

· 资源与鉴定 ·

植物源烟水及生长调节剂对 5 种常用中药材种子萌发的影响

边丽华^{1,2}, 周冰谦², 刘伟², 王晓², 周洁^{3,4*}

(1. 山东中医药大学, 济南 250355; 2. 山东省中药质量控制技术重点实验室
山东省分析测试中心, 济南 250014; 3. 济南大学, 济南 250000;
4. 中国中医科学院 中药资源中心, 道地药材国家重点实验室, 北京 100700)

〔摘要〕 目的:优质的种苗是保证药材产量和质量的基础,寻求绿色、安全、有效的措施缩短萌发时间、提高萌发率和发芽整齐度具有重要的意义。本文以 5 常用种中药材种子为研究材料,比较烟水与常用生长调节剂对种子萌发的影响。方法:烟水母液由悬铃木干燥植物材料闷燃产烟入水制得;利用 TTC 测定种子活力;测定种子含水量;检测种子吸水率;分别用水(空白组)、烟水(0.2% 母液)和植物生长调节剂,如赤霉素(150 mg·L⁻¹),氯化钼(0.6 mg·L⁻¹),硝酸钙(30 mg·L⁻¹)和水杨酸(0.028 mg·L⁻¹)处理种子,比较植物源烟水和 4 种生长调节剂对 5 种常用中药材(菘蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪)种子发芽率、平均萌发时间和发芽指数的影响。结果:烟水对菘蓝、桔梗、黄芩种子的发芽率均有显著的提升效果,其中使黄芩种子发芽率提高 27.27%;对 5 种种子的平均萌发时间没有显著影响;显著提高桔梗和黄芩的发芽指数,分别提高 30.97% 和 27.49%;具有类似赤霉素的促进种子萌发的作用。结论:烟水的无毒性和易于取得性使其更易于应用于农业实践,综合来看,烟水技术在促进中药材种子萌发方面存在着巨大的潜力。

〔关键词〕 烟水; 植物生长调节剂; 萌发
〔中图分类号〕 R282.2 〔文献标识码〕 A 〔文章编号〕 1005-9903(2017)04-0047-05
〔doi〕 10.13422/j.cnki.syfjx.2017040047
〔网络出版地址〕 <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20161129.1455.024.html>
〔网络出版时间〕 2016-11-29 14:55

Effect of Smoke Water and Other Plant Growth Regulators on Seed Germination of Five Commonly Used Traditional Chinese Medicinal Plants

BIAN Li-hua^{1,2}, ZHOU Bing-qian², LIU Wei², WANG Xiao², ZHOU Jie^{3,4*}

(1. Shandong University of Traditional Chinese Medicine (TCM), Ji'nan 250355, China;
2. Shandong Analysis and Test Center, Key Laboratory of TCM Quality Control Technology, Ji'nan 250014, China; 3. University of Ji'nan, Ji'nan 250000;
4. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, State Key Laboratory of Dao-di Herbs, Beijing 100700, China)

〔Abstract〕 Objective: High quality seedling is the foundation to ensure the quality and yield of medicinal herbs. It is meaningful to find agreeen, safe and effective measures to shorten the time of germination, improve the germination rate and germination uniformity. In this paper, the seeds of 5 species of Chinese medicinal

〔收稿日期〕 20160809(004)
〔基金项目〕 国家自然科学基金项目(81303161,81673527);山东省自然科学基金项目(ZR2013HQ037);山东省科技发展计划项目(2015GSF119021,2015GSF119026);名贵中药资源可持续利用能力建设项目(2060302-1601-19,2060302-1601-07)
〔第一作者〕 边丽华,在读硕士,从事中药资源与质量控制的研究,Tel: 18660391823, E-mail: cathybless@163.com
〔通讯作者〕 *周洁,博士,副教授,从事中药资源与药用植物次生代谢调控研究,Tel: 15098711218, E-mail: zhoujie8761@163.com

