

DOI: 10.5846/sxb201804140859

霍雪莹, 康海斌, 王得祥, 常明捷, 于飞. 啮齿动物对秦岭松栎混交林建群种种子扩散格局的影响. 生态学报, 2019, 39(7): - .
Huo X Y, Kang H B, Wang D X, Chang M J, Yu F. Effects of rodents on seed dispersal patterns of constructive species in the pine-oak mixed forests of the Qinling Mountains, Shaanxi Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): - .

啮齿动物对秦岭松栎混交林建群种种子扩散格局的影响

霍雪莹¹, 康海斌¹, 王得祥^{1,*}, 常明捷¹, 于飞²

1 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100

2 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007

摘要: 森林群落中的啮齿动物对林木种子存在着一定的取食偏好性, 这种偏好性会使啮齿动物形成不同的捕食和贮藏策略, 从而导致林木种子形成不同的扩散格局。以秦岭中段松栎混交林建群种锐齿槲栎、油松、华山松为研究对象, 采用塑料标签标记种子方法, 研究啮齿动物对种子传播和扩散格局的影响。结果表明: (1) 种子特征是影响啮齿动物对其进行扩散的重要因子, 油松种子以其质量小、种皮薄等特点吸引啮齿动物大量捕食, 其原地取食率达到 83.33%, 显著高于华山松和锐齿槲栎种子。(2) 锐齿槲栎和华山松种子大部分被搬运一定距离后再被取食和埋藏, 其中, 扩散距离在 1 m 以内、1—3 m 和 5—8 m 的锐齿槲栎种子分别占 59.12%、18.23% 和 13.26%, 最远扩散距离达 12 m 处; 华山松种子扩散距离主要介于在 1—3 m (37.85%) 和 3—5 m (23.73%), 在距离 5—8 m (13.56%)、8—10 m (11.86%) 和大于 10 m (11.30%) 区间也有一定的分布, 最大扩散距离为 12 m。(3) 啮齿动物倾向于将锐齿槲栎种子搬运至松林内取食, 而将华山松种子搬运至栎林内埋藏, 说明不同林分类型及其环境因素对林木种子扩散后的分布格局具有重要影响。(4) 3 种类型种子被啮齿动物捕食的比例以油松最大 (96.90%), 锐齿槲栎次之 (73.57%), 华山松最小 (50%); 次年调查时, 未被捕食的种子大部分已经被取食, 仅有极少数锐齿槲栎种子萌发成幼苗 (1.67%)。啮齿动物的捕食和贮藏行为对林木种子扩散及其成功更新都至关重要。

关键词: 松栎混交林; 建群种; 种子扩散; 种子特征; 林分类型

Effects of rodents on seed dispersal patterns of constructive species in the pine-oak mixed forests of the Qinling Mountains, Shaanxi Province, China

HUO Xueying¹, KANG Haibin¹, WANG Dexiang^{1,*}, CHANG Mingjie¹, YU Fei²

1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

Abstract: Rodents in forest communities have a feeding preference for tree seeds. This preference will lead to different predation and storage strategies for rodents, resulting in different diffusion patterns of tree seeds. In this study, the seed fate of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*, *Pinus armandii*, and *Pinus tabulaeformis* was studied to analyze the seed dispersal patterns of constructive species in the pine-oak mixed forests of the Qinling Mountains, Shaanxi Province, China. The results demonstrated that seed traits are the main factor affecting their removal by rodents. The in-situ seed predation rate of *P. tabulaeformis* seeds was 83.33%, which was notably higher than that of other seed types, indicating that rodents preferentially fed on the small *P. tabulaeformis* seeds. *Q. aliena* var. *acuteserrata* seeds and *P. armandii* seeds were transported to distant locations for feeding and burying. The *Q. aliena* var. *acuteserrata* seeds with diffusion distances of less

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31470644)

收稿日期: 2018-04-14; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangdx66@126.com

than 1 m, 1—3 m and 5—8 m accounted for 59.12%, 18.23%, and 13.26% of predated seeds, respectively; the farthest diffusion distance was 12 m. The seed diffusion distance of *P. armandii* was mainly between 1—3 m (37.85%) and 3—5 m (23.73%), and was within the range of 5—8 m (13.56%), 8—10 m (11.86%), and greater than 10 m (11.30%); the maximum diffusion distance of *P. armandii* seeds was also 12 m. Rodents tended to transport *Q. aliena* var. *acuteserrata* seeds to the pine forest for feeding, while transporting the seeds of *P. armandii* to the oak forest, indicating that different forest types are an important factor in seed dispersal. *P. tabuliformis* seeds were the most predated on by rodents (96.90%), followed by *Q. aliena* var. *acuteserrata* seeds (73.57%), and *P. armandii* seeds (50%). In the following year's survey, most of the predated seeds had been consumed, and only a handful of *Q. aliena* var. *acuteserrata* seeds had sprouted into seedlings (1.67%). Rodent predation and storage behaviors are critical for the spread of forest seeds and their successful renewal.

