

金沙江干热河谷滇榄仁种子扩散与种子库特征研究

刘方炎^{1,2}, 张志翔², 王小庆¹, 李昆^{1*}, 陈梅³, 邓小京⁴

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局元谋荒漠生态系统定位观测站, 昆明 650224; 2. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 3. 重庆市石柱县国有林场, 重庆 409100; 4. 河南省三门峡市林业工作总站, 河南 三门峡 472000)

摘要: 采用随机取样和跟踪调查的方法对滇榄仁(*Terminalia franchetii*)种子扩散规律、空间分布特征以及种子库动态进行了系统研究。结果表明, 滇榄仁种子扩散受到较强的风力作用影响, 具有明显的方向性, 扩散距离是其树高的 1.6 倍以上。不同群落类型中, 滇榄仁的土壤种子库存在较大差异, 但不同时间段的变化趋势基本一致, 即在雨季(6月、8月和10月)数量相对较少, 12月到翌年4月, 数量逐渐增加。滇榄仁植冠种子库从当年10月开始缓慢脱落, 到翌年3月达到脱落高峰(15%以上种子此时脱落), 然后再次进入缓慢脱落期, 翌年6、7月的种子脱落速率最低, 但直到翌年10月仍有部分种子(约15%左右)存在于植株冠层。总体来说, 不同类型群落中, 滇榄仁幼苗更新不良的原因不应是缺乏种源, 可能与种子质量以及群落环境等影响群落天然更新的其它因子存在较大关联。同时, 滇榄仁土壤种子库数量与植冠种子库的脱落过程存在紧密联系, 而植冠种子脱落可能与该区域气候因子存在着较大依存关系, 其中, 与风力可能存在着正相关, 与降雨量和空气相对湿度存在着负相关, 这可能是滇榄仁长期以来对干热河谷环境的一种适应特征。

关键词: 金沙江; 干热河谷; 滇榄仁; 种子库; 气候

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.003

Seed Dispersion and Seed Bank Characteristics of *Terminalia franchetii* in Dry-hot Valley of Jinsha River

LIU Fang-yan^{1,2}, ZHANG Zhi-xiang², WANG Xiao-qin¹, LI Kun^{1*}, CHEN Mei³, DENG Xiao-jing⁴

(1. Desert Ecosystem Station in Yuanmou County, State Forestry Administration of China, Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. State-owned Forest Farm of Shizhu County, Chongqing City, Chongqing 409100, China; 4. Forestry Work Station of Shanmenxia City, Henan Province, Shanmenxia 472000, China)

Abstract: The seed dispersal pattern, spatial distribution characteristics and seed bank dynamics of *Terminalia franchetii* in Dry-hot Valley of Jinsha River were investigated by random sampling and follow-up survey. The seed dispersal pattern had obvious direction influenced by strong wind, and the dispersal distance was more than 1.6 times of tree height. There was significant difference in soil seed bank among the different community types, but the change trends were consistent during different time. The soil seed bank was relatively small in rainy season (June, August, and October), and it was gradually increased from December to April of next year. The canopy seed bank started to shed in October, and reached to peak in March of next year (more than 15% of seeds shedding), and then the seed shedding rate became slow again, and seed shedding rate was the lowest in June and July of next year. However, there were nearly 15% of seeds existed in the canopy until October of next year. In summary,

收稿日期: 2011-09-02 接受日期: 2012-01-09

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD38B0404)资助

作者简介: 刘方炎(1977~), 男, 湖北荆门人, 博士, 主要从事生态脆弱区植被恢复、野生植物保护与利用等方面研究。E-mail: lfyan701@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cafikun@163.com

the lack of seed sources should not be the reason of *T. franchetii* seedling regeneration failure, and it might be associated with other factors which influence the community natural regeneration, such as the quality of seeds and community environment. Simultaneously, *T. franchetii* soil seed bank was closely related to the shedding process of canopy seed bank. Canopy seeds shedding might be closely related to the climatic factors, and might be a positive correlation with wind power, and be a negative correlation with rainfall and relative humidity. This might be an adaptive characteristic to Dry-hot valley environment in a long time.

