

种皮和环境温度对辽东栎种子萌发的影响

闫兴富¹, 仇智虎², 杜 茜¹, 张 蔷¹, 秦伟春²

(1. 北方民族大学 生物科学与工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏罗山国家级自然保护区管理局, 宁夏 红寺堡 751900)

摘 要:在人工气候箱控制的不同温度(10、15、20、25、30℃和 35℃)下,研究了种皮和环境温度对辽东栎(*Quercus wutaishanica*)种子萌发的影响。结果表明,种皮和环境温度对辽东栎种子的萌发率、萌发速率系数、萌发指数和活力指数均具有显著影响($p < 0.01$),二者对除萌发指数外的其他 3 个萌发参数均具有显著的交互作用($p < 0.05$)。种皮对辽东栎种子的萌发具有明显的抑制作用,去除种皮后,辽东栎种子的萌发率、萌发指数和活力指数均显著增大($p < 0.01$),且萌发进程加快。去除种皮的种子在 15℃和 20℃下萌发率较高(分别为 95.0%和 95.6%),在 35℃下萌发率最低(27.5%);萌发速率系数随着温度升高有一定波动,在 20℃下最大,萌发指数和活力指数均在 15℃下最大(分别为 0.9 和 570.0),随着温度的继续提高逐渐减小,两者均在 35℃下最小(分别为 0.2 和 155.3)。未去除种皮的种子在 30℃和 35℃下萌发率均为 0,在 25℃下萌发率仅 12.2%;随着温度的提高,萌发速率系数在 20℃下最大(4 038.2),在 25℃下又大幅减小;萌发指数和活力指数均在 10℃下最大,随着温度的提高而减小,20℃条件下萌发指数值最小。

关键词:种皮;温度;辽东栎;顽拗性种子

中图分类号:S792.18

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)03-0119-06

Influences of Seed Coat and Temperature on the Germination of *Quercus wutaishanica* Seeds

YAN Xing-fu¹, QIU Zhi-hu², DU Qian¹, ZHANG Qiang¹, QIN Wei-chun²

(1. College of Biological Science and Engineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Administration Bureau of Luoshan National Nature Reserve, Hongsibu, Ningxia 751900, China)

Abstract: The effects of seed coat and environment temperature on the germination of *Quercus wutaishanica* seeds under different temperatures (10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, and 35℃ respectively) controlled by the artificial climate incubator were investigated. The results showed that significant effects of both seed coat and environment temperature were detected ($p < 0.01$) on germination percentage (GP), coefficient of rate of germination (CRG), germination index (GI) and vigor index (VI) of the seeds. Significant interaction effects between coat and temperature on three other germination parameters except GI were also observed ($p < 0.05$). Seed coat played an obvious role of inhibition in seed germination and coat removal significantly increased GP, GI and VI ($p < 0.01$) and accelerated germination timing. It was found that uncoated seeds had higher GP, 95.0% and 95.6% at temperature of 15℃ and 20℃, respectively, and lower GP, 27.5% at 35℃. CRG fluctuated with the elevation of temperature and maximized at 20℃. The temperature of 15℃ resulted in maximum of both GI and VI (0.89 and 570.0, respectively) while they declined with continuous increasing of the temperature and minimums of GI and VI were detected at 35℃ (0.2 and 155.3, respectively). The GP of the seeds with capsules were 0 at both 30℃ and 35℃, and only 12.2% at 25℃. With the elevation of temperature, CRG maximized (4 038.24) when seeds were incubated at 20℃ and de-

收稿日期:2013-09-29 修回日期:2013-11-18

基金项目:北方民族大学校企合作科技攻关计划项目(2013XQG01);宁夏回族自治区财政林业新技术引进及推广项目(201205);国家自然科学基金项目(30960087)。

作者简介:闫兴富,男,博士,副教授,研究方向:植物生态学。E-mail: xxffyan@126.com

clined largely at 25°C. Maximums of *GI* and *VI* were observed at 10°C and they decreased when the temperature declined, while the minimum of *GI* was detected at 20°C.

