

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.004

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.004.html

渭北黄土高原侧柏人工林种子雨和种子库研究

于泽群^a,刘金良^a,杨婷婷^b,张顺祥^a,赵 忠^a,王迪海^a

(西北农林科技大学 a 西部环境与生态教育部重点实验室, b 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】揭示渭北黄土高原地区侧柏人工林种子雨和种子库的组成、质量、散布规律,为侧柏人工林恢复和持续经营提供理论依据。【方法】在陕西省永寿县槐坪林场选择未经抚育、经间伐抚育(强度约 30%)的侧柏人工林和刺槐-侧柏混交林各设置 3 块固定样地,于 2012-08-10 每隔 7 d 收集 1 次种子雨,2012-11 及 2013-08 分别收集土壤种子库,采用种子萌发试验测定种子活力,并调查样地内天然更新的幼苗密度。【结果】研究区未经抚育的侧柏人工林种子雨从 08-10 开始,8 月末至 9 月初达到高峰期,10-12 结束;2012-11 土壤种子库中完整种子占 47.18%,萌发率为 17.30%;2013-08 土壤种子库中完整种子数为 0。经间伐抚育的侧柏人工林种子雨从 08-10 开始,09-07 左右达到高峰期,10-05 结束;2012-11、2013-08 土壤种子库中完整种子分别占 42.24%和 13.48%,萌发率分别为 29.10%和 0。刺槐-侧柏混交林的种子雨从 08-10 开始,09-07-09-14 达到高峰期,10-12 结束;2012-11、2013-08 土壤种子库中完整种子分别占 53.85%和 20.97%,萌发率分别为 26.27%和 0。3 种类型样地的种子雨在起始期均以空粒、干瘪的不完整种子为主;进入高峰期,种子雨以完整、饱满种子为主。种子雨到达地面后,主要分布在枯枝落叶层,0~2 cm 土层有少量分布,2 cm 以下土层极少有种子分布。【结论】种子雨下落前种子库密度大大减少,完整种子的萌发率降为 0,霉烂种子的比例大幅增加,这表明研究区人工侧柏不能在地面形成稳定有效的种子库。

【关键词】 渭北黄土高原;侧柏人工林;种子雨;种子库

【中图分类号】 S791.380.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)06-0085-08

Seed rain and soil seed bank of *Platycladus orientalis* plantation in Weibei Loess Plateau

YU Ze-qun^a, LIU Jin-liang^a, YANG Ting-ting^b, ZHANG Shun-xiang^a,
ZHAO Zhong^a, WANG Di-hai^a

(a Key Laboratory of Environment and Ecology in Western China, Ministry of Education,

b College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the composition, quality and dispersal regularity of seed rain and soil seed bank of *Platycladus orientalis* plantation in Weibei Loess Plateau to provide theoretical basis for the recovery and continuing operation of *Platycladus orientalis* plantation. 【Method】 Three permanent plots were set in each population including tended (tending rate was about 30%), no-tended *Platycladus orientalis* plantations and *Robinia pseudoacacia*-*Platycladus orientalis* mixed plantation in Huaiping forest farm of Yongshou county, Shaanxi province. Seed rain was collected every 7 days from August to October in 2012 and seeds in soil seed bank were collected in November 2012 and August 2013, respectively. Viability of seeds was measured using seed germination method and density of natural regenerated seed-

【收稿日期】 2013-12-13

【基金项目】 国家“十二五”黄土高原人工林可持续经营技术与示范(2012BAD22B0302)

【作者简介】 于泽群(1989-),男,安徽界首人,在读硕士,主要从事渭北地区水土保持林天然更新研究。
E-mail:347318085@qq.com

【通信作者】 赵 忠(1958-),男,甘肃宁县人,教授,博士生导师,主要从事森林培育理论与技术研究。
E-mail:zhaozh@nwsuaf.edu.cn

lings in each plot was investigated. 【Result】 The seed rain of no-tended *Platycladus orientalis* plantation started from 10th August, reached the peak in later August and early September, ended on 12th October. In November 2012, intact seeds accounted for 47.18% in soil seed bank with germination rate of 17.30%; while in August 2013, the number of intact seeds decreased to 0. Seed rain of tended *Platycladus orientalis* plantation started from 10th August, reached the peak at about 7th September, and ended on 5th October; In November 2012 and August 2013, intact seeds accounted for 42.24% and 13.48% respectively in soil seed bank with germination rate of 29.10% and 0. Seed rain of *Robinia pseudoacacia-Platycladus orientalis* mixed plantation started from 10th August, reached the peak during 7th September to 14th September, ended on 12th October; In November 2012 and August 2013, intact seeds accounted for 53.85% and 20.97% respectively in soil seed bank with germination rate of 26.27% and 0. At the beginning of seed rain, vacant and incomplete seeds were the majority in all the three kinds of plot; while intact seeds dominated during the peak time of seed rain. Soil seeds mainly distributed in the litter layer with little in soil layer of 0–2 cm and fewer in soil layer of >2 cm. 【Conclusion】 Density of soil seed bank reduced greatly, germination rate of intact seeds dropped to 0, and ratio of rotten seeds increased dramatically before the falling of seed rain, indicating that *Platycladus orientalis* plantations could not form stable and effective seed bank on the ground in Weibei Loess Plateau.

