doi:10.13866/j.azr.2014.04.24

土壤掩埋对辽东栎幼苗出土和生长的影响①

王娟婷[1]， 王乃江[1]， 党 鹏[1]， 张任凡[1]， 习世宏[2]

(1.西北农林科技大学林学院,西部环境与生态教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100;
2.韩城市水土保持工作站,陕西 韩城 715400)

摘 要: 以黄土高原天然次生林辽东栎(*Quercus wutaishanica*)种子为对象,采用双因素(覆土厚度和播种时间)完全随机试验的方法,研究土壤掩埋对辽东栎幼苗出土和生长的影响。结果表明:① 覆土厚度对辽东栎种子的出苗率有显著影响($P<0.05$),出苗率随着覆土厚度的增加而增加,覆土厚度为10 cm时,出苗率达到最大值,分别为$(53.2\pm20.7)\%$和$(42.0\pm0.7)\%$;覆土厚度对幼苗的生长影响不显著。② 播种时间对0~3 cm覆土播种的出苗率影响显著($P<0.05$),由于温度的差异,11月1日播种的种子出苗率高于12月10日,出苗率分别为$(11.9\pm1.2)\%\sim(53.2\pm20.7)\%$和$(1.5\pm0.8)\%\sim(42.0\pm0.7)\%$;播种时间对覆土播种的幼苗生长无显著影响,对地表播种的幼苗叶面积影响显著($P<0.05$)。可见,土壤掩埋有利于辽东栎幼苗的出土,土壤掩埋对幼苗的生长影响不大。

关键词: 辽东栎(*Quercus wutaishanica*); 种子; 土壤掩埋; 出苗率; 幼苗生长; 黄土高原

植物繁殖对策是植物生态学的一个重要研究领域,种子萌发对于植物完成种群繁衍更新,扩展分布区域具有重要的意义[1]。植物种子的萌发和出苗受许多因素的影响,包括温度、土壤湿度和种子埋藏深度等[2]。作为影响植物种子萌发和出苗的重要指标之一,种子埋藏深度对其萌发和出苗已有较多研究和报道,Guo等[3]对山杏种子进行不同覆土厚度的种子萌发试验,发现覆土厚度为4 cm时,山杏种子的萌发率最高,小于4 cm(包括地表播种)或大于4 cm时,种子萌发率均较小;张有佳等[4]认为,覆土1 cm的白刺种子出苗率高于覆土2 cm和覆土3 cm的种子; 杨荣慧等[5]研究发现,播种覆土厚度0.2 cm分别比覆土厚0.4 cm和0.6 cm出苗率提高36.6%和62.7%;刘友军等[6]研究发现,腾格里沙漠3种一年生植物种子的出苗率都随着沙埋深度的增加呈现下降趋势。总之,覆土厚度对不同树种种子萌发的影响没有统一的结论。因此,深入研究覆土对种子萌发和出苗的影响有重要意义。

辽东栎(*Quercus wutaishanica*)是黄土高原地区的地带性建群树种,也是该区植被恢复演替过程中的顶极群落[7],其林分的自然更新对种群的扩展和次生林的天然恢复有重要意义[8]。辽东栎次生林种群的天然更新有实生和萌生两种更新策略,林下辽东栎的更新主要依靠萌生苗,实生苗更新数量匮乏是许多栎林面临的共同问题[9],限制了以有性繁殖的形式实现种群的天然更新[10-11]。尽管辽东栎天然次生林下每年有大量的种子散落,可以形成一个极为短暂的种子库[12-13],但在萌发前大量的种子常常会被动物取食[14-18],这种情况可能是限制实生苗更新的重要原因之一[19];另一方面,动物对辽东栎种子的掩埋也可能增大种子的隐蔽性,降低种子被其他动物取食的风险,从而增加了种子成苗的机会[20]。另外,Burton等[21]和孙书存等[22]发现,地表覆盖物能使地面温湿度波动减小,从而提高辽东栎种子的发芽率;王晗生等[23]也认为,地面处理产生的覆土效果可改善落种的水分环境,克服降水条件的制约,从而促进人工林更新幼苗的发生。说明覆土可以改善种子所处的微环境,提供充足的水分和适宜的湿度,促进种子的萌发和出苗。

