烟熏、热激、火烧灰对大青杨种子萌发的影响[1)]

巴丽娜 (东北林业大学,哈尔滨,150040)
刘强 (东北林业大学帽儿山实验林场)
张芸慧 (黑龙江省大兴安岭地区营林局)
王顺忠 (植被与环境变化国家重点实验室(中国科学院植物研究所))
谷会岩 (东北林业大学)

摘 要 采用烟熏、热激、火烧灰3种因素的单因素处理、两两组合双因素交互以及三因素组合的处理方法,对大青杨(*Populus ussuriensis*)种子进行处理(热激温度分别为70、90、110 ℃,每个温度下热激时间和烟熏时间分别为5、10、15 min,每个处理下火烧灰的用量为0.5、1.0、1.5 g),分析林火产物烟熏、热激、火烧及其交互作用对大青杨种子萌发的影响。结果表明:烟熏与对照以及其他6组处理相比,种子萌发率最高,其中单独烟熏10 min种子萌发率最高(64%),高出对照23%;在单因素处理和与其他因素交互处理对比中,烟熏均表现出显著的促进作用,但与热激交互作用时受到热激因素的抑制影响。热激明显抑制种子萌发,单独热激处理和与其他因素交互处理的种子萌发率均低于27%;单独热激处理,在对照和全部7个处理中种子萌发率最低(22%),其中在110 ℃下热激5 min时种子萌发率为0,并且在与其他因素交互作用时表现出主要的抑制效果。火烧灰处理,与对照组相比表现出促进作用,随着火烧灰用量的增高,种子萌发率随之增高,但与热激交互作用时同样受到热激因素的抑制影响。林火产物烟熏、热激、火烧灰及其交互作用,对大青杨种子萌发的影响存在差异,热激表现出抑制作用,而烟熏、火烧灰表现出促进作用。

关键词 林火;烟熏;热激;火烧灰;大青杨;种子萌发
分类号 S722.1

Effect of Smoke, Heat Shock and Ash on Seed Germination of *Populus ussuriensis* //Ba Lina(Northeast Forestry University, Harbin 150040, P. R. China); Liu Qiang(Maoershan Experimental Forest Farm, Northeast Forestry University); Zhang Yunhui(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): 27-32, 68.

Populus ussuriensis seeds were treated with single factor treatment of three factors of smoked, heat shock and fire ash, two-factor combination of two-factor combination and three-factor combination (the heat shock temperature was 70 ℃, 90 ℃, 110 ℃, heat shock time and fuming time at each temperature were 5, 10, 15 min, the dosage of fire ash under each treatment was 0.5, 1.0, 1.5 g). We studied the effects of fire products smoked, heat shock of fire and interaction on germination of poplar seeds. The highest germination rate was obtained when compared with the control and the other six treatments, the highest germination percentage (64%) of smoked seeds for 10 min was found, which was 23% higher than that of the control, in single factor treatment and interaction with other factors. In contrast, smoking showed a significant role in promoting, but the interaction with heat shock by the inhibition of heat shock factors. Heat shock significantly inhibited seed germination, seed germination rates were both below 27% for heat shock alone and for interaction with other factors, and the seed germination was the lowest (22%) in control and all seven treatments with heat shock alone. The seed germination rate was 0 at 110 ℃ for 5 min, and showed a major inhibitory effect on interaction with other factors. Fire ash treatment showed a promoting effect compared with the control group. With the increase of fire ash content, the seed germination rate was increased, but the interaction with heat shock was also affected by the inhibition of heat shock factors. The effects of smoke, heat shock, ash burning and their interactions on the germination of *Populus ussuriensis* seedlings were different, and heat shock showed inhibitory effect, while smoke and fire ash showed a promoting effect.

Keywords Forest fire; Smoke; Heat shock; Fire ash; *Populus ussuriensis*; Seeds germination

DOI:10.13759/j.cnki.dlxb.2018.06.006

在森林生态系统中,种子的萌发过程除了与自身内部因素影响有关之外,还易受到外界环境因素影响,这些因素包括气候因素、环境胁迫、动物、植物、微生物、人为干扰、自然灾害等[1]。林火是森林生态环境中重要的干扰因子,也直接或间接影响植物种子的萌发。林火衍生而来的火产物包括烟、热量、火烧灰等,这些因素成为了研究种子萌发的外部影响因素。国内外学者对于不同国家、地区的不同物种种子进行了林火对种子萌发影响的研究。研究发现,火对于种子萌发和林下更新有促进作用,物种经过火烧后个体的数量必须从该物种种子萌发来补充[2]。林火可以增加资源可用性和减少竞争,使得发生火灾后的生态系统成为该物种适合萌发条件的栖息地[3]。R. Paradelol et al.[4]对西班牙过火林区的土壤分析研究也发现,火在一定程度上有助于种

