热激对大兴安岭桦木科3个树种种子萌发的影响[1)]

蒋克研 张芸慧
(东北林业大学凉水实验林场,黑龙江省·带岭,153106) (东北林业大学帽儿山实验林场)

刘强 王顺忠 谷会岩
(黑龙江省大兴安岭地区营林局) (植被与环境变化国家重点实验室(中国科学院植物研究所)) (东北林业大学)

摘 要 采用热激处理方法(热激温度为80、100、120、150 ℃,每个热激温度的处理时间为1、3、5、10 min)对大兴安岭的白桦(*Betula platyphylla*)、毛赤杨(*Alnus sibirica*)、柴桦(*Betula fruticosa*)3个树种种子进行热激处理,研究热激处理对种子萌发的影响。结果表明:与对照相比,白桦种子在120、150 ℃高强度热激处理下,萌发速率指数显著下降($P<0.05$),热激主要抑制白桦种子的萌发速度。与对照相比,毛赤杨种子在80 ℃热激1、5 min,萌发率显著提高($P<0.05$);在80 ℃热激1 min、100 ℃热激5 min,萌发速率指数显著提高($P<0.05$);在120 ℃热激5 min,萌发率显著下降($P<0.05$);在120 ℃热激5、10 min,150 ℃热激1、3 min,萌发速率指数显著下降($P<0.05$);短时间(1、3、5 min)轻度热激(80、100 ℃)会促进毛赤杨种子萌发,高强度热激(120、150 ℃)会抑制毛赤杨种子萌发。与对照相比,柴桦种子,在80 ℃热激10 min,萌发速率指数显著提高($P<0.05$),轻度热激可提高柴桦种子的萌发速度。

关键词 热激;白桦;毛赤杨;柴桦;种子萌发;大兴安岭
分类号 S722.1

Effect of Heat Shock on Seed Germination of Three *Betulaceae* Species in Daxing'an Mountains//Jiang Keyan(Liangshui Nature Reserve of Northeast Forestry University, Dailing 153106, P. R. China); Zhang Yunhui(Maoershan Experimental Forest Farm, Northeast Forestry University); Liu Qiang(Bureau of Silviculture in Daxing'an Mountains); Wang Shunzhong(State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences); Gu Huiyan(Northeast Forestry University)//Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(6): 23-26.

Heat shock treatments (heat shock temperature range of 80 ℃, 100 ℃, 120 ℃, and 150 ℃ for different exposure times of 1, 3, 5, and 10 min) were adopted to treat seeds of *Betula platyphylla*, *Alnus sibirica*, *B. fruticosa* in Daxing'an Mountains, for studying the effect of heat shock on seed germination. Compared with CK, the germination velocity index of *B. platyphylla* was significantly decreased ($P<0.05$) subjected to 120 ℃ and 150 ℃ high intensity heat shock treatments, and the heat shock mainly inhibited germination speed. Compared with CK, the germination rate of *A. sibirica* seed was stimulated significantly ($P<0.05$) by 80 ℃ for 1 and 5 min, germination velocity index was stimulated significantly ($P<0.05$) by 80 ℃ for 1 min and 100 ℃ for 5 min, germination rate was inhibited significantly ($P<0.05$) by 120 ℃ for 5 min, germination velocity index exhibited significant decrease ($P<0.05$) under 120 ℃ for 5 and 10 min, and 150 ℃ for 1 and 3 min treatments, and light intensity heat shock (80 ℃ and 100 ℃) for short exposure times (1, 3, and 5 min) stimulated seed germination of *A. sibirica*, high intensity (120 ℃ and 150 ℃) heat shock inhibited seed germination of *A. sibirica*. Compared with CK, germination velocity index of *B. fruticosa* presented a significant increase ($P<0.05$) under 80 ℃ for 10 min, and the light intensity heat shock stimulated *B. fruticosa* seed germination speed.