herbs are used as research materials. Compared with common growth regulators on Seed Germination. **Method:** Smoke water (SW) was made from Plane tree; TTC was used to measure the seed vigor; measure the moisture content of the seeds. The water uptake rate of the seeds was detected. Seeds were treated by water (control group), SW (0.2% solution) and plant growth regulators, such as gibberellin ($150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), lanthanum chloride ($0.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), calcium nitrate ($30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and salicylic acid ($0.028\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Comparison the effects of smoke water and four plant growth regulators on seed germination rate/ mean germination time/germination index of five highly traded Chinese medicine plants (*Isatis indigotica*, Platycodonis Radix, Anemarrhenae Rhizoma, Scutellariae Radix, Astragali Radix). **Result:** SW showed a significant improve effect to the germination rate of *I. indigotica*, Platycodonis Radix, Scutellariae Radix, it significantly promote the germination rate of *I. indigotica* for 27.27%. It showed no apparent influence on the mean germination time of the seeds. Significantly promote the germination index of Platycodonis Radix and Scutellariae Radix for 32.71% and 27.73%. It promote seed germination similar with gibberellin (GA_3). **Conclusion:** SW is non-toxic and wild available, these characteristics make it more suitable for agricultural practice. SW has great potential in promoting seed germination of Chinese medicinal plants.

[**Key words**] smoke water; plant growth regulator; germination

种子繁殖是栽培类中药材最为普遍的繁殖方式之一,很多药材的种子由于休眠和生理后熟导致萌发困难或者萌发时间长^[1],育苗率低,严重制约中药材生产,针对这样的种子生产上多采用赤霉素、水杨酸等植物生长调节剂来进行种子处理促进其萌发,这些生长调节剂多为化学合成物质,成本高,污染严重,其降解产物对环境、动物和人的影响仍有待评估^[2],因此,探索一种绿色、安全及有效的促进莴苣种子萌发途径对于从源头上保障和提高中药材产量和质量具有重要意义。

植物源烟水(smoke water, SW)是将植物材料焖燃产烟入水所得水溶液。已有报道烟水在促进种子萌发和提高作物活力方面表现出显著的生理生态效应^[3-4]。Kulkarni 等^[5]用烟水处理南非凤梨百合 *Eucomis autumnalis* 种子,发现烟水对其种子萌发有显著的促进作用。Jäger 等^[6]采用不同浓度烟水处理莴苣种子,发现适宜浓度的烟水可以促进莴苣种子萌发。周洁等^[7]用烟水处理栝楼种子和幼苗,发现烟水可以促进栝楼种子的萌发及幼苗生长。目前烟水方面的研究集中在国外,国内研究甚少,在中药材种子萌发上的报道凤毛麟角。菰蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪为常用药材,年需求量很大,栽培品成为市场上商品的主要来源,生产上多采用种子进行繁殖。优质的种苗是保证药材产量和质量的基础,寻求绿色、安全、有效的措施缩短萌发时间、提高萌发率和发芽整齐度具有重要的意义。本文以上述 5 种中药材种子为研究材料,比较了烟水与常用生长调节剂,如赤霉素(GA_3),水杨酸(SA),氯化镧(LaCl_3)和硝酸钙[$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$]等对种子萌发的影

响,以期探索绿色、安全、有效的促进种子萌发途径提供基础数据。

1 材料

种子均来自山东济南禾宝中药材生产基地,经山东中医药大学周凤琴教授鉴定分别为十字花科植物菰蓝 *Isatis indigotica*, 桔梗科植物桔梗 *Platycodon grandiflorum*, 百合科植物知母 *Anemarrhena asphodeloides*, 唇形科植物黄芩 *Scutellaria baicalensis*, 豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* 的种子。将种子置于 4℃ 保存备用。

GA_3 , SA, LaCl_3 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 均购自国药集团化学试剂有限公司,均为化学纯,处理质量浓度分别为 150, 0.028, 0.6, 30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 烟水质量浓度为 0.2% 的母液,各处理所采用质量浓度均由前期试验所得^[8-9]。

2 方法

2.1 烟水的制备 根据 Jäger 等^[6]的方法,采用干燥植物材料 5~7 kg,除去其中杂质,自然晾干,装入特定容器中焖烧 45 min。燃烧产烟持续通入预先装有冷水 500 mL 的收集器内,燃烧产生的烟进入冷水中即制得烟水母液。

2.2 种子活力测定 利用 TTC 测定种子活力^[10]。配制质量分数为 1% 的 2,3,5-三苯基四氮唑氯(TTC)溶液,避光保存。随机选取种子 10 粒,于 25℃ 水中浸泡 12 h。浸泡后将种子取出,用解剖刀沿种子胚的中心线纵切,然后置于装有 TTC 溶液的玻璃瓶中避光染色 4 d(TTC 溶液完全没过种子),温度为 $(25\pm0.4)^\circ\text{C}$ 。根据胚的染色部位及颜色程度的深浅来判断种子的生活力。种子活力 = 有活力