1) 国家自然科学基金项目(31370610)。
第一作者简介:巴丽娜,女,1990年3月生,东北林业大学林学院,硕士研究生。E-mail: ttdl@163.com。
通信作者: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

子萌发。S. L. Gonzalez et al.[5] 对巴塔哥尼亚草原西北部的6种物种种子研究发现,火可以打破种子休眠,从而增加萌发率。而 B. Moreira et al.[6] 对地中海盆地区系植物种子研究发现,烟可以打破种子休眠,并且提高萌发率,部分植物种子表现出萌发时强烈依赖于烟。刘发林[7] 在研究草木灰对4种松属种子发芽和幼苗生长的影响中发现,4种物种的种子经过草木灰处理与对照组相比,萌发率降低,并且呈现随着灰含量的增加而降低的趋势。李昱鹏等[8] 在研究草木灰对魔芋发芽率的影响时发现,草木灰具有杀菌作用,并且可以改善土壤的物理性质,增加了种子萌发率,显著提高了魔芋种子出苗率。总之,物种萌发对林火产物的反应各不相同,因此,火烧影响火后更新物种的组成[9]。

我国大兴安岭地区是林火高发区域[10]。该区的森林与北美、北欧的北方针叶林有许多相似之处,经常有规律地发生火灾,其发生、发展及演替都与林火密切相关[11-13]。当前开展的火对植物影响的研究,主要集中在火行为、火烧对植物群落结构等影响和对火生态研究的宏观分析等方面[1,14-15],目的是减少因火造成的损失和评价火灾的程度[16],缺少林火产物对植物生理生态效应方面的深入研究。因此,研究林火多发地区,林火是否影响该区植物种子萌发有重要意义。本文采用烟熏、热激、火烧灰3种因素的单因素处理、两两组合双因素交互以及三因素组合的处理方法,对大兴安岭南坡的树种大青杨(*Populus ussuriensis*)种子进行处理,分析林火产物烟熏、热激、火烧及其交互作用对大青杨种子萌发的影响。

1 材料和方法

1.1 种子采集

种子的采集地位于大兴安岭南坡的南翁河湿地国家级自然保护区。南瓮河自然保护区位于大兴安岭东部林区东南部,大兴安岭支脉伊勒呼里山南麓,北以伊勒呼里山脉为界与新林林业局相邻,东以二根河为界与呼玛县林业局相望,南与加格达奇林业局毗邻,西与松岭林业局接壤。地理坐标为东经125°1′42″~125°50′3″,北纬50°59′56″~51°39′37″。南北长约72.7 km,东西宽约57.3 km。保护区总面积为229.523 hm^2[17]。2016年6月采集了大青杨(*Populus ussuriensis*)的种子,种子从至少10株健康成熟大青杨上采集。采集后去除所有种子附属物,在冰箱中-4 ℃保存备用。

1.2 实验方法

实验采用烟熏(S)、热激(H)、火烧灰(A)3种因素的单因素处理、两两组合双因素交互以及三因素组合的处理方法,对大青杨种子进行处理,并设计1个对照(CK)组。烟熏(S)处理,以S时间为指标选取3种水平,共有3个S处理。热激(H),以热激温度和热激时间两个水平交互为指标,分别选取3种水平,共有9个H处理。火烧灰(A),以火烧灰数量为指标选取3个水平,共有3个A处理。烟熏和热激(S+H)双因素交互处理组合共有27个,烟熏和火烧灰(S+A)双因素交互处理组合共有9个,火烧灰和热激(A+H)双因素交互处理组合共有27个;烟熏、热激、火烧灰(S+A+H)3因素组合处理共有81个;CK和S、H、A三种因素处理的全部处理总计160个。

烟熏试验:采用 Roche et al.[18] 烟熏方法,使用烟熏装置对大青杨种子的主要烟熏试验。烟熏装置由发烟器、冷却管和1个烟雾处理室构成。烟熏试验开始之前,将种子隔离,避免空气中散发出烟雾接触种子;检查烟熏装置蜂用发烟器、冷凝管、烟雾处理室的连接密闭性;然后,将作为烟雾燃料的干燥白桦叶和兴安落叶松叶凋落物混合均匀,放入蜂用发烟器内点燃,不断推动蜂用发烟器风箱,保持凋落物持续燃烧,直至烟雾从发烟器扩散至烟雾处理室内,致使烟雾处理室内充满烟雾;迅速将准备好的大青杨种子放入烟雾处理室内开始处理,并且计时。烟熏处理水平分别为5 min(S_1)、10 min(S_2)、15 min(S_3),单因素烟熏处理的种子和进行S+H试验以及S+A+H三因素结合处理试验的种子,必须同一批次进行S试验。进行S+H双因素交互处理试验以及S+A+H三因素组合处理试验的种子,处理顺序分别为S→H和S→H、H→A。