由于辽东栎种子扩散主要依靠动物传播,并被

① **收稿日期**: 2013-12-31; **修订日期**: 2014-01-14
基金项目: 西北农林科技大学基本科研业务专项资金项目(ZDXM2012-10); 国家科技部"十二五"科技支撑计划项目(2012BAD22B030203)
作者简介: 王娟婷(1987-),女,硕士在读,主要从事干旱区森林培育的理论和技术研究. E-mail: Wang_Juan_ting@126.com
通讯作者: 王乃江. E-mail: wang7082261@163.com

啮齿动物大量埋藏,因此,通过人工播种的方式模拟辽东栎种子的自然萌发过程,是研究辽东栎种群更新的常用方法[24]。为深入研究土壤掩埋对种子的萌发及出苗的影响,本研究采用覆土厚度和播种时间,以黄土高原天然次生林辽东栎种子为研究对象,在 10 a 油松人工林下播种辽东栎种子,观察不同覆土厚度和播种时间辽东栎种子的出苗和成苗情况,了解辽东栎种子的萌发和幼苗生长对不同温度、土壤湿度和种子埋藏深度的响应,阐明土壤掩埋种子对辽东栎幼苗更新产生的影响,为深入研究干旱半干旱地区辽东栎次生林的天然更新提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于陕西省杨凌示范区西北农林科技大学林学院苗圃,地理坐标 34.36°N、108.72°E,四季冷热干湿分明,寒冷干燥,气温低,气候温和,光、热、水资源丰富,年平均降水量 537 ~650 mm,年平均气温 9.0 ~13.2 ℃,全年太阳辐射 4.61×10^9 ~ 4.99×10^9 $J\cdot m^{-2}$,年累计光照时数平均为 2 017.2 ~ 2 346.9 h。

1.2　试验材料

辽东栎种子于 2012 年 10 月 20 日采自陕西省宝鸡市麟游县辽东栎天然次生林。采集的种子经过乐果杀虫剂杀虫后,将有虫孔的种子剔除。依据种子上的虫孔计算得辽东栎种子虫害感染率为 5.6%,运用百粒法测得种子千粒重为 1 774 g。对种子进行杀虫处理后,选取成熟、饱满、均匀度一致的种子备用。

1.3　试验方法

1.3.1　*样地设置*　在苗圃内 10 a 人工油松林下进行播种,人工油松林林分长势良好,密度为 2 400 株 · hm^{-2},树高为 4.8 m,胸径为 5.7 cm,枝下高为 1.2 m,冠幅为 2.67 m×2.45 m。选择坡度、坡向、光照、土壤湿度等环境条件一致的试验区 2 个,分别于 2012 年 11 月 1 日和 12 月 10 日进行播种,2 个试验区相距 100 m,在试验区各设置 12 个 1 m×1 m 的试验小区,各试验小区播种时的覆土厚度分别为 0、3、5 cm 和 10 cm[25],试验进行 3 次重复。各试验小区按 7 行×7 列播种,共播种 49 穴,每穴播种 4 粒,每个试验小区播种 196 粒,共播种 2×12×196 =4 704 粒。

1.3.2　*出苗观察和记录*　定期观察幼苗出土和生长发育情况,以 2 片子叶出土定义为出苗[26]。自有幼苗出土开始,每隔一周观测 1 次出苗情况并记录出苗数,采用完全抽样法统计各试验小区的出苗数,计算出苗率。出苗率计算公式为:

$$出苗率 = 出苗数/播种数\times100\%$$

1.3.3　*幼苗生长指标的测定*　待顶芽形成后(6 月 25 日),测定幼苗生长指标,包括苗高(地面到顶端分生组织的距离,米尺)、叶片数和叶面积。试验采用隔行取样的方法测定苗高和叶片数,分别在各试验小区的第 2、4、6 行取 2 株幼苗,共 6 株,测定其苗高并记录叶片数。用相同的取样方法在各试验小区随机选取 6 株幼苗,取其顶芽下方的第 2 片叶,在实验室内运用 Epson Perfection 4990 Photo 根系扫描仪,对叶片进行扫描成像并计算叶面积。