的种子数/种子总数 × 100%。每组 10 粒种子,6 个重复。

2.3 种子含水量检测 参考 Moyo 等^[11]的方法,将种子在 110 ℃ 下干燥至恒重,含水量 = (鲜重 - 干重)/鲜重 × 100%。每组 100 粒种子,6 个重复。

2.4 种子吸水率检测 参照 Kulkarni 等^[12]的方法,将种子放置在浸有蒸馏水的滤纸上,温度 (25 ± 0.5) ℃,在每个时间点 (0.5,1,2,3,4,5,6,12,24,48,72,96 h) 将种子移出、擦干种子表面水分、称质量,然后将种子换至培养皿中培养。每组 100 粒种子,6 个重复。

2.5 种子萌发试验 将种子用 5% 氯化汞浸泡 5 min,用蒸馏水彻底清洗干净后,将种子置于垫有滤纸的培养皿中,分别用水 (空白组),烟水 (0.2% 母液) 和植物生长调节剂 [如 CA₃ (150 mg · L⁻¹), LaCl₃ (0.6 mg · L⁻¹), Ca (NO₃)₂ (30 mg · L⁻¹) 和 SA (0.028 mg · L⁻¹)] 浸湿滤纸,试验过程中保持滤纸湿润,进行 14 h 的光照 (280 μmol · m⁻² · s⁻¹), 25 ℃。观察并记录每日的发芽数量。

发芽率 = [Σ (n_i) / N] × 100%;
平均萌发时间 (MGT) = Σ (n_i × d) / n;
发芽指数 (G_i) = Σ [(G₁/t) + (G₂/t) + (G_i/t)] × 100%
n_i 是种子每天的萌发数,n 是至试验结束为止的总萌发数,N 是试验种子总数,d 是从试验开始起的天数。G 为种子每天萌发数的比率,t 为整个萌发周期的总天数^[14]。每组 25 粒种子,4 个重复。

2.6 数据分析 数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。利用 SPSS 13.0 软件进行数据差异性分析。

3 结果与分析

3.1 种子活力、含水量、吸水率 为了排除种子自身状态对试验结果的影响,试验处理前进行了种子活力、含水量和吸水率的测试。菘蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪种子的 TTC 曲线测试结果分别为 92.5%,

92.5%,100%,92.5%,100%,说明本实验所选用的种子具有活力,可以进行后续实验。5 种种子的水分分别为 22.9%,22.1%,24.3%,18.7%,18.9%。随着处理时间的延长,吸水量逐渐增加,菘蓝种子的吸水率最高 (图 1),总水分含量由最初的 78% 增加到 278%,说明种子吸水正常。

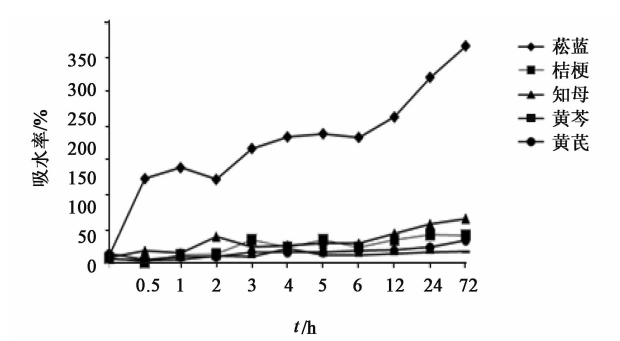


图 1 5 种植物种子水分含量变化
Fig.1 Moisture content changes of five kinds of plant seeds

3.2 烟水和植物生长调节剂对种子发芽率的影响 植物源烟水和植物生长调节剂对这 5 种药用植物种子发芽率的影响见表 1。与空白组比较,SW, GA₃,LaCl₃ 和 SA 处理使菘蓝种子发芽率明显提高,分别提高了 7.91% (P < 0.05),31.89% (P < 0.05),35.97% (P < 0.05) 和 15.83% (P < 0.05)。Ca(NO₃)₂对 5 种药用植物种子发芽率均具有抑制作用。除 Ca(NO₃)₂ 以外,SW,GA₃,LaCl₃ 和 SA 处理对桔梗和菘蓝种子的作用相似,均有一定的促进作用。SW,GA₃,LaCl₃ 和 SA 对知母种子的萌发作用均不明显,而 Ca(NO₃)₂ 对知母种子的萌发有明显的抑制作用,Ca(NO₃)₂ 处理使知母种子发芽率降低 40.03% (P < 0.05)。SW,GA₃ 和 LaCl₃ 处理对黄芩种子的萌发有显著的促进作用,发芽率分别提高 27.27% (P < 0.05),54.55% (P < 0.05) 和 31.80% (P < 0.05)。Ca(NO₃)₂和 SA 对黄芩种子的萌发起到抑制作