热激试验:热激试验采用的装置为烘箱。热激为2个水平的交互处理,既热激温度和热激时间的组合,全部水平组合共有9个,分别为70 ℃ 5 min(H_{11})、70 ℃ 10 min(H_{12})、70 ℃ 15 min(H_{13}),90 ℃ 5 min(H_{21})、90 ℃ 10 min(H_{22})、90 ℃ 15 min(H_{23})、110 ℃ 5 min(H_{31})、110 ℃ 10 min(H_{32})、110 ℃ 15 min(H_{33})。首先将用于H处理的种子分类标记,预热烘箱0.5 h,然后设定温度开始H处理。H温度需要从小到大依次进行70、90、110 ℃温度下不同时间的处理,减少实验误差。所有需要H处理的种子必须进行同一批次H,全部H试验结束后,将种子静置于避光无风处。A和A+H处理,则以S、A、S+A+H处理的种子在H过后至少静置1 h,再开始A试验。

火烧灰试验:火烧灰用的燃料是在试验地区采取的林下凋落物,主要由白桦叶片和兴安落叶松松针混合而成。试验采用明火燃烧凋落物,直至燃烧殆尽,混合搅拌燃烧完成的火烧灰,静置至室温后,

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

放入研钵研磨成粉状待用。火烧灰试验指标采用火烧灰数量,即加入培养皿的火烧灰质量。将研磨成粉状的灰再次混合均匀,用分析天平称取 0.5 g(A_1)、1.0 g(A_2)、1.5 g(A_3)作为火烧灰水平。灰要均匀的平铺在培养皿滤纸上,加入蒸馏水待用。

种子萌发试验: 对 160 个处理采用每个处理重复 3 个培养皿,每个培养皿中放入 30 粒种子,每个培养皿放入两张滤纸,160 个处理总共 480 个培养皿。种子在培养箱中进行培养,培养箱设置参数为: 25 ℃ 10 h、光照强度Ⅲ级、湿度 60%; 16 ℃ 12 h、光照强度 0、湿度 60%。记录种子萌发数。

1.3　数据处理

种子萌发试验结束后整理数据,使用 Excel2003 和 SPASS20.0 对数据进行 F 检验单因素显著性分析,采用 Duncan 法双因素显著性分析和三因素显著性分析。计算公式: 萌发率 = (n/N) ×100%,n 为萌发种子的总数,N 为每个重复中的种子总数; 发芽势 = (发芽高峰期发芽的种子数/供试种子数) ×100%。

2　结果与分析

2.1　S、H、A 及交互作用对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行单因素方差分析,并经 F 检验。S、H、A、S+H、S+A、A+H、S+A+H 差异极显著(见表 1),说明 S、H、A 及交互作用对大青杨种子萌发有明显影响。

表 1　S、H、A 交互作用对大青杨种子萌发率影响的单因素方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
组间	3.002	7	0.429	10.216**
组内	19.812	472	0.042	
总数	22.814	479		

注: **表示差异极显著($p<0.01$)。

S、H、A 及交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性比较见表 2。大青杨种子萌发率平均值最高的是所有 S 处理的平均萌发率(包括 S_1、S_2、S_3),萌发率达到 58%; 最低的是 H 处理的平均萌发率(包括 H_{11}、H_{12}、H_{13}、H_{21}、H_{22}、H_{23}、H_{31}、H_{32}、H_{33}),仅为 22%。H、S+H、A+H、S+H+A 与 CK 表现出显著差异,说明 H、S+H、A+H、S+A+H 四个处理对大青杨种子萌发有影响。而 H、A、S+A 与 CK 无差异,说明这三种处理不是主要影响大青杨种子萌发的因素。

2.2　S 处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行 S 单因素方差分析,并经 F 检验。S 单因素处理下的大青杨种子萌发率与对照相比,各处理间差异极显著(见表 3),S 对大青杨种子萌发率影响显著。