Key words: Weibei Loess Plateau; *Platycladus orientalis* plantation; seed rain; soil seed bank

种子雨是种子靠自身的重力和外界力量散布到地表的过程,是森林群落更新繁殖体的主要来源^[1]。由于林木自身的特点和生态环境的异质性,种子雨在发生时间、雨量、强度及散布特征等方面存在很大差异。土壤上层枯落物和土壤中全部存活种子的总和称为土壤种子库^[2]。种子雨是种群的输入源,影响种群的结构组成和发展;种子库是种子雨扩散的结果,影响种群天然更新的能力和方向,二者的数量和质量直接影响植物种群的更新能力^[3-5]。

侧柏(*Platycladus orientalis*)是渭北黄土高原地区主要的乡土造林树种,并且该区侧柏绝大部分都已进入结实期。侧柏人工林的天然更新是其可持续经营的核心内容,对渭北地区林业的持续发展有着深刻的影响。迄今,对侧柏的研究已有很多报道,但这些研究主要集中在生态学及生理学特性方面^[6-9],而对侧柏人工林天然更新,特别是对种子雨、种子库的研究鲜见报道。本研究以侧柏人工林为研究对象,在陕西省永寿县选择处于不同经营状态(抚育、未抚育)的侧柏林及侧柏-刺槐混交林设置固定样地,于2012-08-10,在侧柏种子成熟时收集种子雨,并于2012-11种子雨结束后及2013-08种子雨开始前分别调查土壤种子库,研究不同类型侧柏林的种子雨动态和土壤种子库质量,揭示其天然更新的潜力,为进一步研究人工侧柏林的演变和该地区植被演替的驱动力提供理论依据。

1 研究区概况

研究地点位于陕西省永寿县渡马乡马莲滩流域,地理位置在东经 108°08′~108°10′,北纬 34°49′~34°47′,海拔 1 116~1 276 m。该区属温带大陆性季风气候,年平均气温 10.8℃,年极端最高气温 38.9℃,年极端最低气温 -18℃,≥10℃积温 3 470.3℃;年均无霜期 210 d,最长 252 d,最短 155 d;年平均降雨量 601.6 mm,自然降水分布不均,冬春干旱,夏秋多雨。降雨多集中于 7—9 月份,总降雨量为 306~347.2 mm,占全年雨量的 52.2%~52.6%;年均蒸发量大于降水量,平均自然植被年蒸腾蒸发量 807.4 mm。该区植被属暖温带落叶阔叶林带,原始植被已被破坏殆尽,仅残存少量辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、山杨(*Populus davidiana*)等天然次生林;人工林以 20 世纪 80 年代种植的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和侧柏(*Platycladus orientalis*)为主;主要灌木有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、绣线菊(*Spiraea wilsonii*)、酸枣(*Ziziphus spinosa*)、黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、杠柳(*Periploca sepium*)等;草本以禾本科、菊科、蔷薇科、蝶形花科、唇形花科、十字花科、伞形花科、茄科、蓼科、旋花科等植物为主。

2 研究方法

2.1 样地设置

分别选择未经抚育、经间伐抚育的侧柏林(抚育强度约30%)以及侧柏-刺槐混交林(侧柏比例在75%左右),在其中设置面积为30 m×30 m的样

地,每种林分中各布设样地3块,共9块样地。用GPS准确标定样地的经纬度,调查林分特征,进行每木检尺。在每块样地中,沿左下角到右上角对角线设置3个5 m×5 m的灌木样方和3个1 m×1 m的草本样方,分别用于调查灌、草植物高度和盖度。各样地基本情况见表1。

表1 渭北黄土高原侧柏人工林各类型样地的基本情况

Table 1 Characteristics of 3 *Platycladus orientalis* plantations in Weibei Loess Plateau

样地类型 Plot type	海拔/m Altitude	坡向 Aspect	坡度/(°) Slope	平均树高/m Average height	胸径/cm DBH	枯落物 厚度/cm Litter depth	郁闭度 Canopy cover
抚育 Tended	1 245~1 263	E-S	12~19	4.6	6.3	2.9	0.61
混交 Mixed	1 155~1 176	W	14~21	4.2	5.8	3.5	0.73
未抚育 No-tended	1 184~1 212	E-S	10~15	4.4	6.0	3.3	0.72