Key Words: pine-oak mixed forest; constructive species; seed dispersal; seed traits; forest types

松栎混交林是秦岭山地森林生态系统中最具代表性、分布最广泛的群落之一,在调节气候、水源涵养、保护生物多样性等方面发挥着不可忽视的作用。“天保”工程实施后,秦岭林区部分森林群落处于自然更新比较困难状态^[1]。森林中每年有大量的林木种子成熟,它们或处于休眠状态,或萌发,或被动物搬运、埋藏、取食,或衰老腐烂甚至死亡等,这些种子是林木更新的首要前提^[2]。而种子扩散是更新过程中的关键性环节,对林木更新具有非常重要的意义,其中动物是影响林木种子扩散的主要因素^[3]。

啮齿动物是林木种子的主要扩散者和重要捕食者^[4-5]。林木与林内啮齿动物在漫长进化过程中形成了一种互惠互利的协同进化模式^[6]。在秦岭林区,林木种子是啮齿动物主要的食物资源,为应对食物短缺期或抢占食物资源,在种子成熟时会快速对其进行分散贮藏。林木种子被啮齿动物搬运和埋藏后,可以实现二次扩散,从而远离母树,避免与母树、幼苗对水分、养分、光照等资源的竞争,使林木种子有更大的机率扩散到更加适宜萌发的地方而成功更新^[2,7-8]。

华山松(*Pinus tabuliformis*)、油松(*Pinus armandii*)和锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)是秦岭松栎混交林群落的建群种,其天然更新直接影响到该群落生态系统的稳定性。华山松球果成熟期 9—10 月,种子倒卵圆形,黄褐色或黑色,无翅或稀具有木质翅,基本通过动物扩散。油松种子形状不规则,体积小且具有种翅结构,能借助风媒进行传播。锐齿槲栎球果成熟期 9—10 月,种子较大且近乎椭圆形,主要依赖动物进行二次扩散^[9]。三种类型的林木种子差异较大,这种差异性在啮齿动物对它们进行扩散时是否具有一定程度的影响^[8],对秦岭松栎混交林群落的更新具有重要的生态学意义。

尽管已有不少研究探索了啮齿动物的扩散贮藏行为,但系统研究一个地区主要森林群落建群种在啮齿动物介导下形成的种子扩散格局却少见报道。陈晓宁^[10]等在秦岭南北坡调查了鼠类对板栗和锐齿槲栎种子的选择差异,发现种子特征和环境因素都对鼠类扩散林木种子具有重要影响。可见,秦岭松栎混交林建群种的种子扩散会随种子特征和其他因素的差异呈现出一定的规律性^[11-19]。本研究以华山松、油松、锐齿槲栎为研究对象,在松栎混交林斑块镶嵌过渡区开展种子扩散试验,旨在探究啮齿动物对松栎混交林建群种种子扩散格局的影响,以期为松栎混交林的天然更新及其群落演替提供一定的理论依据。

1 研究地区和研究方法

1.1 研究区概况

本研究于 2015 年在秦岭南坡中段的火地塘林区内进行。该试验林区的气候处于中国北亚热带和暖温带的过渡地带,全年平均气温 8—10℃,年平均降水 900—1200 mm,森林覆盖面积达 93.8%,郁闭度 0.9 以上,以天然次生林为主,主要分为寒带针叶林、温带针叶林、暖性针叶林、温带针阔混交林、落叶阔叶林、常绿-落叶阔叶林等 6 个植被类型。主要优势树种有锐齿槲栎、华山松、油松、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)和红桦

(*Betula albo-sciensis*) 等。林区分布的啮齿动物主要有中华姬鼠 (*Apodemus draco*)、大林姬鼠 (*Apodemus peninsulae*)、岩松鼠 (*Sciurotamias davidianus*)、社鼠 (*Niviventer confucianus*) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 种子采集和标记

收集自然散落于锐齿槲栎灌层下的锐齿槲栎种子,选取大小适中且完好的种子,带回实验室,并采用水浮法挑选出有健康活力的种子。华山松和油松种子均为 2015 年秋季新采集的种子。

为了方便快速找到被啮齿动物扩散的种子,参照常置的方法来标记种子,在种子任意一端用微型电钻钻一个直径为 0.3 mm 的小孔,用长 12 cm、直径 0.3 mm 的细铁丝将其与一个白色塑料标签相连,每个标签上标明种子释放点、种子种类和种子序号,试验开始后,通过搜寻标签来确定种子的扩散地点^[20-21]。通过野外及其围栏研究表明,该标记方法对啮齿动物扩散种子没有显著影响^[22]。

1.2.2 种子释放和追踪

2015 年 10 月开始进行种子的释放和追踪实验。参照 Whitmore's 对森林镶嵌的描述,在镶嵌分布的松林和栎林林缘相接处沿交界线设置一条长 260 m 的样线,每隔 20 m 设置一个面积为 1 m²的种子释放点,共计 14 个。每个释放点分别放置 3 种种子各 30 个,均匀成列放置,合计共释放种子 1260 枚(14 个释放点×3 种种子×30 枚)。从释放第二天开始,每天定时进行一次观察,在种子释放点周围 20 m 直径范围内搜寻种子,并记录其不同种子的扩散速度和命运,直到释放点的种子处于完全稳定状态为止。种子命运共分为 6 类:原地剩余(IIS)、原地取食(PIS)、搬运后取食(PAR)、搬运后丢弃(DAR)、搬运后埋藏(CAR)、丢失(M)。

