

DOI: 10.5846/stxb201903030393

周肄智, 徐畅, 张芸慧, 王顺忠, 谷会岩. 热激和烟熏对大兴安岭三种灌木种子萌发的影响. 生态学报, 2020, 40(8): - .

Zhou Y Z, Xu C, Zhang Y H, Wang S Z, Gu H Y. Effect of heat and smoke on seed germination of three kinds of shrubs in Daxing'an Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(8): - .

## 热激和烟熏对大兴安岭三种灌木种子萌发的影响

周肄智<sup>1</sup>, 徐 畅<sup>2</sup>, 张芸慧<sup>3</sup>, 王顺忠<sup>4</sup>, 谷会岩<sup>1,\*</sup>

1 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040

2 本溪市林业发展服务中心, 本溪 117000

3 大兴安岭地区营林局, 加格达奇 165000

4 植被与环境变化国家重点实验室(中国科学院植物研究所), 北京 100093

**摘要:** 研究了大兴安岭地区珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)种子对热激和烟熏的萌发响应。热激分为干热激和湿热激。干热激处理水平分别为: 60℃—5 min、60℃—15 min、90℃—5 min、110℃—5 min、150℃—5 min; 湿热激处理水平分别为: 60℃—5 min、60℃—15 min、95℃—5 min; 烟熏处理水平分别为: 5 min、10 min、20 min。结果表明: (1) 在对干热激的响应上, 珍珠梅种子的萌发率在 60℃干热激处理 15 min 后显著提高( $P<0.05$ ), 在 110℃、150℃干热激处理 5 min 后显著下降( $P<0.05$ ); 绣线菊种子的萌发率在干热激处理后显著提高( $P<0.05$ ), 平均萌发时间显著缩短( $P<0.05$ ); 金露梅种子的萌发率在 150℃干热激处理 5 min 后显著下降( $P<0.05$ ); (2) 在对湿热激的响应上, 珍珠梅和绣线菊种子在湿热激处理后停止萌发; 金露梅种子在 60℃湿热激处理 15 min 后停止萌发, 在 95℃湿热激处理 5 min 后几乎停止萌发, 种子萌发率在 60℃湿热激处理 15 min 后显著下降( $P<0.05$ ), 平均萌发时间显著延长( $P<0.05$ ); (3) 在对烟熏的响应上, 珍珠梅和金露梅种子的平均萌发时间在烟熏处理后显著延长( $P<0.05$ ); 绣线菊种子的萌发率在烟熏处理后显著提高( $P<0.05$ ), 平均萌发时间显著缩短( $P<0.05$ )。

**关键词:** 热激; 烟熏; 种子萌发; 灌木; 大兴安岭

## Effect of heat and smoke on seed germination of three kinds of shrubs in Daxing'an Mountains

ZHOU Yizhi<sup>1</sup>, XU Chang<sup>2</sup>, ZHANG Yunhui<sup>3</sup>, WANG Shunzhong<sup>4</sup>, GU Huiyan<sup>1,\*</sup>

1 School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Benxi forestry development service center, Benxi 11700, China

3 Bureau of Silviculture in Daxing'an Mountains, Jiagedaqi, 165000, China

4 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

**Abstract:** This study examines the seed germination response of *Sorbaria sorbifolia*, *Spiraea salicifolia* and *Potentilla fruticosa* to heat shock and smoke in Daxing'an Mountains. Seeds were exposed to the dry heat shock treatment (60℃—5 min, 60℃—15 min, 90℃—5 min, 110℃—5 min and 150℃—5 min), the wet heat shock treatment (60℃—5 min, 60℃—15 min and 95℃—5 min) and the smoke treatment (5 min, 10 min and 20 min). The results showed that: (1) in response to the dry heat shock, the seed germination percentage of *S. sorbifolia* increased significantly when seeds were subjected to the treatment of 60℃ for 15 min ( $P<0.05$ ) and decreased significantly relative to the control when subjected to 110℃, 150℃ for 5 min ( $P<0.05$ ). For *S. salicifolia*, the seed germination percentage increased significantly and the seed

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31370610); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2572017PZ05)