2.2 种子雨调查

2.2.1 种子雨收集器的布置 2012-08初分别沿每个样地的左上角到右下角对角线均匀设置1 m×1 m的6个接种点,每个接种点布置以下2种种子收集器各1个。

(1)离地种子收集器。收集器用尼龙网做成,框口面积为1 m×1 m,网眼大小为2 mm×2 mm。框口尼龙网四周放低,内放一重物固定,以防种子落下后反弹出框和种子落下后被风吹走,种子收集器均离地面60~80 cm,以尽可能减少动物取食对种子雨统计的影响。

(2)地面种子收集器。在离地种子收集器旁,选择比较平坦的地方,除去杂草或小灌木,将面积为1 m×1 m的尼龙网四角固定,平铺在地面上。

2.2.2 种子雨的统计 从种子雨下落开始每隔7 d收集1次种子^[10],直到种子下落结束。将收集器内的枯枝落叶等杂物拣出,然后将收集的侧柏种子带回实验室,用水选法分离漂浮种子与沉底种子,沉底种子在人工气候箱中进行萌发试验(25℃ 10 h,12℃ 14 h),未萌发种子和漂浮种子查明受损原因。分别记录侧柏种子总数、完好种子数(能萌发种子)、发育不全种子数(形态成熟但不发芽)、腐烂种子数(用手轻压即破碎)及空粒种子数(因动物及虫害破坏形成)。将种子雨数量累积得到各林地种子雨总量。

2.3 土壤种子库调查

于2012-11(种子雨结束后)和2013-08(侧柏种子天然萌发结束后,下次种子雨开始前),在距离地面接种器2 m半径的范围内,随机挖取1个1 m×1 m的土壤种子库样方,分枯枝落叶层、0~2 cm土壤层(腐殖质层)和2~10 cm土壤层(心土层)3层,用塑料袋将各层土样分装,带回实验室分离统计土壤

种子库中的侧柏种子。将所得侧柏种子采用与种子雨相同的方法处理,并分别统计不同类型的种子数。最后,根据离地种子收集器和地面种子收集器中种子平均数之差,计算动物搬运种子数。

2.4 1年生侧柏幼苗的数量调查

在每个地面接种器附近随机设置1个1 m×1 m的土壤种子库样方,从2013-04(幼苗出现)至10月(不再有新幼苗出现),每隔2个月调查1次小样方中萌发种子和存活幼苗的数量。

2.5 数据处理

采用SPSS 20.0软件对不同样地的种子雨累计量、质量以及种子库种子数量和活力动态等进行单因素方差分析(one-way ANOVA),用Duncans多重检验法检验数据之间的差异显著性($\alpha<0.05$),并用OriginPro 7.5软件绘图。

3 结果与分析

3.1 侧柏种子雨特征

3.1.1 种子雨散布时间动态 由图1可以看出,侧柏种子雨持续时间近63 d,分起始期(8月中旬开始)、高峰期(8月底到9月中旬)和末期(10月上旬)3个阶段。3种类型样地的种子雨高峰期散布时间不同,抚育样地种子雨高峰期出现在08-24—09-21,持续时间约28 d;未抚育样地种子雨高峰期出现在08-24—09-14,持续时间约21 d;混交样地种子雨高峰期在08-31—09-21,持续时间约21 d;3种类型样地均在09-07前后出现明显的种子雨峰值。

从种子雨散布的过程可以看出,在落种的起始期和末期,3种类型样地的种子雨总量差异不显著;而在种子降落的高峰期,差异显著($P<0.05$)。起始期,3种类型样地的种子雨均以不完整种子为主,占种子雨总量的比例在抚育样地为41%,在混交样

地为 39%，在未抚育样地为 35%；高峰期，各类型样地种子雨中均以完整种子为主，种子雨量占种子雨总量的比例为抚育样地（59.7%）>混交样地（51.9%）>未抚育样地（47.5%）；末期，各类型样地完整种子所占比例均减小。另外，抚育样地种子雨结束时间比混交样地和未抚育样地提前 1 周左右。

3.1.2 种子雨大小及组成 由表 2 可见，不同类型侧柏林分种子雨总量及各类种子组成差异显著（ $P<0.05$ ），种子雨总量大小顺序为抚育林>混交林>未抚育林。从种子雨组成来看，抚育、混交、未抚育林完整种子（籽粒饱满，没有明显虫蛀、啃食痕迹）分别占各自种子雨总量的 42.1%，42.5%和 40.5%；3 种林分中不完整种子（干瘪、空粒）占各自种子雨总量的比例为：抚育林（25.9%）>未抚育林（25.4%）>混交林（24.5%）；虫蛀和被啃食种子比例相似，均为未抚育林>抚育林>混交林。种子萌发试验表明，混交林的种子萌发率最大（30.75%），