Key words: seed coat; temperature; *Quercus wutaishanica*; recalcitrant seed

种皮可通过限制种子的水分和氧气的供应^[1-3]或通过机械障碍而抑制种子萌发^[2-3],即种皮的存在使种子表现出不同程度的休眠现象,甚至一些顽拗性种子也因为具有坚硬的果皮或种皮而表现出一定程度的休眠^[4-5]。一些植物种子的种皮在抑制种子萌发的同时,还对种子具有保护作用,例如,橡胶树(*Hevea brasiliensis*)种子的坚硬种皮不仅对种子萌发具有明显的机械障碍,而且种皮的存在可能是其防止种子水分丢失和降低病原菌危害的保护性机制^[6],类似的报道还见于细枝岩黄芪(*Hedysarum scoparium*)种子^[6]。温度是影响种子萌发的关键因素之一^[7-8],温带地区的植物种子萌发的最适温度一般偏低^[7, 9],但同样分布于温带地区的沙冬青(*Amopiptanthus mongolicus*)种子萌发的最适温度则相对较高(30°C)^[10]。不同植物种子的萌发对温度的要求差别较大,即便是顽拗性的种子,其耐受的温度范围也有较大差异,有研究结果显示,顽拗性的荔枝(*Litchi chinensis*)和龙眼(*Dimocarpus longan*)种子在 5°C 低温下的萌发率仍可高达 100%^[11],甚至一些植物的种子要求在低温条件下才能萌发。

辽东栎(*Quercus wutaishanica*)是我国暖温带落叶林重要的优势树种之一。实生更新对维持辽东栎遗传结构的稳定、种群活力和群落稳定具有重要作用^[12],但在其实生更新过程中同时存在种子雨和微生境的双重“增补限制”^[13],从而导致其实生更新困难^[14];萌生更新作为辽东栎突破更新瓶颈的有效途径^[15],可为种群更新迅速提供幼树群体的补充^[16]。因而辽东栎在萌生更新和实生更新间可能存在着权衡,在干扰强度较大的群落演替早期,萌生对种群更新的贡献可能更大,而在干扰强度很小的群落演替后期种群更新可能更多地依赖于实生更新^[15]。与栎属植物实生更新密切相关的种子萌发方面的研究一直是国内外种子生物学和生态学领域的热点领域之一,种皮^[17-19]和环境温度^[1, 20]对栎属植物种子萌发的影响方面的研究已有不少,付菁^[21]等报道,25°C 的恒温 and 15°C/25°C 的变温是辽东栎种子萌发的最适宜温度,但种皮及其在不同温度下对辽东栎种子萌发的影响方面的研究仍未见报道。为了进一步揭示种子萌发过程在辽东栎实生更新中的作用,本研究以采自宁夏六盘山区的辽东栎种子为材料,研究辽东栎萌发过程中的种皮在不同温度条件下的作用。以丰富栎属植物种子生物学和生态

学理论,为该区退化辽东栎次生林和灌丛群落更新相关的种苗繁育及造林实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究材料

辽东栎种子采自宁夏六盘山自然保护区秋千架林区(35°33'N, 106°25'E)的辽东栎次生林下,于次日将自然成熟散落于地表的种子采集带回实验室,选取表面未见明显破损和未受昆虫危害的种子用于萌发试验。

1.2 种子萌发诱导

分完整种子和去皮种子 2 组处理,每组处理分别设置 10、15、20、25、30°C 和 35°C 6 个温度梯度,各温度均在 14 h 光照($137.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) / 10 h 黑暗的周期性光照条件下进行,每一温度处理重复 4 次,每重复用 30 粒种子。种子经 70%(v/v)酒精溶液中表面消毒 5 min,再用清水冲洗干净后,播于内径为 12 cm 的培养皿内,培养皿内装约 1.2 cm 厚的湿沙(用前以清水冲洗干净后于 85°C 烘箱中烘干 48 h)作为种子萌发基质;种子侧放于湿沙表面,轻压种子使种子的 1/3 埋于湿沙中以利于吸水,播种后将培养皿置于 MGC-350HP-2 型智能型人工气候箱(上海一恒科技有限公司生产)中,每 24 h 观测记录种子萌发情况一次,以胚根伸出种皮外 5 mm 为萌发标准^[4],记录萌发的种子数,测量萌发种子的胚根长度(mm),及时检出已萌发的种子。观察记录至连续 2 周不再有种子萌发为止。适时浇水以保持基质湿润。