表 2　S、H、A 交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

处理	种子萌发率/%	处理	种子萌发率/%
CK	(41±5) a	S+H	(24±17) bc
S	(58±7) a	S+A	(50±24) a
H	(22±17) bc	A+H	(24±22) bc
A	(46±7) a	S+A+H	(26±22) bc

注: 表中数据为"平均值±标准差"; 数据后,同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

表 3　S 处理对大青杨种子萌发率影响的单因素方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
组间	0.083	3	0.028	7.684**
组内	0.029	8	0.004	
总变异	0.112	11		

注: **表示差异极显著($p<0.01$)。

S 对大青杨种子萌发率影响的显著性比较见表 4。所有处理中萌发率平均值最高的是 S_2(10 min),高达 64%; 萌发率最低的是 CK,41%。CK 和 S_3(15 min)间差异显著,CK 和 S_1(5 min)、S_2(10 min)之间差异不显著。

表 4　不同 S 处理时间对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

S 处理	种子萌发率/%	S 处理	种子萌发率/%
CK	(41±5) c	S_2	(64±2) a
S_1	(56±4) bc	S_3	(53±10) c

注: 表中数据为"平均值±标准差"; 数据后,同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

2.3　H 处理对大青杨种子萌发的影响

2.3.1　H 处理的大青杨种子萌发率单因素分析

对大青杨种子萌发率进行 H 单因素方差分析,并经 F 检验。H 单因素处理的大青杨种子萌发率与对照相比,H 各处理间差异极显著(见表 5),H 对大青杨种子萌发率影响显著。

表 5　H 处理对大青杨种子萌发率影响的单因素方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
组间	0.811	9	0.090	28.300**
组内	0.064	20	0.003	
总变异数	0.875	29		

注: **表示差异极显著($p<0.01$)。

H 处理对大青杨种子萌发率影响的显著性比较见表 6。所有处理中,萌发率平均值最高的是 H_{13}(70 ℃,15 min),高达 46%,比 CK 高 5%; 大青杨种子平均萌发率最低的是 H_{31}(110 ℃,5 min),萌发率为 0。CK 和 H_{11}(70 ℃,5 min)、H_{12}(70 ℃,10 min)、H_{13}(70 ℃,15 min)处理之间差异不显著,说明 H 单因素处理 70 ℃对于大青杨种子萌发率影响不明显。然而,CK 和 H_{21}(90 ℃,5 min)、H_{22}(90 ℃,10 min)、

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

H_{23}(90 ℃,15 min)、H_{31}(110 ℃,5 min)、H_{32}(110 ℃,10 min)、H_{33}(110 ℃,15 min)相比差异显著,并且H温度在90 ℃和110 ℃大青杨种子平均萌发率明显低于CK,说明H温度90 ℃和110 ℃对大青杨种子萌发有抑制作用。

表6 H处理对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

H处理	种子萌发率/%	H处理	种子萌发率/%
CK	(41±5) a	H_{22}	(6±2) cd
H_{11}	(40±7) a	H_{23}	(22±5) b
H_{12}	(41±11) a	H_{31}	(0) d
H_{13}	(46±8) a	H_{32}	(6±2) cd
H_{21}	(24±5) b	H_{33}	(12±20) c

注:表中数据为"平均值±标准差";数据后,同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

2.3.2 H处理的大青杨种子萌发率双因素分析

H的温度和时间以及温度和时间的交互处理对大青杨种子萌发率影响显著,其中H温度之间和时间之间影响极显著,温度和时间交互作用显著(见表7)。

表7 H处理时间、温度及其交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
H时间	0.039	2	0.019	5.962**
H温度	0.620	2	0.310	95.278**
H时间×H温度	0.053	4	0.013	4.063*
误差	0.059	18	0.003	
总变异	2.059	27		

注:**表示差异极显著($p<0.01$);* 表示差异显著($p<0.05$)。

2.4 A处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行A单因素方差分析,并经F检验。A单因素处理的大青杨种子萌发率与CK相比,A各处理间差异不显著(见表8),A对大青杨种子萌发率影响不显著。

表8 A处理对大青杨种子萌发率影响的单因素方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
组间	0.029	3	0.010	3.208
组内	0.024	8	0.003	
总变异来源	0.052	11		

2.5 S+H处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行S+H三因素方差分析,并经F检验。大青杨种子萌发率和H温度×S无显著关系,与其他因素极显著(见表9)。说明大青杨种子萌发率和H温度、H时间两者之间交互没有明显关系,而是取决于与其他因素作用。

2.6 S+A处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行S+A双因素方差分析,并经F检验。大青杨种子萌发率和S、A以及S×A交互关系都呈现极显著(见表10),说明S、A以及S×A交互关系对大青杨种子萌发有显著的影响。

