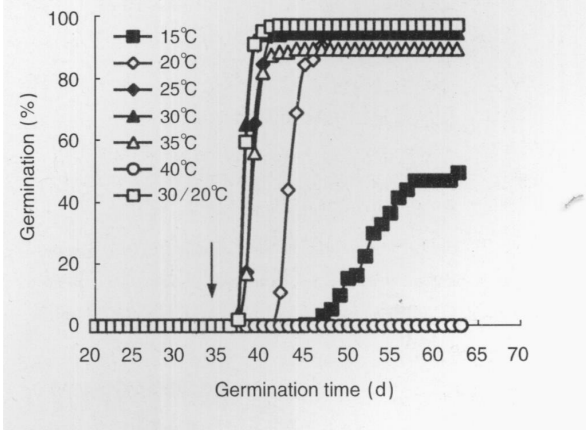


图 2 光在丛毛垂叶榕种子萌发中的作用。种子在图中表明的温度和黑暗条件下萌发 35 d 后，添加交替光照 (箭头所示, 14 h 光照, 10 h 黑暗, $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 后，继续萌发

Fig. 2 The role of light in the germination of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds. After germinating for 35 d in the indicated temperature and under dark, seeds were then recovered to germinate in the indicated temperature and an added alternating photoperiod (arrow) with 14 h light ($12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 10 h dark

2.2.2 光照强度和光期长度对种子萌发的影响

在 14 h 光照, 10 h 黑暗的光暗周期下, $0.5 \sim 20\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光照强度显著地增加种子的最终萌发率 (图 3)。不同的光照强度对种子的最终萌发率没有明显的影响, 但影响种子的萌发速率, 在图中表明的光照强度下, 种子的 MGT 分别为 5.7 d、5.6 d、5.3 d、5.1 d、4.8 d 和

5.0 d (图 3)。

在 24 h 光暗周期下，随着光期长度的增加，种子的最终萌发率显著提高；当光期长度为 10 min、30 min 和 1 h 时，种子的最终萌发率仅分别为 11%、18.5% 和 66%；当光期长度为 2~ 24 h 时，种子的最终萌发率 $\geq 93\%$ (图 4a)。种子萌发 10% 和 50% 的时间 (T_{10} 和 T_{50}) 随着光期长度的增加大大缩短，种子萌发 10% 和 50% 的光时间 (light time, LT_{10} 和 LT_{50}) 则明显地延长 (图

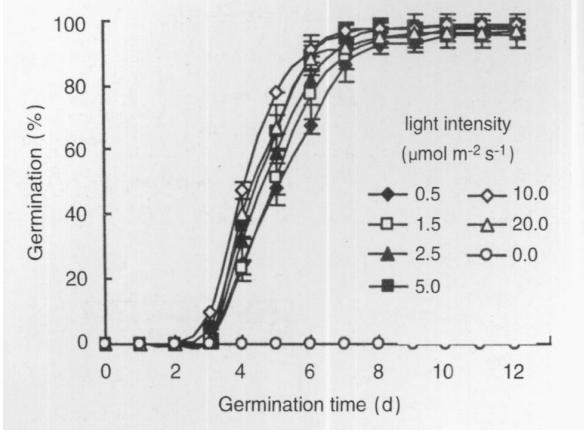


图 3 不同光照强度对丛毛垂叶榕种子萌发率和萌发速率的影响。
萌发温度为 30℃，14h 光照，10 h 黑暗

Fig. 3 Effect of light intensity on germination percentage and germination rate of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds. Germination temperature, 30℃; alternating photoperiod with 14 h light and 10 h dark

4b)。在本实验涉及的光期长度处理中，种子的萌发速率与光时间没有严格的定量关系。

丛毛垂叶榕种子分别在连续光照下处理 12 h、24 h、36 h 和 48 h 后，在 30℃ 和随后的连续黑暗中萌发。发现连续光照处理后能够促进种子在随后的连续黑暗中萌发，其最终萌发率和萌发速率随着连续光照处理时间的延长而增加 (图 5)。值得注意的是，连续光照处理 12 h，种子的萌发率仍然为零；连续光照处理 48 h，种子的萌发率仅为 74.5%。