其次为抚育林（26.01%），未抚育林种子萌发率最小（22.56%）。

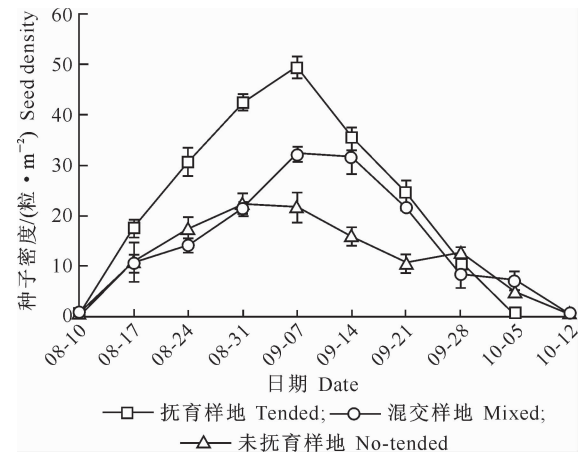


图 1 渭北黄土高原不同类型侧柏林分种子雨散布的时间动态

Fig. 1 Temporal dynamics of seed rains in different *Platycladus orientalis* plantations in Weibei Loess Plateau

表 2 渭北黄土高原不同类型侧柏林种子雨累积量特征(n=18)

Table 2 Cumulative characteristics of seed rains in different <i>Platycladus orientalis</i> plantations in Weibei Loess Plateau (n=18)						
样地类型 Plots type	种子雨总量/ (粒·m ⁻²) Total seeds	完整种子量/ (粒·m ⁻²) Intact seeds	萌发率/% Germination rate	不完整种子量/ (粒·m ⁻²) Un-intact seeds	虫蛀种子量/ (粒·m ⁻²) Seeds damaged by insects	啃食种子量/ (粒·m ⁻²) Seeds predated by animals
抚育 Tended	212.72±17.09 a	89.49±4.57 a	26.01±1.47 b	55.14±3.76 a	34.22±2.35 a	33.87±1.46 a
混交 Mixed	163.38±10.89 b	69.43±4.61 b	30.75±2.14 a	39.99±3.75 b	28.69±2.18 b	25.27±2.59 b
未抚育 No-tended	120.54±10.66 b	48.81±3.47 c	22.56±1.94 b	30.59±1.34 c	20.51±0.91 c	20.63±3.54 c

注：同列数据后标不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。表 5 同。
Note: Different lowercase letters in each column indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same as table 5.

3.2 侧柏土壤种子库特征

3.2.1 土壤种子库储量及动态 地面种子收集器和离地种子收集器之差可以大致反映种子雨落种这段时间地面种子库的种子被取食和搬运状况^[11]。从图 2 可知，在种子雨高峰期，3 种侧柏林地面种子收集器获得的种子数始终比离地种子收集器获得的种子数量少。

由表 3 可以看出，不同时期各侧柏林土壤种子库种子总储量均以抚育林最大，混交林次之，未抚育林最小。3 种林分土壤种子库总储量均随时间递减。3 种林分土壤种子库中完整、不完整、虫蛀、被啃食种子的数量均随时间呈递减趋势，而霉烂种子的数量却在增加，且未抚育林霉烂的种子比例最高，达到 47.69%。种子萌发试验结果表明，3 种林分种子活力均随时间变化呈下降趋势，2012-11 其比例为抚育林（29.1%）>混交林（26.27%）>未抚育林

（17.3%）；2013-08 各林分土壤种子库中的种子均丧失活力。

3.2.2 土壤种子库的垂直分布 由表 4 可知，3 种侧柏林分土壤种子库的种子主要分布在枯落物层，其分布总体表现为枯落物层>腐殖质层（0~2 cm 土层）>心土层（2~10 cm 土层）。枯落物层中，种子数量随时间变化大量减少；0~2 cm 土层中，抚育林和混交林的种子数量随时间逐渐增加；2~10 cm 土层的土壤种子库中极少有种子的分布。

3.3 侧柏幼苗的数量调查

调查发现，侧柏幼苗从 4 月上旬开始出苗，6—7 月达到出苗高峰，9 月以后不再有新幼苗出现。由表 5 可知，3 种林分幼苗的出苗密度差异显著（ $P<0.05$ ），抚育林幼苗存活密度最大，其次为混交林，未抚育林最小。