**收稿日期:** 2019-03-03; **网络出版日期:** 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghuiyan@nefu.edu.cn

mean germination time shortened significantly when subjected to the treatment ( $P < 0.05$ ). For *P. fruticosa*, the seed germination percentage decreased significantly relative to the control when subjected to 150°C for 5 min ( $P < 0.05$ ). (2) In response to the wet heat shock, the seed germination of *S. sorbifolia* and *S. salicifolia* stopped after the treatment. For *P. fruticosa*, the seed germination stopped when subjected to 60°C for 15 min and nearly stopped when subjected to 95°C for 5 min. For *P. fruticosa*, the seed germination percentage decreased significantly and the seed mean germination time extended significantly relative to the control when subjected to 60°C for 15 min ( $P < 0.05$ ). (3) In response to the smoke, the seed mean germination time of *S. sorbifolia* and *P. fruticosa* extended significantly after the treatment ( $P < 0.05$ ). For *S. salicifolia*, the seed germination percentage increased significantly and the mean germination time shortened significantly relative to the control ( $P < 0.05$ ).

**Key Words:** heat shock; smoke; seed germination; shrub; Daxing'an Mountains

火是一个活跃的生态因子,经常作用于森林生态系统<sup>[1]</sup>。林火能够促进种子释放和萌发,从而影响着植被的自我更新<sup>[1]</sup>。在林火多发地区,诸如林火源高温、植物燃烟、火烧灰和炭化的木材等林火产物能影响种子萌发,其中林火源高温和植物燃烟是主要的萌发因子<sup>[2]</sup>。

林火发生时,土壤与凋落物交界处的温度高达 850°C 左右,足以杀死位于地表过火区域的种子<sup>[3]</sup>。但是在地表以下,林火源高温对处于不同干湿状况下的地下土壤种子库有不同的影响:(1)在干燥土壤中,尽管温度的最大增长发生在接近土壤表面的区域,干燥土壤良好的绝缘性使得温度峰值在土壤表面以下的短距离内迅速减小,而温度的持续时间则会增加<sup>[4]</sup>;对于许多物种的种子而言,150°C 的高温足以致命<sup>[5]</sup>,而干燥的矿质土壤 5 cm 深处的温度很少超过 150°C<sup>[3]</sup>,因此,干燥的土壤能够保护种子免遭高温侵害;(2)在湿润土壤中,尽管土壤温度在水分蒸发前不会超过 95°C,但由于水是热的良导体,水分在蒸发之前会吸收大量热量并通过土壤迅速传导,这对土壤中的种子而言可能是致命的<sup>[6]</sup>;同时,由于导热系数的增加,湿润土壤会比干燥土壤在更深的土层产生致命的温度<sup>[4]</sup>。热激是实验室模拟林火源高温作用于种子萌发的主要方式。考虑到在高温侵袭下,不同的土壤水热状况对种子萌发有不同的影响,King 和 Menges 用干热激和湿热激两种处理方法研究了佛罗里达灌丛的 6 种灌木种子对高温的响应,发现高强度干热激(100°C—5 min)对其中 3 个物种的种子萌发有显著的抑制作用;仅仅是低强度(60°C—30 min)湿热激就显著降低了所有物种种子的萌发率,并且显著延长了其中 3 个物种种子的平均萌发时间;由于所研究的物种都是旱生植物,所以 King 和 Menges 认为由于干热激处理得出的结论相较于湿热激更具有实际意义<sup>[7]</sup>。尽管如此,该研究也从侧面说明,湿热激对种子萌发的抑制作用可能比干热激更为显著。有关种子萌发对热激的响应,学者进行了大量的研究,为模拟土壤种子库中的种子在经历火烧时所能承受的温度,热激处理的温度范围集中在 60—150°C 之间<sup>[8-9]</sup>。种子对热激的萌发响应随着热激温度和持续时间的变化而变化<sup>[10]</sup>,过高的温度和过长的时间都可能导致种子死亡<sup>[11]</sup>。但是无论是通过提高热激温度还是延长热激时间,两种方式都能强化高温,对种子萌发的影响是类似的<sup>[12]</sup>。林火源高温促进种子萌发的诱因主要在于热能打破种子休眠,目前广泛认为是高温使不透水性的种皮破裂,或者是高温加速了透水性种皮的后熟,促进了萌发<sup>[13]</sup>。种子的耐热性不仅能在火灾之间的不适宜时期阻止种子萌发,还能帮助物种形成长久的种子库使其能够利用火灾后较弱的竞争环境迅速恢复种群<sup>[14]</sup>。