2.3 植物激素对种子萌发的效应

在连续黑暗下，丛毛垂叶榕种子在 0.0001 mmol/L~ 1 mmol/L GA_3 、0.0001 mmol/L~ 1 mmol/L 6-BA 和 0.0001 mmol/L~ 0.1 mmol/L 乙烯中萌发 42 d，种子的萌发率仍然为零；然后添加交替光照，种子逐渐恢复萌发，最终萌发率 $> 95\%$ (图 6)。

在添加交替光照后，0.0001 mmol/L~ 0.1 mmol/L GA_3 、0.0001 mmol/L~ 0.01 mmol/L 6-BA 和 0.0001 mmol/L~ 0.01 mmol/L 乙烯处理促进种子萌发；1 mmol/L GA_3 、0.1 mmol/L 6-BA、以及 0.01 mmol/L 乙烯处理抑制种子的萌发速率；1 mmol/L 6-BA 和 0.1 mmol/L 乙烯处理完全抑制种子的萌发 (图 6)。

有趣的是，丛毛垂叶榕种子经 15℃、贮藏 10 个月后，0.01 和 0.1 mmol/L GA_3 能有效地代替光

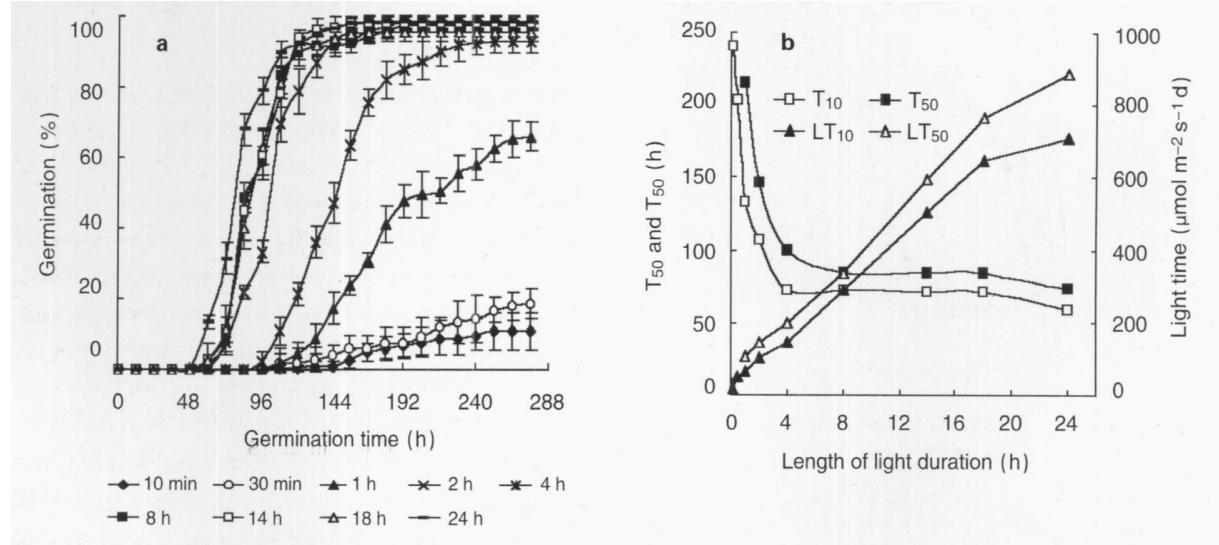


图 4 光期长度对丛毛垂叶榕种子萌发、 T_{10} 、 T_{50} 和光时间的影响。萌发温度为 30℃，光照强度为 $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Fig. 4 Effect of time of light duration on germination, T_{10} , T_{50} and light time of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds.

