

2 个种源地葛萝槭种子发芽特性研究

王振龙, 王东洪, 马晶, 高志文, 樊明瑞 (太原市林业科学研究所, 山西太原 030003)

摘要 为了解山西不同地区葛萝槭种子发芽规律, 通过贮藏时间、贮藏方式及不同温度处理对山西 2 个种源地葛萝槭种子进行发芽试验, 结果表明: 葛萝槭种子经过低温处理, 种子发芽率可显著提高, 10 ℃ 低温可使葛萝槭种子萌发; 低温贮藏时间对不同种源地葛萝槭种子发芽具有显著影响, 平陆县种源地葛萝槭种子 4 ℃ 低温干燥和 4 ℃ 低温湿沙贮藏 60 d 种子发芽效果较好, 古交市种源地 4 ℃ 低温干燥和 4 ℃ 低温湿沙贮藏 100 d 种子发芽效果较好; 贮藏方式对不同种源地葛萝槭种子发芽具有显著影响, 2 个种源地葛萝槭种子发芽效果较好的贮藏方式均为低温湿沙贮藏, 平陆县和古交市种源地葛萝槭种子发芽率分别为 45.10% 和 24.30%。

关键词 葛萝槭; 种子; 发芽; 低温; 贮藏方式

中图分类号 S722 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)23-0111-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.23.029



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Germination Characteristics of *Acer grosseri* Seeds from Two Provenances

WANG Zhen-long, WANG Dong-hong, MA Jing et al (Taiyuan Institute of Forestry Sciences, Taiyuan, Shanxi 030003)

Abstract In order to understand the germination law of *Acer grosseri* seeds in different areas of Shanxi, the germination experiment of *Acer grosseri* seeds from two provenances in Shanxi was carried out through storage time, storage method and different temperature treatments. The results indicated that the germination rate of *Acer grosseri* seeds was significantly increased by low temperature treatment, and *Acer grosseri* seeds could germinate at 10 ℃. Low-temperature storage time has a significant effect on the germination of *Acer grosseri* seeds from different provenances, the germination effect is better of *Acer grosseri* seeds stored at 4 ℃ low temperature for 60 days in the provenance of Pinglu County, Shanxi Province, and 100 days is better in the provenance of Gujiao City, Shanxi Province, under the same conditions, the germination rate of *Acer grosseri* seeds from different provenances is significantly different. The storage method has a significant effect on the germination of *Acer grosseri* seeds from different provenances, low-temperature wet sand storage is the best storage method for the germination of *Acer grosseri* seeds from the two provenances, the germination rates of *Acer grosseri* seeds in Pinglu County, Shanxi Province and Gujiao City, Shanxi Province were 45.10% and 24.30%, respectively, under the same conditions, the germination rate of *Acer grosseri* seeds from different provenances is significantly different.

Key words *Acer grosseri*; Seeds; Germination; Low temperature; Storage method

葛萝槭(*Acer grosseri* Pax), 槭树科, 槭属, 落叶乔木, 喜阴, 树皮青绿色, 叶黄色或红黄色, 果实翅果嫩时淡紫色, 成熟后黄褐色, 多分布于 800~1 800 m 疏林中^[1], 分布广泛, 在园林绿化方面具有广阔的应用前景。槭树属树种多以种子繁殖为主, 自然状态下, 大多数槭树属植物种子次年春天萌发, 种子萌发率极低, 且自然条件下种子常受到老鼠啃食, 病虫害侵染导致种子丧失繁衍能力, 严重影响了槭树属植物的开发利用^[2-3]。梁鸣等^[4]研究表明, 在低温处理 90~120 d 时槭树种子能完成生理后熟, 解除槭树种胚休眠最有效的方法之一是低温处理。任明莹^[5]对加拿大糖槭进行冬季预处理 60 d, 可极大提高糖槭种子的萌发率。孟庆法等^[6]通过研究不同野生槭树种子在干燥贮藏和低温沙藏条件下种子萌发