Key words: Jinsha River; Dry-hot valley; *Terminalia franchetii*; Seed bank; Climate

植物种群的生活周期可以划分为若干阶段,每个阶段种群的时空格局都有各自特点,尤其在种子在时空上的扩散。种子扩散是种群更新和扩大生态位空间的有效途径,是植物生命史动态过程中不可缺少的环节^[1],而扩散限制(dispersal limitation)已被证明是决定群落演替动态、群落多样性和构成等特征的重要因子^[2]。因此,研究种子扩散过程与特征可以预测土壤种子库的物种组成、大小以及植被更新演替的趋势。大量研究表明,种子扩散过程中,既受扩散方式、株高、种子大小以及种子产量等母株自身传播特性制约,也受风力、流水、地形以及周围环境因子的影响^[3]。一些生物因素,比如病害、动物取食等也会影响其扩散规律^[4-7]。因此,种子扩散在发生时间、强度及扩散特征等方面存在很大差异^[8]。

种子扩散以后,随即形成了土壤种子库。土壤种子库是来源于母树最近一年的种子输入,主要聚集在 0~5 cm 土层。而种子输出方式除正常的幼苗萌发以外,还有腐烂、昆虫或动物捕食及生理衰老等。因此,局部小气候(如微生境、海拔、地形地势、土壤条件)等非生物因子、人为干扰等外界因素以及植被状况等都会影响土壤种子库的时空格局,从而影响着植被演替和未来植被的构成^[7, 9-10]。目前,种子扩散和土壤种子库的研究不仅是种群数量动态研究的基础性工作,也是研究物种的生态适应及种群生活史策略等进化生态学的重要内容之一^[9-10]。值得注意的是,少量生长在较为恶劣环境中的植物种子在成熟以后,其扩散过程极为缓慢,大量成熟种子短期内不掉落,而直接宿存于植株冠层上,形成植冠种子库。植冠种子库中的种子可在植物冠层中存留 1~30 年或者更长时间^[11]。植冠种子库与土壤表面和埋藏于土壤中的种子地位并列,表现了多种生态功能。但由于具有植冠种子库的植物数量和分布区域均具有一定的局限性,相关研究相对较少。

滇榄仁(*Terminalia franchetii*)是金沙江干热河谷地区极为重要的乡土树种之一,以其为主要优势种构成的群落类型是该区域仅有的几种重要天然植被之一。长期以来,受各种因子综合影响,滇榄仁林天然更新不良,幼苗、幼树极少。然而,到目前为止,对金沙江干热河谷地区特有植物滇榄仁种子扩散及其种子库特征等方面的研究尚未见报道。为此,本文通过调查滇榄仁种子扩散特征、土壤种子库时空格局、植冠种子库动态以及种子掉落期间主要气候因子的变化,探讨滇榄仁种源状况以及幼苗建成过程的主要影响因子,为滇榄仁群落的更新和保护研究提供科学参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于金沙江干热河谷的典型地段元谋盆地(25°23'~26°06'N, 101°35'~102°06'E)。平均海拔 1100~1300 m,是我国气候干旱、热量条件丰富的一个特殊自然气候区域,也是金沙江流域最具代表性的干热河谷地区之一。该区域年平均气温为 21.9℃,最热月平均气温为 27.1℃,最冷月平均气温为 14.9℃,≥10℃的年积温为 8003℃,年均降雨量极为稀少,仅 613.9 mm,其中, 6~10 月的雨季(湿季)降雨量占全年总降雨量的 92%,旱季(干季)长达 7、8 个月(11 月~翌年 5 月);年均蒸发量达 3847.8 mm,空气年均相对湿度为 53%,年均干燥度为 2.08^[12]。海拔 1600 m 以下主要生长稀树灌丛草原,草本占大部分,覆盖度大于 90%,灌木稀少,乔木更少见;1600 m 以上主要为灌丛草地,片状森林分布。区内地带性土壤为燥红土和红壤^[13]。由于特殊的自然地理环境和人类活动干扰,干热河谷生态退化严重^[14-15]。

本研究野外实验选择了 3 个样地,分别代表 3 种不同的滇榄仁群落类型。其中,样地 1(群落 I)

位于元马镇杨柳村,为滇榄仁 × 疏序黄荆(*Vitex negundo*)混交群落。样地 2(群落 II)位于物茂镇尹地村,为滇榄仁纯林群落。样地 3(群落 III)位于物

茂镇小月旧村,为滇榄仁稀树林群落。各群落基本情况见表 1。

表 1 不同群落类型基本情况

Table 1 General situation of different communities

	群落 Community		
	I	II	III
地点 Location	杨柳村 Yangliu Village	尹地村 Yindi Village	小月旧村 Xiaoyuejiu Village
类型 Type	混交林 Mixed forest	纯林 Pure forest	稀树林 Sparse forest
海拔 Altitude (m)	1120	1130	1120
坡度 Slope (°)	25	20	25
坡向 Aspect	W	SE	E
滇榄仁植株数 Number of <i>T. franchetii</i> [ind. (100 m) ²]	13 ± 4	34 ± 2	3 ± 2
乔木层盖度 Coverage of tree layer (%)	65	85	20
乔木层平均高 Average height of tree layer (m)	3.5	3.8	5.5
草本层平均高 Average height of herb layer (m)	0.15	0.20	0.75
草本层盖度 Coverage of herb layer (%)	45	60	75