1.3 萌发参数计算

评价种子萌发活力的参数包括种子萌发率(germination percentage, GP)、萌发速率系数(coefficient of rate of germination, CRG)、萌发指数(germination index, GI)和活力指数(vigor index, VI)^[22],分别按下述公式计算:

$$GP = \text{萌发种子数} \times 100\% / \text{试验用种子总数} \quad (1)$$

$$CRG = [\sum (t \times n) / \sum n] \times 100 \quad (2)$$

式中 t 为自萌发试验开始时的天数, n 为在 t 天内萌发的种子数

$$GI = MDG \times PV \quad (3)$$

式中 MDG (mean daily germination) 为平均每天种子萌发数,即萌发试验结束时种子萌发数/萌发天数; PV (peak value) 为种子最大萌发数,即萌发期间任

何一天中达到的最大萌发数/达到最大值所需天数。

$$VI = \text{萌发率} \times (\text{幼苗根的长度} + \text{幼苗茎长度} \text{ (cm)}) \quad (4)$$

本研究仅计算胚根长度。

1.4 数据统计分析

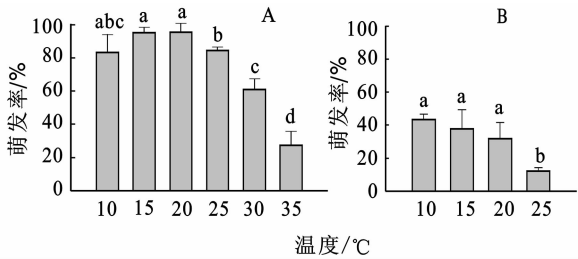
将全部试验数据进行平方根转换后,用二因素方差分析(two-way anova)的方法分析种皮和温度及二者的交互作用对种子萌发参数的影响;用单因子方差分析(one-way anova)的方法进行不同温度处理间的多重比较。所有试验数据的统计分析均在 SPSS 13.0 中进行。

2 结果与分析

2.1 去皮和非去皮辽东栎种子在不同温度下的萌发率

未去皮处理的辽东栎种子的平均萌发率为 31.3%,去除种皮后,平均萌发率提高到 74.0%。去皮处理种子在 15℃ 和 20℃ 下萌发率较高分别高达 95.0%和 95.6%,10℃ 和 25℃ 下次之,在 35℃ 下的萌发率最低;其中 10℃、15℃、20℃ 和 25℃ 4 个温度处理种子的萌发率显著高于 30℃

和 35℃ 2 个温度处理($p < 0.05$),30℃ 和 35℃ 2 个温度处理间也差异显著($p < 0.01$) (图 1A)。非去皮处理种子在 30℃ 和 35℃ 2 个较高的温度下没有种子萌发,即萌发率均为 0,在其他温度下的种子萌发率也很低,其中,在 25℃ 下的萌发率(12.2%)显著低于其他温度下的($p < 0.05$) (图 1B)。种皮和环境温度及其交互作用对辽东栎种子的萌发率均具有显著影响(表 1)。



注:图中的不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$),下同。

图 1 环境温度对去皮(A)和非去皮辽东栎种子(B)萌发率的影响

Fig. 1 Effects of environment temperature on the germination percentage of uncoated (A) and coated seeds (B) of *Q. wutaishanica*

表 1 种皮和环境温度对辽东栎种子萌发影响的二因素方差分析

Table 1 Two way ANOVA analysis of the effects of coat and environment temperature on the germination of *Q. wutaishanica* seeds

