

# 土壤和枯落物覆盖对林鼠捕食栓皮栎种子的影响

史晓晓, 魏凯璐, 闫慧慧, 贺渤, 蒋铮, 于飞

(河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007)

**摘要:**在伏牛山国家级自然保护区研究了覆盖处理下森林鼠类对建群种栓皮栎种子扩散和命运的影响,对人工释放种子分别设置了 2 cm 土壤覆盖(SC)、5 cm(LC)和 10 cm 枯落物覆盖(HC)3 种处理,探讨不同覆盖处理下贮食鼠类与森林种子间的作用机制,以期为制定南水北调水源区人工促进天然更新措施积累基础数据.结果发现:1) 3 种处理显著影响栓皮栎种子的留存,种子留存率由高到低始终为 HC、SC、LC;2) HC 处理的原地捕食(EIS)量显著低于其他两种处理,但 3 种处理间种子埋藏率未呈现显著差异;3)在 SC 下,动物更倾向于将种子搬运至(1,2] m,而在 LC 和 HC 处理下动物更倾向于将种子搬运至(5,10] m.结果表明,覆盖处理对伏牛山水源林建群种种子扩散动态、种子命运以及种子扩散距离均可产生显著影响,在直播造林时,对种子进行 10 cm 枯落物覆盖可延缓动物发现的时间,这在一定程度上为非休眠性白栎类橡子提供了临时庇护并为种子萌发争取了“时间”.

**关键词:**伏牛山;栓皮栎;种子扩散;覆盖处理

**中图分类号:**Q148

**文献标志码:**A

森林更新作为森林生态系统自我繁衍、恢复的基础,是森林生态学的重点研究内容<sup>[1-2]</sup>,而种子扩散又是森林更新研究的重要环节<sup>[3-4]</sup>.种子扩散通常指种子在风力、水力、动物等外力或自身弹爆力的作用下,远离母体的动态过程<sup>[5]</sup>,而母树附近的幼苗因密度制约会受到不利影响<sup>[6]</sup>,因此,种子扩散对种子命运具有积极作用.在种子扩散过程中,鸟类和啮齿类动物又扮演着主要角色<sup>[7-9]</sup>,据研究资料显示,影响动物种子扩散行为的内部因素包括:种子的理化性质<sup>[10]</sup>、营养成分、次生防御物质<sup>[11-12]</sup>等;外部因素包括:植被盖度、生境类型、捕食风险<sup>[13]</sup>等.对于森林而言,改变种子的理化性质(如为种子进行包衣)可延长其存活时间,但包衣地表种子的存活时间明显短于埋藏的种子<sup>[14]</sup>.

栓皮栎(*Quercus varibilis*)属温带、亚热带地区的优势物种,也是伏牛山国家级自然保护区建群种之一.栓皮栎林生态系统为南水北调水源地承担着净化水质、涵养水源、保持水土、调节气候等多种防护功能,其生态地位至关重要.因此,栓皮栎林的更新情况将直接影响整个伏牛山生态系统的健康与稳定.栓皮栎种子属于非休眠性白栎类橡子,大多数非休眠性白栎类橡子在成熟后数天内即可萌发,但是这类种子是许多啮齿类动物的主要食物来源<sup>[15-16]</sup>.尽管啮齿类动物分散埋藏对种子扩散起到不可或缺的作用<sup>[17]</sup>,但动物过度捕食势必会影响栎林的森林更新<sup>[18-20]</sup>.对华山松(*Pinus armandii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)种子<sup>[16]</sup>以及辽东栎(*Quercus wutaishansea*)种子<sup>[21]</sup>的相关研究表明,种子下落地表后很快被动物捕食,凋落物和土壤覆盖处理会影响种子的取食和扩散,但此类研究文献资料因生境异质性存在较大差异.为此,本研究以伏牛山栓皮栎种子与森林鼠类间的相互作用关系为基础,采用塑料标签标记法,对种子设置 2 cm 土壤覆盖,5 cm 枯落物覆盖,10 cm 枯落物覆盖三种处理,探究伏牛山森林鼠类对栓皮栎种子扩散和命运的影响,以期为进一步阐明该南水北调关键地动植物间的互惠效应以及指导森林更新经营实践提供科学依据.