1.2 种子扩散特征调查

由于滇榄仁群落在金沙江干热河谷区受到人为活动的强烈影响,野外设施极易遭到人为干扰以及牛、羊放牧的破坏,不宜采用常规的种子收集器进行种子扩散、种子雨的调查,因而,本研究采用分方位调查地表种子库的方法探讨种子扩散规律和空间分布特征。2009年4月下旬,在物茂镇小月旧村滇榄仁稀树林群落附近,选择在坡度较小区域生长的滇榄仁孤立木(株距大于20 m)共5株,植株平均胸径13.7 cm,平均株高7.1 m,平均冠幅4.7 m(东西方向)×6.1 m(南北方向)。利用指北针确定方位,沿东、南、西、北4个方向,从植株基部开始,作辐射状远离植株方向取样。分别在距离植株基部1.5 m、3.5 m、5.5 m、7.5 m、9.5 m和11.5 m的地方设置小样方,样方大小为30 cm×30 cm。由于滇榄仁种子极易分辨,因此,在野外调查时将样方内土壤表面及2 cm深土层中所有滇榄仁种子进行计数统计,然后将样方内种子数换算成1 m²内的种子数。

1.3 土壤种子库调查

分别在3个类型的滇榄仁群落中各随机选择1个20 m×30 m固定样地,沿样地对角方向分别布置2条50 m长的样线(样线以样地的一个角为固定点,沿着对角线延伸至样地外,总长50 m),在样线上每隔1 m设置1个30 cm×30 cm小样方调查

滇榄仁地表种子库(仅计数不收集),共设50个,统计样方中的滇榄仁种子数。调查时间分别为2009-06-17、2009-08-12、2009-10-20、2009-12-05、2010-02-01、2010-04-02,共计6次,调查不同时间段,林地内土壤种子库的储量。

1.4 植冠种子库调查

野外观察发现,滇榄仁不仅存在土壤种子库,还存在植冠种子库。其种子在冠层上可以保存1~2年而不掉落或很少掉落。了解其植冠种子库掉落过程需要长期跟踪调查。本研究经充分的实地踏查后,在滇榄仁纯林随机选取5株生长良好、当年结种量大、便于调查且远离人类居住区的植株作为母树。当年产生的种子成熟前,依据冠层、方位选择样枝和种序,并在所选种序基部的枝条上用红油漆标记、编号挂牌,记录种序上的果实数目,跟踪调查种序上果实掉落情况。每一植株每一方位在不同部位共选择9个种序,每一植株即选择36个种序,5株植株共跟踪调查180个种序。通常,研究区域内滇榄仁种子成熟期为每年9月份,种子成熟后即开始逐渐掉落。因此,野外实验设置时间为滇榄仁种子刚成熟的2009年9月下旬,每隔1个月调查1次,跟踪调查1年,即2010年10月结束。

1.5 气象数据收集及数据处理

本研究所用气象资料引自元谋县气象局2002-

2010 年间数据。

文中所有数据均利用 Excel 软件进行统计,对部分数据采用 SPSS 16.0 一般线性模型 (General linear model) 进行单因素方差分析 (One-Way analysis of variance), 并利用 LSD 多重比较 (Multiple comparisons) 对不同林地种子库数目特征及其差异进行比较分析。

2 结果和分析

2.1 种子扩散特征及其空间格局

调查结果显示, 在不同方向上距离滇榄仁母株 11.5 m 远的地方均有种子存在, 而所调查的滇榄仁植株的平均高度约 7.1 m, 由此可知, 滇榄仁种子的扩散距离相对较远, 可以达到其树高的 1.6 倍以上。同时, 方差分析结果表明, 滇榄仁母株不同方向所扩散的种子数量均存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中, 除距母株 1.5 m 处之外, 滇榄仁以向东和向北扩散的种子数量最多, 显著高于向南和向西扩散的种子 ($P < 0.05$)。单从扩散距离及种子数量来看, 在距离滇榄仁植株 1.5~3.5 m 的种子数目呈现逐渐增多的趋势, 以距离植株 3.5 m 远的滇榄仁种子积聚最多; 超过 3.5 m, 种子数目呈现下降趋势, 但在距离植株 11.5 m 仍有少量种子 (约 40 grain m^{-2})。