植物燃烟通常以挥发态烟或烟水溶液的形式影响种子萌发。烟可以打破生理休眠,其作用机制目前一般认为是,烟能改变种子的激素平衡或改变种子胚胎对内源性赤霉素( $GA_3$ )的敏感性<sup>[14-15]</sup>。然而,较高浓度的烟也会抑制某些树种的萌发<sup>[16]</sup>。烟熏模拟林火发生时植物燃烧产生的挥发态烟,是实验室研究种子萌发对植物燃烟响应的主要方式之一,如 Naghipour 等研究了伊朗半干旱地区 8 种优势植物种子的萌发对烟熏的响应发现,10 min 烟熏处理显著刺激了 *Astragalus verus*, *Bromus tectorum*, *B. tomentellus* 和 *Phlomis olivieri* 的萌发,显著缩短了 *Bromus tectorum* 的萌发时间,但是对 *Poa bulbosa* 有显著的抑制作用<sup>[17]</sup>。

大兴安岭属于典型的林火多发生态系统,林火在其中起主要的干扰作用。然而有关该区域植物种子萌发

对林火产物响应的研究严重滞后于国外,只有零星的报道<sup>[18-19]</sup>。珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)和金露梅(*Potentilla fruticosa*)是分布于大兴安岭的3种蔷薇科阳性湿生或半湿生灌木,是构成大兴安岭冻土湿地植物群落的优势层树种<sup>[20]</sup>,并且作为落叶阔叶矮高位芽植物常分布于修氏苔草-兴安落叶松林(*Ass. Carex schmidtii, Larix gmelini*)群丛(此类型群丛因为多处在山地中、下部,一般呈带状,沿溪、河流两岸低湿沼泽地延伸,故有学者称其为“溪旁兴安落叶松林”)<sup>[21]</sup>。本文通过研究热激和烟熏对三个物种种子萌发的影响,可以为预测大兴安岭火后植被更新和森林群落演替,健全植被管理以及科学使用营林用火等提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区域位于中国大兴安岭地区(49°20′—53°30′N, 119°40′—127°22′E),是我国唯一的寒温带地区;具明显大陆性季风气候,冬寒夏暖,年平均气温在0℃以下,全年无霜期仅90—110天,一般自5月份下旬开始,延续到9月份月上旬,年均降水量300—400mm、80%以上集中于温暖季节(7、8月份),利于植物生长;地带性土壤为棕色泰加林土,土层较浅薄(20—40 cm),土壤呈酸性,pH在4.5—6.5之间。该区域是混有阔叶树的寒温带明亮针叶林区,以兴安落叶松(*Larix gmelinii*)为优势种的森林群落约占该区森林面积的80%;此外还广布冻土、湿地和沼泽。主要建群树种或优势种有兴安落叶松,樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*),白桦(*Betula platyphylla*)、笃斯越桔(*Vaccinium uliginosum*),越桔(*Vaccinium vitis-idaea*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、杜香(*Ledum palustre*)等。

大兴安岭是林火多发区,每年的春秋干旱、风大,是火灾的危险季节,一旦着火,容易在林区宽阔的河谷地带迅速蔓延成灾并且难以控制;该区是我国雷击火的主要发生区,历史上火灾频繁<sup>[22]</sup>。由于人类活动范围扩大,人为火源也成为该区防火新的威胁。火已经成为该区生态系统中一个活跃的因素。

### 1.2 种子采集

种子于2016年9月份采集于大兴安岭加格达奇林业局。种子采集后以-4℃避光保存在冰箱中备用。

### 1.3 试验方法

热激处理试验由干热激和湿热激两种处理组成。干热激处理水平分别为:60℃—5 min、60℃—15 min、90℃—5 min、110℃—5 min和150℃—5 min<sup>[23]</sup>。湿热激处理水平分别为:60℃—5 min、60℃—15 min和95℃—5 min<sup>[24]</sup>。干热激处理在GZX-9146 MBE型电热鼓风干燥箱中进行,步骤为:预先加热干燥箱,到达预定温度后将种子迅速放入干燥箱中部;待设定的处理时间结束后取出种子。湿热处理是将种子放置于水中并将水加热至设计温度,待设定的时间结束后迅速取出种子。