特性, 发现槭树种子在干燥贮藏条件下发芽慢, 发芽率较低, 而室外低温沙藏可以有效解除种子休眠, 提高发芽率。喻才员等^[7]研究表明, 青榨槭种子经过低温层积 14 d 处理是打破青榨槭种子休眠的最佳方法。目前国内对葛萝槭的研究多集中于园林应用方面^[8], 而对其种子发芽特性研究较少。鉴于此, 笔者研究了不同种源地葛萝槭种子的发芽特性, 对了解葛萝槭生长和种群的分布特点及为选育优良品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 种源地概况 2 个种源地选择在山西省平陆县和古交市, 概况见表 1。

表 1 种源地概况

Table 1 Overview of provenance

种源地 Provenance	生境 Location	经度 Longitude(E)	纬度 Latitude(N)	海拔 Altitude//m	气候 Climate
平陆县 Pinglu County	平陆县国有林场	111°33'30"	34°56'54"	833	暖温带大陆性气候
古交市 Gujiao City	马兰国有林场	111°46'54"	37°50'12"	1 842	北温带大陆性气候

1.2 采种时间 2020 年 10 月采集黄褐色翅果。

1.3 种子处理 将采集的翅果置于通风干燥室内进行阴干处理, 处理时间 20 d 左右。

1.4 试验方法

1.4.1 贮藏方式。 常温室干燥贮藏、4 ℃ 低温干燥贮藏和 4 ℃ 低温湿沙贮藏(种子和湿润细沙比例为 1:3)。

1.4.2 处理方式。

(1) 将常温室干燥贮藏、4 ℃ 低温干燥贮藏和 4 ℃ 低温湿沙贮藏 40、60、80 和 100 d 的种子置于 90 mm 培养皿中,

作者简介 王振龙(1988—), 男, 山西汾阳人, 工程师, 从事森林培育研究。

收稿日期 2021-12-01

培养皿底部依次为湿润脱脂棉和定性滤纸,放置种子后用湿润滤纸覆盖,置于25℃恒温培养箱内进行发芽。每处理100粒种子,3次重复,观察记录种子萌发数量。

(2)将4℃低温湿沙贮藏60d的种子置于90mm培养皿中,培养皿底部依次为湿润脱脂棉和定性滤纸,放置种子后用湿润滤纸覆盖,置于5、10和15℃恒温培养箱内进行发芽。每处理100粒种子,3次重复,观察记录种子萌发数量。

(3)将常室内干燥贮藏、4℃低温干燥贮藏和4℃低温湿沙贮藏120d后的种子在穴盘内进行播种,育苗基质为草炭土、细沙,比例为3:1,每穴播种5粒种子,每种处理播种200穴。定期浇水管理,观察记录种子萌发情况。

1.5 数据分析 运用Excel和SPSS 25.0进行数据的统计和分析。

2 结果与分析

2.1 常室内干燥贮藏时间对2个种源地葛萝槭种子发芽的影响 由表2可知,平陆县种源地葛萝槭种子100d的发芽率最高,为0.67%,贮藏60和80d种子的发芽率均为0.33%,贮藏40d种子不发芽;古交市种源地葛萝槭种子在贮藏40、80和100d的发芽率均为0.33%,贮藏60d种子不发芽。

表2 常室内干燥贮藏时间对不同种源地葛萝槭种子发芽的影响

Table 2 The effect of room temperature drying storage time on seed germination of *Acer grosseri* from different provenance

种源地 Provenance	贮藏时间 Storage time d	平均发芽个数 Average number of sprouts//个	发芽率 Germination rate//%
平陆县 Pinglu County	40	0	0
	60	0.33	0.33
	80	0.33	0.33
	100	0.67	0.67
古交市 Gujiao City	40	0.33	0.33
	60	0	0
	80	0.33	0.33
	100	0.33	0.33