1.4　数据分析

运用 SPSS 19.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA),对不同覆土厚度辽东栎种子的出苗率、幼苗叶面积、苗高和叶片数进行差异性分析,对不同播种时间的 4 个覆土厚度播种的上述 4 个指标进行多重比较,采用双侧 t 检验法分析不同播种时间对出苗率、叶面积、苗高、叶片数的影响。试验数据均以平均值 ± 标准偏差表示。

2　结果与分析

2.1　覆土厚度对幼苗出土和生长的影响

由表 1 可知,出苗率随着覆土厚度的增加而增大。于 11 月 1 日,置于地表和 10 cm 覆土播种的辽东栎种子出苗率存在显著差异($P<0.05$),地表播种、3 cm 和 5 cm 覆土的种子出苗率无显著差异,3 cm、5 cm、10 cm 覆土的种子出苗率无显著差异;12 月 10 日播种的试验区内,置于地表与 3 cm 覆土播种的出苗率无显著差异,其余处理间均存在显著差异($P<0.05$)。覆土厚度对 11 月 1 日播种的幼苗叶面积无显著影响;于 12 月 10 日播种,置于地表播种的幼苗叶面积与埋藏 10 cm 的叶面积差异显著($P<0.05$)。11 月 1 日和 12 月 10 日播种的,3 cm 覆土的幼苗高度最高。11 月 1 日播种的,置于地表和覆土 3 cm 的苗高差异显著($P<0.05$),其余处理间苗高无显著差异;11 月 1 日播种的,覆土厚度对

表1 不同覆土厚度对辽东栎种子的出苗率、叶面积、苗高和叶片数的影响

Tab. 1 Effects of soil-covering thickness on emergence rate, leaf area, seedling height and leaf number of *Quercus wutaishanica*

播种时间	覆土厚度/cm	出苗率/% ($n=3$)	叶面积/cm^2 ($n=18$)	苗高/cm ($n=18$)	叶片数 ($n=18$)
11月1日	0	11.9±1.2b	18.1±1.5a	4.6±0.7b	4.0±0.6a
	3	23.0±5.3ab	15.1±1.3a	6.3±0.6a	3.7±0.3a
	5	27.2±8.6ab	18.0±1.2a	5.9±0.5ab	4.0±0a
	10	53.2±20.7a	17.7±1.3a	5.2±0.2ab	4.0±0a
12月10日	0	1.5±0.8d	11.1±1.2b	4.9±1.2a	4.3±0.3a
	3	2.4±0.9cd	14.6±0.9ab	6.2±1.1a	3.7±0.3a
	5	10.9±2.5b	14.5±1.2ab	5.0±0.1a	4.0±0.3a
	10	42.0±0.7a	16.8±1.6a	5.4±0.3a	4.3±0.3a

n 为样本数。不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

表2 不同播种时间对辽东栎种子出苗率及幼苗生长的影响

Tab. 2 Effects of sowing time on emergence rate and seedling growth of *Quercus wutaishanica*