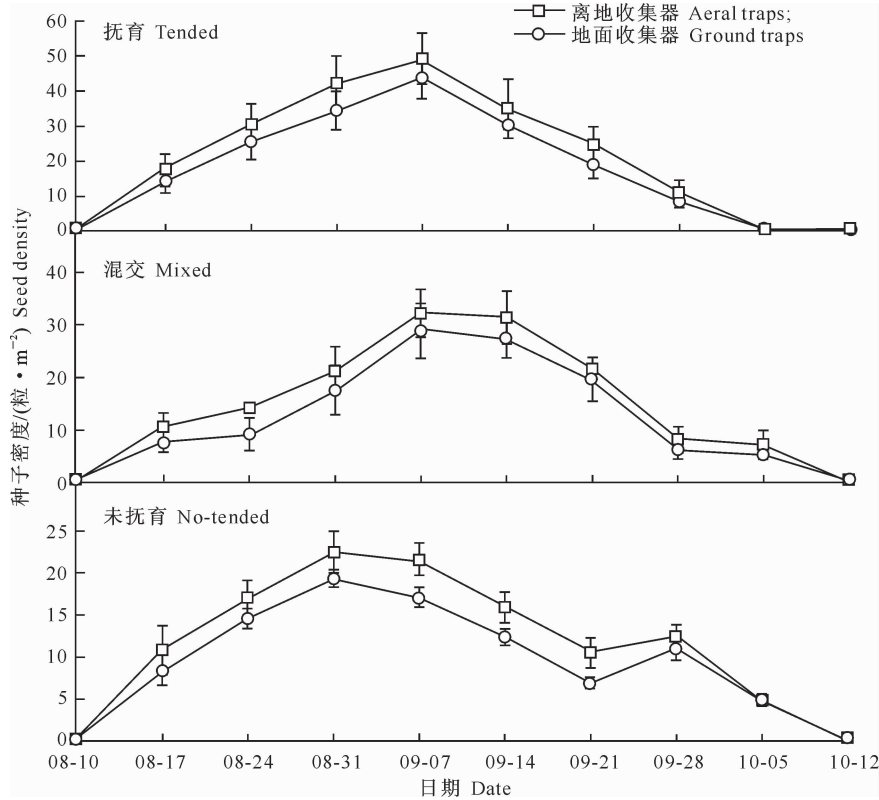


图 2 渭北黄土高原不同类型侧柏林分 2 种收集器内种子散落的动态

Fig. 2 Seeds distribution of two seed traps for different *Platycladus orientalis* plantations in Weibei Loess Plateau

表 3 渭北黄土高原不同类型侧柏林土壤种子库的变化动态

Table 3 Temporal dynamics of soil seed bank in different <i>Platycladus orientalis</i> plantations in Weibei Loess Plateau								
样地类型 Plots type	日期 Date	种子库/ (粒·m ⁻²) Seed bank	完整种子量/ (粒·m ⁻²) Intact seeds	萌发率/% Germination rate	不完整种子量/ (粒·m ⁻²) Un-intact seeds	虫蛀种子量/ (粒·m ⁻²) Seeds damaged by insects	啃食种子量/ (粒·m ⁻²) Seeds predated by animals	霉烂种子量/ (粒·m ⁻²) Moldy seeds
抚育 Tended	2012-11	130.55±12.33	55.15±2.27	29.10±4.75	50.04±5.45	10.22±2.82	11.50±1.31	3.62±0.53
	2013-08	35.25±4.54	4.75±0.27	0	8.50±0.45	3.61±0.41	5.25±0.55	13.12±1.35
混交 Mixed	2012-11	80.23±6.76	43.20±3.66	26.27±3.20	25.47±4.39	5.42±1.05	4.30±0.63	1.82±0.28
	2013-08	16.69±3.75	3.50±0.51	0	5.50±1.32	3.76±1.24	2.75±0.33	5.16±1.84
未抚育 No-tended	2012-11	48.13±8.38	22.71±4.49	17.30±2.74	10.29±3.55	8.49±0.61	4.33±3.54	2.30±0.05
	2013-08	13.63±0.44	0	0	3.45±0.58	1.72±0.86	1.95±0.64	6.50±1.27

表 4 渭北黄土高原不同类型侧柏林土壤种子库的垂直分布

Table 4 Vertical distribution of soil seed bank in different <i>Platycladus orientalis</i> plantations in Weibei Loess Plateau				
样地类型 Plots type	日期 Date	枯落物层/(粒·m ⁻²) Litter layer	0~2 cm 土层/(粒·m ⁻²) 0—2 cm soil layer	2~10 cm 土层/(粒·m ⁻²) 2—10 cm soil layer
抚育 Tended	2012-11	113.20±8.79	8.44±3.18	2.25±0.15
	2013-08	22.64±2.76	17.32±3.47	0
混交 Mixed	2012-11	67.50±7.83	4.25±1.16	1.70±0.30
	2013-08	13.40±4.32	6.55±0.51	0
未抚育 No-tended	2012-11	39.75±3.46	4.71±0.60	0
	2013-08	11.70±1.43	0	0.33±0.17

表 5 渭北黄土高原不同类型侧柏林幼苗数量统计

Table 5 Seedling quantities in different <i>Platycladus orientalis</i> plantations in Weibei Loess Plateau			
样地类型 Plots type	出苗密度/(粒·m ⁻²) Germination of seedlings	存活幼苗密度/(粒·m ⁻²) Survival of seedlings	死亡率/% Mortality rate
抚育 Tended	6.31±0.15 a	2.37±0.06 a	62.70±7.40 a
混交 Mixed	4.13±0.06 b	1.36±0.05 b	68.30±5.50 b
未抚育 No-tended	0.70±0.01 c	0.18±0.02 c	74.60±6.80 c