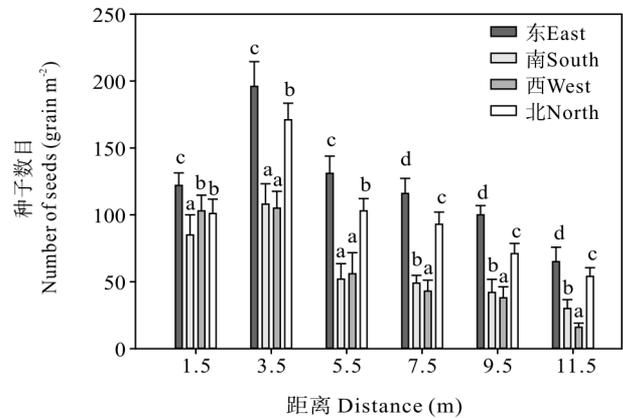


图 1 滇榄仁种子在不同方位的散布量

Fig. 1 Number of *Terminalia franchetii* seeds spreading in different directions

2.2 土壤种子库的时空分布特征

3 种类型滇榄仁群落中, 滇榄仁土壤种子库在不同时间段的数量变化趋势基本一致, 且均存在显著差异 ($P < 0.05$)。也就是说, 在 6 月、8 月和 10 月的雨季, 土壤种子库的数量相对较少; 进入 12 月直到翌年 4 月, 土壤种子库数量逐渐升高 (图 2)。

多重比较结果表明, 3 种类型群落的土壤种子库中, 滇榄仁 - 疏序黄荆混交群落与滇榄仁稀树林群落各时间段均无显著差异。滇榄仁纯林群落的土壤种子库在 6 月、8 月以及 10 月的雨季与

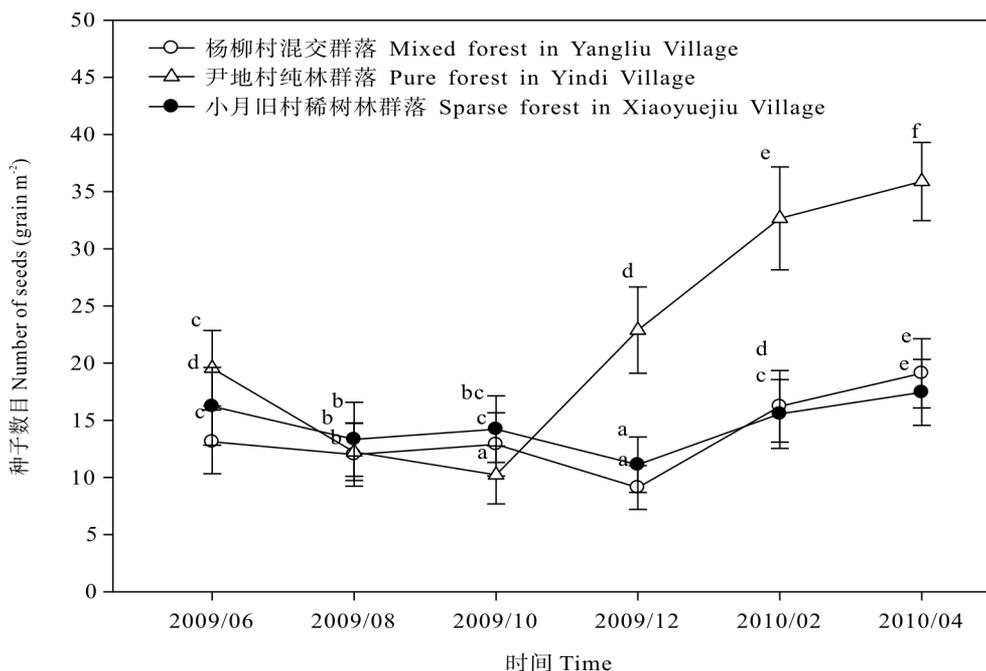


图 2 不同滇榄仁群落内土壤种子库季节动态特征

Fig. 2 Seasonal dynamic changes in soil seed bank in different *Terminalia franchetii* communities

前2种群落不存在显著差异,而在12月、2月和4月的旱季,其土壤种子库均显著高于这2种群落($P<0.05$)。

2.3 植冠种子库动态

滇榄仁种子成熟后,短时间内并没有大量脱落。调查结果显示,从2009年10月种子开始缓慢

脱落,直到2010年3月进入脱落高峰,约有15%以上的种子是在3月脱落进入土壤种子库。2010年4月和5月,种子再次开始缓慢脱落,进入6月种子脱落速率最低,但直到2010年10月仍有部分种子(约15%左右)存在于滇榄仁植株冠层,种子脱落仍在缓慢进行(图3)。