烟熏处理目前广泛采用时间梯度法,本文使用3个时间水平,分别为5、10、20 min<sup>[25]</sup>。烟熏装置由发烟器、冷却管和烟雾处理室构成。为了保持烟雾处理室里的烟雾为充满状态需持续不断地推动风箱,开始计时,待设定的处理时间结束后取出种子。处理步骤如下:将事先准备好的干燥的兴安落叶松凋落物放置于发烟器中并点燃,持续鼓动发烟器风箱使整个烟雾处理室充满烟雾,此时将种子迅速放入烟熏装置的抽拉台上,然后将抽拉台推入烟熏装置中,待设定的处理时间结束后取出种子。

种子萌发试验:每个水平由3个重复组成,每个重复30粒种子。将处理好的种子放入铺有两层滤纸、直径为9 cm的培养皿(火烧灰处理中加入火烧灰)中,并加入去离子水使滤纸充分湿润,以此组成一个重复。将所有种子放入HPG-400 HX智能型人工气候培养箱中培养,培养条件设定为:光照下,光照强度Ⅲ级、湿度60%、25℃培养10 h;黑暗下、湿度60%、17℃培养14 h。连续培养4周,种子胚根突出种皮1 mm以上视为萌发,每天统计萌发个数并将已经萌发的种子移出培养皿,适时补充去离子水。

萌发试验结束后,使用Excel 2007计算种子的萌发率和平均萌发时间。在SPSS 20.0中进行F检验和单因素方差分析,并在处理间存在显著差异时使用置信区间为95%的Duncan分析法进行多重比较。两种萌发

参数计算公式如下:

$$\text{萌发率(Germination Percentage, GP)} = \left( \sum (N_i / N) \right) \times 100\%$$

$$\text{平均萌发时间(Mean Germination Time, MGI)} = \sum (N_i \times T_i) / \sum N_i$$

式中:  $N_i$  为第  $i$  天萌发的种子数;  $N$  为每个重复种子数;  $T_i$  为第  $i$  天<sup>[6]</sup>。平均萌发时间越短表示种子活性越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 热激处理对种子萌发率和平均萌发时间的影响

#### 2.1.1 干热激处理

由表 1 知,干热激处理对 3 个物种种子的萌发率都有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。由表 3 知,与对照相比,珍珠梅种子的萌发率在 60℃、90℃ 干热激处理 5 min 后有提高的趋势,但未达到显著水平;在 60℃ 干热激处理 15 min 后显著提高 ( $P < 0.05$ );在 110℃、150℃ 干热激处理 5 min 后显著下降 ( $P < 0.05$ )。短时干热激处理后,珍珠梅种子的萌发率随着温度的升高有逐渐降低的趋势。由表 3 知,与对照相比,绣线菊种子的萌发率在 60℃、90℃、110℃ 干热激处理 5 min 后显著提高 ( $P < 0.05$ ),高出对照至少 20%。由表 3 知,与对照相比,金露梅种子的萌发率在 150℃ 干热激处理 5 min 后显著下降 ( $P < 0.05$ )。

由表 2 知,干热激处理对珍珠梅和绣线菊种子的平均萌发时间有极显著影响 ( $P < 0.01$ ),对金露梅种子的平均萌发时间无显著影响。由表 4 知,与对照相比,珍珠梅种子的平均萌发时间虽然在 150℃ 干热激处理 5 min 后显著缩短,但是由于在该处理下的萌发率过低 (5.56%),因此无统计学意义。由表 4 知,与对照相比,绣线菊种子的平均萌发时间在每一个干热激处理后都显著缩短 ( $P < 0.05$ ),其中在 60℃ 干热激分别处理 5 min 和 15 min 以及在 90℃、110℃ 干热激处理 5 min 后缩短了至少 6 天。