萌发参数	种皮				温度				种皮 * 温度			
	df	MS	F	p	df	MS	F	p	df	MS	F	p
萌发率	1	105.74	158.86	0.000	5	15.62	23.47	0.000	3	2.93	4.4	0.013
萌发速率系数	1	2 454.46	85.08	0.000	5	144.75	5.02	0.003	3	211.13	7.32	0.001
萌发指数	1	2.39	131.97	0.000	5	0.14	7.56	0.000	3	0.049	2.69	0.069
活力指数	1	679.62	167.69	0.000	5	92.90	22.92	0.000	3	17.32	4.27	0.015

2.2 去皮和非去皮辽东栎种子在不同温度下的萌发速率系数

种皮和环境温度对种子萌发速率系数均具有显著影响,而且二者的交互作用也显著影响萌发速率系数(表 1)。去除种皮后,种子的平均萌发速率系数从对照的 3 014.9 降低到 1 143.2,即去除种皮加快了种子萌发进程。去皮处理种子的萌发速率系数在 20℃ 下最大(1 282.8),不同温度处理间差异不显著($p < 0.05$) (图 2A)。与去皮处理种子相比,非去皮处理种子的萌发速率系数较高;随着温度的升高,萌发速率系数从 10℃ 下的 2 864.2 增大到 20℃ 下的 4 038.2,在 25℃ 又大幅减小,且显著小于其他温度下的($p < 0.05$) (图 2B)。

2.3 去皮和非去皮辽东栎种子在不同温度下的萌发指数

二因素方差分析结果显示,种皮和环境温度对辽东栎种子的萌发指数均具有显著影响($p < 0.01$),但二者的交互作用对萌发指数无显著影响

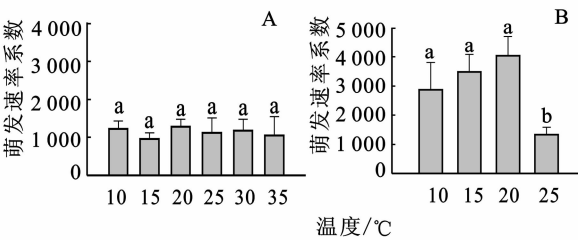


图 2 环境温度对去皮(A)和非去皮辽东栎种子(B)的萌发速率系数的影响

Fig. 2 Effects of environment temperature on coefficient of rate of germination of uncoated (A) and coated seeds (B) of *Q. wutaishanica*

(表 1)。种皮的存在明显不利于辽东栎种子的萌发,未去皮种子的平均萌发指数仅有 0.02,去除种皮后平均萌发指数显著增大到 0.5。当温度从 10℃ 提高到 15℃,去皮处理种子的萌发指数从 0.4 增大到 0.9,显著大于除 30℃ 以外的其他各温度下的($p < 0.05$);随着温度的继续升高,萌发指数呈波动性减小趋势(图 3A)。非去皮处理种子的萌发指数在

10℃下最大,显著大于其他各温度下的($p < 0.05$), 20℃下最小(0.01) (图 3B)。

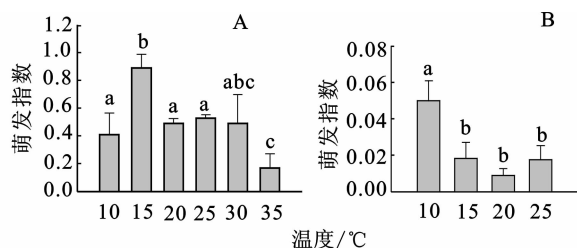


图 3 环境温度对去皮(A)和非去皮辽东栎种子(B)萌发指数的影响

Fig. 3 Effects of environment temperature on germination index of uncoated (A) and coated seeds (B) of *Q. wutaishnica*

2.4 去皮和非去皮辽东栎种子在不同温度下的活力指数

种皮和环境温度对辽东栎种子活力指数影响均达到了显著水平,且两者的交互作用也显著影响活力指数(表 1),去皮处理种子的平均活力指数从 167.8 显著增大到 429.03。随着温度的升高,去皮处理种子的活力指数从 10℃下的 471.3 增大到 15℃的 570.0,但二者间差异不显著,此后随着温度的升高逐渐减小,30℃和 35℃下的活力指数显著小于其他所有温度的($p < 0.05$) (图 4A)。非去皮处理种子的活力指数在 10℃下最大(233.2),随着温度的升高逐渐减小,其中在 25℃下的最小值显著小于其他所有温度的($p < 0.05$) (图 4B)。