Germination temperature, 30℃; light intensity, $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

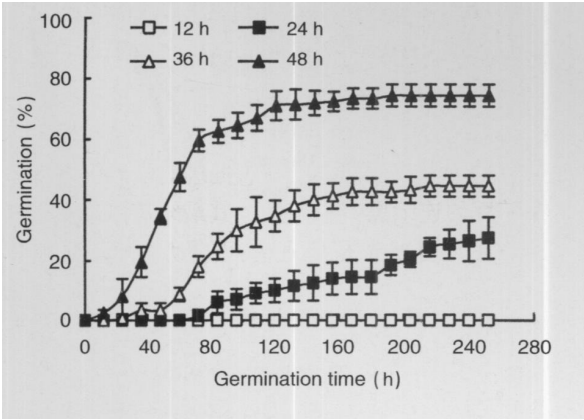
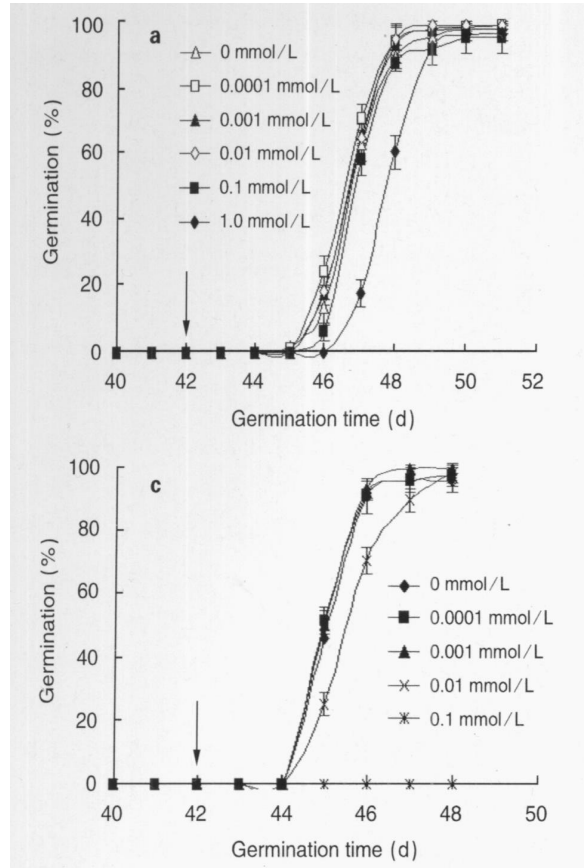


图 5 不同光期处理对丛毛垂叶榕种子在黑暗中萌发的影响。
萌发温度为 30℃，光照强度为 $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Fig. 5 The effect of different light duration treatment on germination of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds under dark. Germination temperature, 30℃; light intensity, $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



照，促进种子在连续黑暗条件下萌发（表 1）。
不同浓度的 NaNO_3 和 NaNO_2 处理也不能在黑暗条件下促进种子萌发；交替光照能使种子迅速萌发；交替光照下， NaNO_3 和 NaNO_2 处理不影响种子的最终萌发率，但轻微影响种子的萌发速

率（图 7b, c）。
表 1 贮藏对丛毛垂叶榕种子需光萌发的影响
Table 1 The effect of storage on light-requiring germination of *Ficus benjamina* var. *nuda* seeds

GA ₃ concentration (mmol/L)	Germination (%) before storage	Germination (%) after storage for 10 months
0.0	0.0	
0.01	0.0	48.66 ± 8.08
0.1	0.0	95.5 ± 2.52

Seeds were germinated for 21 d at 30℃ and in dark.

2.4 含氮化合物对种子萌发的影响
在黑暗条件下，一氧化氮的供体 SNP 不能代替光照诱导丛毛垂叶榕种子萌发；添加交替光照后，种子迅速获得萌发能力；并且在交替光照下，0.005 mmol/L~ 0.5 mmol/L SNP 增加种子的萌发速率（图 7a）。

图 6 GA₃ (a)、6-BA (b) 和乙烯 (c) 对丛毛垂叶榕种子萌发的影响和光的恢复作用。种子在图中表明的植物激素和浓度以及 30℃ 和黑暗条件下萌发 42 d 后，添加交替光照（箭头所示，14 h 光照，10 h 黑暗， $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）后，继续萌发

Fig. 6 Effects of GA₃ (a), 6-BA (b) and ethylene (c) on germination of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds and recovery role of light. Seeds were germinated for 42 d in the indicated phytohormone and their concentration at 30℃ and in the dark, then recovered to germinate in alternating photoperiod (arrow) with 14 h light ($12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 10 h dark