4 讨 论

4.1 渭北黄土高原侧柏种子雨特征

本研究结果显示,侧柏种子雨持续时间为 63 d 左右,落种高峰出现在 8 月底到 9 月上旬,持续 14~21 d。侧柏种子雨结实量及早晚与其生物学特性、林分状况、郁闭度、立地条件和气候条件等密切相关^[12]。柏科中大部分树种结实有大年、小年及平年之分,且种子结实量在不同年份之间差异较大,一般认为其循环周期为 1~2 年^[13-14]。根据 2012 年调查结果以及当地林业部门提供的资料可推断出,2012 年是研究区侧柏种子结实平年,也就是说这年种子雨扩散比较具有代表性。种子组成反映了种子雨的质量和有性生殖能力。本研究表明,侧柏种子雨初期落下的种子大部分由不完整种子构成,少部分为虫蛀和被动物啃食的种子,随着种子雨高峰的出现,成熟种子增多,且集中在较短时间扩散,这与辽东栎和油松等树种的扩散模式相同^[15-16];种子雨初期,被动物取食和不完整种子的数量均达到最大值,说明动物对不完整种子和完整种子同样感兴趣,植物通常有利用前期落果消耗动物的部分捕食潜力以降低成熟种子被捕食风险的策略来扩散种子^[17-18];侧柏抚育林中种子雨总量、完整种子数最多,种子萌发率最高,而未抚育林完整种子的比例和萌发率均最低,这是由于未抚育林郁闭度较大,通风强度、光照强度及温度条件均较抚育林和混交林差,种子较早与母树形成分离层,质量较轻,易受风、雨等外界因素的影响和干扰,容易脱落。而抚育林郁闭度小、光照强、气温较高、湿度较小,胚胎营养充分,发育良好,成熟度高,种子不易脱落^[19-20]。

4.2 渭北黄土高原侧柏土壤种子库动态

土壤种子库动态与植物的繁殖物候和所处的环境紧密相关,同时植物本身的生物学特性、种子的传播方式以及被取食和病虫害等也是影响土壤种子库动态的重要因素^[21]。本研究表明,3 种林分土壤种子库中的种子均主要集中在枯枝落叶层,在 0~2 cm 土层中也有少量的分布,而 2~10 cm 土层分布极少,这是由于侧柏种子小,质量轻,而研究区侧柏林下枯枝落叶层较厚(3~5 cm),因此,刚落下的种子很难穿过林下根系盘结层或枯枝落叶层构成的厚隔离带,只能储存于枯枝落叶层中,这与其他学者对针叶林的研究结果一致^[22-23]。经过一段时间后,可能在自身重力作用及雨水的带动下,加上动物的搬运藏匿,使少量种子下移,穿过枯枝落叶层到达表层

土壤。费世民等^[24]认为,植物种子含有丰富的油脂、淀粉,能够吸引松鼠等啮齿类动物对其搬运藏匿,最终使种子在土层中的垂直分布发生变化。当然,在枯枝落叶层表面的种子,也会受动物活动、地表径流、风等因素的影响,使表层的一部分种子被移走或破坏,这些都是影响种子库种子垂直分布的因素。本研究中,地面种子收集器与离地种子收集器之间的种子差值较小,表明侧柏种子在种子雨期间受动物影响较小,这可能是因动物取食偏好于大的种子,而侧柏种子小,与其他大粒物种,例如辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、山杨(*Populus davidiana*)等相比受影响较小。本研究未跟踪调查各林分中取食种子的动物种类,而根据土壤种子库中留下的被动物取食的种壳形状,推测大部分取食种子的动物为鼠类。

土壤种子库的时间变化动态反映了不同时间段内土壤种子库中种子组成的变化^[25]。本研究表明,在种子成熟扩散之后,各林分种子库储量均达到最高,且完整种子最多,种子萌发率分别为抚育林 29.1%、混交林 26.27% 和未抚育林 17.3%。翌年种子雨下落前种子库密度大大减少,完整种子的萌发率降为 0,而霉烂种子的比例却大幅增加,抚育林、混交林和未抚育林分别达到 37.22%,30.92% 和 47.69%,这与研究区春季气温升高、部分种子萌发、夏季有较长的雨季有很大关系。未抚育林由于林分郁闭度大,通风光照条件差,土壤湿度大,引起土壤微生物活动旺盛,使得霉烂种子在土壤种子库中所占比例大大增加,因此可以确定,萌发、霉烂是侧柏土壤种子库中有效种子减少的主要因素。本试验 2 次土壤种子库收集间隔只有 9 个月,而后一次完整种子萌发率降低为 0,这说明侧柏种子库持续时间短,自然条件下不能在地面形成稳定有效的种子库,这也是研究区侧柏幼苗更新困难的主要因素。