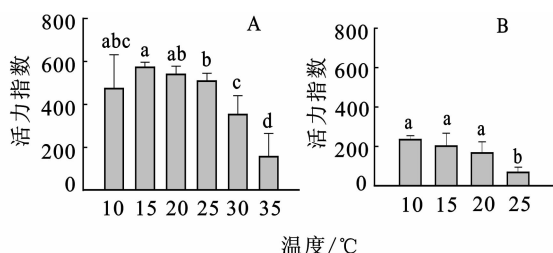


图 4 环境温度对去皮(A)和非去皮辽东栎种子(B)活力指数的影响

Fig. 4 Effects of environment temperature on vigor index of uncoated (A) and coated seeds (B) of *Q. wutaishnica*

3 结论与讨论

3.1 种皮对辽东栎种子萌发的限制作用

种皮引起的对水分、气体或溶质透性较差^[1-2, 23]或者种皮的机械障碍^[2-3]对种子萌发具有抑制作用,人工损伤或去除种皮可促进此类种子的萌发^[5-6, 19]。本研究发现,种皮对辽东栎种子的萌发具有明显的抑制作用,未去皮处理种子的平均萌发率低于去除种皮种子的 1/2,去皮处理可显著提高其种子萌发率,增大萌发指数和活力指数,加快萌发进程,这一结果与栎属的其他一些植物种子的相关研究的结论

一致^[17-19]。栎属植物种子的种皮结构复杂,覆盖胚根的种皮区域角质层较厚,而且内有一层致密的栅栏组织^[18],种皮的这一特殊结构可能通过机械限制作用或阻碍种子吸水^[17]而限制种子萌发,刘艳^[19]等认为种皮的机械限制是导致麻栎(*Q. acutissima*)种子延迟萌发和出苗不整齐的主要原因,甚至一些象小叶藤黄(*Garcinia cowa*)^[4]和橡胶树^[5]等顽拗性种子也可能因具有坚硬的种皮或果皮而具有一定程度的休眠现象,去除种皮以及能够软化种皮并改善其透水、透气性的浸水处理均能促进此类种子的萌发^[6, 19-20]。

除种皮的机械限制外,种子内存在抑制萌发的物质可能使种子表现出一定程度的休眠现象^[17, 19]。*Quercus nigra* 种子的萌发可能因其种皮中含有抑制物质而延迟,浸泡能在一定程度上促进种子萌发,可能与抑制种子萌发的物质渗出,从而使抑制作用得以解除有关^[6, 18]。辽东栎种子的种皮内可能存在抑制萌发的物质,即使试验期间种皮中抑制萌发的物质能够因种皮吸水而释放出来,但试验期间的短期集中释放产生的高浓度抑制物质仍对种子萌发具有抑制作用。

3.2 温度对辽东栎种子萌发的影响

种子萌发伴随活跃的代谢反应,在一定的温度范围内,随着温度的升高种子萌发进程加快^[24],过低和过高的温度都将使膜的透性、膜结合的活性和酶的变性而影响种子萌发^[25]。植物种子萌发的适宜温度可能与植物分布的原生境密切相关^[24],温带地区植物种子萌发的最适温度一般略低,例如,碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)^[25]和银沙槐(*Ammodendron argenteum*)^[26]种子萌发的最适温度均为 20℃,砂生槐(*Sophora moorcroftiana*),最适温度 15℃^[9]和梭梭(*Haloxylon ammodendron*),最适温度 10℃^[7],其种子萌发的最适温度则更低;当然,也有部分温带地区植物种子萌发的适宜温度较高的报道^[10]。本研究发现,辽东栎种子能够耐受一定程度的相对低温,去皮处理种子的萌发率在 15℃下高达 95.0%,萌发指数和活力指数均在 15℃下达最大;未去皮处理种子萌发率在 10℃下最高,表现出更强的低温耐性。此结果与多数研究者报道的部分温带地区植物种子萌发所要求的最适温度一致,与付菁^[21]等报道采自陕、甘交界的子午岭林区的辽东栎种子萌发的最适温度为 25℃的结论有较大的差异,值得注意的是,他们在进行萌发试验前对种子进行了干燥处理,是不同来源种子本身的原因,还是种子处理过程(本研究的种子未经干燥处理)造成的,有待于进一步的研究。此外,在较高的温度条