播种时间	覆土厚度/cm	出苗率/% ($n=3$)	苗高/cm ($n=18$)	叶面积/cm^2 ($n=18$)	叶片数 ($n=18$)
11月1日	0	11.9±1.2	4.6±0.7	18.1±1.5	4.0±0.6
	3	23.0±5.3	6.3±0.6	15.1±1.3	3.7±0.3
	5	27.2±8.6	5.9±0.5	18.0±1.2	4.0±0
	10	53.2±20.7	5.2±0.2	17.7±1.3	4.0±0
12月10日	0	1.5±0.8	4.9±1.2	11.1±1.2	4.3±0.3
	3	2.4±0.9	6.2±1.1	14.6±0.9	3.7±0.3
	5	10.9±2.5	5.0±0.1	14.5±1.2	4.0±0.3
	10	42.0±0.7	5.4±0.3	16.8±1.6	4.3±0.3
差值	0	10.4*	-0.3	7.0*	-0.3
	3	20.6*	0.1	0.5	0
	5	16.3	0.9	3.5	0.3
	10	11.2	-0.2	0.9	-0.3

*表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

幼苗高度无显著影响。在2个试验区内,覆土厚度对幼苗叶片数量无显著影响。

2.2 播种时间对幼苗出土和生长的影响

由表2可知,覆土厚度为0 cm和3 cm时,2个试验区的出苗率存在显著差异($P<0.05$),且11月1日播种的出苗率大于12月10日,而当覆土厚度为5 cm和10 cm时,2个试验区的出苗率无显著差异,表明播种时间对置于地表或浅埋藏的种子出苗率有显著影响,当覆土厚度增加到5 cm时,该影响不再显著。

覆土厚度分别为0 cm、3 cm、5 cm、10 cm时,2个试验区的幼苗苗高均无显著差异($P<0.05$),表明播种时间对幼苗苗高无显著影响。覆土厚度相同时,2个试验区的幼苗叶片数量差异不显著,说明播种时间对辽东栎幼苗叶片数量无显著影响。

11月1日播种的幼苗叶面积大于12月10日播种的。覆土厚度为0 cm时,2个试验区内不同时间播种的幼苗叶面积差异显著($P<0.05$);覆土厚度为3 cm、5 cm、10 cm时,2个试验区的幼苗叶面积无显著差异。

3 讨论和结论

3.1 覆土厚度对辽东栎幼苗出土和生长的影响

11月1日和12月10日覆土播种的出苗率(23.0%~53.2%和2.4%~42%)高于地表播种的出苗率(11.9%和1.5%)。这与Jensen[27]的研究结果一致,他们发现在自然条件下,无梗花栎在地面上的发芽率为1%,而埋藏的种子发芽率则上升至80%。Kollmand等[28]也发现,置于地表播种的出苗

率为 33.8%,埋藏 5~6 cm 深的种子出苗率增加至 99.0%。动物对种子的埋藏行为对树种的更新极为重要,种子埋藏可防止脱水,利于种子萌发和幼苗生根[29]。埋藏可改善种子的微环境(如湿度),从而有利于种子发芽,提高出苗率[30]。放置于地表的种子在干燥和强光照射的环境下比埋藏种子更容易生病,使得胚芽不能穿透土层,最终变为空壳甚至霉烂[31]。本试验中,辽东栎种子地表播种时,其出苗率很低(11.9% 和 1.5%);覆土厚度为 3 cm 时,出苗率有小幅增加(23.0% 和 2.4%),随着埋藏深度的增加出苗率不断增大。覆土厚度为 10 cm 时,辽东栎种子出苗率达到最大(53.2% 和 42.0%)。因此,动物对种子的埋藏有利于幼苗出土,对种群更新是非常有益的。

不同覆土厚度下,置于地表播种的幼苗苗高小于覆土播种的幼苗苗高,置于 11 月 1 日地表播种与 3 cm 覆土播种的苗高有显著差异,与其余覆土厚度及 12 月 10 日播种的各覆土厚度之间无显著差异;叶面积和叶片数无显著差异。总的来说,覆土厚度对幼苗的生长无显著影响。

由试验结果可知,辽东栎种子出苗率随覆土厚度(0 cm、3 cm、5 cm、10 cm)的增加而增大,因此,在以后的研究中,可以增加覆土厚度的梯度,可增加至 12 cm 和 14 cm 等。