经LSD多重比较,在0.05水平上,平陆县和古交市种源地葛萝槭种子在常室内干燥贮藏过程中,不同贮藏时间对种子发芽率的影响差异不显著($P>0.05$)。

2.2 4℃低温干燥贮藏时间对2个种源地葛萝槭种子发芽的影响 由表3可知,山西省平陆县种源地葛萝槭种子在4℃低温干燥贮藏中,以贮藏60d种子的发芽率最高,为25.33%,其次为100d,为25.00%,最低为40d,仅为18.67%;古交市种源地葛萝槭种子在4℃低温干燥贮藏中,以贮藏100d的种子发芽率最高,为10.33%,最低为40d,仅8.33%。古交市种源地葛萝槭种子发芽率在4℃低温干燥贮藏中贮藏时间越长,发芽率越高。说明4℃低温干燥贮藏可以提高山西省古交市种源地葛萝槭种子的发芽率。在4℃低温干燥贮藏条件下,山西省平陆县葛萝槭种子的发芽率较古交市葛萝槭种子的发芽率高。

表3 4℃低温干燥贮藏时间对不同种源地葛萝槭种子发芽的影响

Table 3 The effect of 4℃ low temperature drying storage time on seeds germination of *Acer grosseri* from different provenance

种源地 Provenance	贮藏时间 Storage time d	平均发芽个数 Average number of sprouts//个	发芽率 Germination rate//%
平陆县 Pinglu County	40	18.67	18.67
	60	25.33	25.33
	80	24.33	24.33
	100	25.00	25.00
古交市 Gujiao City	40	8.33	8.33
	60	9.00	9.00
	80	10.00	10.00
	100	10.33	10.33

经LSD多重比较,在0.05水平上,山西省平陆县种源地葛萝槭种子在4℃低温干燥贮藏中,贮藏40d与贮藏60、80和100d种子的发芽率间有显著差异($P<0.05$),贮藏60、80和100d种子的发芽率间无显著差异($P>0.05$);山西省古交市种源地葛萝槭种子贮藏40、60、80和100d种子发芽率间无显著差异($P>0.05$)。

2.3 4℃低温湿沙贮藏时间对2个种源地葛萝槭种子发芽的影响 由表4可知,平陆县种源地葛萝槭种子在4℃低温湿沙贮藏中,贮藏100d的发芽率最高,为27.00%,其次为贮藏60d处理,贮藏40d处理最低,发芽率仅17.67%;古交市种源地葛萝槭种子在4℃低温湿沙贮藏中,贮藏100d发芽率最高,为16.33%,其次为贮藏80d处理,为15.00%,最低为贮藏40d处理,仅10.00%,且发芽率随贮藏时间的延长而增大。

表4 4℃低温湿沙贮藏时间对不同种源地葛萝槭种子发芽的影响

Table 4 The effect of 4℃ low-temperature wet sand storage time on seeds germination of *Acer grosseri* from different provenance

种源地 Provenance	贮藏时间 Storage time d	平均发芽个数 Average number of sprouts//个	发芽率 Germination rate//%
平陆县 Pinglu County	40	17.67	17.67
	60	26.00	26.00
	80	25.67	25.67
	100	27.00	27.00
古交市 Gujiao City	40	10.00	10.00
	60	12.33	12.33
	80	15.00	15.00
	100	16.33	16.33

经LSD多重比较,在0.05水平上,平陆县种源地葛萝槭在4℃低温湿沙贮藏中,贮藏40d种子的发芽率与贮藏60、80和100d种子的发芽率间存在显著差异($P<0.05$),贮藏60、80和100d种子的发芽率间无显著差异($P>0.05$);古交市种源地葛萝槭在4℃低温湿沙贮藏中,贮藏40d和贮藏60d种子发芽率间无显著差异($P>0.05$),与贮藏80和100d种子发芽率间存在显著差异($P<0.05$),贮藏60与80d种子发芽率间无显著差异($P>0.05$),与100d种子发芽率间有显著差异($P<0.05$),贮藏80d和100d种子发芽率间无显著差