Keywords Heat shock; *Betula platyphylla*; *Alnus sibirica*; *Betula fruticosa*; Seed germination; Daxing'an Mountains
DOI:10.13759/j.cnki.dlxb.2018.06.005

火影响着包括森林生态系统在内的多种类型生态系统,对植物群落结构的形成起到了至关重要的作用[1-2],现已成为世界范围内生态系统的主要干扰机制[3],林火多发生态系统内的植物可以通过自身进化获得抵抗低强度林火的特性[4-5]。在林火多发生态系统的植物群落中,植物种子的萌发会受到各种与火相关因子的影响[6],甚至某些物种的种子只有依赖这些因子才能打破休眠[2],在这些因子中,高温是主要的因子之一。早期的研究表明,在缺乏火干扰的地区,种子逐渐解除休眠状态是由于白天热量的波动引起了种皮的破裂,使种子能够与水分和空气充分接触[7];当一些豆科植物处于萌发率最小的温度时,之后逐渐将温度提高到致死的临界值,在这个温度范围内,萌发率始终保持提高趋势[8]。经过多年的研究,目前学者们普遍认为高温能破坏覆盖在种子上的不可渗透性膜,从而促使种子对水分的吸收进而萌发[9-10]。热激是实验室模拟林火产生高温的主要方式,热激温度集中在60~120 ℃之间[11]。不同物种间承受高温的能力以及温度变化提高种子萌发的原因与种子自身特点有关,包括种皮的坚硬程度、种子含水量、种子的大小、形状

1) 国家自然科学基金项目(31370610)。
第一作者简介:蒋克研,男,1990年9月生,东北林业大学凉水实验林场,助理工程师。E-mail:1153554508@qq.com。
通信作者:刘强,东北林业大学帽儿山实验林场,高级工程师。E-mail:1832496495@qq.com。
谷会岩,东北林业大学林学院,副教授。E-mail:ghuiyan@nefu.edu.cn。
收稿日期:2018年1月9日。
责任编辑:张 玉。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

或质量[12]，因此，在热激处理下，不同植物种子的萌发对热激的响应不同。

大兴安岭地区林火轮回期较短，最长110~120 a，最短为15~20 a[13]。森林生态系统属于林火多发生态系统范畴，目前主要的研究地区集中在地中海气候地区[14-16]、澳大利亚[17-18]、南美[19-20]、非洲[21-22]，国内关于此方面的研究较少，因此开展关于热激对种子萌发影响的研究具有重要意义。本文采用热激处理方法(热激温度为80、100、120、150 ℃，每个热激温度的处理时间为1、3、5、10 min)对大兴安岭的白桦(*Betula platyphylla*)、毛赤杨(*Alnus sibirica*)、柴桦(*Betula fruticosa*)3个树种种子进行热激处理，分析热激处理对种子萌发的影响，旨在为探究林火过后大兴安岭植物群落演替变化机制提供参考。

1 材料与方法

本研究以白桦、毛赤杨、柴桦种子为研究对象，种子采自于大兴安岭南瓮河湿地国家级自然保护区(东经125°1′42″~125°50′3″，北纬50°59′56″~51°39′37″)。将种子带回实验室后在冰箱中-4 ℃保存备用。

用0.5%的高锰酸钾溶液对种子进行消毒10 min，用蒸馏水冲洗后晾干。将种子分别放入预热到80、100、120、150 ℃的烘箱中，在每个温度下分别热激处理1、3、5、10 min，共16组热激处理。

每组热激处理取30粒饱满的种子，放入垫有2层滤纸的9 cm培养皿中，滴入足够的蒸馏水使滤纸完全湿润，以此组成一个重复，每组热激处理由4个重复组成。将所有重复放入BIC-300人工气候箱中，培养条件设置为光照25 ℃ 10 h、黑暗17 ℃ 14 h，持续培养，胚根出现1 mm以上视为萌发[23]，移出培养皿；同时统计萌发种子数量，每天统计1次，直至所有重复在2周内没有萌发种子出现为止。对照组(无热激)培养条件与处理组培养条件相同。