件下,辽东栎种子易因真菌侵染而腐烂,尤其是未经去皮处理的种子更易被侵染,甚至在30℃和35℃下种子因被真菌侵染而萌发率为0,可能与较高的温度更有利于真菌的繁殖有关,栎属种子本身有真菌寄生和种皮普遍存在裂缝^[27]。

3.3 对森林更新的启示

尽管种皮的存在抑制了辽东栎种子的萌发,且增大了被真菌侵染而腐烂的机会,但种皮可增强种子对低温的耐受性,使种子在秋季末期较低的温度下成功萌发,得以顺利地将子叶中贮藏的大量营养物质快速转移至主根,以确保主根生长和幼苗建成。因此,在幼苗发育期间,即使幼苗遭受子叶丢失或茎叶损失,幼苗主根中贮藏的由子叶转移而来的大量营养物质也可为幼苗的进一步发育或萌发生长提供营养供应^[13,28],对提高幼苗存活率和种群的实生更新都具有重要意义。此外,种皮还有防止种子在干燥环境中水分过度散失的作用,在种皮的保护下,子叶中贮藏的水分甚至可在一定程度上缓解幼苗早期生长阶段的干旱胁迫。辽东栎种子属轻度顽拗性种子^[13],其萌发对相对低温的耐性对种子在林下调落物覆盖的环境中顺利渡过寒冷的冬季具有重要作用,在野外种子库调查中发现,森林地表的湿润凋落物下,一些辽东栎种子甚至可存活到翌年5月,这些少量幸存下来的种子为辽东栎种群的幼苗个体增补和群落更新提供了宝贵的种源。

参考文献:

- [1] 周元,孙卫邦,李从仁. 三棱栎种子萌发特性初探[J]. 武汉植物学研究,2003,21(1):73-76.
ZHOU Y, SUN W B, LI C R. Preliminary study on germination of *Trigonobalanus doichangensis* [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2003, 21(1): 73-76. (in Chinese)
- [2] 段琦梅,梁宗锁,慕小倩,等. 黄芪种子萌发特性的研究[J]. 西北植物学报,2005,25(6):1246-1249.
DUAN Q M, LIANG Z S, MU X Q, et al. Germination characteristics of *Astragalus membranaceus* seeds [J]. Acta Bot. Borreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(6): 1246-1249. (in Chinese)
- [3] 白柯君,郭素娟,石青莲. 燕山红栗种子休眠与种胚形态、种皮及内含物的关系[J]. 西南林学院学报,2005,25(4):106-109.
BAI K J, GUO S J, SHI Q L. Relation between seed dormancy and embryo form, testa and inclusion of *Castanea mollissima* cv. Yanshanhong. [J]. Journal of Southwest Forestry College, 2005, 25(4): 106-109. (in Chinese)
- [4] LIU Y, QIU Y P, ZHANG L, et al. Dormancy breaking and storage behavior of *Garcinia cowa* Roxb. (Guttiferae) seeds: implications for ecological function and germplasm conservation [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(1): 38-49.
- [5] 闫兴富,曹敏. 种皮和环境温度对橡胶树种子萌发的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2009,17(6):584-589.
YAN X F, CAO M. Effects of seed coat and environmental temperature on the germination of *Hevea brasiliensis* seeds [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2009, 17(6): 584-589. (in Chinese)
- [6] HU X W, WANG Y R, WU Y P. Effects of the pericarp on imbibition, seed germination, and seedling establishment in seeds of *Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey [J]. Ecological Research, 2009, 24(3): 559-564.
- [7] 黄振英,张新时, GUTTERMAN Y, 等. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J]. 植物生理学报,2001,27(3):275-280.
HUANG Z Y, ZHANG X S, GUTTERMAN Y. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron* [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(3): 275-280. (in Chinese)
- [8] 黄振英,曹敏,刘志民,等. 种子生态学:种子在群落中的作用[J]. 植物生态学报,2012,36(8):705-707.
HUANG Z Y, CAO M, LIU Z M, et al. Seed ecology: roles of seeds in communities [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 705-707. (in Chinese)
- [9] 王文娟,贺达汉,唐小琴,等. 不同温度和沙埋深度对砂生槐种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1437-1442.
WANG W J, HE D H, TANG X Q, et al. Effects of different temperature and sand burial depths on seed germination and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* [J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(6): 1437-1442. (in Chinese)
- [10] 丁琼,王华,贾桂霞,等. 沙冬青种子萌发及幼苗生长特性[J]. 植物生态学报,2006,30(4):633-639.
DING Q, WANG H, JIA G X, et al. Seed germination and seedling performance of *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 633-639. (in Chinese)
- [11] XIA Q H, CHEN R Z, FU J R. Moist storage of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and longan (*Euphoria longan* Steud.) seeds [J]. Seed Science and Technology, 1992, 20(2): 269-279.
- [12] 田丽,王孝安,郭华,等. 黄土高原马栏林区辽东栎更新特性研究[J]. 广西植物,2007,27(2):191-196.
TIAN L, WANG X A, GUO H, et al. Studies on the regenerative characteristics of *Quercus wutaishanica* in Malan Forest Region on the Loess Plateau [J]. Guihaia, 2007, 27(2): 191-196. (in Chinese)
- [13] 闫兴富,杜茜,石淳,等. 六盘山区辽东栎的实生苗更新及其影响因素[J]. 植物生态学报,2011,35(9):914-925.
YAN X F, DU Q, SHI C, et al. Seedling regeneration of *Quercus liaotungensis* in Liupan Mountains, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(9): 914-925. (in Chinese)
- [14] 胡秀娟,程积民,杨晓梅,等. 黄土高原子午岭林区辽东栎种群分布格局及群落特种研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(5):1-6.
HU X J, CHENG J M, YANG X M, et al. Spatial distribution pattern and the community characteristic of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwoiling region [J]. Journal of Northwest Forest University, 2010, 25(5): 1-6. (in Chinese)
- [15] 闫兴富. 辽东栎的繁殖体及其与种群更新的关系[J]. 西北林