表 1 烟水和植物生长调节剂对菘蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪种子发芽率的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 6$)
Table 1 Smoke water and plant growth regulator effects on germination rate of seeds of *Isatis indigotica*, *Platycodonis Radix*, *Anemarrhenae Rhizoma*, *Scutellariae Radix* and *Astragali Radix* ($\bar{x} \pm s, n = 6$) %

处理	菘蓝	桔梗	知母	黄芩	黄芪
空白	41.7 ± 3.3	56.7 ± 1.68	66.7 ± 4.44	36.67 ± 3.36	43.33 ± 4.44 ¹⁾
烟水	45.0 ± 2.2 ¹⁾	71.7 ± 4.44 ¹⁾	59.7 ± 6.71 ¹⁾	46.67 ± 6.71 ¹⁾	41.67 ± 1.68 ¹⁾
赤霉素	55.0 ± 5.8 ¹⁾	81.7 ± 7.32 ¹⁾	60.0 ± 5.04 ¹⁾	56.67 ± 1.68 ¹⁾	31.67 ± 4.44 ¹⁾
氯化铜	56.7 ± 9.3 ¹⁾	68.3 ± 7.32 ¹⁾	66.7 ± 1.68 ¹⁾	48.33 ± 4.44 ¹⁾	51.67 ± 1.68 ¹⁾
硝酸钙	33.3 ± 3.3 ¹⁾	28.3 ± 6.05 ¹⁾	40.0 ± 2.91 ¹⁾	28.33 ± 6.05 ¹⁾	31.67 ± 1.68 ¹⁾
水杨酸	48.3 ± 4.5 ¹⁾	61.7 ± 3.36 ¹⁾	63.3 ± 4.44 ¹⁾	18.33 ± 1.68 ¹⁾	46.67 ± 10.21 ¹⁾

用。SW 和植物生长调节剂对黄芪种子萌发影响不明显。总的来看,植物源烟水能促进菰蓝、桔梗和 黄芩种子萌发,对知母、黄芪种子影响不明显,与植物生长调节剂相比,SW 在提高种子发芽率方面的作用与 GA_3 、 LaCl_3 相似。

3.3 烟水和植物生长调节剂对种子平均萌发时间的影响 种子平均萌发时间可以反映种子萌发的快慢,植物源烟水和植物生长调节剂对种子平均萌发时间的影响见表 2。与空白组比较,SW 对桔梗种子

萌发时间没有显著影响; GA_3 处理使桔梗的平均萌发时间缩短了 22.88% ($P<0.05$),而其他生长调节剂与空白组无显著差异。SW 与 LaCl_3 均可缩短知母种子的平均萌发时间; LaCl_3 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 可显著延长黄芩的平均萌发时间,分别使之延长 20.35% ($P<0.05$) 和 42.86% ($P<0.05$)。SW 和生长调节剂对黄芪的影响与黄芩类似, LaCl_3 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 可显著延长黄芩的平均萌发时间,而其他处理与空白组无显著差异。

表 2 烟水和植物生长调节剂对菰蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪种子平均萌发时间的影响($\bar{x}\pm s,n=6$)

Table 2 Effects of smoke water and plant growth regulator on mean seed germination time of *Isatis indigotica*, *Platycodonis Radix*, *Anemarrhenae Rhizoma*, *Scutellariae Radix* and *Astragali Radix*($\bar{x}\pm s,n=6$)