3 讨论
种子萌发起始于干种子的吸水，完成于胚的一部分，通常是胚根，突破它的周围结构；温度不但影响种子的萌发率，而且影响种子的萌发速率（Bewley and Black, 1994）。在交替光照下，

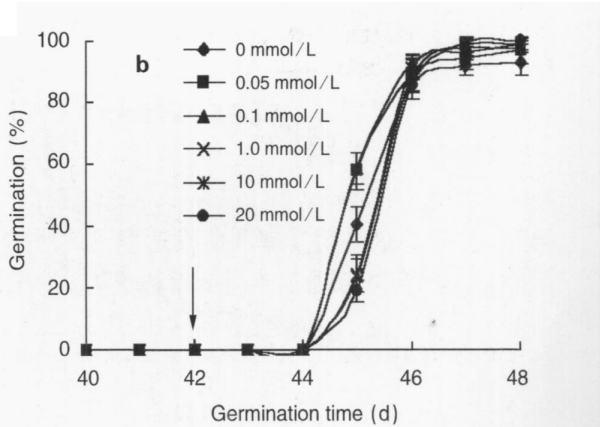
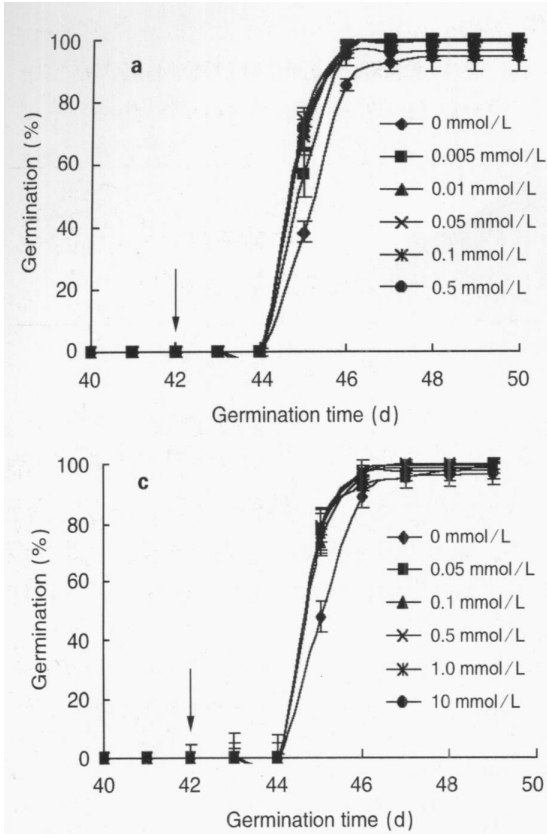


图7 硝普钠 (a)、硝酸盐 (b) 和亚硝酸盐 (c) 对丛毛垂叶榕种子萌发的影响以及光的恢复作用。种子在不同含氮化合物和浓度以及 30℃ 和黑暗条件下萌发 42 d 后, 添加交替光照 (箭头所示, 14 h 光照, 10 h 黑暗, $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 后, 继续萌发

Fig. 7 Effects of sodium nitroprusside (a), nitrate (b) and nitrite (c) on germination of *Ficus benjamina* L. var. *nuda* seeds and recovery role of light. Seeds were germinated for 42 d in the different nitrogenous compounds and their concentration at 30℃ and in the dark, then recovered to germinate in alternating photoperiod (arrow) with 14 h light ($12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 10 h dark

丛毛垂叶榕种子的最终萌发率和 MGT 显著地受萌发温度的影响, 在 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃ 和 30℃/20℃ 下, 种子的最终萌发率分别为 87.5%、100%、100%、100%、98%、89% 和 100% (图 1); 种子的 MGT 分别为 34.7 d、16.3 d、5.6 d、4.8 d、6.4 d、9 d 和 6.3 d。这些结果表明, 丛毛垂叶榕种子的萌发温度较宽, 适宜的萌发温度为 25℃~35℃ 以及 30℃/20℃。在自然环境下, 丛毛垂叶榕种子除了自然传播外, 还能随着以榕果为食的动物的粪便撒在土壤表面和其它树木的枝杈上; 由于种子萌发所要求的温度范围较宽, 且最终萌发率较高; 热带雨林中的高温高湿条件完全能满足种子萌发所需要的水分和温度, 一旦具有适宜的光照就能迅速萌发。说明温度不是热带雨林中影响丛毛垂叶榕种子萌发的关键因子。