1.2.3 啮齿动物群落结构调查

种子扩散试验结束后,在松林和栎林内各设置 1 条样线,每间隔 5 m 放置一个活捕笼,每条样线上放置 15 笼,共计 30 笼。以花生和火腿为诱饵,从放置第二天开始,每天定时进行检查,共调查 5 天,累计 150 活捕笼日(15 活捕笼×2 条样线×5 天),对被捕获的啮齿动物进行称重、鉴别后原地释放。

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件对相关数据进行统计和分析。计算不同林木种子扩散速度和命运的百分比,将数据经过反正弦转换后进行统计分析。采用 Cox 回归法分析不同林木种子扩散速度的差异。通过 General Linear Model 分析不同类型种子在 IIS、PIS、PAR、DAR、CAR 和 M 命运之间的差异。所有的图表均在 Origin 8.1 中完成。

2 结果与分析

2.1 种子留存动态

3 种类型种子留存动态如图 1 所示。Cox 回归分析结果表明,3 类种子扩散速率存在显著差异(Wald = 7.78, $P=0.02$),扩散速度依次为油松、锐齿槲栎、华山松。其中,油松种子几乎被完全扩散,仅剩余极小部分(3.33%);锐齿槲栎种子剩余量次之(26.43%);华山松种子剩余最多(50%)。啮齿动物偏好于优先取食种皮薄且体积小的油松种子。

2.2 种子命运

3 种类型种子的命运如图 2 所示,一般线性模型分析得出,3 类种子原地剩余($F=13.16, P<0.01$)和原地取食($F=128.78, P<0.01$)的命运达到了极显著差异;搬运后取食($F=3.64, P=0.04$)和丢失($F=3.79, P=0.03$)的命运也达到了显著差异;但搬运后丢弃($F=3.64, P=0.07$)和搬运后埋藏($F=1.24, P=0.30$)的命运则无显著差异。

其中,华山松种子被原地剩余比例最高(50%),锐齿槲栎种子次之(26.43%);油松种子被原地取食的比例最高(83.33%),锐齿槲栎种子次之(23.57%),华山松种子最少(0.48%);被啮齿动物搬运后取食率由高到低依次为华山松种子(22.14%)、油松种子(18.81%)和锐齿槲栎种子(6.67%);而油松种子丢失最少

(0.52%), 华山松种子丢失率最高(7.14%)。啮齿动物对 3 种差异较大的林木种子采取不同的捕食对策, 导致林木种子产生不同的扩散命运。

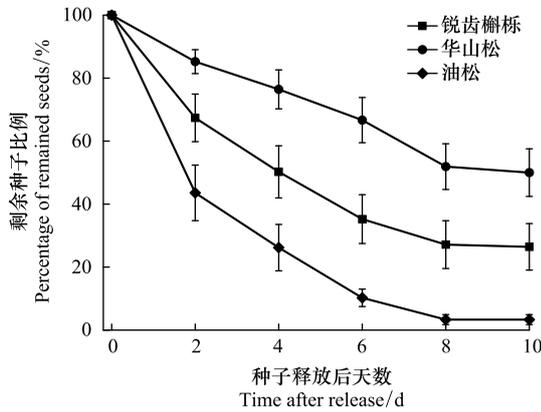


图1 种子原地留存动态

Fig.1 Dynamic of seeds that were remained in situ

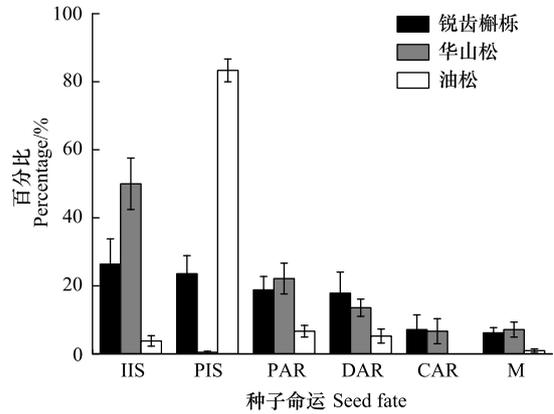


图2 种子扩散后的命运

Fig.2 Fates of seeds after removal

IIS: 原地剩余 In situ; PIS: 原地取食 Predation in situ; PAR: 搬运后取食 Predation after removal; DAR: 搬运后丢弃 Discarding after removal; CAR: 搬运后埋藏 Cache after removal; M: 丢失 Missing

2.3 种子扩散距离

3 种类型种子扩散距离如图 3 所示, 种子被扩散后各自取食的距离存在极显著差异 ($F = 24.72, P < 0.01$)。其中, 华山松种子被啮齿动物扩散后取食的距离最大 (3.22 m), 锐齿槲栎种子次之 (1.84 m), 油松种子最小