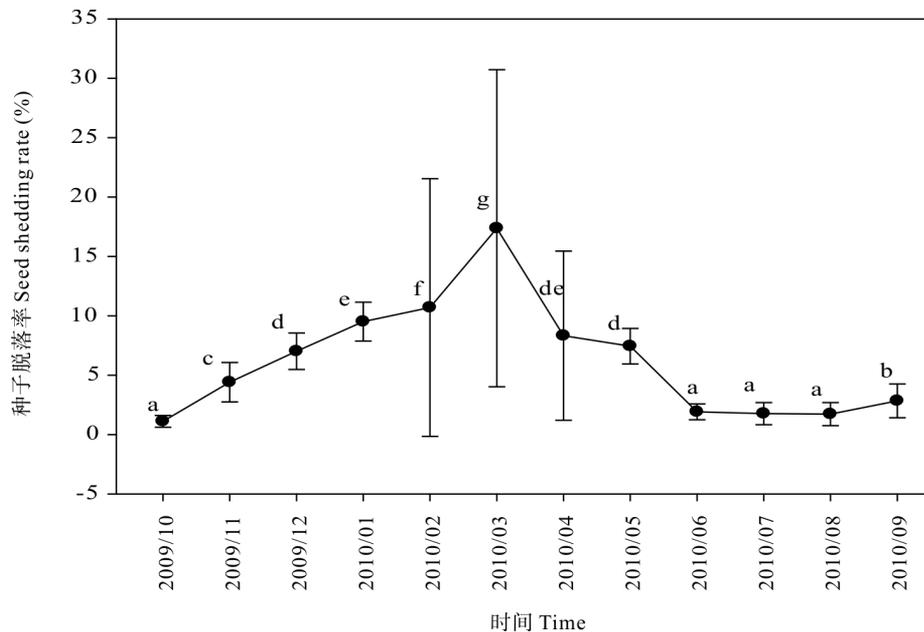


图3 滇榄仁冠层种子库中种子脱落率

Fig. 3 Seed shedding rate in *Terminalia franchetii* canopy seed bank

2.4 种子脱落期间主要气候因子变化特征

在种子脱落的不同时期,干热河谷的月降雨量、空气相对湿度和平均风力均有极大差异(图4)。总体趋势是,10月份降雨量开始减少,2-3月降雨量最低,5-6月降雨量开始增加;同一时期,空气相对湿度与其变化趋势基本一致。但风力的变化与前两者正好相反,10月份风力逐渐增强,3-5月份风力最强,6月份风力逐渐减弱,8-9月份风力最弱。

将滇榄仁种子脱落进程与主要气候因子年内变化进行对比分析,种子脱落数量与月降雨量及空气相对湿度之间的变化趋势相反。即降雨量和空气相对湿度越大,种子脱落数量越少,而降雨量和空气相对湿度越小,种子脱落数量越多。同时,种子脱落数量与风力的变化趋势基本一致,即风力越大,种子脱落数量越多,风力越小,种子脱落数量越少。不同气象因子在不同年际间可能存在一定程

度的变化,但降雨量、空气相对湿度以及风力等主要气象因子在季节分配以及一年中的变化趋势基本一致。由此可以推测,滇榄仁种子脱落可能与该区域气候因子间存在某种依存关系,其种子脱落规律是长期以来对干热河谷气候环境的一种适应策略。

3 讨论

通常,植物种子的形态特征,如种子大小、质量、是否带有果翅、气囊等附属物特征对种子的扩散特征及其空间分布格局均具有重要影响^[16-17]。滇榄仁果序长约6 cm,果实密集于果序上部,果实质轻,具等大的3个果翅,且被黄褐色长柔毛,具有适应风媒传播的表型特征。从滇榄仁种子扩散特征来看,除了冠层附近(离母树距离1.5 m)不同方向聚积的种子数目差异不大以外,植株东面和北面