连续黑暗下, 种子在 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃ 和 30℃/20℃ 下萌发 35 d, 种子的萌发率为零; 添加交替光照后, 种子的萌发率和萌发速率迅速增加, 变温不能代替光照促进种子萌发 (图 2); 表明光照是影响丛毛垂叶榕种子萌发的关键因子 (图 2)。在 14 h 光照, 10 h

黑暗的光暗周期下, $0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光强就能显著地增加种子的最终萌发率和萌发速率 (图 3), 表明丛毛垂叶榕种子萌发具有较强的光敏感性。在 24 h 光暗周期下, 当光期长度为 10 min、30 min 和 1 h 时, 种子的最终萌发率分别为 11%、18.5% 和 66%; 当光期长度为 2~24 h 时, 种子的最终萌发率 $\geq 93\%$ (图 4a); T_{10} 和 T_{50} 随着光期长度的增加而缩短 (图 4b); 以及种子分别在连续光照下处理 12 h、24 h、36 h 和 48 h 后, 在 30℃ 和随后的连续黑暗中萌发的最终萌发率分别为 0、27.5%、44.7% 和 74.5% (图 5)。这些结果都表明丛毛垂叶榕种子萌发对光的需要是一种数量性状。 LT_{10} 和 LT_{50} 随着光期长度的增加而明显地延长 (图 4b) 以及种子的萌发速率与光时间没有严格的定量关系的原因可能是丛毛垂叶榕种子萌发对光强度的阈值较低, 对种子的最终萌发率而言, $0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光强的效应类似于 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光强的效应 (图 3)。

已经报道, 激动素能够诱导光敏感的莴苣种子萌发 (Berrie, 1984; Bewley and Black, 1994)。细胞分裂素是种子萌发的有效促进剂, 因为早期蛋白合成是种子萌发的必需条件, 应用外源细胞

分裂素能够促进蛋白质的合成 (Berrie, 1984)。不同浓度的 GA_3 、6-BA 和乙烯处理不能在黑暗条件下促进丛毛垂叶榕种子的萌发; 添加交替光照后, 种子的最终萌发率和萌发速率迅速增加 (图 6), 也说明光照是丛毛垂叶榕种子萌发的关键因子。有趣的是, 丛毛垂叶榕种子经 15°C 、贮藏 10 个月后, 0.01 和 0.1 mmol/L GA_3 能有效地代替光照, 促进种子在连续黑暗下萌发 (表 1)。郑光华和赵同芳 (2002) 曾综述, 有些光敏感种子的萌发对光的依赖性会随休眠期的自然解除而降低, 但其原因不清楚。

在黑暗条件下, 不管是恒温 (15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 、 35°C 和 40°C) 还是变温 ($15^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$ 、 $30^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$ 、 $35^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$ 和 $40^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}$), 山红树 (*Pellacalyx yunnanensis*) 种子吸胀 44 d 时, 萌发率为零; 交替光照 (14 h 光照, 10 h 黑暗) 显著地增加种子的萌发率和萌发速率。0.01~0.1 mmol/L SNP 能代替光照, 明显地增加山红树种子的萌发率和萌发速率; 硝酸和亚硝酸处理也能代替光照促进山红树种子的萌发 (宋松泉等, 待发表资料)。Beligni and Lamattina (2000) 证明, 在莴苣种子中 NO 供体能够打破黑暗强加的种子休眠, 而且这种效应能够被 NO 清除剂 (2-phenyl-4, 4, 5, 5-tetramethylimidazoline 1-oxyl 3-oxide, PTIO) 逆转。Giba 等 (1998) 利用各种 NO 供体和相应的失活化合物, 证明了光敏色素控制的皇后树 (*Empress tree*) 种子的萌发是由 NO 调节的。在低 pH 条件下, 亚硝酸转变为 NO (Giba 等, 1998)。但用不同浓度的 SNP、 $NaNO_3$ 和 $NaNO_2$ 处理不能在黑暗条件下促进丛毛垂叶榕种子萌发; 添加交替光照后, 种子的最终萌发率和萌发速率迅速增加 (图 7), 说明 SNP、 $NaNO_3$ 和 $NaNO_2$ 处理不能代替光照对丛毛垂叶榕种子萌发起促进作用。