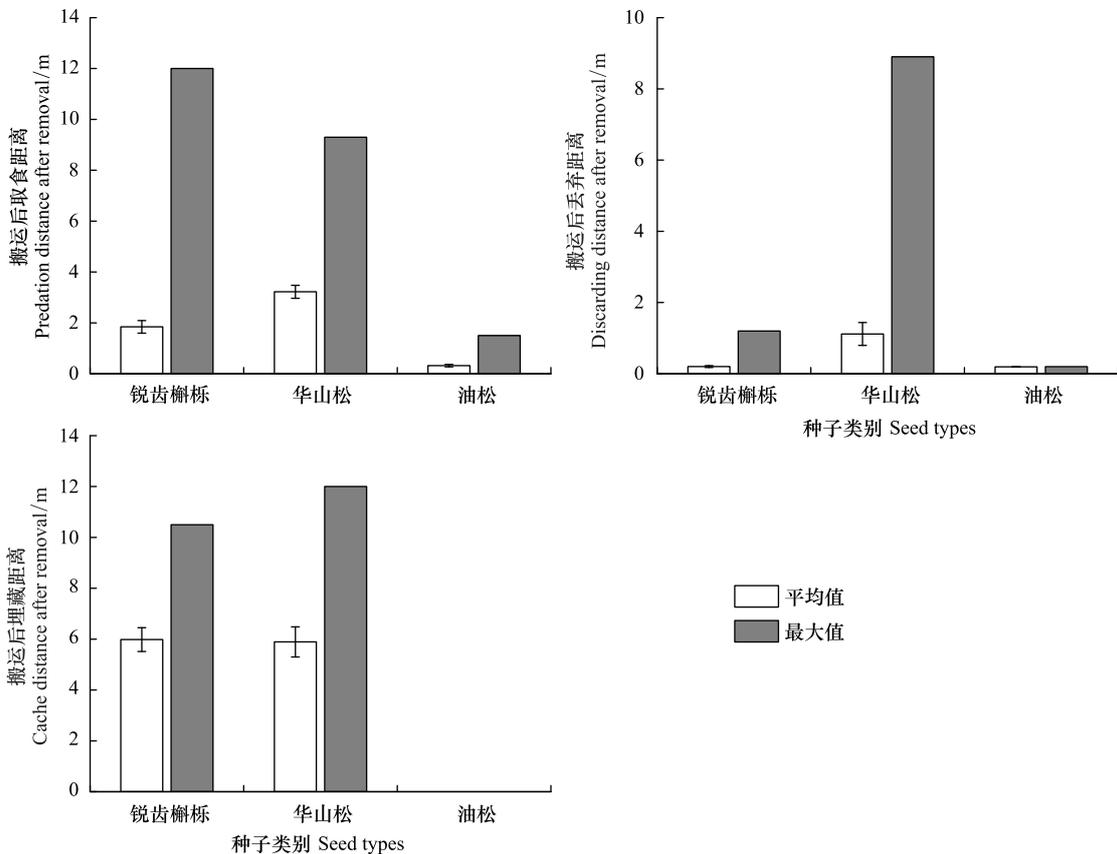


图3 种子扩散距离

Fig.3 Dispersal distance of seeds after removal

(0.32 m);3 个树种种子被扩散后丢弃的距离也达到了极显著水平 ($F=6.30, P<0.01$), 丢弃的平均距离依次为华山松种子 (1.12 m)、锐齿槲栎种子 (0.20 m) 和油松种子 (0.19 m); 华山松种子、锐齿槲栎种子被扩散后埋藏的距离不存在显著差异 ($F=0.01, P=0.91$), 油松种子不存在被啮齿动物扩散后埋藏的命运。啮齿动物倾向于就近取食油松种子, 而将种皮坚硬且体积较大的华山松和锐齿槲栎种子进行搬运贮藏。

种子扩散距离的分布频率如图 4 所示, 油松种子的扩散距离近且集中, 而华山松、锐齿槲栎种子的扩散距离相对较远, 且在所有距离区间内均有分布。其中, 油松种子的扩散距离基本都处于 1 m 以下; 锐齿槲栎种子扩散的距离主要集中在 1 m 以下 (59.12%), 在 1—3 m (18.23%) 和 5—8 m (13.26%) 也有较多分布; 华山松种子扩散距离主要介于 1—3 m (37.85%) 和 3—5 m (23.73%), 在 5—8 m (13.56%)、8—10 m (11.86%) 和大于 10 m (11.30%) 区间内也有一定的分布频次。

2.4 种子扩散分布格局

种子扩散分布如图 5 所示, 林木种子被啮齿动物搬运后, 在松林和栎林内的扩散并非简单的随机分布。被搬运的锐齿槲栎种子中, 一部分被扩散后取食 (54.70%), 取食点分布在松林居多; 一部分被扩散后丢弃 (15.42%); 仅有少部分被埋藏 (13.26%), 并且埋藏在栎林中的比例大于埋藏在松林。被搬运的华山松种子中, 大部分被扩散后取食 (61.02%); 很少一部分被扩散后丢弃 (23.26%) 和埋藏 (15.82%), 埋藏点基本分布在种子释放点周围和栎林。啮齿动物倾向于将锐齿槲栎种子扩散至松林内取食, 而将华山松种子搬运至栎林内埋藏。