处理	菰蓝	桔梗	知母	黄芩	黄芪
空白	5.67±0.21	5.50±0.43	6.07±0.65	2.31±0.10	4.28±0.27
烟水	5.47±0.50 ¹⁾	5.26±0.34	5.53±0.37	2.29±0.24 ¹⁾	4.1±0.46
赤霉素	5.94±0.19	4.28±0.05 ¹⁾	6.53±0.35	2.47±0.19 ¹⁾	3.59±0.61 ¹⁾
氯化钬	5.96±0.46	5.85±0.48 ¹⁾	5.77±0.27 ¹⁾	2.78±0.08 ¹⁾	5.35±0.15 ¹⁾
硝酸钙	7.34±0.69 ¹⁾	6.18±0.12 ¹⁾	7.74±0.28 ¹⁾	3.30±0.05 ¹⁾	5.32±0.57 ¹⁾
水杨酸	6.74±0.82 ¹⁾	6.16±0.54 ¹⁾	6.15±0.17	2.17±0.17 ¹⁾	3.41±0.71 ¹⁾

3.4 烟水和植物生长调节剂对种子发芽指数的影响 发芽指数可用来衡量种子的发芽能力及活力。SW、 GA_3 、 LaCl_3 和 SA 对菰蓝种子的萌发有促进作用,与空白组比较分别提高 12.35% ($P<0.05$),32.10% ($P<0.05$),38.89% ($P<0.05$) 和 25.93% ($P<0.05$)。SW、 GA_3 和 LaCl_3 对桔梗种子的发芽指数有显著提高,与空白组比较,分别提高了 30.97%、75.66 和 18.58% ($P<0.05$); $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

处理显著降低种子的发芽指数,与空白组比较,种子发芽指数降低 57.52% ($P<0.05$)。SW、 GA_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 SA 使知母发芽指数有所降低。SW、 GA_3 和 LaCl_3 分别使黄芩种子的发芽指数提高 27.49% ($P<0.05$),49.24% ($P<0.05$) 和 13.90% ($P<0.05$)。SW 和植物生长调节剂对黄芪种子发芽指数的影响与它们对其种子发芽率的影响表现出相同的趋势。见表 3。

表 3 烟水和植物生长调节剂对菰蓝、桔梗、知母、黄芩、黄芪种子发芽指数的影响($\bar{x}\pm s,n=6$)

Table 3 Smoke water and plant growth regulator effects on seed germination index of *Isatis indigotica*, *Platycodonis Radix*, *Anemarrhenae Rhizoma*, *Scutellariae Radix* and *Astragali Radix*($\bar{x}\pm s,n=6$)

处理	菰蓝	桔梗	知母	黄芩	黄芪
空白	1.62±0.05	2.26±0.15	2.65±0.10	3.31±0.25	2.77±0.28
烟水	1.82±0.08 ¹⁾	2.96±0.35 ¹⁾	2.11±0.18 ¹⁾	4.22±0.65 ¹⁾	2.53±0.25 ¹⁾
赤霉素	2.14±0.08 ¹⁾	3.97±0.37 ¹⁾	2.18±0.33 ¹⁾	4.94±0.27 ¹⁾	2.45±0.37 ¹⁾
氯化钬	2.25±0.16 ¹⁾	2.68±0.53 ¹⁾	2.72±0.12 ¹⁾	3.77±0.28 ¹⁾	2.53±0.23 ¹⁾
硝酸钙	1.00±0.07 ¹⁾	0.96±0.22 ¹⁾	1.12±0.12 ¹⁾	1.92±0.46 ¹⁾	1.65±0.26 ¹⁾
水杨酸	2.04±0.17 ¹⁾	2.13±0.28 ¹⁾	2.25±0.14 ¹⁾	1.72±0.15 ¹⁾	3.59±0.17 ¹⁾

4 讨论

从种子活力和吸水率测试结果来看,本实验所选用的种子均为有活力且无吸水障碍的种子,具备进行后续试验的条件,在一定程度上排除了种子状

态对结果的影响。发芽率是衡量种子质量好坏的重要指标,由结果可以看出,烟水对菰蓝、桔梗、黄芩种子的发芽率起到了明显的提高作用,而对知母、黄芪种子发芽率的影响较小;种子平均萌发时间可以