当种子处于过度隐蔽、被凋落物等掩盖, 或被埋入土中, 尽管土壤中含有硝酸盐和亚硝酸盐, 这些含氮化合物仍然不能诱导种子的暗萌发, 种子会暂时处于休眠状态, 从而延长种子的保存寿命。当翻动土壤、或者形成林窗、或者森林被破坏, 暂时处于休眠状态的丛毛垂叶榕种子会迅速萌发和生长, 以至占领整个林窗或被破坏的林段。丛毛垂叶榕种子萌发的光敏感性对于热带雨林中

物种的更新和演替具有重要的作用。此外, 不同浓度的 GA_3 、6-BA、乙烯、SNP、 $NaNO_3$ 和 $NaNO_2$ 处理不能代替光照在黑暗条件下促进种子萌发, 也说明光照是丛毛垂叶榕种子萌发的关键因子, 是对热带雨林生境长期适应的结果。

参 考 文 献

- 中国科学院昆明植物研究所, 1995. 云南植物志第 6 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 620—621
- 中国医学科学院药用植物研究所云南分所, 1991. 西双版纳药用植物名录 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 188—189
- 郑光华, 赵同芳, 2004. 种子休眠的解除及机制 [A]. 郑光华主编, 种子生理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 304—322
- Beligni MV, Lamattina L, 2000. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyls elongation, three light-inducible responses in plants [J]. *Planta*, **210**: 215—221
- Berrie AMM, 1984. Germination and dormancy [A]. Wilkins MB (ed), *Advanced Plant Physiology* [M]. London: Pitman Publishing Ltd, 440—468
- Bewley JD, 1997. Seed germination and dormancy [J]. *Plant Cell*, **9**: 1055—1066
- Bewley JD, Black M, 1994. *Seeds. Physiology of Development and Germination* [M]. New York: Plenum Press
- Cohn MA, Butera DL, Hughes JA, 1983. Seed dormancy in red rice [J]. *Plant Physiol*, **73**: 381—384
- Debeauxon I, Koomneef M, 2000. Gibberellin requirement for Arabidopsis seed germination is determined both by testa characteristics and embryonic abscisic acid [J]. *Plant Physiol*, **122**: 415—424
- Dunlap LR, Morgan PW, 1977. Reversal of induced dormancy in lettuce by ethylene, kinetin and gibberellic acid [J]. *Plant Physiol*, **60**: 222—224
- Esashi Y, Leopold AC, 1969. Dormancy regulation in subterranean clover seeds by ethylene [J]. *Plant Physiol*, **44**: 1470—1472
- Fu JR (傅家瑞), 1985. The relationship between ethylene and the light-favored dormancy in the seed of *Pistia statiotes* [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), **11** (1): 58—65
- Giba Z, Grubić D, Todorovic S, et al, 1998. Effect of nitric oxide releasing compounds on phytochrome-controlled germination of Empress tree seeds [J]. *Plant Gro Reg*, **26**: 175—181
- Giba Z, Grubić D, Konjevic R, 2003. Nitrogen oxides as environmental sensors for seeds [J]. *Seed Sci Res*, **13**: 187—196
- Groot SPC, Karssen CM, 1987. Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: A study with gibberellin-deficient mutants [J]. *Planta*, **171**: 525—531
- Guan KL (管康林), 1990. The light-requiring characteristic research of 26 tree seed [J]. *Plant Physiol Comm* (植物生理学通讯), **3**: 68—70

Li FL (李凤玲), Chen JC (陈季楚), Zhao YJ (赵毓橘), 2000. The effect of GA and light on the germination and seedling growth of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), **26** (2): 101—104