2.5 种子扩散路径

种子扩散路径如图 6 所示, 14 个种子释放点中, 3 种类型种子被啮齿动物捕食的比例以油松种子最大

(96.90%), 锐齿槲栎种子次之 (73.57%), 华山松种子最小 (50%); 而未被捕食的种子, 在次年调查时, 基本上

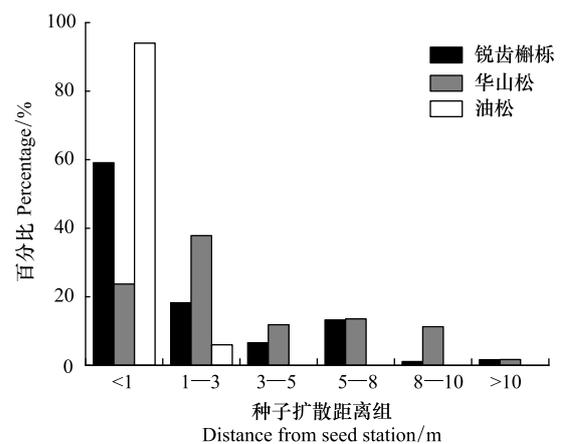


图 4 种子扩散距离的分布频次

Fig.4 Distribution frequency of seed dispersal distance

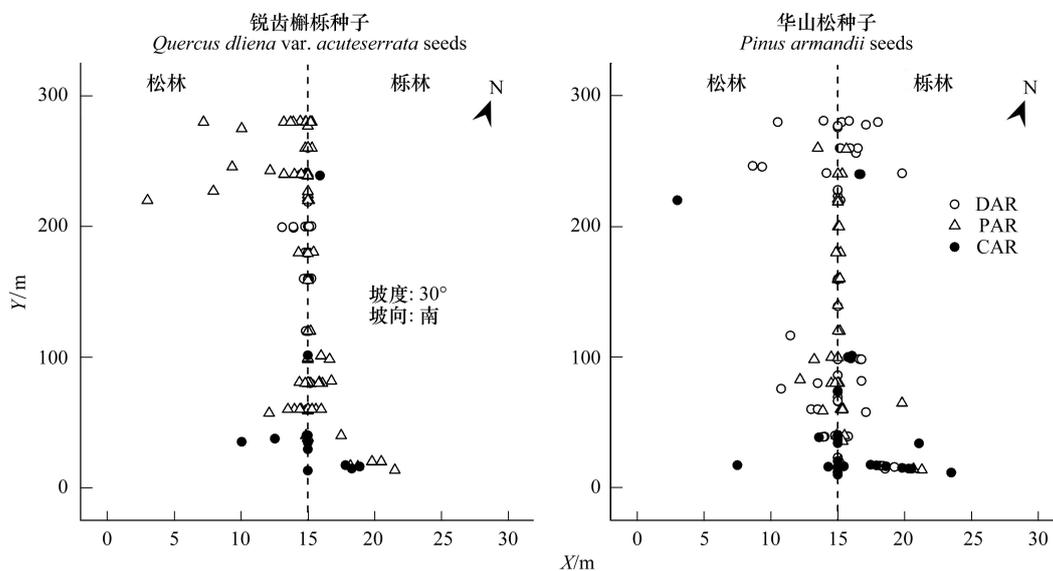


图 5 种子扩散分布格局

Fig.5 Distribution pattern of seeds after removal

图中 X、Y 坐标是指种子扩散的实际距离, 不考虑坡向和投影距离; 图中并未体现样地的全部范围, 仅为试验过程中追踪到搬运种子的扩散范围

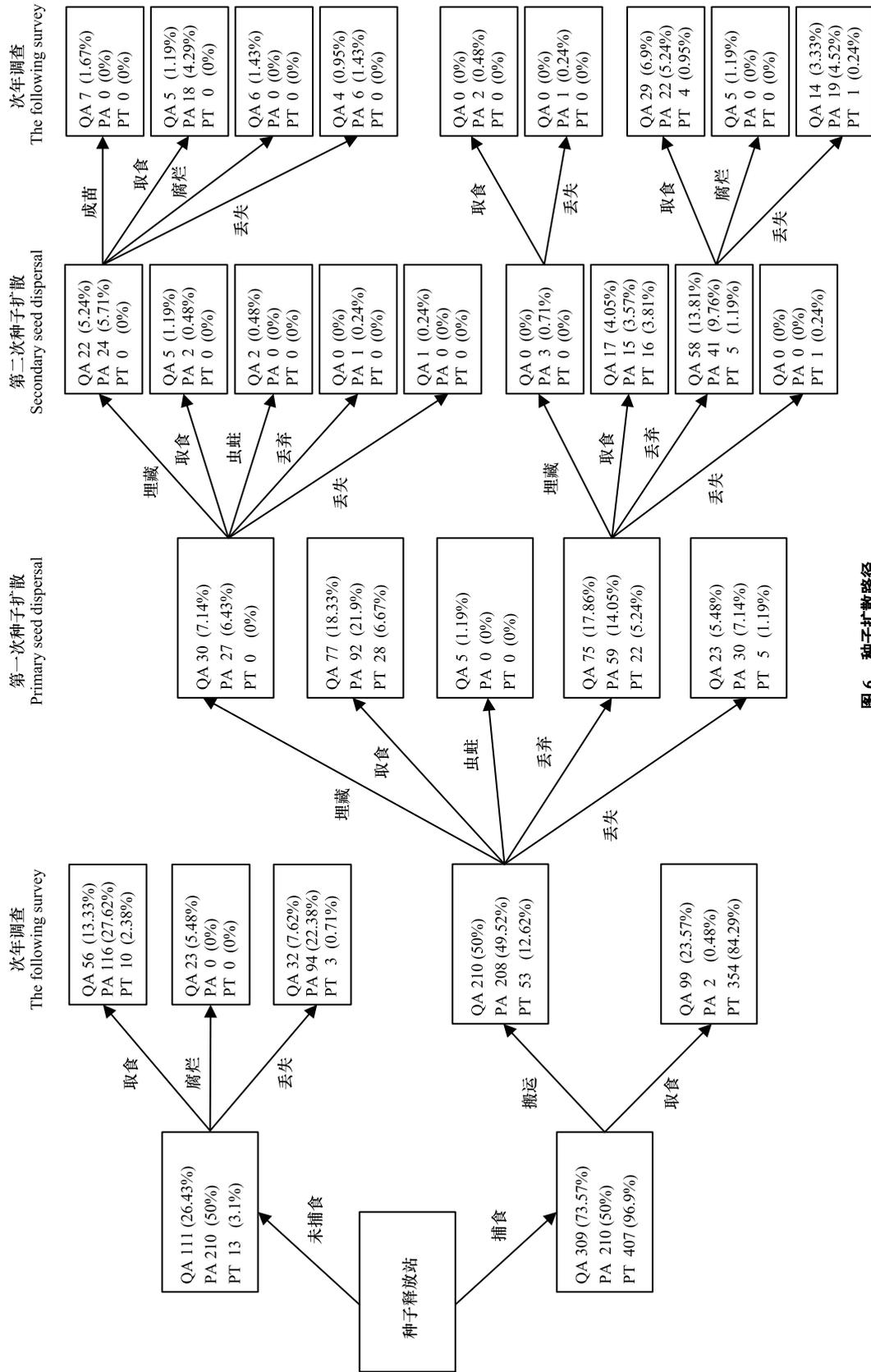


图 6 种子扩散路径
 Fig. 6 Dispersal path of seeds after removal
 QA: 锐齿槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata*; PA: 华山松 *Pinus tabulaeformis*; PT: 油松 *Pinus armandii*

已经全部被取食;油松种子被原地取食率最高(84.29%),而锐齿槲栎和华山松种子大部分被啮齿动物搬运扩散;第一次种子扩散中,油松种子基本上被取食(6.67%)和丢弃(1.19%),其他两种种子在各种命运中都占有一定的比例;第二次扩散过程中,油松种子被啮齿动物取食的概率依旧较大,而其他两种种子几乎都被埋藏和丢弃;次年调查时,仅有极少数锐齿槲栎种子萌发成幼苗(1.67%)。啮齿动物的大量捕食是林木种子更新困难的首要因素,扩散后的生境也对种子更新产生了一定程度的影响。