表9 S、H处理及其综合交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
H温度	1.207	2	0.603	263.371**
H时间	0.269	2	0.134	58.707**
S	0.036	2	0.018	7.778**
H温度×H时间	0.023	4	0.006	2.470
H温度×S	0.090	4	0.023	9.853**
H时间×S	0.393	4	0.098	42.853**
H温度×H时间×S	0.219	8	0.027	11.946**
误差	0.124	54	0.002	
总变异	6.863	81		

注:**表示差异极显著($p<0.01$)。

表10 S、A处理及其交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
S	0.349	2	0.174	58.068**
A	0.446	2	0.223	74.260**
S×A	0.687	4	0.172	57.185**
误差	0.054	18	0.003	
总变异	8.387	27		

注:**表示差异极显著($p<0.01$)。

2.7 A+H处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行A+H三因素方差分析,并经F检验。大青杨种子萌发率和A、H温度以及H时间都呈现极显著(见表11),说明大青杨种子萌发率和这3个因素有主要关系。

表11 A、H处理及其综合交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
A	0.095	2	0.048	32.755**
H温度	1.269	2	0.635	436.481**
H时间	0.022	2	0.011	7.396**
A×H温度	0.307	4	0.077	52.736**
A×H时间	0.215	4	0.054	36.887**
H温度×H时间	0.882	4	0.220	151.637**
A×H温度×H时间	0.932	8	0.116	80.090**
误差	0.079	54	0.001	
总变异	3.799	80		

注:**表示差异极显著($p<0.01$)。

2.8 S+A+H处理对大青杨种子萌发的影响

对大青杨种子萌发率进行S+A+H四因素方差分析,并经F检验。大青杨种子萌发率与S+A+H处理呈现极显著(见表12),说明大青杨种子萌发与S+A+H有主要关系。

2.9 S、H、A处理对大青杨种子发芽势的影响

由表13可见:在所有的8个处理中,大青杨发芽势高峰集中在处理的2~4 d;多数处理在3 d出现发芽势最高,分别为A、H、S+A、S+H、A+H共5个处

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

理,表明在处理 3 d 时大部分种子开始大量萌发,种子活力表现最强,其中在处理 3d,A 在所有处理中发芽势最高,发芽势最低的为 S+H,其最高峰出现在处理的 3~4 d。在 CK、S、S+A、S+H、S+A+H 中,S+A在处理 3 d 时表现最高的发芽势,S+H 发芽势最低,其最低发芽势出现在处理的 3~4 d,S 和 S+A 发芽势高峰比 CK 高,表明经过 S 的种子比 CK、S+H、S+A 种子更容易萌发,同时表现发芽势偏高。在 CK、H、S+H、A+H、S+A+H 中,CK 在处理的 2 d 表现出发芽势最高,其次为 A+H,其最高发芽势出现在处理的 3 d,表明经过 H 的种子与 CK 相比发芽势差异不明显。在 CK、A、S+A、A+H、S+A+H 中,A 在处理 3 d 表现出最高发芽势,S+A+H 发芽势最低,其最高发芽势出现在处理的 4 d,A 和 S+A 发芽势最高峰高于 CK,表明经过 A 的种子比 CK、A、S+A 处理更能激发种子活力,促进萌发,且发芽势更高。

表 12　S、H、A 处理及其综合交互作用对大青杨种子萌发率影响的显著性差异

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
S	0.264	2	0.132	59.709**
A	1.445	2	0.722	326.424**
H 温度	2.115	2	1.058	477.899**
H 时间	1.560	2	0.780	352.339**
S×A	0.300	4	0.075	33.924**
S×H 温度	0.219	4	0.055	24.700**
S×H 时间	0.355	4	0.089	40.091**
A×H 温度	0.497	4	0.124	56.114**
A×H 时间	0.191	4	0.048	21.595**
H 温度×H 时间	1.025	4	0.256	115.807**
S×A×H 温度	0.402	8	0.050	22.703**
S×A×H 时间	0.720	8	0.090	40.660**
S×H 温度×H 时间	0.508	8	0.063	28.689**
A×H 温度×H 时间	0.213	8	0.027	12.006**
S×A×H 温度×H 时间	1.085	16	0.068	30.634**
误差	0.359	162	0.002	
总变异	27.434	243		