Matilla AJ, 2000. Ethylene in seed formation and germination [J]. *Seed Sci Res*, **10**: 111—126

Rethy R, Dedonder A, Depetter E, *et al*, 1987. Biphasic fluence-response curves for photochrome mediated *Kalanchoe* seed germination [J]. *Plant Physiol*, **83**: 126—130

Sugimotoa Y, Alia AM, Yabuta S, *et al*, 2003. Germination strategy of *Striga hermonthica* involves regulation of ethylene biosynthesis [J]. *Physiol Plant*, **119**: 137—145

Toyomasu T, Kawaide H, Mitsuhashi W, *et al*, 1998. Phytochrome regulates gibberellin biosynthesis during germination of photoblastic lettuce seeds [J]. *Plant Physiol*, **118**: 1517—1523

Xu ZF (许再富), 1994. *Ficus*— One keystone plant in tropical rainforest ecosystem of southern Yunnan [J]. *Biodiversity* (生物多样性), **2** (1): 21—23

Yamaguchi S, Kamiya Y, 2002. Gibberellins and light-stimulated seed germination [J]. *Plant Gro Reg*, **20** (4): 369—376

Yamaguchi S, Smith MW, Brown RGS, *et al*, 1998. Phytochrome regulation and differential expression of gibberellin 3 β -hydroxylase genes in germinating *Arabidopsis* seeds [J]. *Plant Cell*, **10**: 2115—2126

Zhao TZ (赵庭周), Yang DR (杨大荣), Xu JH (许继宏), 2001. The role and comprehensive value of fig trees in tropical rainforests of Xishuangbanna [J]. *Forest Res* (林业科学研究), **14** (4): 441—445

* * * * *

〔上接 624 页〕

世界知识产权专利数据库: <http://www.wipo.int/pctdl/en/>

加拿大专利数据库: <http://patents1.ic.gc.ca/>

收藏了加拿大1920年以来共1400000件专利,可免费查询、检索专利及商标信息。且1975年以后的专利说明书提供了全文数据库,可检索到专利说明书全文及其附图,专利说明书的格式为PDF格式,一般分为封面、摘要、权利要求、详细说明、图表等五大部分。其余可查询到专利书目型信息,均可复制和下载,且提供英语、法语两种语言。

Derwent: <http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=DIIDW&Func=Frame>

是基于ISI web of knowledge (<http://www.isiknowledge.com>) 平台的网络数据库,可以查看全文。

Delphion: <http://www.delphion.com/>

该数据库涵盖了美国、欧洲的专利全文以及日本专利的摘要数据,具有帐号才能使用。

英国专利局: <http://www.patent.gov.uk>

可以通过欧洲专利局的网站或者本网站的专利号或者Supplementary Protection Certificate Search号进行查询。可查到全文。

德国专利数据库: <http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet>

德国专利数据库是德国专利商标局(Deutschen Patent- und Markenamt)专门为从Internet上检索德国专利而建立的Web站点。该库包括1877年以来的德国专利文档,专利的全文扫描图像数据格式为PDF。

日本专利局: <http://www.jpo.go.jp>

网上专利检索数据库(英文版)包括1976年10月以后所有公开的日本专利说明书(包括专利和实用新型)扫描图形,其中1993年以后的说明书都提供机器翻译的英文全文可进行英语、日语两种语言检索。

韩国专利局和韩国专利情报院: <http://www.kipi.or.kr>

新加坡知识产权局专利数据库: <http://www.surfig.gov.sg/>

澳大利亚专利数据库: <http://www.ipaustralia.gov.au/>

瑞士联邦知识产权局: <https://client.ip-search.ch/?c=login&a=client&l=1>

意大利专利检索: <http://www.fildata.it/>

其他:

IBM 专利数据库: <http://www.patents.ibm.com/ibm.htm1>

QPAT: <http://www.qpat.com/index.htm>

Questel: <http://www.questel.orbit.com/en/index.htm>

NRI: 可以全文检索1971年以后的专利文献: <http://www.patent.ne.jp>

Micro Patent: <http://www.micropat.com>

(中国科学院昆明植物所 杜宁)