2.6 啮齿动物群落结构

啮齿动物群落调查如表 1 所示,松林内捕获啮齿动物 9 只,栎林内捕获 7 只;在捕获的啮齿动物中,大林姬鼠 10 只,中华姬鼠 6 只,其他种类并未捕捉到,但调查期间多次观察到松鼠。大林姬鼠、中华姬鼠和松鼠均是秦岭地区主要的啮齿动物,它们主要以植物种子和果实为食,对林木种子的扩散和传播具有重要影响。

表 1 啮齿动物捕获数

Table 1 Number of rodents trapped in the study area

林分类型 Forest type	捕获率 Trap success/%	捕获数 Trapped individual	
		大林姬鼠 <i>Apodemus peninsulae</i>	中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>
松林 Pine forest	6.0	6	3
栎林 Oak forest	4.7	4	3

3 讨论

森林群落中的林木种子主要依靠内部的啮齿动物对其进行扩散,其扩散模式在一定程度上决定了其能否成功萌发和更新^[23]。不同的林木种子受到啮齿动物不同程度的偏爱^[24-25],而种子在释放点的留存动态能直接反映这种偏好性,原地存留量越少,说明这种类型的种子越受啮齿动物的偏爱。本研究中,油松种子的原地存留率显著低于华山松和锐齿槲栎种子,说明油松种子更加受林内啮齿动物的青睐。不同的林木种子具有不同的种子特征,其中种子大小和种皮厚度是影响啮齿动物抉择的重要因素^[14,26-28]。油松种子个体较小,种皮较薄,是啮齿动物优先选择的对象,而华山松和锐齿槲栎种子个体较大,种皮较厚,往往被啮齿动物搬运后再进行取食或埋藏,可能是因为啮齿动物取食时需要花费的时间更多,增加了被捕食的风险。张知彬^[29]研究表明,当捕食风险存在时,动物会选择相对安全但效益较低的觅食模式。因此,油松种子因其特定的种子特征成为啮齿动物优先选择取食的对象。