注: **表示差异极显著($p<0.01$)。

表 13　S、H、A 处理及其综合交互作用对大青杨种子发芽势影响的差异

处理时间/d	种子发芽势/%							
	CK(对照)	S 处理	H 处理	A 处理	S+H 处理	S+A 处理	A+H 处理	S+A+H 处理
1	16	19	4	0	4	0	0	0
2	13	18	8	28	6	23	13	9
3	8	9	5	9	6	15	5	10
4	1	6	1	4	3	5	3	5
5	3	2	0	2	1	3	1	2
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	1	0	1	1	1	0	0
8	0	1	1	0	2	0	0	0
9	0	0	2	1	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0

3　讨论与结论

对火灾频繁的大兴安岭地区,火产物因子对大青杨种子萌发影响比较明显,大青杨种子萌发对于不同强度的处理水平表现出不一样的干扰结果,并且具有一定规律性。从大青杨种子萌发实验中发现,与 CK 相比,S、H、A、S+H、S+A、A+H、S+A+H 7 种处理对大青杨种子萌发有明显的影响,不同处理之间种子萌发率差异显著。S、A、S+A 处理比 CK 相比表现出提高大青杨种子萌发率的作用,其中 S 处理对大青杨种子萌发影响最为明显,种子萌发率最高,萌发数量最多,种子发芽势最高,提高种子萌发率效果最好,种子活力最高,这与国内外很多研究结果类似。在林火多发地区,烟熏常常表现出促进或者打破种子休眠的作用,M. Martínez-Baniela et al.[19] 在研究植物源烟和赤霉素处理对地中海盆地及周边地区 5 种半日花科植物种子萌发影响时发现,烟似乎是控制种子萌发的多种环境信号之一,并且烟在影响某些植物种子萌发中表现出的作用更为突出。S. Zuloaga-Aguilar et al.[20] 研究墨西哥山地森林植物种子萌发对灰烬、烟熏、热激的响应时发现,12 种植物种子萌发率增加了 92%,其中 2 个烟熏和火烧灰交互处理促进了 4 种植物种子的萌发,具有休眠特性的 6 种植物种子需要热激和烟熏或火烧灰处理打破休眠,种子萌发对林火产物的反应取决于物种或其种子休眠类型。物种对林火产物影响的反应各不相同,因此,火烧影响火后更新物种的组成[10],是因为在森林火灾发生时,烟最先接触到植物种子,或者是因为有些种子在火灾发生时只受到烟的影响。而 H、S+H、A+H、S+A+H 与 CK 相比,则表现出降低植物种子萌发率的作用,其中 H 对植物种子萌发率降低作用最为明显,可以认为 H 抑制大青杨种子的萌发,抑制的原因有待进一步研究,或许与大青杨种子特性和传播方式有关,与休眠没有关系。

从单因素 S 影响大青杨种子萌发率结果看,与 CK 相比,S_1、S_2、S_3 处理都提高了种子发芽率,其中 S_2(10 min) 萌发率最高,最终发芽率为 64%,比 CK 萌发率高 23%,最低为 CK,说明 S 可以促进大青杨种子萌发,并且作用显著。烟熏时间控制在 5~15 min 有助于加快大青杨种子萌发,并且同时提高发芽率;烟熏对大青杨种子萌发的促进作用是否会和烟熏时间一直成正比,有待下一步研究。S、S+H、S+A、S+A+H 处理下的大青杨种子萌发与 CK 处理下相比,S_2 处理萌发率仍然为最高,单因素 S 提高大青杨萌发率的作用最为明显,而 S+H 效果最不明

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

显;主要表现为S+H中H温度和时间显著性比较不明显,S_2+H_{31}(10 min,110 ℃ 5 min)萌发率为0,表明在110 ℃温度下H(5 min)会抑制大青杨种子的萌发,导致S处理后的种子活力降低或丧失,S与其他因素交互作用对大青杨种子萌发的影响不如单因素S效果好。