利用EXCEL2003汇总数据并计算萌发率和萌发速率指数。萌发率=$(\sum(n_i/N))\times100\%$，萌发速率指数=$\sum(n_i/t_i)$[24]。式中：N为每个重复中的种子总数，n_i为第i天萌发的种子数量，t_i为第i天。

利用SPSS19.0的Duncan分析法，对热激后3种桦木科树种种子的萌发率和萌发速率指数进行单因素方差分析和双因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 热激处理对3个树种种子萌发率的影响

与对照相比，经热激处理的白桦种子，除150 ℃×10 min处理下种子萌发率为0外，其他处理下种子萌发率没有出现显著性差异(见表1)；80 ℃热激1、3、5 min，100 ℃热激3、5 min，120 ℃热激3 min，种子萌发率有提高的趋势；80 ℃热激10 min，100 ℃热激1、10 min，120 ℃热激1、5、10 min，150 ℃热激1、3、5 min，种子萌发率呈下降趋势；在150 ℃热激10 min处理下，种子萌发率为0。双因素方差分析表明(见表2)，温度、时间、温度×时间对白桦种子萌发率有显著影响($P<0.05$)。

比较热激处理与对照处理的毛赤杨种子萌发率(见表1)，可以看出，80 ℃热激1、5 min种子萌发率显著提高($P<0.05$)；80 ℃热激3 min，100 ℃热激3、5 min，120 ℃热激1 min，150 ℃热激1、3 min，种子萌发率有提高趋势；100 ℃热激1、10 min，120 ℃热激3、10 min，种子萌发率有下降趋势；120 ℃热激5 min，种子萌发率显著下降($P<0.05$)；150 ℃热激5、10 min，种子萌发率为0。双因素方差分析发现(见表2)，温度、时间、温度×时间对毛赤杨种子萌发率有显著影响($P<0.05$)。

比较热激处理与对照处理柴桦种子萌发率发现(见表1)，除150 ℃热激10 min种子萌发率为0外，在所有处理下的种子萌发率和对照没有显著差异；80 ℃热激1、10 min，100 ℃热激1、3、5 min，120 ℃热激1、3、5、10 min，150 ℃热激5 min，种子萌发率有提高的趋势。从双因素方差分析(见表2)可看出，温度、温度×时间对柴桦种子萌发率有显著影响($P<0.05$)。

表1 3个树种经不同热激处理种子萌发率的差异

热激处理	白桦种子萌发率/%	毛赤杨种子萌发率/%	柴桦种子萌发率/%
CK	(83.33±8.16) abcd	(15.00±4.30) de	(5.00±1.92) a
80 ℃×1 min	(88.33±7.93) ab	(30.00±4.71) a	(7.50±1.67) a
80 ℃×3 min	(88.33±4.30) ab	(17.50±5.69) cd	(5.00±1.92) a
80 ℃×5 min	(73.33±8.60) bcd	(27.50±6.31) a	(5.00±1.92) a
80 ℃×10 min	(87.50±11.67) ab	(15.00±5.93) de	(7.50±1.67) a
100 ℃×1 min	(70.83±7.39) cd	(9.17±5.00) e	(5.83±3.18) a
100 ℃×3 min	(93.33±2.72) a	(20.83±3.19) bcd	(5.83±1.67) a
100 ℃×5 min	(93.33±2.72) a	(24.17±7.39) bcd	(7.50±1.67) a
100 ℃×10 min	(81.67±7.93) abcd	(8.33±3.33) e	(4.17±1.67) a
120 ℃×1 min	(69.17±6.87) d	(20.00±3.85) cd	(5.83±3.19) a
120 ℃×3 min	(85.83±7.39) abc	(12.50±1.67) de	(5.83±1.67) a
120 ℃×5 min	(68.33±14.78) d	(5.00±1.92) f	(5.83±1.67) a
120 ℃×10 min	(82.50±15.96) abcd	(14.17±3.19) de	(6.67±2.72) a
150 ℃×1 min	(77.50±11.98) abcd	(16.67±6.08) d	(4.17±1.67) a
150 ℃×3 min	(76.67±9.81) bcd	(16.67±2.72) d	(5.00±1.92) a
150 ℃×5 min	(70.00±15.15) d	—	(7.50±3.19) a
150 ℃×10 min	—	—	—