反映种子萌发的快慢,本实验中,烟水对 5 种种子平均萌发时间均无明显影响;发芽指数比发芽率更能灵敏的表现种子的活力,发芽指数高反映种子的发芽率和发芽整齐度高。在本研究中,烟水可显著提高桔梗、黄芩种子的发芽指数,对菘蓝、知母、黄芪种子的发芽指数无明显影响。整体来看,烟水对桔梗、黄芩种子的发芽率和发芽指数均有显著的提高效果,而对萌发时间的影响不明显。烟水对 4 种种子的作用与赤霉素的效果最为接近。赤霉素通常被认为是一种能促进种子萌发的有效活化剂,Daws 等^[14]对烟水作用机制研究,认为烟水促进休眠的拟南芥种子萌发可能是依赖于种子中内源性赤霉素的合成来发挥作用,而 Flematti 等^[4]在烟水中分离出一种对种子萌发起促进作用的化合物,即丁烯羟酸内酯,Flematti 认为烟水促进种子萌发的效果可能与丁烯羟酸内酯有关。然而目前关于烟水中的作用物质尚未得到公认的结论,烟水的作用机制仍需进一步研究。值得注意的是,不少实验表明烟水对种子萌发的促进作用与赤霉素相似^[15-16],这与本实验结论一致。迄今为止,烟水对 80 属 1 200 余种植物的种子萌发表现出刺激作用,而随着研究的继续,这个数字仍在不断增加^[17],且至今尚未在烟水中检测出有毒物质。烟水的无毒性及易于取得性使其更易于应用于农业实践,综合来看,烟水技术在促进中药材种子萌发方面存在着巨大的潜力。

[参考文献]

[1] 张辰露,孙群,梁宗锁. 药用植物种子生理特性及处理技术[J]. 现代中药研究与实践, 2005, 19(1): 59-64.

[2] 赵敏,邵凤赞,周淑新,等. 植物生长调节剂对环境和农作物的安全性[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(5): 370-372.

[3] 胡飞,唐湘如,杨军,等. 燃烧植物产生烟与热的生理生态学效应[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 594-599.

[4] Flematti G R, Ghisalberti E L, Dixon K W, et al. A compound from smoke that promotes seed germination. [J]. Science, 2004, 305(5686):977-977.

[5] Kulkarni M G, Sparg S G, Staden J V. Dark conditioning, cold stratification and a smoke-derived compound enhance the germination of *Eucomis autumnalis*, subsp. *autumnalis*, seeds[J]. S Afr J Bot, 2006, 72(1):157-162.

[6] Jäger A K, Light M E, Staden J V. Effects of source of plant material and temperature on the production of

smoke extracts that promote germination of light-sensitive lettuce seeds[J]. Environ Exp Bot, 1996, 36(4):421-429.

[7] 周洁,边丽华,邹琳,等. 植物源烟水和干馏液对栝楼种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(20): 3958-3962.

[8] 李海平,任彩文. 赤霉素浸种对苦荞种子萌发生理特性的影响[J]. 山西农业科学, 2009, 37(2): 19-21.

[9] 朱霞,胡勇,王晓丽,等. 水杨酸浸种对三七萌发的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(2): 55-57.

[10] 吴俊,严荣斌. 四氮唑染色法测定在不同贮藏处理下火力楠种子生活力[J]. 广西林业科学, 2015, 44(2): 188-190.

[11] Moyo M, Kulkarni M G, Finnie J F, et al. After-ripening, light conditions, and cold stratification influence germination of marula [*Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. subsp. *caffra* (Sond.) Kokwaro] seeds [J]. Hort A Pub Am Soc Hort Sci, 2009, 44(1):119-124.

[12] Kulkarni M G, Street R A, Staden J V. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana*, (Kunth) Dur. and Schinz; a tuberous medicinal plant[J]. S Afr J Bot, 2007, 73(1):131-137.

[13] Easton L C K S. Effects of salinity levels and seed mass on germination in Australian species of *Frankenia* L. (Frankeniaceae)[J]. Environ Exp Bot, 2009, 65(2/3):345-352.

[14] Daws M I, Davies J, Pritchard H W, et al. Butenolide from plant-derived smoke enhances germination and seedling growth of arable weed species[J]. Plant Gro Regul, 2006, 51(1):73-82.

[15] Thomas T H, Davies I. Responses of dormant heather (*Calluna vulgaris*) seeds to light, temperature, chemical and advancement treatments[J]. Plant Growth Regul, 2002, 37(1):23-29.

[16] Thornton M A, Thomas T H, Peters N C B. The promotive effect of combustion products from plant vegetation on the release of seeds from dormancy[J]. Plant Growth Regul, 1999, 28(2):129-132.

[17] Brown N A C, Botha P A, Staden J V. Smoke seed germination studies and a guide to seed propagation of plants from the major families of the Cape Floristic Region, South Africa[J]. S Afr J Bot, 2004, 70(4): 559-581.

[责任编辑 邹晓翠]