异($P>0.05$)。在 4 ℃ 低温湿沙贮藏相同条件下山西平陆县葛萝槭种子的发芽率较古交市葛萝槭种子高。

2.4 不同温度对 2 个种源地葛萝槭种子发芽的影响 由表 5 可知,经过低温湿沙贮藏 60 d,在不同温度条件下,平陆县葛萝槭种源地种子在 15 ℃ 时发芽率最高,为 14.67%,其次为 10 ℃,为 11.33%,在 5 ℃ 条件下种子不发芽。在不同温度条件下,古交市葛萝槭种源地种子在 15 ℃ 发芽率最高,为 11.00%,其次为 10 ℃,发芽率为 9.67%,在 5 ℃ 条件下种子不发芽。相同条件下平陆县葛萝槭种子发芽率较古交市葛萝槭种子发芽率高。

表 5 不同温度对不同种源地葛萝槭种子发芽的影响

Table 5 The effect of different temperatures on seeds germination of *Acer grosseri* from different provenance

种源地 Provenance	温度 Temperature ℃	平均发芽个数 Average number of sprouts//个	发芽率 Germination rate//%
平陆县 Pinglu County	5	0	0
	10	11.33	11.33
	15	14.67	14.67
古交市 Gujiao City	5	0	0
	10	9.67	9.67
	15	11.00	11.00

经 LSD 多重比较,经过低温湿沙贮藏 60 d,在不同温度条件下,平陆县葛萝槭种子在 5 与 10 ℃ 下发芽率间存在显著差异($P<0.05$);10 和 15 ℃ 种子发芽率间无显著差异($P>0.05$);在不同温度条件下,古交市葛萝槭种子发芽率在 5 和 10 ℃ 下存在显著差异($P<0.05$),与 15 ℃ 下的种子发芽率存在显著差异($P<0.05$),10 和 15 ℃ 下种子发芽率间无显著差异($P>0.05$)。

经过低温湿沙贮藏 60 d,在不同温度条件下,平陆县和古交市种源地葛萝槭种子的发芽率随着温度的升高而增大,且温度对 2 个种源地葛萝槭种子的发芽率具有显著影响($P<0.05$)。相同条件下,平陆县种源地葛萝槭种子的发芽率较古交市种源地葛萝槭种子的发芽率高。

2.5 不同贮藏方式对 2 个种源地葛萝槭种子发芽的影响 由表 6 可知,不同贮藏方式下,平陆县葛萝槭种子的发芽率最高的处理为 4 ℃ 低温湿沙贮藏,达 45.10%;其次为 4 ℃ 低温干燥贮藏,发芽率为 23.20%;常温室内干燥贮藏种子发芽率最低,仅 2.20%。不同贮藏方式下,古交市葛萝槭种子发芽率最高的处理为 4 ℃ 低温湿沙贮藏,为 24.30%;其次为 4 ℃ 低温干燥贮藏,发芽率为 8.90%;常温室内干燥贮藏种子发芽率最低,仅 0.80%。相同贮藏方式下,平陆县种源地葛萝槭种子的发芽率较古交市种源地葛萝槭种子的发芽率高。

3 结论与讨论

3.1 不同种源地葛萝槭种子发芽所需低温贮藏时间不同 槭树属植物种子具有休眠特性^[9]。低温或冷处理能解除种子休眠,木本植物的种子需要较长冷处理时间,一般为 69~90 d,有的物种需要长达 180 d^[10]。血皮槭低温层积处理

2 年后种子开始萌发^[3]。笔者研究结果表明,平陆县种源地葛萝槭种子发芽所需低温时间约 60 d,而古交市种源地葛萝槭种子发芽所需低温时间约 80 d。种子休眠是植物种群长期适应自然的结果。不同种源地葛萝槭种子发芽所需低温时间不同,这是主动适应的结果,依此可以判断不同区域葛萝槭的生长环境及生长规律。