4.3 渭北黄土高原侧柏幼苗的更新

种子落到地面后的命运取决于环境的筛选作用,只有落到安全岛内的种子才能避免动物的侵害、竞争和土壤的毒害作用,经过萌发、成苗,最终形成新的个体。幼苗的存活取决于幼苗本身的强壮程度及生长的环境条件^[16]。本研究发现,人工侧柏林结实量充足,但这对幼苗更新并不十分有效,主要是由于侧柏种子耗损大,成苗率低。不同类型侧柏林幼苗存活量的多少与各林分种子雨的强度及土壤种子库的储量大小相一致。抚育林中种子雨强度最大,种子活力较强,存活幼苗密度也较大;未抚育林种子

雨强度及土壤种子库储量都较小,幼苗死亡率最大,存活幼苗密度最小。因此,笔者建议应采取人工间伐抚育,清除地被物,人工补种刺槐等乡土树种,增加林间通风、光照,降低种子损耗,改善土壤种子库质量,提高侧柏实生苗数量,以促进侧柏林的天然更新。

参考文献

- [1] Benigno G R, Mulualem T, Guillermo C M, et al. Soil seed bank assembly following secondary succession on abandoned agricultural fields in Nicaragua [J]. Journal of Forestry Research, 2009, 20(4): 349-354.
- [2] Brearley F Q, Proctor J, Suriantata, et al. Reproductive phenology over a 10-year period in a lowland evergreen rain forest of central Borneo [J]. Journal of Ecology, 2007, 95: 828-839.
- [3] 刘足根, 朱教君, 袁小兰, 等. 辽东山区长白落叶松种子雨和种子库 [J]. 生态学报, 2007, 27(2): 579-587.
- Liu Z G, Zhu J J, Yuan X L, et al. On seed rain soil seed bank of *Larix olgensis* in montane regions of eastern Liaoning Province, China [J]. Acta Ecological Sinica, 2007, 27(2): 579-587. (in Chinese)
- [4] Martin D, Richard H, Karol U, et al. Seed rain and environmental controls on invasion of *Picea abies* into grassland [J]. Plant Ecology, 2008, 194: 135-148.
- [5] Farnsworth E J, Barker Plotkin A A, Ellison A M. The relative contributions of seed bank, seed rain, and understory vegetation dynamics to the reorganization of *Tsuga canadensis* forests after loss due to logging or simulated attack by *Adelges tsugae* [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2012, 42(12): 2090-2105.
- [6] 李春义, 马履一, 王希群, 等. 抚育间伐对北京山区侧柏人工林下植物多样性的短期影响 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 60-66.
- Li C Y, Ma L Y, Wang X Q, et al. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing mountainous areas [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(3): 60-66. (in Chinese)
- [7] 王进鑫, 王迪海, 刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2208-2214.
- Wang J X, Wang D H, Liu G Q. Distribution characteristics of effective root density in the planted *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis* forest site [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(12): 2208-2214. (in Chinese)
- [8] 李娟, 王成, 彭镇华, 等. 侧柏春季挥发物浓度日变化规律及其影响因子研究 [J]. 林业科学研究, 2011, 24(1): 82-90.
- Li J, Wang C, Peng Z H, et al. The diurnal variation and influence factors of VOC of *Platycladus orientalis* in spring [J]. Forest Research, 2011, 24(1): 82-90. (in Chinese)
- [9] 朱莉, 郭泉水, 金江群, 等. 崖柏和侧柏幼苗对自然降温的生理生化反应 [J]. 林业科学研究, 2013, 26(2): 220-226.
- Zhu L, Guo Q S, Jin J Q, et al. Physiological and biochemical responses of *Thuja sutchuenensis* and *Platycladus orientalis* seedlings to natural cooling [J]. Forest Research, 2013, 26(2): 220-226. (in Chinese)
- [10] 张文辉, 卢彦昌, 周建云, 等. 巴山北坡不同干扰条件下栓皮栎种群结构与动态 [J]. 林业科学, 2008, 44(7): 12-15.
- Zhang W H, Lu Y C, Zhou J Y, et al. Population structure and dynamics of *Quercus variabilis* in different habitats on northern slope of Bashan Mountain [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(7): 12-15. (in Chinese)
- [11] 尹华军, 程新颖, 赖挺, 等. 川西亚高山 65 年人工云杉林种子雨、种子库和幼苗定居研究 [J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 35-44.
- Yin H J, Cheng X Y, Lai T, et al. Seed rain, soil seed bank and seedling regeneration in a 65-year *Picea asperata* plantation in subalpine coniferous, western Sichuan, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(1): 35-44. (in Chinese)
- [12] 黄红兰, 张露, 廖承开. 毛红椿天然林种子雨、种子库与天然更新 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 972-978.
- Huang H L, Zhang L, Liao C K. Seed rain, soil seed bank, and natural regeneration of natural *Toona ciliata* var. *pubescence* forest [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(4): 972-978. (in Chinese)
- [13] Karina C B, Marco A P. Seed rain and seed limitation in a planted gallery forest in Brazil [J]. Restoration Ecology, 2006, 14(4): 504-515.
- [14] 彭军, 李旭光, 付永川, 等. 重庆四面山常绿阔叶林建群种种子雨、种子库研究 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 22-24.
- Peng J, Li X G, Fu Y C, et al. Seed rain and seed bank of constructive species in evergreen broadleaved forest at Chongqing Simian Mountain [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 22-24. (in Chinese)
- [15] 张希彪, 王瑞娟, 上官周平. 黄土高原子午岭油松林的种子雨和土壤种子库动态 [J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1877-1884.
- Zhang X B, Wang R J, Shangguan Z P. Dynamics of seed rain and soil seed bank in *Pinus tabulaeformis* Carr forests in eroded hilly loess regions of the Loess Plateau in China [J]. Acta Ecological Sinica, 2009, 29(4): 1877-1884. (in Chinese)
- [16] 吴敏, 张文辉, 周建云, 等. 秦岭北坡不同生境栓皮栎种子雨和土壤种子库动态 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2807-2814.
- Wu M, Zhang W H, Zhou J Y, et al. Dynamics of *Quercus variabilis* seed rain and soil seed bank in different habitats on the north slope of Qinling Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(11): 2807-2814. (in Chinese)
- [17] 查同刚, 孙向阳, 王登芝, 等. 北京西山地区人工侧柏林种子雨的研究 [J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(1): 28-31.
- Zha T G, Sun X Y, Wang D Z, et al. Seed rain of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) plantation in Beijing West-Mountain area [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(1): 28-31. (in Chinese)
- [18] 许玥, 沈泽昊, 吕楠. 湖北三峡大老岭自然保护区光叶水青冈群落种子雨 10 年观测: 种子雨密度、物种构成及其与群