从单因素H影响大青杨种子萌发率结果看,与CK相比,只有H_{13}发芽率较高,H_{12}与CK差异不明显,其余水平H_{11}、H_{21}、H_{22}、H_{23}、H_{31}、H_{32}、H_{33}均低于CK,其中H_{21}、H_{22}、H_{23}、H_{31}、H_{32}、H_{33}与CK差异较大,H_{31}萌发率为0。可以看出,H因素对大青杨种子萌发有明显的抑制作用,H会破坏种子活力,造成机械损伤或者内源激素的失去活性,从而导致大青杨种子无法正常萌发。热激对种子萌发影响的研究中,起到抑制作用的为少数,和种子自身结构及休眠有关。种皮的透水和透气性以及坚固程度,也和热激作用的表现相关,有些植物种子表现出极高的耐热性,所以会出现热激对耐热程度较好的种子萌发效果并不显著。也有研究表明,热激对种子萌发有抑制作用,例如,S. Tsuyuzaki et al.[21]研究了与大兴安岭气候类似的日本寒温带林火多发地区日本北部地区的植物,实验中观察了热激对40种植物种子萌发的影响,结果表明,热激处理对少部分植物种子萌发表现出抑制作用。H、S+H、A+H、S+A+H处理与CK比较,仍然表现出对大青杨种子有明显的抑制作用,4个处理的种子萌发率均明显低于CK,其中单因素H种子萌发率最低(22%),低于CK19%,抑制萌发作用显著。可以看出,在所有处理中,H单因素和与H交互的处理,均表现出明显抑制大青杨种子萌发的效果,而H与其他因素交互作用中呈现出种子萌发率降低或者抑制萌发的作用时,主导原因在于H,而其他因素占小部分影响或者不影响交互处理中产生的抑制作用。研究结果表明,大青杨种子并不耐热,或者说耐热程度很低,而大青杨种子不耐热的原因和种子小、质量轻、种皮比其他物种易受到机械损伤有关。

从单因素A影响大青杨种子萌发率结果看,与CK相比提高了种子萌发率,A_1、A_2、A_3萌发率都高于CK,其中A_3(1.5 g)萌发率最高,CK最低,并且种子萌发率呈现随着A用量的增加而提高的趋势。表明A对大青杨种子萌发有明显的促进作用,而且在一定A用量范围内,A用量越高,种子萌发率越高,A促进种子萌发作用越明显。国内外学者对于专门研究火烧灰和种子萌发之间关系的报道相对其他因素较少,往往结合其他因素或者交互反应干扰程度[20]。A、S+A、A+H、S+A+H处理与CK比较,A和S+A表现出提高了种子萌发率,其中S+A影响最明显,发芽率为50%,高于CK 9%,S+A处理中萌发率最好的为S_1+A_3(5 min,1.5 g)。结果表明,火烧灰与烟熏、热激因素相比,促进作用更多的体现在和其他因素交互作用中。至于种子在烟熏或者热激后,内源激素或者外部结构是否发生变化,从而进一步影响种子萌发还有待研究。降低萌发率作用最大的为A+H,其中,A_2+H_{22}(1.0 g,90 ℃ 10 min)、A_2+H_{31}(1.0 g,110 ℃ 5 min)、A_2+H_{32}(1.0 g,110 ℃ 10 min)、A_2+H_{33}(1.0 g,110 ℃ 15 min)、A_3+H_{21}(1.5 g,90 ℃ 5 min)、A_3+H_{22}(1.5 g,90 ℃ 10 min)、A_3+H_{32}(1.5 g,110 ℃ 10 min)、A_3+H_{33}(1.5 g,110 ℃ 15 min)种子萌发率都为0,主要是因为H抑制了种子的萌发,从而最终影响了交互试验的结果,110 ℃处理在抑制作用中占据了主导地位,因此温度越高抑制种子萌发的可能性越大,并且S+A对种子发芽率的影响比单因素A更为明显。

总之,火产物烟熏、热激、火烧灰在单因素处理和两两交互处理以及三者结合处理时对种子萌发的影响表现出不同的作用,既有可能是促进,也有可能是抑制作用,根据种子特性不同,表现出的作用不同。在大部分研究中,3种处理对种子萌发的影响都表现出明显的规律性。对大兴安岭地区的大青杨而言,烟熏对其种子萌发促进作用最为明显,其次为火烧灰,热激及热激与其他因素的交互作用均表现为明显的抑制作用。今后可以对此结果进行展开实验,进一步探讨促进和抑制的原因。

参 考 文 献

[1] 周道玮,张智山.草地火因子及其生态作用[J].中国草地,1996(2):73-76.

[2] SLAPCINSKY J L, GORDON D R, MENGES E S. Responses of Rare Plant Species to Fire in Florida's Pyrogenic Communities[J]. Natural Areas Journal,2010,30(1):4-19.

[3] KING R A, MENGES E S. Effects of heat and smoke on the germination of six Florida scrub species[J/OL]. South African Journal of Botany,2017.https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.009.

[4] PARADELO R, DEVESA-REY R, CANCELO-GONZÁLEZ J, et al. Effect of a compost mulch on seed germination and plant growth in a burnt forest soil from NW Spain[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition,2012,12(1):73-86.

[5] 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.