注：表中数据为“平均值±标准差”；同列数据后，不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　3 个树种经热激处理种子萌发率的双因素方差分析

热激处理	白桦		毛赤杨		柴桦	
	F 值	*P* 值	*F* 值	*P* 值	*F* 值	*P* 值
温度	32.156	0	27.070	0	3.292	0.028
时间	16.000	0	13.216	0	2.243	0.094
温度×时间	19.169	0	11.654	0	3.432	0.002

2.2　热激处理对 3 个树种种子萌发速率指数的影响

从表 3 中可以看出,白桦种子经热激处理与对照相比,除 150 ℃热激 10 min 种子萌发速率指数为 0 外,80 ℃热激 5 min、100 ℃热激 1 min、120 ℃和 150 ℃的所有处理白桦种子萌发速率指数显著下降($P<0.05$) ; 80 ℃热激 1、3、10 min,100 ℃热激 3、5 min,种子萌发速率指数有提高的趋势。双因素方差分析(见表 4) 可以看出,温度、时间、温度×时间对白桦种子萌发速率指数有显著影响($P<0.05$) 。

表 3　3 个树种经不同热激处理种子萌发速率指数的差异

热激处理	白桦种子萌发速率指数	毛赤杨种子萌发速率指数	柴桦种子萌发速率指数
CK	(6.67±0.74) ab	(0.71±0.29) cde	(0.19±0.08) bc
80 ℃×1 min	(7.06±0.68) a	(1.35±0.50) a	(0.25±0.06) ab
80 ℃×3 min	(7.03±0.41) a	(0.75±0.20) bcde	(0.24±0.05) abc
80 ℃×5 min	(5.67±0.60) cd	(1.11±0.24) def	(0.23±0.04) abc
80 ℃×10 min	(6.88±0.97) a	(0.61±0.28) cde	(0.33±0.06) a
100 ℃×1 min	(5.33±0.54) cde	(0.42±0.24) ef	(0.26±0.08) ab
100 ℃×3 min	(7.28±0.30) a	(0.98±0.17) abc	(0.24±0.06) abc
100 ℃×5 min	(6.97±0.14) a	(1.15±0.48) ab	(0.25±0.03) ab
100 ℃×10 min	(5.91±0.28) bc	(0.16±0.09) f	(0.15±0.04) bc
120 ℃×1 min	(4.68±0.62) e	(0.86±0.28) bcde	(0.19±0.06) bc
120 ℃×3 min	(5.46±0.35) cde	(0.55±0.19) def	(0.18±0.08) bc
120 ℃×5 min	(4.72±0.84) de	(0.17±0.04) f	(0.16±0.05) bc
120 ℃×10 min	(4.88±1.26) de	(0.51±0.11) def	(0.22±0.07) abc
150 ℃×1 min	(2.97±0.36) f	(0.55±0.12) def	(0.17±0.05) abc
150 ℃×3 min	(2.38±0.25) g	(0.47±0.11) def	(0.12±0.04) c
150 ℃×5 min	(1.63±0.29) g		(0.18±0.05) bc
150 ℃×10 min	—	—	—

注: 表中数据为“平均值±标准差”; 同列数据后,不同字母表示差异显著($P<0.05$) 。

从毛赤杨种子的热激处理与对照处理比较中发现(见表 3) ,80 ℃热激 1 min、100 ℃热激 5 min,种子萌发速率指数显著提高($P<0.05$) ; 80 ℃热激 3、5 min,100 ℃热激 3 min,120 ℃热激 1 min,种子萌发速率指数有提高的趋势; 100 ℃热激 10 min、120 ℃热激 5 min,种子萌发速率指数显著下降($P<0.05$) ; 除 150 ℃热激 5、10 min 种子萌发速率指数为 0 外,150 ℃热激 1、3 min 均没有显著差异。双因素方差分析表明(见表 4) ,温度、时间、温度×时间对毛赤杨种子萌发速率指数有显著影响($P<0.05$) 。