表 6 不同贮藏方式对不同种源地葛萝槭种子发芽的影响

Table 6 The effect of different storage methods on seeds germination of *Acer grosseri* from different provenance

种源地 Provenance	贮藏方式 Storage method	年均发芽个数 Average number of sprouts//个	发芽率 Germination rate %
平陆县 Pinglu County	常温室内干燥贮藏	22	2.20
	4 ℃ 低温干燥贮藏	232	23.20
	4 ℃ 低温湿沙贮藏	451	45.10
古交市 Gujiao City	常温室内干燥贮藏	8	0.80
	4 ℃ 低温干燥贮藏	89	8.90
	4 ℃ 低温湿沙贮藏	243	24.30

3.2 贮藏方式对不同种源地葛萝槭种子发芽具有重要影响 石柏林等^[11]研究 6 种槭属树种在不同贮藏条件下种子萌发生态规律,发现低温湿沙贮藏比常温贮藏更有利于种子的萌发。彭光辉等^[12]通过研究不同贮藏方式对槭树种子发芽率的影响得出,红翅槭、紫果槭、长柄紫果槭、岭南槭种子均具有一定的休眠习性,采用自然低温湿沙贮藏或低温湿沙贮藏的方法,可以解除种子休眠习性,提高种子发芽率。笔者研究结果表明,在不同贮藏条件下,平陆县和古交市 2 个种源地葛萝槭种子发芽率间存在显著差异($P<0.05$)。常温室内干燥贮藏方式下 2 个种源地葛萝槭种子发芽率极低,经过低温后种子发芽率显著提高,说明葛萝槭种子发芽需经过低温处理。杜娟等^[13]研究指出,湿沙贮藏是打破贵州槭种子萌发的最佳贮藏方式,其发芽率可达 41.33%。孟庆法等^[6]研究指出,室外低温沙藏是打破大多数槭树种子休眠,提高萌发的有效方式。该研究中,不同贮藏方式下葛萝槭种子的发芽率不同,表明低温湿沙贮藏是提高葛萝槭种子萌发的有效方式。

3.3 温度是影响葛萝槭种子发芽的重要因素 种子休眠是植物在长期系统发育过程中形成的抵抗外界不良环境条件以保持物种不断发展与进化的生态特性,是调节萌发的最佳时间和空间分布的一种机制,在不同的生境中,种子的休眠特性不同,有的植物种子需要经过低温才能打破种子休眠^[14]。梁鸣等^[4,15]等研究结果表明,低温处理可以解除槭属植物休眠。笔者通过研究表明,经过低温湿沙处理后,在不同温度条件下 2 个种源地葛萝槭种子萌发率不同,温度越高,发芽率越高,低温 5 ℃ 解除葛萝槭种子休眠效果不显著,低温 10 ℃ 具有解除葛萝槭种子休眠的效果。古交市位于山西省太原市,气候条件为北温带大陆性气候,而山西省平陆县气候条件为暖温带大陆性气候,相同树种在长期适应环境的过程中会表现出与当地气候条件相适应的生理特性进行繁衍。