取食距离和埋藏距离也在一定程度上反映了啮齿动物对种子的偏好^[11,24]。本研究中,油松种子扩散距离最近,基本集中在 1 m 以内,华山松和锐齿槲栎种子的扩散距离则相对较远,说明华山松和锐齿槲栎种子往往被啮齿动物搬运至较远的距离。此结论符合最优贮藏空间分布模型^[30],啮齿动物为了平衡搬运过程中能获得的回报和能量消耗,减少被捕食的风险,倾向于将营养价值高的大种子搬运到较远的距离再进行取食或埋藏,而将营养价值相对较低的小种子就近取食。因此,华山松和锐齿槲栎种子因其营养价值相对较高更容易成为啮齿动物投资更多的能量进行搬运的对象。

种子扩散分布存在着一定的空间差异性,在不同林分条件下形成不同的种子扩散格局。不同种类、不同体型的啮齿动物对林木种子存在着不同的取食偏好^[31],但本研究啮齿动物群落调查表明,啮齿动物在松林和栎林的分布不存在显著差异,而种子扩散分布显示,啮齿动物倾向于将锐齿槲栎种子扩散至松林内取食,而将华山松种子搬运至栎林内埋藏。这可能与不同林分条件下不同的植被状况和凋落物厚度有关,复杂的植被条件可以起到一定的掩护作用,降低啮齿动物被捕食的风险,让其能够安全地取食;啮齿动物为了躲避盗食者对食物资源的盗取,会适当将种子分散埋藏在覆被物较为复杂的地点^[32],而凋落物厚度会影响啮齿动物找寻埋藏种子的难度。张洪武等^[33]研究表明,油松林下草本层的物种均匀度和多样性均显著高于锐齿槲栎林,说明其植被条件相对于锐齿槲栎林更加复杂。闫兴富^[34]研究表明,森林地表凋落叶较多时,增加了啮齿动物从凋

落叶层中搜寻埋藏种子的难度,从而导致种子埋藏点较多。可见,啮齿动物对种子取食点和埋藏点的选择受到林下植被复杂程度和其他因子的影响。

种子扩散之所以被视为林木更新的一个至关重要的环节,是因为扩散可以提供一个更适宜种子萌发的生境。本研究种子扩散路径表明,油松种子几乎完全被取食,锐齿槲栎和华山松种子有小部分被埋藏在林下,次年调查时,只有极少一部分种子成功萌发成幼苗,说明大部分林木种子被啮齿动物取食,来自啮齿动物的捕食压力是种子更新的主要影响因素^[35-37]。此外,种子更新率较低也可能与林分密度^[1]、枯落物厚度^[38]及其化感作用^[39]有关,而松林和栎林两种林分下的这些环境条件明显不同。可见,林分类型不仅影响着种子分布格局,也进一步影响着种子扩散后的更新状况。

综上所述,林木种子特征是影响种子扩散的关键性因子,林分类型则是影响种子扩散分布格局的重要因素。三种类型的林木种子在啮齿动物对其进行扩散时,形成了不同的扩散命运,但啮齿动物的大量捕食依旧是影响其更新的决定性因子。被扩散后的种子受林分因子的影响,也会产生不同的分布格局,而不同林分条件下的萌发适宜性不同,这在一定程度上影响了林木更新的可能性。因此,探究秦岭松栎混交林建群种种子扩散分布格局,可以更好地解释其群落的天然更新模式,以期为促进其建群种天然更新提供一定的理论依据。

参考文献 (References):