柴桦种子同类对比表明(见表 3) ,150 ℃热激 10 min 种子萌发速率指数为 0,80 ℃热激 10 min 种子萌发速率指数显著提高($P<0.05$) ; 80 ℃热激 1、3、5 min,100 ℃热激 1、3、5 min,种子萌发速率指数均有提高的趋势; 150 ℃热激 3 min 种子萌发速率指数显著下降($P<0.05$) ; 其他所有处理,种子萌发速率指数呈下降趋势。从双因素方差分析结果发现(见表 4) ,温度、温度×时间对柴桦种子萌发速率指数有显著影响($P<0.05$) ; 温度对柴桦种子萌发速率指数的影响最大,说明高于 100 ℃的高温热激会抑制柴桦种子萌发速度。

表 4　3 个树种经热激处理种子萌发速率指数的双因素方差分析

热激处理	白桦		毛赤杨		柴桦	
	F 值	*P* 值	*F* 值	*P* 值	*F* 值	*P* 值
温度	221.651	0	22.037	0	12.787	0.028
时间	9.765	0	10.663	0	1.017	0.393
温度×时间	7.889	0	7.070	0	2.932	0.007

3　结论

除 150 ℃热激 10 min 白桦种子萌发率为 0 外,热激对白桦种子萌发率没有显著影响,对萌发速度影响较大,在 120、150 ℃高强度热激处理下白桦种子萌发速率指数显著下降($P<0.05$) ; 热激温度对白桦种子的萌发影响较大,在高强度热激下种子萌发速度下降,说明白桦可以承受低强度和短时间高强度热激(150 ℃) ,但在高强度热激下种子萌发时间延长或致死(见表 2、表 4) 。

除 150 ℃热激 5、10 min 毛赤杨种子萌发率为 0 外,80 ℃热激 1、5 min 毛赤杨种子萌发率显著提高($P<0.05$) ,80 ℃热激 1 min、100 ℃热激 5 min 毛赤杨种子萌发速率指数显著提高($P<0.05$) ,说明短时间轻度热激对毛赤杨种子萌发有促进作用。120 ℃热激 5 min 毛赤杨种子萌发率显著下降($P<0.05$) ; 120 ℃热激 5、10 min,150 ℃热激 1、3 min,毛赤杨种子萌发速率指数显著下降($P<0.05$) 。热激温度对毛赤杨种子萌发的影响稍大于热激时间,说明随着热激温度的升高,高强度热激会抑制毛赤杨种子萌发率和萌发速度,长时间高强度会导致其致死(见表 2、表 4) 。

除 150 ℃热激 10 min 柴桦种子萌发率为 0 外,热激处理下柴桦种子萌发率没有显著变化; 80 ℃热激 10 min 柴桦种子萌发速率指数显著提高($P<0.05$) 。热激温度对柴桦种子萌发的影响大于热激时间,说明轻度热激可以提高柴桦种子的萌发速度,柴桦种子可以承受较长时间的热激,低强度热激可以促进柴桦种子的萌发速度; 但长时间(10 min) 高强度热激(150 ℃) 会使其致死(见表 2、表 4) 。

参　考　文　献

[1]　ARCHIBALD S, LEHMANN C E R, GÓMEZ-DANS J L, et al.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Defining pyromes and global syndromes of fire regimes [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2013,110(16):6442-6447.

[2] RAWSON T, DAVIES R, WHALEN M, et al. Fire-related cues and germination from the soil seed bank of senescent remnants of mallee vegetation on Eastern Kangaroo Island [J]. Austral Ecology,2013,38(2):139-151.

[3] BOND W J, WOODWARD F I, MIDGLEY G F. The global distribution of ecosystems in a world without fire [J]. New Phytologist, 2005,165(2):525-537.