- [6] 朱彬, 苏继锋, 韩志伟, 等. 秸秆焚烧导致南京及周边地区一次严重空气污染过程的分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 585-592.
- [7] 于占东, 宋述尧. 非腐解有机物配施生物菌剂对设施土壤理化性质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(4): 69-71, 74.
- [8] 朱林, 张春兰, 沈其荣. 施用稻草等有机物料对黄瓜连作土壤 pH、EC 值和微生物的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 350-353.
- [9] 孙艺文. 不同作物残茬及秸秆对连作土壤的修复作用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [10] 元延凤. 作物秸秆对日光温室连作土壤特性及黄瓜生育的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
- [11] LEHMANN J, LIANG B Q, SOLOMON D, et al. Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles[J]. Global biogeochemical cycles, 2005, 19(1): 515-527.
- [12] SCHMIDT M W I, SKJEMSTAD J O, CZIMCZIK C I, et al. Comparative analysis of black carbon in soils[J]. Global biogeochemical cycles, 2001, 15(1): 163-167.
- [13] LEHMANN J, GAUNT J, RONDON M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems: A review[J]. Mitigation and adaptation strategies for global change, 2006, 11(2): 403-427.
- [14] SINGH B P, HATTON B J, BALWANT S, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. Journal of environmental quality, 2010, 39(4): 1224-1235.
- [15] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
- [16] TAJIMA Y, LOO E P I, SAIJO Y. Plant physiological and molecular mechanisms in cross-regulation of biotic-abiotic stress responses[M]// Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants. Amsterdam: Elsevier, 2020: 21-34.
- [17] 吕伟仙, 葛滢, 吴建之, 等. 植物中硝态氮、氨态氮、总氮测定方法的比较研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(2): 204-206.
- [18] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [19] 胡霏莹. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [20] 曾路生, 高岩, 李俊良, 等. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分变化关系研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 157-161.
- [21] MCCARTNEY C R. Maturation of sleep-wake gonadotrophin-releasing hormone secretion across puberty in girls: Potential mechanisms and relevance to the pathogenesis of polycystic ovary syndrome[J]. Journal of neuroendocrinology, 2010, 22(7): 701-709.
- [22] 武春成, 李天来, 曹霞, 等. 添加生物炭对连作培养基理化性质及黄瓜生长的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(8): 1534-1539.
- [23] 郝丽萍. 氮肥和钾肥对保护地黄瓜矿质养分及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2011, 39(3): 243-246.
- [24] 周丹丹, 周崇峻, 杨丽娟. 有机肥和化肥配施对露地黄瓜养分吸收、产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 498-501.
- [25] 闵阳, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 151-157.
- [26] BLOM-ZANDSTRA M. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality[J]. Annals of applied biology, 1989, 115(3): 553-561.
- [27] 黄威, 刘永灿, 李会合. 蔬菜硝酸盐与营养品质的关系[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版), 2011, 30(3): 34-37.
- [28] 庞琢, 庞云, 任永红, 等. 氮肥不同追施量对设施黄瓜硝酸盐及亚硝酸盐累积的影响[J]. 北方农业学报, 2016, 44(6): 9-13.
- [29] 王柳, 张福媛, 魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 225-229.
- [30] 赵秀芬, 李俊良. 长期施用单一肥料对土壤质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(25): 12060-12062.
- [31] 涂保华, 胡茜, 张艺, 等. 基于不同类型秸秆制备的生物炭对稻田土壤温室气体排放的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1374-1380.
- [32] CHINTALA R, SCHUMACHER T E, KUMAR S, et al. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil[J]. Journal of hazardous materials, 2014, 279: 244-256.
- [33] 孙清芳, 贾立明, 刘玉龙, 等. 中国森林植被与土壤碳储量估算研究进展[J]. 环境科学, 2020, 35(8): 1741-1744.
- [34] KUZYAKOV Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter[J]. Soil biology & biochemistry, 2010, 42(9): 1363-1371.
- [35] 王媛, 王劲松, 董二伟, 等. 长期施用不同剂量氮肥对高粱产量、氮素利用特性和土壤硝态氮含量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(2): 242-350.
- [36] 颜青, 赖睿特, 张克强, 等. 土壤化学反硝化及 N₂O 产生机理研究进展[J]. 环境科学研究, 2020, 33(3): 736-743.
- [37] 刘丰娇, 张晓伟, 李福德, 等. 黄瓜富氢水浸种对低温下幼苗光合碳同化及氮代谢的影响[J]. 园艺学报, 2020, 47(2): 287-300.
- [38] 徐一兰, 唐海明, 肖小平, 等. 长期施肥对双季稻田土壤微生物学特性的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5847-5855.
- [39] LEHMANN J, SOHI S. Comment on "Fire-derived charcoal causes loss of forest humus"[J]. Science, 2008, 321(5894): 1295c.
- [40] KOPEIKIN V M, PONOMAREVA T Y. Dependence of variations in black carbon content in the atmosphere of moscow on air mass transport direction[J]. Atmospheric and oceanic optics, 2021, 34(1): 74-80.
- [41] KNICKER H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review[J]. Biogeochemistry, 2007, 85(1): 91-118.
- [42] LU X K, MAO Q G, WANG Z H, et al. Long-term nitrogen addition decreases soil carbon mineralization in an N-rich primary tropical forest[J]. Forests, 2021, 12(6): 1-9.
- [43] ZIMMERMAN A R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar)[J]. Environmental science & technology, 2010, 44(4): 1295-1301.
- [44] KOLB S E, FERMANICH K J, DORNBUSH M E. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils[J]. Soil science society of America journal, 2009, 73(4): 1173-1181.
- [45] EL HAMDAOUI L, ES-SAID A, EL MAROUANI M, et al. Tosylation optimization, characterization and pyrolysis kinetics of cellulose tosylate[J]. Chemistry select, 2020, 5(26): 7695-7703.
- [46] STEINER C, DAS K C, GARCIA M, et al. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol[J]. Pedobiologia-international journal of soil biology, 2008, 51(5/6): 359-366.