落的关系 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 708-716.

Xu Y, Shen Z H, Lü N. Ten years' observation of seed rain in a *Fagus lucida* community in Dalaoling Nature Reserve in the Three Gorges; Seed rain density, species composition and their correlation with the community [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 708-716. (in Chinese)

[19] Koutecká E, Lepš J. Effect of light and moisture conditions and seed age on germination of three closely related *Myosotis* species [J]. Folia Geobotanica, 2009, 44: 109-130.

[20] Nakagaw M, Kurahashi A, Hogetsu T. The regeneration characteristic of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* on cut stumps in the sub-boreal forests of Hokkaido University [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 180: 353-359.

[21] 黄雍容, 马祥庆, 庄凯, 等. 福建闽清福建青冈天然林种子雨和种子库 [J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(1): 68-74.

Huang Y R, Ma X Q, Zhuang K, et al. Seed rain and soil seed bank of *Cyclobalanopsis chungii* forest in Minqing, Fujian Province [J]. Jour of Tropical and Subtropical Botany, 2010, 18(1): 68-74. (in Chinese)

[22] 王良衍, 王建军, 袁世杰. 浙江天童山小叶青冈种群种子雨和地表种子库动态研究 [J]. 福建林业科技, 2011, 38(3): 8-11.

Wang L Y, Wang J J, Yuan S J. Dynamic study on seed rain and soil seed bank of *Cyclobalanopsis gracilis* population on Tiantong mountain Zhejiang Province [J]. Jour of Fujian Forestry Sic and Tech, 2011, 38(3): 8-11. (in Chinese)

[23] 张进虎, 王翔宇, 张亮霞, 等. 天然沙冬青土壤种子库特征研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(22): 78-82.

Zhang J H, Wang X Y, Zhang L X, et al. Researches on soil seed bank of *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(22): 78-82. (in Chinese)

[24] 费世民, 何亚平, 杨灌英, 等. 川西南山地高山栲种群种子雨和地表种子库研究 [J]. 林业科学, 2006, 42(2): 50-55.

Fei S M, He Y P, Yang G Y, et al. Seed rain and seed bank of *Castanopsis delavayi* populations in mountainous area of Southwest Sichuan [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(2): 50-55. (in Chinese)

[25] Garcia D, Obeso J R, Martínez I. Spatial concordance between seed rain and seedling establishment in bird-dispersed trees: Does scale matter [J]. Journal of Ecology, 2005, 93: 693-704.

(上接第 84 页)

[27] 王佳, 杨慧乔, 冯仲科. 基于三维激光扫描的树木三维绿量测定 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 229-233.

Wang J, Yang H Q, Feng Z K. Tridimensional Green Biomass measurement for trees using 3D laser scanning [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 229-233. (in Chinese)

[28] 杜鹏. 成都市五种常用园林树种三维绿量与生态效益研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2009.

Du P. Study on the 3D green quantity and ecological effect of the five kinds of mainly landscape plant in Chengdu [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2009. (in Chinese)

[29] 陈颖. 北京地区森林植被三维绿量估测及分析 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

Chen Y. Study on Tridimensional green biomass estimation and analysis of forest in Beijing [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011. (in Chinese)