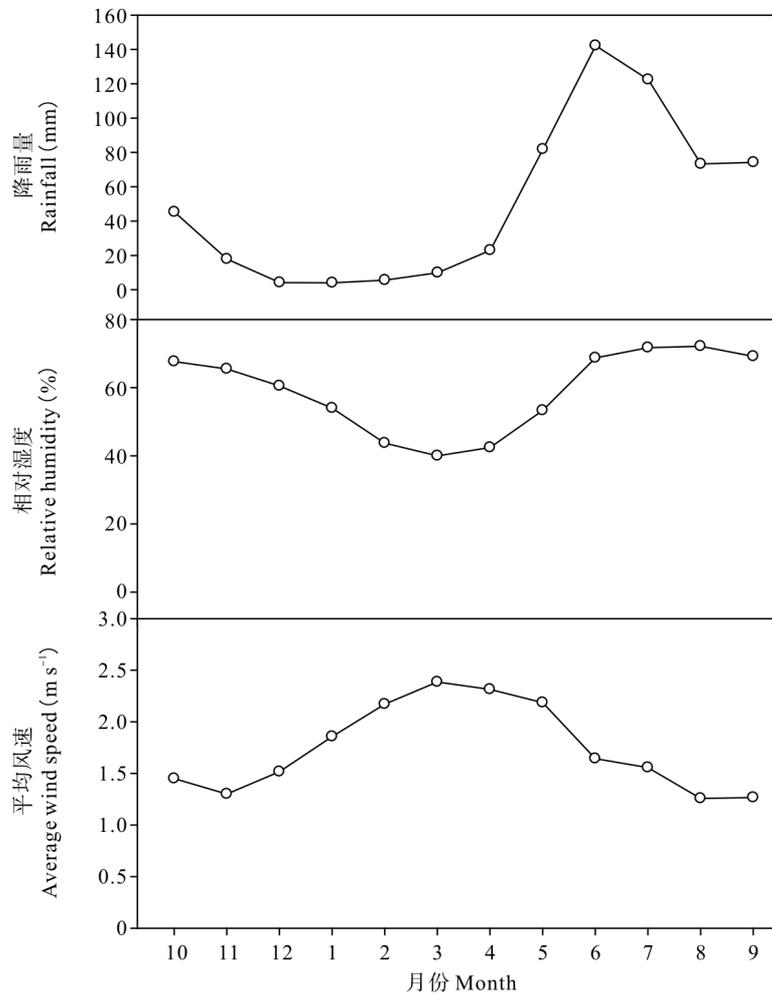


图4 滇榄仁种子脱落期间降雨量、空气相对湿度和平均风力的月变化

Fig. 4 Monthly changes in rainfall, relatively humidity and mean wind power during shedding period of *Terminalia franchetii* seeds

聚积的种子数目均远高于南面和西面。由此可知,滇榄仁种子扩散具有明显的方向性。

金沙江干热河谷主要分布在西南季风区内,冬半年受大陆季风控制,夏半年受西南季风控制^[18]。由于河谷走向与气流方向不平行,气流越过山脊进入河谷以后,随着山谷地形变化形成剧烈的河谷风。据气象统计,金沙江干热河谷元谋段,旱季(11月至翌年5月)的大风气流方向主要以西南向为主。而滇榄仁冠层种子库的掉落主要集中在旱季期间(图3),此时正是河谷区西南风盛行的时候。同时,结合种子凋落期的主要风向及种子形态特征可知,滇榄仁种子主要向东、北方向扩散特征应是种子顺风撒播造成的。

滇榄仁种子成熟以后短时间内并没有大量脱落,而是在植株冠层中保持较长时间(约1~2年),形成了冠层种子库。本研究结果表明,滇榄仁种子

成熟以后,从10月开始,种子脱落数量逐渐增多,至翌年3月份达到高峰,进入雨季以后脱落数量最低。从种子脱落期间该区域的主要气候条件来看。滇榄仁种子成熟期为每年9月下旬左右,此时正是干热河谷雨季即将结束,旱季将至的时候。这时,不仅气候异常干旱,风力也逐渐增强。对不同时间段滇榄仁冠层种子库中种子脱落量与风力之间关系进行比较,冠层种子库种子脱落量与风力的变化正好一致,即风力越大的时候种子脱落量越多,风力越小的时候种子脱落量越少。有研究表明,冠层种子库的生态学意义是推迟种子脱落,缓冲了种子产量的年际波动,保证土壤种子库中种子的供应^[11]。对于风播植物种子来说,冠层种子库种子的脱落被延迟到利于风力传播的时期可能也是其应对环境的一种重要的适应机制。即滇榄仁种子从冠层上脱落很可能是其长期适应干热河谷风力变

化,利用风力进行种子扩散,从而达到成功繁衍的一种进化机制。

有研究表明,风播型植物种子扩散除了受到风向、风速的影响^[19],也受到降水量、降水频度、大气湿度、地貌乃至微地形等外部条件的影响^[9]。而降水量、降水频度与大气湿度之间的变化是一致的,即降水量越大、频度越高,大气湿度就越高。本研究结果表明,滇榄仁冠层中种子脱落也受到了降水量、空气湿度等因素的强烈影响。种子的脱落量与同期降雨量和空气相对湿度的变化正好相反,即滇榄仁种子在降雨量和空气相对湿度较低的时候最易脱落。这与同样靠风力传播种子的桦树(*Betula uber*)和胡杨(*Populus euphratica*)的种子脱落过程极为类似^[20-21]。这一现象的产生可能存在着特殊生理基础,即种子的“干裂”(Xerochasy)现象^[20]。其原因是种子和结种枝条间的离层在湿度低的环境下发育更快,因此,低湿度的天气环境更有利于种子脱落。而高风速有利于类似滇榄仁这种个体小、质量轻且具果翅的种子靠风力进行长距离传播。同时,滇榄仁种子的脱落可能也受到了局部小环境的强烈影响,其主要表现为同一时期不同果序上脱落种子数量出现了较大的不同,且脱落量越大的时期这种差异越明显(图3中2月、3月和4月出现的大标准差现象)。