3.2　播种时间对辽东栎幼苗出土和生长的影响

温度作为影响种子萌发的关键生态因子之一,对黄土高原植被的影响尤为重要,其种子萌发对温度的响应也不同[32]。适宜的环境条件如温度对种子的萌发和幼苗生长有重要意义[33]。研究区冬季月平均温度为 -1.0~8.0 ℃,11 月温度为 3~12 ℃,12 月温度为 -3~6 ℃,温度差异明显,另外,陕西黄土高原辽东栎种子雨为 9—10 月。因此,分别于 11 月和 12 月(辽东栎种子雨结束后)播种辽东栎种子。当覆土厚度分别为 0 cm、3 cm、5 cm 和 10 cm 时,11 月 1 日播种的种子出苗率(11.9%~53.2%)大于 12 月 10 日播种的(1.5%~42%),因为 12 月较 11 月气温低,辽东栎种子在低温环境下易受伤害,不利于种子萌发[25],导致种子的出苗率较低。播种时间对地表播种(0 cm)和浅埋藏(3 cm)的种子出苗率有显著影响,但随着覆土厚度的增加(5 cm 和 10 cm),该影响不再显著。可能是因为 12 月较 11 月气温低,而且置于地表或埋藏较浅的种子易受低温、低湿条件影响[34],导致辽东栎种子的出苗率显著降低;土层较深(5~10 cm)时,土壤温度和湿度差异不大,不同播种时间的种子出苗率无显著差异。因此,11 月播种辽东栎种子更有利于种子的萌发和幼苗出土。可见,辽东栎种子雨过后,随着温度的降低,土壤掩埋的辽东栎幼苗的出苗率减小。

不同的播种时间辽东栎幼苗的苗高和叶面积无显著差异,即播种时间对幼苗出土后的生长发育无显著影响。地表播种的幼苗叶面积受到播种时间的显著影响,而覆土播种的幼苗叶面积随播种时间无明显变化。分析其原因,可能是因为地表播种的辽东栎种子易受低温的影响[34],导致其出苗率在不同的播种时间差异显著。

参考文献(References):

〔1〕 夏芸,田长彦,冯固. 土壤水分和盐分对浆果猪毛菜种群分布的影响〔J〕. 干旱区研究,2009,26(5):727-733.〔Xia Yun, Tian Chunyan, Feng Gu. Effects of soil salinity and moisture content on population distribution of *Salsola foliosa* (L.) Schard〔J〕. Arid Zone Research,2009,26(5):727-733.〕

〔2〕 Nie C L, Zheng Y R. Effect of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four dominant psammophytes in the Ordos Plateau〔J〕. Acta Phytoecologica Sinica, 2005, 29: 32-41.

〔3〕 Guo C R, Wang Z L, Lu J Q. Seed germination and seedling development of *Prunus armeniaca* under different burial depths in soil〔J〕. Journal of Forestry Research, 2010, 21(4):492-496.

〔4〕 张有佳,李进军,马存世,等. 种子处理和覆土处理对白刺种子出苗率的影响〔J〕. 甘肃林业科技,2010,35(3):44-46.〔Zhang Youjia, Li Jinjun, Ma Cunshi, et al. Effects of treatment and casing soil treatment on rate of emergence of *Nitraria tangutorum* seed〔J〕. Journal of Gansu Forestry Science and Technolog, 2010,35(3):44-46.〕

〔5〕 杨荣慧,孙宝胜,赵霞,等. 连香树播种育苗试验〔J〕. 西北林学院学报,2012,27(1):94-97.〔Yang Ronghui, Sun Baosheng, Zhao Xia, et al. Sowing and seedling raising of *Cercidiphyllum japonicum*〔J〕. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1):94-97.〕

〔6〕 刘有军,马全林,张德魁,等. 腾格里沙漠南缘 3 种一年生植物出对沙埋和 GA3 的响应〔J〕. 干旱区研究,2010,27(5):699-704.〔Liu Youjun, Ma Quanlin, Zhang Dekui, et al. Response of germination rate of three annual plant specie to sand burial depths and GA3 in southern marginal zone of the Tengger Desert〔J〕. Arid Zone Research, 2010, 27(5):699-704.〕