[4] PLATT W J, EVANS G W, DAVIS M M. Effects of fire season on flowering of forbs and shrubs in longleaf pine forests [J]. Oecologia,1988,76(3):353-363.

[5] KEELEY J E, PAUSAS J G, RUNDEL P W, et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits [J]. Trends in Plant Science,2011,16(8):406-411.

[6] GONZALEZ S L, GHERMANDI L. Fire cue effects on seed germination of six species of northwestern Patagonian grasslands [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences,2012,12(9):2753-2758.

[7] BASKIN C C, BASKIN J M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination [M]. San Diego, CA, USA: Academic Press,1998.

[8] AULD T D, O'CONNELL M A. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae [J]. Austral Ecology,1991,16(1):53-70.

[9] KEELEY J E, FOTHERINGHAM C J. Role of fire in regeneration from seed [M] //FENNER M. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities. Wallingford: CABI,2000:311-330.

[10] ZULOAGA-AGUILAR S, BRIONES O, OROZCO-SEGOVIA A. Seed germination of montane forest species in response to ash, smoke and heat shock in Mexico [J]. Acta Oecologica,2011,37(3):256-262.

[11] 谷会岩,蒋克研,张芸慧,等.热激对大兴安岭三种松科树种种子萌发的影响[J].生态学报,2017,37(19):6581-6587.

[12] WIGGERS M S, HIERS J K, BARNETT A, et al. Seed heat tolerance and germination of six legume species native to a fire-prone longleaf pine forest [J]. Plant Ecology,2017,218(2):151-171.

[13] 郑焕能,贾松青,胡海清.大兴安岭林区的林火与森林恢复[J].东北林业大学学报,1986,14(4):1-7.

[14] KEELEY J E, BABR-KEELEY M. Role of charred wood, heat-shock, and light in germination of postfire phrygana species from the eastern Mediterranean basin [J]. Israel Journal of Plant Sciences,1999,47(1):11-16.

[15] LUNA B, MORENO J M, CRUZ A, et al. Heat-shock and seed germination of a group of Mediterranean plant species growing in a burned area: an approach based on plant functional types [J]. Environmental and Experimental Botany,2007,60(3):324-333.

[16] ZUPO T, BAEZA M J, FIDELIS A. The effect of simulated heat-shock and daily temperature fluctuations on seed germination of four species from fire-prone ecosystems [J]. Acta Botanica Brasilica,2016,30(3):514-519.

[17] BELL D T, ROKICH D P, MCCHESNEY C J, et al. Effects of temperature,light and gibberellic acid on the germination of seeds of 43 species native to Western Australia [J]. Journal of Vegetation Science,1995,6(6):797-806.

[18] THOMAS P B, MORRIS E C, AULD T D. Interactive effects of heat shock and smoke on germination of nine species forming soil seed banks within the Sydney region [J]. Austral Ecology,2003, 28(6):674-683.

[19] KIN A G, SUÁREZ C E, CHIRINO C C, et al. Impact of heat on seed germination of three perennial grasses in the semiarid region in Central Argentina [J]. Australian Journal of Botany, 2016,64(5):451-455.

[20] RIBEIRO L C, PEDROSA M, BORGHETTI F. Heat shock effects on seed germination of five Brazilian savanna species [J]. Plant Biology,2013,15(1):152-157.

[21] DAYAMBA S D, TIGABU M, SAWADOGO L, et al. Seed germination of herbaceous and woody species of the Sudanian savanna-woodland in response to heat shock and smoke [J]. Forest Ecology and Management,2008,256(3):462-470.

[22] GASHAW M, MICHELSEN A. Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia [J]. Plant Ecology,2002,159(1):83-93.

[23] MOREIRA B, TORMO J, ESTRELLES E, et al. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora [J]. Annals of Botany,2010,105(4):627-635.

[24] JAUREGUIBERRY P, DÍAZ S. Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock [J]. Oecologia, 2015, 177(3):689-699.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net