土壤种子库的动态变化依赖于种子库种子的输入和输出。由于不同时间段种子输入和输出量存在着一定的差异,土壤种子库的大小通常会随时间呈现有规律的变化^[22-24]。一般生态系统中种子雨扩散后土壤种子库达到最大,随后逐渐降低^[25]。滇榄仁土壤种子库的变化也符合这个规律,即使其存在植冠种子库,种子扩散过程较为缓慢,但在冠层种子脱落的高峰期(2月和4月),土壤种子库也已达到最高峰。但不同类型群落之间,土壤种子库的大小存在着极大的差异。2010年5月上旬调查时,滇榄仁纯林群落的土壤种子库最大,为 (108 ± 46) grain m^{-2} ,而最小的小月旧村稀树群落为 (79 ± 8) grain m^{-2} 。通常,土壤种子库的种子数量与母株上脱落的种子数量相关,因此,母株的种子产量是影响种子库密度的首要因素。在植株分布密、生长状况好、结种量多的地方,种子库密度相对较高,反之,则较少。滇榄仁纯林群落的生长坡度较缓,土层相对较厚,滇榄仁植株密度高,且生长良好。野外调查亦可见,滇榄仁纯林群落内结种母株明显比其他两种群落

多,因此,产生种子的基数更大,而稀树群落内,尽管植株个体生长良好、产种量大,但由于植株稀疏,整体种子产量仍然相对较低。同时,混交林群落内,由于生长坡度陡、土层薄、岩石裸露率高,且受当地人为干扰活动强(离城近),单株植株产种能力最弱。从3种类型滇榄仁群落的土壤种子库来看,尽管不同群落间的种子库大小差异显著,但总体来说,各群落内种源仍不缺乏。而造成滇榄仁群落内自然更新不良的原因不应是种源不足,应与种子质量以及群落内环境等影响群落天然更新的其它因子存在较大关联。

参考文献

- [1] David L G, Fernand C, Cesar A, et al. The role of seed dispersal in the natural regeneration of rain forest after strip-cutting in the Peruvian Amazon [J]. *Plant Ecol*, 1993, 107/108(1): 339-349.
- [2] Tilman D, Kareiva P. *Spatial Ecology: The Role of Space in Population Dynamics and Interspecific Interactions* [M]. Princeton: Princeton University Press, 1997: 71-72.
- [3] Han Y Z, Wang Z Q. Spatial pattern of Manchurian ash seed dispersal in secondary hardwood forests [J]. *Acta Phytocool Sin*, 2002, 26(1): 51-57.
- [4] Nan K W, Wu Q L, Hu R Y, et al. Seasonal dynamics of species composition of community and soil seed bank invaded by *Oenothera laciniata* Hill in Wenzhou, Zhejiang [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2009, 17(6): 535-542.
南康武, 吴庆玲, 胡仁勇, 等. 温州裂叶月见草入侵群落和土壤种子库种类组成的季节动态 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2009, 17(6): 535-542.
- [5] 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]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(1): 68-74.
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.
- [6] 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]. *Chin J Plant Ecol*, 2011, 35(1): 35-44.
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.
- [7] Xiao C, Liu W Z, Liu G H. Comparison of the established vegetation and soil seed bank of tidal flat versus tributary habitats of China's Danjiangkou Reservoir: The potential of hydrochory [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2011, 35(3): 247-255.
萧藏, 刘文治, 刘贵华. 丹江口库区滩涂与入库支流植被与土壤种子库: 水传播潜力探讨 [J]. *植物生态学报*, 2011, 35(3): 247-255.