〔7〕 郭江超,王孝安,郭华,等. 黄土高原子午岭辽东栎更新层与灌

木层物种种间联结分析〔J〕. 干旱区研究,2010,27(3):344 - 349.〔Guo Jiangchao,Wang Xiao'an,Guo Hua,et al. Analysis on interspecific association of *Quercus liaotungensis* in regenerated layer with shrub species in the Ziwuling region of the Loess Plateau 〔J〕. Arid Zone Research,2010,27(3):344 - 349.〕

〔8〕 邓磊,张文辉,何景峰. 不同经营措施对黄龙山辽东栎林的影响〔J〕. 西北植物学报,2011,31(1):159 - 166.〔Deng Lei, Zhang Wenhui,He Jingfeng. Effects of different management measures of *Quercus liaotungensis* in the Huanglong Mountain〔J〕. Acta Botanica Boreale-Occidentalia Sinica,2011,31(1):159 - 166.〕

〔9〕 郑维娜,王孝安,郭华,等. 微生境对辽东栎幼苗生长的影响〔J〕. 干旱区研究,2013,30(6):1 049 - 1 055.〔Zheng Weina, Wang Xiaoan,Guo Hua,et al. Effects of microhabitat on the growth of *Quercus liaotungensis* seedlings〔J〕. Arid Zone Research,2013, 30(6):1 049 - 1 055.〕

〔10〕 孙书存,陈灵芝. 东灵山地区辽东栎叶的生长及其光合作用〔J〕. 生态学报,2000,20(2):212 - 217.〔Sun Shucun, Chen Lingzhi. Leaf growth and photosynthesis of *Quercus liaotungensis* in Dongling Mountain region〔J〕. Acta Ecology Sinica,2000,20(2): 212 - 217.〕

〔11〕 Sun S C,Chen L Z. The effects of animal removal and groundcover on the fate of seeds of *Quercus liaotungensis*〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2001,21:80 - 85.

〔12〕 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 Xingfu. Propagules of *Quercus liaotungens* is population and their relations to the regeneration〔J〕. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(5): 103 - 107.〕

〔13〕 王巍,马克平,刘灿然. 北京东灵山落叶阔叶林中辽东栎种子雨〔J〕. 植物学报,2000,42(2):195 - 202.〔Wang Wei, Ma Keping,Liu Canran. Seed shadlow of *Qurecus liaotungensis* in a broad-leaved forest in Dongling Mountain〔J〕. Acta Botartica Sinica,2000,42(2):195 - 202.〕

〔14〕 路纪琪,张知彬. 灌丛高度对啮齿动物贮藏和扩散辽东栎坚果的影响〔J〕. 动物学报,2005,51(2):195 - 204.〔Lu Jiqi,Zhang Zhibin. Effects of high and low shrubs on acorn hoarding and dispersal of Liaodong oak *Qurecus liaotungensis* by small rodents〔J〕. Acta Zoologica Sinica,2005,51(2):195 - 204.〕

〔15〕 高贤明,杜晓军,王中磊. 北京东灵山区两种生境条件下辽东栎幼苗补充与建立的比较〔J〕. 植物生态学报,2003,27(3): 404 - 411.〔Gao Xianming,Du Xiaojun,Wang Zhonglei. Comparison of seedling recruitment and establishment of *Quercus Wutaishanica* in two habitats in Dongling Mountains area,Beijing〔J〕. Chinese Journal of Plant Ecology,2003,27(3):404 - 411.〕

〔16〕 路纪琪,肖治术,程瑾瑞,等. 啮齿动物的分散贮食行为〔J〕. 兽类学报,2004,24(3):267 - 272.〔Lu Jiqi,Xiao Zhishu,Cheng Jinrui,et al. Scatter hoarding behavior of rodents〔J〕. Acta Theriologica Sinica,2004,24(3):267 - 272.〕