表 1 热激和烟熏处理对种子萌发率影响的单因素方差分析

Table 1 One-way ANOVA of the impact of heat shock and smoke treatment on seed germination percentage of each species

处理 Treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i>			绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>			金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>		
	F	P	显著性	F	P	显著性	F	P	显著性
干热激 Dry heat shock	27.377	0.000	**	8.240	0.001	**	11.680	0.000	**
湿热激 Wet heat shock	123.857	0.000	**	31.360	0.000	**	94.102	0.000	**
烟熏 Smoke	3.370	0.075	ns	16.191	0.005	**	1.428	0.305	ns

\* ,影响显著 ( $P < 0.05$ ); \*\* ,影响极显著 ( $P < 0.01$ ); ns,无显著影响 ( $P > 0.05$ )

表 2 热激和烟熏处理对种子平均萌发时间影响的单因素方差分析

Table 2 One-way ANOVA of the impact of heat shock and smoke treatment on seed mean germination time of each species

处理 Treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i>			绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>			金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>		
	F	P	显著性	F	P	显著性	F	P	显著性
干热激 Dry heat shock	6.362	0.004	**	36.059	0.000	**	0.353	0.871	ns
湿热激 Wet heat shock	2352.402	0.000	**	172.536	0.000	**	5.483	0.024	*
烟熏 Smoke	7.310	0.011	*	34.088	0.001	**	23.994	0.000	**

\* ,影响显著 ( $P < 0.05$ ); \*\* ,影响极显著 ( $P < 0.01$ ); ns,无显著影响 ( $P > 0.05$ )

#### 2.1.2 湿热激处理

由表 1 知,湿热激处理对 3 个物种的萌发率都有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。由表 5 知,与对照相比,珍珠梅和绣线菊种子在所有湿热处理后都停止萌发。由表 5 知,金露梅在 60℃ 湿热激处理 15 min 后也停止萌发,在 95℃ 处理 5 min 后几乎停止萌发。尽管显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),但是金露梅种子在 60℃ 湿热激处理 5 min 后萌发率仍有 28.89%,甚至高于 150℃ 干热激处理 5 min。

表 3 不同干热激处理下各物种种子的萌发率(平均值±标准差)

Table 3 The seed germination percentage of each species subjected to different dry heat shock treatments(mean±SD)

干热激处理 Dry heat treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /%	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /%	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /%
CK	(56.67±8.82) b	(31.11±9.62) b	(68.89±7.70) a
60℃—5 min	(67.78±5.09) ab	(65.56±11.71) a	(60.00±0.00) a
60℃—15 min	(74.44±11.71) a	(57.78±10.18) ab	(61.11±5.09) a
90℃—5 min	(60.00±8.82) ab	(60.00±0.00) a	(67.78±17.11) a
110℃—5 min	(36.67±3.33) c	(65.56±1.92) a	(47.78±12.62) a
150℃—5 min	(5.56±9.62) d	(44.44±8.39) b	(11.11±13.88) b

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

表 4 不同干热激处理下各物种种子的平均萌发时间(平均值±标准差)

Table 4 The seed mean germination time of each species subjected to different dry heat shock treatments(mean±SD)

干热激处理 Dry heat treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /d	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /d	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /d
CK	(4.78±0.17) a	(13.38±1.76) a	(4.82±0.30)
60℃—5 min	(5.27±0.51) a	(6.09±0.96) c	(5.00±0.59)
60℃—15 min	(5.27±0.47) a	(6.13±0.42) c	(4.98±0.21)
90℃—5 min	(5.82±0.84) a	(6.02±0.20) c	(5.40±0.35)
110℃—5 min	(6.58±1.70) a	(7.39±0.10) c	(6.24±1.31)
150℃—5 min	(1.33±2.31) b	(10.80±0.71) b	(7.04±6.11)

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

表 5 不同湿热激处理下各物种种子的萌发率(平均值±标准差)

Table 5 The seed germination percentage of each species subjected to different wet heat shock treatments(mean±SD)

湿热激处理 Wet heat treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /%	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /%	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /%
CK	(56.67±8.82) a	(31.11±9.62) a	(68.89±6.70) a
60℃—5 min	—	—	(28.89±8.39) b
60℃—15 min	—	—	—
95℃—5 min	—	—	(1.11±1.92) c