[6] MOREIRA B, PAUSAS J G. Shedding light through the smoke on the germination of Mediterranean Basin flora[J/OL]. South African Journal of Botany,2016.https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.008.

[7] 刘发林.草木灰对四种松属种子发芽和幼苗生长的影响[J].生态学报,2017,37(17):5673-5680.

[8] 李昱鹏,张丽琼.草木灰对魔芋发芽率的影响[J].农业研究与应用,2014(6):34-37.

(下转68页)

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

systems [J]. Geoderma,2008,145(3/4):216-221.
[18] 姜勇,张玉革,梁文举,等.土地利用方式对潮棕壤磷素剖面分布的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(3):512-516.
[19] 曹娟,闫文德,项文化,等.湖南会同不同年龄杉木人工林土壤磷素特征[J].生态学报,2014,34(22):6519-6527.
[20] 林开淼,郭剑芬,杨智杰,等.不同林龄人促天然更新林土壤磷素形态及有效性分析[J].中南林业科技大学学报,2014,34(9):6-11.
[21] 杨小燕,范瑞英,王恩姮,等.典型黑土区不同水土保持林表层土壤磷素形态及有效性[J].应用生态学报,2014,25(6):1555-1560.
[22] 杨小燕,陈祥伟.未开垦干扰黑土土壤磷素形态垂直分布特征[J].土壤通报,2016,47(2):378-383.
[23] 穆晓慧,李世清,党蕊娟.黄土高原石灰性土壤不同形态磷组分分布特征[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1341-1347.
[24] 宋金凤,崔晓阳.暗棕壤中低分子有机酸的吸附与生物降解研究[J].土壤通报,2007,38(6):1118-1122.
[25] FINK J R, INDA A V, TIECHER T, et al. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability[J]. Ciência e Agrotecnologia,2016,40(4):369-379.
[26] FINK J R, INDA A V, BAVARESCO J, et al. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy[J]. Soil and Tillage Research,2016,155:62-68.
[27] HAMER U, POTTHAST K, BURNEO J I, et al. Nutrient stocks and phosphorus fractions in mountain soils of Southern Ecuador after conversion of forest to pasture[J]. Biogeochemistry,2013,112(1/2/3):495-510.
[28] 马海娟,陈立新.红松人工林土壤阳离子交换量空间分布及其组成演变[J].中国水土保持科学,2008,6(5):71-76.
[29] 张林,吴彦,吴宁,等.林线附近主要植被类型下土壤非生长季磷素形态[J].生态学报,2010,30(13):3457-3464.
[30] DINH M V, GUHR A, SPOHN M, et al. Release of phosphorus from soil bacterial and fungal biomass following drying/rewetting[J]. Soil Biology and Biochemistry,2017,110:1-7.

(上接32页)

[9] 孙龙,王千雪,魏书精,等.气候变化背景下我国森林火灾灾害的响应特征及展望[J].灾害学,2014,29(1):12-17.
[10] 李顺,吴志伟,梁宇,等.大兴安岭人为火发生影响因素及气候变化下的趋势[J].应用生态学报,2017,28(1):210-218.
[11] 邸雪颖.大兴安岭地区林火轮回期的研究[J].森林防火,1989(3):10-12.
[12] 李景文.森林生态学[M].北京:中国林业出版社,1994:211-212.
[13] 周以良.中国大兴安岭植被[M].北京:科学出版社,1991.
[14] 郭平,孙刚,周道玮,等.草地火行为研究[J].应用生态学报,2001,12(5):746-748.
[15] 舒立福,田晓瑞,马林涛.林火生态的研究与应用[J].林业科学研究,1999,12(4):422-427.
[16] 胡飞,唐湘如,杨军,等.燃烧植物产生烟与热的生理生态效应[J].生态学报,2006,26(2):594-600.
[17] 林建军.南瓮河国家级自然保护区湿地资源现状及保护对策[J].内蒙古林业调查设计,2010,33(1):3-5.
[18] ROCHE S, DIXON K W, PATE J S. Seed ageing and smoke: partner cues in the amelioration of seed dormancy in selected Australian native species[J]. Australian Journal of Botany,1997,45:783-815.
[19] MARTÍNEZ-BANIELA M, CARLÓN L, DÍAZ T E, et al. Plant-derived smoke and temperature effects on seed germination of five Helianthemum (Cistaceae)[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants,2016,223:56-61.
[20] 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.
[21] TSUYUZAKI S, MIYOSHI C. Effects of smoke, heat, darkness and cold stratification on seed germination of 40 species in a cool temperate zone in northern Japan[J]. Plant Biology,2009,11(3):369-378.

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