〔17〕 王巍,马克平,高贤明. 东灵山地区脊椎动物对辽东栎坚果捕食的时空格局〔J〕. 植物学报,2000,42(3):289 - 293.〔Wang Wei,Ma Keping,Gao Xianming. Spatial and temporal patterns of *Qurecus liaotungensis* acorn predation by vertebrates in Dongling Mountain, northern China〔J〕. Acta Botartica Sinica,2000,42 (3):289 - 293.〕

〔18〕 马杰,李庆芬,孙儒泳,等. 啮齿动物和鸟类对东灵山地区辽东栎种子丢失的影响〔J〕. 生态学杂志,2004,23(1):107 - 110.〔Ma Jie,Li Qingfen,Sun Ruyong,et al. Influence on seed bank of *Quercus liaotungensis* by birds and rodents in Dongling Mountain 〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2004,23(1):107 - 110.〕

〔19〕 孙书存,陈灵芝. 东灵山地区辽东栎种子库统计〔J〕. 植物生态学报,2000,24(2):215 - 221.〔Sun Shucun,Chen Lingzhi. Seed demography of *Quercus liaotungensis* in Dongling Mountain region 〔J〕. Chinese Journal of Plant Ecology,2000,24(2):215 - 221.〕

〔20〕 Li Q K,Ma K P. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz. under mature mixed oak forest overstory and in shrubland〔J〕. Forest Ecology and Management,2003,176(1/3):133 - 146.

〔21〕 Burton P J, Bazzaz F A. Tree seedling emergence on interactive temperature and moisture gradients and in patches of old-field vegetation〔J〕. American Journal of Botany,1991,78:131 - 149.

〔22〕 孙书存,陈灵芝. 动物搬运与地表覆盖物对辽东栎种子命运的影响〔J〕. 生态学报,2001,21(1):80 - 85.〔Sun Shucun,Chen Lingzhi. The effects of animal removal and groundcover on the fate of seeds of *Quercus liaotungensis*〔J〕. Acta Ecology Sinica,2001, 21(1):80 - 85.〕

〔23〕 王晗生. 干旱影响下人工林的天然更新进程〔J〕. 干旱区研究, 2012,29(5):743 - 750.〔Wang Hansheng. Natural regeneration of plantation forests under drought〔J〕. Arid Zone Research,2012, 29(5):743 - 750.〕

〔24〕 郭华,王孝安,王世雄,等. 黄土高原子午岭辽东栎(*Quercus liaotungensis*)幼苗动态生命表及生存分析〔J〕. 干旱区研究, 2011,28(6):1 005 - 1 010.〔Guo Hua,Wang Xiao'an,Wang Shixiong,et al. Dynamic life table and analysis on survival of *Quercus liaotungensis* seedlings in Mt. Ziwuling of the Loess Plateau 〔J〕. Arid Zone Research,2011,28(6):1 005 - 1 010.〕

〔25〕 张知彬. 埋藏和环境因子对辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koidz)种子更新的影响〔J〕. 生态学报,2001,21(3):374 - 384.〔Zhang Zhibin. Effect of burial and environmental factors on seedling recruitment of *Quercus liaotungensis* Koidz〔J〕. Acta Ecology Sinica,2001,21(3): 374 - 384.〕

〔26〕 刘炳响,王志刚,杨敏生,等. 模拟盐胁迫对白榆种子发芽、出苗及幼苗生长的影响〔J〕. 草业学报,2012,21(5):39 - 46.〔Liu Bingxiang,Wang Zhigang,Yang Minsheng,et al. Effects of simulated salts stress on seed germination seedling mergence and growth of *Ulmus pumila*〔J〕. Acta Pataculturae Sinica,2012,21 (5):39 - 46.〕

〔27〕 Jensen T S. Seed predator interactions of European beech(*Fagus silvatica* L.) and forest rodents, *Clethrionomys glarealus* and *Apodemus flavicollis*〔J〕. Oikos,1985,44:149 - 156.