- [1] 康冰,王得祥,崔宏安,迪玮峙,杜焰玲. 秦岭山地油松群落更新特征及影响因子. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1659-1667.
- [2] 于飞. 秦岭松栎混交林建群种种子扩散过程及天然更新格局研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.
- [3] Gómez J M, Puerta-Piñero C, Schupp E W. Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, 2008, 155(3): 529-537.
- [4] 张博,石子俊,陈晓宁,侯祥,王京,李金钢,常罡. 森林鼠类对秦岭南坡 3 种壳斗科植物种子扩散的影响. 生态学报, 2016, 36(21): 6750-6757.
- [5] Chang G, Zhang Z B. Differences in hoarding behaviors among six sympatric rodent species on seeds of oil tea (*Camellia oleifera*) in Southwest China. *Acta Oecologica*, 2011, 37(3): 165-169.
- [6] 肖治术,张知彬. 啮齿动物的贮藏行为与植物种子的扩散. 兽类学报, 2004, 24(1): 61-70.
- [7] Yu F, Wang D X, Yi X F, Shi X X, Huang Y K, Zhang H W, Zhang X P. Does animal-mediated seed dispersal facilitate the formation of *Pinus armandii-Quercus aliena* var. *acuteserrata* forests? *PLoS One*, 2014, 9(2): e89886.
- [8] Rusch U D, Midgley J J, Anderson B. Rodent consumption and caching behaviour selects for specific seed traits. *South African Journal of Botany*, 2013, 84: 83-87.
- [9] 李宏俊,张知彬. 动物与植物种子更新的关系 II. 动物对种子的捕食、扩散、贮藏及与幼苗建成的关系. 生物多样性, 2001, 9(1): 25-37.
- [10] 陈晓宁,张博,陈雅娟,侯祥,王京,常罡. 秦岭南北坡森林鼠类对板栗和锐齿栎种子扩散的影响. 生态学报, 2016, 36(5): 1303-1311.
- [11] 常罡,肖治术,张知彬. 种子大小对小泡巨鼠贮藏行为的影响. 兽类学报, 2008, 28(1): 37-41.
- [12] 常罡,邵发道. 季节变化对锐齿栎种子扩散的影响. 生态学杂志, 2011, 30(1): 189-192.
- [13] 周立彪,闫兴富,王建礼,周云峰. 啮齿动物对不同大小和种皮特征种子的取食和搬运. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2325-2332.
- [14] 陈晓宁,张博,王京,侯祥,韩宁,申健,常罡. 食物源距离对中华姬鼠贮藏策略的影响. 兽类学报, 2017, 37(2): 146-151.
- [15] 于飞,牛可坤,焦广强,吕浩秋,易现峰. 小型啮齿动物对小兴安岭 5 种林木种子扩散的影响. 东北林业大学学报, 2011, 39(1): 11-13.
- [16] 于飞,史晓晓,易现峰,王得祥. 蒙古栎种子相对丰富度对小兴安岭 5 种木本植物种子扩散的影响. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1531-1535.
- [17] 刘国强,刘长渠,易现峰. 胡桃楸种子大小对鼠类分散贮藏行为的影响——基于无线电标记技术. 生态学报, 2015, 35(17): 5648-5653.
- [18] 欧瑞东,闫兴富,马惠娟,姜英娜. 啮齿动物对不同大小辽东栎和山桃种子的取食和搬运. 种子, 2017, 36(9): 76-80.
- [19] Yu F, Shi X X, Wang D X, Yi X F, Fan D F, Guo T D, Lou Y G. Effects of insect infestation on *Quercus aliena* var. *acuteserrata* acorn dispersal in the Qinling Mountains, China. *New Forests*, 2015, 46(1): 51-61.
- [20] 康海斌,王得祥,常明捷,康冰,胡有宁,于飞,庞越,滕青林. 啮齿动物对不同林木种子的搬运和取食微生境选择机制. 生态学报, 2017, 37(22): 7604-7613.
- [21] Xiao Z S, Jansen P A, Zhang Z B. Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, 2006, 223(1/3): 18-23.
- [22] 常罡. 鼠类扩散种子的几种标签标记法的比较. 生态学杂志, 2012, 31(3): 684-688.
- [23] Perea R, Miguel A S, Gil L. Flying vs. climbing: factors controlling arboreal seed removal in oak-beech forests. *Forest Ecology and Management*,

- 2011, 262(7): 1251-1257.
- [24] 沈泽昊, 唐圆圆, 李道兴. 啮齿类取食的物种偏好与时空格局. 生态学报, 2008, 28(12): 6018-6024.
- [25] 王冲, 张义锋, 王振龙, 乔王铁, 路纪琪. 济源太行山区鼠类对三种林木种子的扩散和贮藏. 兽类学报, 2013, 33(2): 150-156.
- [26] Lei J J, Shen Z, Yi X F. Pericarp thickness and seed size determine acorn dispersal of five rodent-dispersed oak species. Acta Theriologica Sinica, 2012, 32(2): 83-89.
- [27] Chang G, Jin T Z, Pei J F, Chen X N, Zhang B, Shi Z J. Seed dispersal of three sympatric oak species by forest rodents in the Qinling Mountains, Central China. Plant Ecology, 2012, 213(10): 1633-1642.
- [28] Zhang H M, Zhang Z B. Endocarp thickness affects seed removal speed by small rodents in a warm-temperate broad-leaved deciduous forest, China. Acta Oecologica, 2008, 34(3): 285-293.
- [29] 路纪琪, 张知彬. 捕食风险及其对动物觅食行为的影响. 生态学杂志, 2004, 23(2): 66-72.
- [30] Dally J M, Clayton N S, Emery N J. The behaviour and evolution of cache protection and pilferage. Animal Behaviour, 2006, 72(1): 13-23.
- [31] Vieira E M, Pizo M A, Izar P. Fruit and seed exploitation by small rodents of the Brazilian Atlantic forest. Mammalia, 2003, 67(4): 533-540.
- [32] Gómez J M. Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. Ecography, 2003, 26(5): 573-584.
- [33] 张洪武, 于飞, 王得祥, 张子良. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中物种组成及多样性动态分析. 西北植物学报, 2014, 34(1): 169-176.
- [34] 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. 生态学报, 2012, 32(9): 2778-2787.
- [35] 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. 动物学报, 2005, 51(2): 195-204.
- [36] Cao L, Xiao Z S, Guo C, Chen J. Scatter-hoarding rodents as secondary seed dispersers of a frugivore-dispersed tree *Scleropyrum wallichianum* in a defaunated Xishuangbanna tropical forest, China. Integrative Zoology, 2011, 6(3): 227-234.
- [37] 孙明洋, 马庆亮, 田澍辽, 王建东, 路纪琪. 种子产量对鼠类扩散栓皮栎坚果的影响. 兽类学报, 2011, 31(3): 265-271.
- [38] 张树梓, 李梅, 张树彬, 张志东, 黄选瑞. 塞罕坝华北落叶松人工林天然更新影响因子. 生态学报, 2015, 35(16): 5403-5411.
- [39] 李登武, 王冬梅, 姚文旭. 油松的自毒作用及其生态学意义. 林业科学, 2010, 46(11): 174-178.