- [8] Yu S L, Lang N J, Peng M J, et al. Research advances in seed rain [J]. *Chin J Ecol*, 2007, 26(10): 1646–1652.
于顺利, 郎南军, 彭明俊, 等. 种子雨研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1646–1652.
- [9] Yang Y F, Bai Y P, Li J D, et al. Spatial patterns of seed dispersal in *Hemiptelea davidii* woodland in Keerqin sandy land, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, 21(8): 1967–1973.
杨允菲, 白云鹏, 李建东, 等. 科尔沁沙地刺榆林种子散布的空间格局 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 1967–1973.
- [10] Tsuyuzaki S. Environmental deterioration resulting from ski resort construction in Japan [J]. *Environ Conser*, 1994, 21(2): 121–125.
- [11] Ma J L, Liu Z M. Canopy seed bank and its ecological significance: A review [J]. *Chin J Ecol*, 2005, 24(11): 1329–1333.
马君玲, 刘志民. 植冠种子库及其生态意义研究 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1329–1333.
- [12] Bureau of Meteorology of Yunnan Province. Climate Data Sets on Agriculture of Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1984: 63–123.
云南省气象局. 云南农业气象资料 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1984: 63–123.
- [13] Zhang B, Shi K, Liu C Q, et al. Changes of seasonal precipitation of Yuanmou Dry-hot Valley in recent 50 years based on method of DFA [J]. *Sci Geogr Sin*, 2009, 29(4): 561–566.
张斌, 史凯, 刘春琼, 等. 元谋干热河谷近50年分季节降水变化的DFA分析 [J]. *地理科学*, 2009, 29(4): 561–566.
- [14] Zhang J P, Wang D J, Wang Y K, et al. Discusses on eco-environment changes in Dry-hot Valley of Yuanmou [J]. *Sci Geogr Sin*, 2000, 20(2): 148–152.
张建平, 王道杰, 王玉宽, 等. 元谋干热河谷区生态环境变迁探讨 [J]. *地理科学*, 2000, 20(2): 148–152.
- [15] Zhang X B, Yang Z, Zhang J P. Lithologic types on hill slopes and revegetation zoning in the Yuanmou Hot and Dry Valley [J]. *Sci Sil Sin*, 2003, 39(4): 16–22.
张信宝, 杨忠, 张建平. 元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区 [J]. *林业科学*, 2003, 39(4): 16–22.
- [16] Sun S C, Chen L Z. Seed demography of *Quercus liaotungensis* in Dongling mountain region [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2000, 24(2): 215–221.
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.
- [17] Liu Z G, Zhu J J, Yuan X L, et al. Investigation and analysis of the natural regeneration of *Larix olgensis* in mountain regions of eastern Liaoning Province, China [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, 43(1): 42–49.
刘足根, 朱教君, 袁小兰, 等. 辽东山区长白落叶松天然更新调查 [J]. *林业科学*, 2007, 43(1): 42–49.
- [18] He Y B, Lu P Z, Zhu T. Causes for the formation of Dry-hot Valleys in Hengduan Mountain-Yunnan Plateau [J]. *Resour Sci*, 2000, 22(5): 69–72.
何永彬, 卢培泽, 朱彤. 横断山-云南高原干热河谷形成原因研究 [J]. *资源学报*, 2000, 22(5): 69–72.
- [19] Yang Y F, Zhu L. Pattern of a seed dispersal of *Hordeum brevisubulatum* on alkalinized meadow in the Songnen Plain of China [J]. *Acta Bot Sin*, 1994, 36(8): 636–644.
杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸野大麦的种子散布格局 [J]. *植物学报*, 1994, 36(8): 636–644.
- [20] Ford R H, Sharik T L, Feret P P. Seed dispersal of the endangered Virginia round-leaf birch (*Betula uber*) [J]. *For Ecol Manag*, 1983, 6(2): 115–128.
- [21] Lavorel S, Debussche M, Lebreton J D, et al. Seasonal patterns in the seed bank of Mediterranean old-fields [J]. *Oikos*, 1993, 67(1): 114–128.
- [22] Zhang Y B, Li J W, Zhang H, et al. Spatiotemporal patterns of seed dispersal in *Populus euphratica* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, 25(8): 1994–2000.
张玉波, 李景文, 张昊, 等. 胡杨种子散布的时空分布格局 [J]. *生态学报*, 2005, 25(8): 1994–2000.
- [23] Dalling J W, Brown T A. Long-term persistence of pioneer species in tropical rain forest soil seed banks [J]. *Amer Nat*, 2009, 173(4): 531–535.
- [24] Yan Q, Zhu J, Zhang J, et al. Spatial distribution pattern of soil seed bank in canopy gaps of various sizes in temperate secondary forests, Northeast China [J]. *Plant Soil*, 2010, 329(1): 469–480.
- [25] Shang Z H, Ren G H, Long R J. Review of soil seed bank studies: Size, pattern and impacting factors [J]. *Acta Pratacul Sin*, 2009, 18(1): 144–154.
尚占环, 任国华, 龙瑞军. 土壤种子库研究综述——规模、格局及影响因素 [J]. *草业学报*, 2009, 18(1): 144–154.