〔28〕 Kollmann J,Schill H P. Spatial patterns of dispersal,seed predation and germination during colonization of abandoned grassland by *Quercus petraea* and *Corylus avellana*〔J〕. Vegetation, 1996, 125: 193 – 205.

〔29〕闫兴富,周立彪,刘建利. 啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响〔J〕. 生态学报,2012,32(9): 2 778 – 2 786.〔Yan Xingfu, Zhou Libiao, Liu Jianli. Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of *Quercus wutaishanica* seeds under the predation pressure of rodents〔J〕. Acta Ecology Sinica, 2012, 32(9): 2 778 – 2 786.〕

〔30〕王海珍,韩蕊莲,梁宗锁,等. 土壤干旱对辽东栎、大叶细裂槭幼苗生长及水分利用的影响〔J〕. 林业科学,2004,40(22): 439 – 446.〔Wang Haizhen, Han Ruilian, Liang Zongsuo, et al. Effect of soil drought stress on the shoot growth and water use efficiency of *Quercus liaotungens* is and *Acer stenolobum* var. *megalophyllum*〔J〕. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(22): 439 – 446.〕

〔31〕Guo C R, Lu J Q, Yang D Z, et al. Impacts of burial and insect infection on germination and seedling growth of acorns of *Quercus variabilis*〔J〕. Forest Ecology and Management, 2009, 258: 1 497 – 1 502.

〔32〕Kos M, Poschlod P. Seeds use temperature cues to ensure germination under nurse-plant shade in Xeric Kalahari Savannah〔J〕. Annals of Botany, 2007, 99(4): 667 – 675.

〔33〕Kos M, Poschlod P. Correlates of interspecific variation in germination response to water stress in a semi-arid savannah〔J〕. Basic and Applied Ecology, 2008, 9(6): 645 – 652.

〔34〕Zhang Z B, Wang F S. Effect of burial on acorn survival and seedling recruitment of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) under rodent predation〔J〕. Acta Theriologica Sinica, 2001, 21(1): 35 – 43.

Effects of Soil-covering Thickness on Emergence Rate and Seedling Growth of *Quercus wutaishanica*

WANG Juan-ting[1], WANG Nai-jiang[1], DANG Peng[1], ZHANG Ren-fan[1], XI Shi-hong[2]

(1. *Key Laboratory of Environment and Ecology in West China*, *Ministry of Education*, *College of Forestry*, *Northwest A & F University*, *Yangling* 712100, *Shaanxi*, *China*;

2. *Hancheng Administrative Station of Water and Soil Conservancy*, *Hancheng* 715400, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: In this study, the effects of soil-covering thickness and sowing time on the emergence rate and seedling growth of *Quercus wutaishanica*, a kind of natural secondary forest on the Loess Plateau, were researched. The results were as follows: ① Soil-covering thickness affected significantly the emergence rate ($P<0.05$), the emergence rate was increased with the increase of soil-covering thickness and reached its maximum value when the soil-covering thickness was increased to 10 cm. The effect of soil-covering thickness on the seedling growth was not significant; ② The effect of sowing time on the emergence rate was significant when the soil-covering thickness was 0 – 3 cm ($P<0.05$). The emergence rate that the sowing time was on November 1 was higher than that on December 10 because of the temperature difference, and the emergence rates that the sowing time was on these two days were $(11.9 \pm 1.2)\% - (53.2 \pm 20.7)\%$ and $(1.5\% \pm 0.8)\% - (42.0 \pm 0.7)\%$ respectively; the effect of sowing time on the seedling growth was not significant but the leaf area ($P<0.05$). Therefore, it could be concluded that soil-covering was advantageous for improving the emergence rate of *Q. wutaishanica*, but its effect on the seedling growth was not significant.

Key words: *Quercus wutaishanica*; seed; soil-covering thickness; emergence rate; seedling growth; the Loess Plateau