- 学院学报, 2008, 23(5): 103-107.
- YAN X F. Propagules of *Quercus liaotungensis* population and their relations to the regeneration[J]. Journal of Northwest Forest University, 2008, 23(5): 103-107. (in Chinese)
- [16] 邓磊, 张文辉, 何景峰, 等. 不同采伐强度对辽东栎幼苗更新的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 160-166.
- DENG L, ZHANG W H, HE J F, *et al.* Effects of different cutting intensities on seedling regeneration of *Quercus liaotungensis*[J]. Journal of Northwest Forest University, 2011, 26(2): 160-1566. (in Chinese)
- [17] SOBRINO-VESPERINAS E, VIVIANI A B. Pericarp micro-morphology and dehydration characteristics of *Quercus suber* L. acorns[J]. Seed Science Research, 2000, 10(3): 401-407.
- [18] RAKIC S, POVRENOVIC D, TESEVIC V, *et al.* Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(3): 416-423.
- [19] 刘艳, 李庆梅, 刘广全, 等. 麻栎种子萌发的抑制机制[J]. 林业科学, 2012, 48(9): 164-170.
- LIU Y, LI Q M, LIU G Q, *et al.* Inhibitory mechanism of seed germination of *Quercus acutissima*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(9): 164-170. (in Chinese)
- [20] 陈章和. 英国栎(*Quercus pedunculata* Ehrh.)种子萌发及幼苗生长分析[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 1991, 23(2): 56-61.
- CHEN Z H. Germination of seeds and growth of seedlings of *Quercus pedunculata* Ehrh[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Ed., 1991, 23(2): 56-61. (in Chinese)
- [21] 付菁, 王辉, 李永兵. 子午岭辽东栎种子萌发影响因子试验研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(1): 123-126.
- FU J, WANG H, LI Y B. Study on impact factors of *Quercus wutaishanica* seed germination in Ziwu Mountains[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2009, 44(1): 123-126. (in Chinese)
- [22] BOSCAGLI A, SETTE B. Seed germination enhancement in *Satureja montana* L. ssp. *montana*[J]. Seed Science and Technology, 2001, 29(2): 347-355.
- [23] 马红媛, 吕丙盛, 杨昊谕, 等. 松嫩平原退化草地羊草种子萌发对环境因子的响应[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 812-818.
- MA H Y, LV B S, YANG H Y, *et al.* Responses of seed germination of *Leymus chinensis* to environmental factors in degraded grassland on Songnen Plain in China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 812-818. (in Chinese)
- [24] 张勇, 薛林贵, 高天鹏, 等. 荒漠植物种子萌发研究进展[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 106-112.
- ZHANG Y, XUE L G, GAO T P, *et al.* Research advance on seed germination of desert plants[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(1): 106-112. (in Chinese)
- [25] 刘有军, 刘世增, 纪永福, 等. 碟果虫实种子萌发对策及生态适应性[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6910-6918.
- LIU Y J, LIU S Z, JI Y F, *et al.* Seed germinative strategy and ecological adaptability of *Corispermum patelliforme*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6910-6918. (in Chinese)
- [26] 曹满航, 李进, 张婷, 等. 温度和水分及盐分胁迫对银沙槐种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(4): 746-753.
- CAO M H, LI J, ZHANG T, *et al.* Seed germination of *Ammodendron argenteum* under temperature, drought and salt stress[J]. Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(4): 746-753. (in Chinese)
- [27] BONNER F T, VOZZO J A. Seed biology and technology of *Quercus*[R]. New Orleans: USDA, Forest service, General Technical Report, 1987.
- [28] 同兴富, 周立彪, 张靠稳, 等. 不同密度下辽东栎幼苗子叶丢失及其对幼苗存活和生长的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 831-840.
- YAN X F, ZHOU L B, ZHANG K W, *et al.* Cotyledon loss and its effects on survival and growth of *Quercus wutaishanica* seedlings under different densities[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 831-840. (in Chinese)

(上接第 118 页)

- [15] 陈良华. 四川核桃、铁核桃的分子鉴定及其遗传多样性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.
- [16] 陈静. 核桃 AFLP 银染技术体系的建立及指纹图谱的构建[D]. 保定: 河北农业大学, 2004.
- [17] 宁德鲁, 马庆国, 张雨, 等. 云南省核桃品种遗传多样性的 FISH-AFLP 分析[J]. 林业科学研究, 2011, 24(2): 189-193.
- NING D L, MA Q G, ZHANG Y, *et al.* FISH-AFLP analysis of genetic diversity on walnut cultivars in Yunnan province[J]. Forest Research, 2011, 24(2): 189-193. (in Chinese)
- [18] 张大乐, 李锁平, 雷进生, 等. 利用 SSR 标记对 12 个啤酒大麦品种的聚类分析和主坐标分析[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(3): 26-31.
- ZHANG D L, LI S P, LEI J S, *et al.* Cluster and principal coordinate analysis among 12 beer barley by SSRs[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2007, 30(3): 26-31. (in Chinese)
- [19] 任耀忠, 张文辉, 周建云. 栓皮栎不同变异类型 RAPD 分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4): 66-70.
- REN Y Z, ZHANG W H, ZHOU J Y. RAPD analysis on different variant types of *Quercus variabilis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(4): 66-70. (in Chinese)
- [20] 张党权, 田华, 谢耀坚, 等. 桉树 4 个种遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(1): 12-17.
- ZHANG D Q, TIAN H, XIE Y J, *et al.* Genetic diversity of four *Eucalyptus* species by ISSR[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(1): 12-17. (in Chinese)