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

由表 2 知,湿热激处理对珍珠梅和绣线菊种子的平均萌发时间有极显著影响( $P<0.01$ ),对金露梅种子平均萌发时间有显著影响( $P<0.05$ )。由表 6 知,由于种子在处理停止萌发,珍珠梅和绣线菊种子的平均萌发时间无统计学意义。由表 6 知,金露梅种子的平均萌发时间在 60℃湿热激处理 5 min 后显著延长。

表 6 不同湿热激处理下各物种种子的平均萌发时间(平均值±标准差)

Table 6 The seed mean germination time of each species subjected to different wet heat shock treatments(mean±SD)

湿热激处理 Wet heat treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /d	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /d	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /d
CK	(4.78±0.17)	(13.38±1.76)	(4.82±0.30) b
60℃—5 min	—	—	(12.65±2.06) a
60℃—15 min	—	—	—
95℃—5 min	—	—	(4.33±7.51) b

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

## 2.2 烟熏处理对种子萌发率和平均萌发时间的影响

与热激处理不同,三个物种在烟熏处理后都成功地萌发。

由表 1 知,烟熏处理对绣线菊种子的萌发率有极显著影响( $P<0.01$ ),对珍珠梅和金露梅种子的萌发率无显著影响。由表 7 知,与对照相比,绣线菊种子的萌发率在每个烟熏处理后都有显著提高( $P<0.05$ ),每个处理都高出对照至少 30%。与对照相比,珍珠梅和金露梅种子的萌发率烟熏处理后有降低的趋势,但未达到显著水平。

由表 2 知,烟熏处理对珍珠梅种子的平均萌发时间有显著影响( $P<0.05$ ),对绣线菊和金露梅种子的平均萌发时间有极显著影响( $P<0.01$ )。由表 8 知,与对照相比,珍珠梅和金露梅种子的平均萌发时间在所有烟熏处理后都显著延长( $P<0.05$ )。与此相反,绣线菊种子的平均萌发时间在所有烟熏处理后都显著缩短( $P<0.05$ )。

表 7 不同烟熏处理下各物种种子的萌发率(平均值±标准差)

Table 7 The seed germination percentage of each species subjected to different smoke treatments(mean±SD)

烟熏处理 Smoke treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /%	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /%	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /%
CK	(56.67±8.82)	(31.11±9.62) b	(68.89±7.70)
5 min	(45.56±12.62)	(70.00±9.43) a	(63.33±3.33)
10 min	(40.00±5.77)	(86.67±4.71) a	(57.78±6.94)
20 min	(31.11±11.71)	(88.33±16.50) a	(60.00±8.82)

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

表 8 不同烟熏处理下各物种种子的平均萌发时间(平均值±标准差)

Table 8 The seed mean germination time of each species subjected to different smoke treatments(mean±SD)

烟熏处理 Smoke treatment	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i> /d	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> /d	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i> /d
CK	(4.78±0.17) b	(13.38±1.76) a	(4.82±0.30) c
5 min	(6.64±0.81) a	(5.96±0.13) b	(8.38±0.77) a
10 min	(6.85±1.10) a	(5.16±0.17) b	(7.08±0.03) b
20 min	(7.20±0.19) a	(5.07±0.09) b	(7.80±0.73) ab

同列不同小写字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ )

### 3 结论与讨论

通常而言,受高温影响的种子有三种反应:(1)萌发率下降,甚至种子死亡(非耐受性种子);(2)无响应(耐受性种子);(3)萌发率增加(萌发率提高的耐受性种子),也被称为热冲击效应<sup>[26]</sup>。本研究发现,绣线菊种子受益于干热激,绣线菊种子萌发率和活性在干热激处理后都显著提高( $P<0.05$ )(表 3,4),属于萌发率提高的耐干热性种子。珍珠梅种子也能从干热激中受益,珍珠梅种子萌发率在 60℃干热激处理 15 min 后显著提高( $P<0.05$ )(表 3),但种子活性对于干热激处理无显著响应(表 4)。金露梅种子能耐受 110℃及以下 5 min 干热激的同时也能保持种子活性,表明金露梅有较强的耐干热性(表 3,4)。珍珠梅种子能耐受 90℃及以下 5 min 干热激的同时也能保持种子活性,表明珍珠梅也具有一定的耐干热能力(表 3,4),但是较金露梅种子弱。三个物种种子的耐受干热激的能力从强到弱依次为:绣线菊、金露梅、珍珠梅。种子较强的耐干热性证明了 3 个物种的种子在火后有机会幸存和萌发。Webster 等研究发现,种子受热激后的萌发可能在以下两种情况下发生:(1)种皮因受热破裂或者被移除从而减小了胚芽生长受到的阻碍,这样即使胚的生长能力较低也可以萌发;(2)热激促成了种子的胚或胚乳中某些调控种子萌发的新蛋白质的合成,并因此增强了胚芽的生长能力,从而冲破种皮等物理障碍继而萌发<sup>[27]</sup>。本研究中,珍珠梅和绣线菊的种子均无坚硬种皮,但是在低强度干热激处理后萌发率都显著提高,这可能与胚中新蛋白质的合成有关。

本研究发现,湿热激造成了种子死亡。珍珠梅和绣线菊种子在 60℃湿热激处理 5 min 后停止萌发,表明种子无法耐受最低程度的湿热激;金露梅种子萌发率虽然在 60℃湿热激处理 5 min 后显著下降( $P<0.05$ ),但是仍有 28.89%(表 5)。这表明珍珠梅和绣线菊种子是不耐湿热性种子,而金露梅种子有一定程度的耐湿热

性。总体来看,3个物种的种子对湿热激的耐受能力远低于对干热激的耐受能力,这与 King 和 Menges 的研究结果一致<sup>[7]</sup>。

本研究发现,植物种子对烟熏响应根据物种的不同而不同,即使来自同一科。与对干热激的响应一致,绣线菊种子的萌发率和活性在烟熏处理后显著提高( $P<0.05$ ) (表 7,8),表明烟熏显著刺激了绣线菊种子萌发。对珍珠梅和金露梅种子而言,烟熏处理对种子平均萌发时间的影响比对萌发率的影响更显著(表 1,2);与对照相比,种子平均萌发时间在烟熏处理后显著延长( $P<0.05$ ) (表 7,8),表明烟熏显著降低了珍珠梅和金露梅种子的活性。