(上接第 113 页)

参考文献

- [1] 王莹, 张健, 李玉娟, 等. 械树科树种快繁技术研究进展[J]. 南方农业, 2016, 10(3): 90-91.
- [2] 吴静, 侯静, 马秋月, 等. 4 种械树属树种种子休眠原因及解除方法[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(2): 48-51.
- [3] 张川红, 郑勇奇, 吴见, 等. 血皮械种子休眠机制研究[J]. 植物研究, 2012, 32(5): 573-577.
- [4] 梁鸣, 张悦, 杨轶华, 等. 械属植物种子解剖生物学的研究[J]. 林业科技, 2007, 32(3): 9-12.
- [5] 任明莹. 加拿大糖槭的引种繁育技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [6] 孟庆法, 高红莉, 赵凤兰, 等. 河南省野生械树种子育苗试验研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 13309-13311, 13373.
- [7] 喻才员, 孔迪红, 万承永. 不同催芽方法破除青榨械种子休眠的影响分析[J]. 林业建设, 2007(4): 29-30.
- [8] 韩丽君, 邢金香, 郝向春, 等. 葛萝械生物学特性及园林应用初步研究[J]. 山西林业科技, 2010, 39(3): 29-30, 36.
- [9] 林士杰, 赵珊珊, 张忠辉, 等. 械树属植物种子休眠因素及打破种子休眠方法研究进展[J]. 种子, 2016, 35(11): 51-54.
- [10] 付婷婷, 程红焱, 宋松泉. 种子休眠的研究进展[J]. 植物学报, 2009, 44(5): 629-641.
- [11] 石柏林, 吴家森, 钟秦林. 6 种械树属植物种子特性及其发芽试验[J]. 浙江林业科技, 2006, 26(3): 38-40.
- [12] 彭火辉, 管帮富, 陈华玲, 等. 4 种械树种子特征及播种技术研究[J]. 江西农业学报, 2014, 26(4): 19-22.
- [13] 杜娟, 兰永平, 王鹤, 等. 贵州械种子形态特征和萌发特性的研究[J]. 种子, 2011, 30(8): 9-12.
- [14] 唐安军, 龙春林, 刀志灵. 种子休眠机理研究概述[J]. 云南植物研究, 2004, 26(3): 241-251.
- [15] 肖志成, 高捍东. 三角械种子休眠与萌发特性研究[J]. 西南林学院学报, 2008, 28(5): 35-38.