火后裸地中种子萌发率高、活性强的物种能率先占据资源,从而在群落竞争中拥有优势。由于林火产物可能改变植物种子的萌发,影响火后植被的更新与恢复,并最终可能改变植物群落物种的组成。因此在推广使用计划火烧等相关技术前,有必要充分评估目标区域植被对林火产物的响应。本文的研究结果证明,热激和烟熏对三种蔷薇科灌木种子萌发的影响是不同的。在现实的林火环境中,高温和植物燃烟可能是同时发生、相互影响的;而且林火产物也不止这两种,未来应进一步展开其他林火产物以及林火产物之间的交互作用对种子萌发影响的研究。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 郑焕能, 胡海清. 火在森林生态系统平衡中的影响. 东北林业大学学报, 1990, 18(1): 8-13.
- [ 2 ] Brown N A C, Van Staden J. Smoke as a germination cue: a review. Plant Growth Regulation, 1997, 22(2): 115-124.
- [ 3 ] DeBano L F. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. Journal of Hydrology, 2000, 231-232: 195-206.
- [ 4 ] DeBano L F, Neary D G, Ffolliott P F. Soil physical properties // Neary D G, Ryan K C, DeBano L F eds. Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soil and Water. Ogden, UT: USDA Forest Service, 2005: 29-51.
- [ 5 ] Valbuena L, Tarrega R, Luis E. Influence of heat on seed germination of *Cistus laurifolius* and *Cistus ladanifer*. International Journal of Wildland Fire, 1992, 2(1): 15-20.
- [ 6 ] Campbell G S, Jungbauer Jr J D, Bidlake W R, Hungerford R D. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. Soil Science, 1994, 158(5): 307-313.
- [ 7 ] King R A, Menges E S. Effects of heat and smoke on the germination of six Florida scrub species. South African Journal of Botany, 2018, 115: 223-230.
- [ 8 ] Núñez M R, Calvo L. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. Forest Ecology and Management, 2000, 131(1-3): 183-190.
- [ 9 ] Hanley M E, Fenner M, Ne'eman G. Pregermination heat shock and seedling growth of fire-following *Fabaceae* from four Mediterranean-climate regions. Acta Oecologica, 2001, 22(5-6): 315-320.
- [ 10 ] Ribeiro L C, Borghetti F. Comparative effects of desiccation, heat shock and high temperatures on seed germination of savanna and forest tree species. Austral Ecology, 2014, 39(3): 267-278.
- [ 11 ] Rivas M, Reyes O, Casal M. Influence of heat and smoke treatments on the germination of six leguminous shrubby species. International Journal of Wildland Fire, 2006, 15(1): 73-80.
- [ 12 ] Gashaw M, Michelsen A. Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. Plant Ecology, 2002, 159(1): 83-93.
- [ 13 ] Clarke P J, Lawes M J, Midgley J J, Lamont B B, Ojeda F, Burrows G E, Enright N J, Knox K J E. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. New Phytologist, 2013, 197(1): 19-35.
- [ 14 ] Moreira B, Tormo J, Estrelles E, Pausas J G. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. Annals of Botany, 2010, 105(4): 627-635.
- [ 15 ] Schwachtje J, Baldwin I T. Smoke exposure alters endogenous gibberellin and abscisic acid pools and gibberellin sensitivity while eliciting germination in the post-fire annual, *Nicotiana attenuata*. Seed Science Research, 2004, 14(1): 51-60.
- [ 16 ] Burger B V, Pošta M, Light M E, Kulkarni M G, Viviers M Z, Van Staden J. More butenolides from plant-derived smoke with germination inhibitory activity against karrikinolide. South African Journal of Botany, 2018, 115: 256-263.
- [ 17 ] Naghipour A A, Bashari H, Khajeddin S J, Tahmasebi P, Irvani M. Effects of smoke, ash and heat shock on seed germination of seven species

- from Central Zagros rangelands in the semi-arid region of Iran. *African Journal of Range & Forage Science*, 2016, 33(1): 67-71.
- [18] 谷会岩, 蒋克研, 张芸慧, 王顺忠, 陈祥伟. 热激对大兴安岭三种松科树种种子萌发的影响. *生态学报*, 2017, 37(19): 6581-6587.
- [19] 巴丽娜, 刘强, 张芸慧, 王顺忠, 谷会岩. 烟熏、热激、火烧灰对大青杨种子萌发的影响. *东北林业大学学报*, 2018, 46(6): 27-32, 68.
- [20] 孙菊, 李秀珍, 王宪伟, 吕久俊, 李宗梅, 胡远满. 大兴安岭冻土湿地植物的生态特征及分布区型. *生态学杂志*, 2010, 29(6): 1061-1067.
- [21] 周以良. 中国大兴安岭植被. 北京: 科学出版社, 1991: 64-65.
- [22] 周以良, 乌弘奇, 陈涛, 郑元瑞. 按植物群落生态学特性, 加速恢复大兴安岭火烧迹地的森林. *东北林业大学学报*, 1989, 17(3): 1-10.
- [23] Reyes O, Casal M. Seed germination of *Quercus robur*, *Q. pyrenaica* and *Q. ilex* and the effects of smoke, heat, ash and charcoal. *Annals of Forest Science*, 2006, 63(2): 205-212.
- [24] Carrington M E. Effects of soil temperature during fire on seed survival in Florida sand pine scrub. *International Journal of Forestry Research*, 2010, 2010: 1-10.
- [25] Keeley J E, Bond W J. Convergent seed germination in South African fynbos and Californian chaparral. *Plant Ecology*, 1997, 133(2): 153-167.
- [26] Jaureguiberry P, Díaz S. Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock. *Oecologia*, 2015, 177(3): 689-699.
- [27] Webster R E, Waterworth W M, Stuppy W, West C E, Ennos R, Bray C M, Pritchard H W. Biomechanical, biochemical, and morphological mechanisms of heat shock-mediated germination in *Carica papaya* seed. *Journal of Experimental Botany*, 2016, 67(22): 6373-6384.