**收稿日期:**2017-01-13;**修回日期:**2017-12-10.

**基金项目:**国家自然科学基金(31700384);河南高等学校重点科研项目(15A180047);河南师范大学博士启动项目(qd14170);河南师范大学青年项目(2016QK13).

**作者简介(通信作者):**史晓晓(1989-),女,河南洛阳人,河南师范大学助理实验师,主要从事林草生态研究,E-mail:shixiaoxiao1986@126.com.

# 1 研究地区与研究方法

## 1.1 研究地概况

研究地位于河南省栾川县的伏牛山国家级自然保护区落叶阔叶天然林(33°39′—34°11′N, 111°11′—112°01′E)。该区气候属大陆性季风气候,年平均气温 10~14℃,年降水量 600~1 000 mm。土壤以山地褐土为主。植被垂直地带性分布明显,自下而上有落叶阔叶林带、针阔叶混交林带、针叶林带和灌丛草甸带等,植被以栓皮栎为主,覆盖率超过 80%。除此之外乔木层还有锐齿槲栎(*Quercus aliena acuteserrata Maxim*),华山松、日本落叶松(*Larix kaempferi*),油松;主要灌木种类有:连翘(*Forsythia suspensa*)、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、栎木(*Swida macrophylla*)、山梅花(*Philadelphus incanus*)、荆条(*Vitex negundo* Lvar. *heterophylla*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、铁仔(*Myrsine africana*);草本多分布在土壤瘠薄、陡坡和水土流失或人为干扰严重的地段,以耐旱草本植物组成,异型莎草(*Cyperus difformis*)、稀羽鳞毛蕨(*Dryopteris sparsa*)、针叶薹草(*Carex onoei*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)等。该区动物主要有岩松鼠(*Sciurot amiasda vidianus*)、隐纹花松鼠(*Tamiops swinhoei*)、花鼠(*Tamias sibiricus*)、大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)、中华姬鼠(*Apodemus draco*)、豪猪(*Hystrix hodgsoni*)等<sup>[22]</sup>。总体而言,天然林面积较大,植物类型丰富,动物种类繁多,生态系统稳定,整体代表性强。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 实验设计

在选择样带上,自坡底到坡顶按照“之”字形每隔 20 m 设置一个小样方,面积为 1,共 30 个样方,同时进行实验。根据研究区历年种子产量平均值确定释放到每个样方中的种子为 20 个,并且每个种子大小与重量基本一致<sup>[3]</sup>。经过测量当地的枯落物厚度,发现其为 0~10 cm 之间。另一方面为探究土壤埋藏对种子的影响,将 30 个样方分为 3 组,每组分为 10 个样方,每个样方中放入 20 个种子。设置如下:1)1~10 样方组:土壤下 2 cm 埋藏处理。将样地表面的枯落物清理干净并依据需要在样地内挖出若干个深为 2 cm 的小土坑,种子放入后用土填上,标签置于表面便于观察;2)10~20 样方组:5 cm 枯落物覆盖处理。将地表凋落物清理干净,投放种子再用 5 cm 厚的凋落叶覆盖种子;3)20~30 样方组:10 cm 枯落物覆盖处理。将地表凋落物清理干净,投放种子再用 10 cm 厚的凋落叶覆盖种子。其中,2 cm 土壤覆盖作为对照组,5 cm 枯落物覆盖为较薄的枯落物处理,10 cm 枯落物覆盖为较厚的枯落物处理。

### 1.2.2 种子标记、释放和野外调查

实验所用种子采自伏牛山保护区的成年栓皮栎植株冠层下自然成熟散落的种子,种子采用微钻在种子远离子叶和胚的一端钻一个小孔,然后用长约 10 cm 的细钢丝将种子和一个很轻的白色塑料标签(<0.1 g)连接起来,因此种子胚部分是完整的。每个塑料片上都用记号笔连续编号,以便对种子进行追踪和确定。通过对研究地区进行的活捕笼实验证明该地区种子的主要捕食者是啮齿类动物<sup>[3]</sup>。通过前人研究表明,塑料片和细钢丝对鼠类对种子的命运没有显著影响<sup>[23]</sup>。2015 年 8 月 19 日,在所选样地投放标记的栓皮栎种子各 20 枚,共计 600 枚(20 枚×30 种子释放点)。由于白栎类(*subgenus Quercus*)橡子在成熟后即可迅速萌发<sup>[24]</sup>,种子释放后,若不实施任何措施,在 1 周甚至更短的时间内被动物全部捕食<sup>[2]</sup>,因此本试验分别在种子释放后的第 1 d、第 3 d、第 4 d、第 5 d、第 6 d、第 7 d 和第 9 天检查被标记的种子来确定种子命运,寻找被标记种子,确定种子随后的命运:原地剩余(IS)、原地捕食(EIS)、移动后捕食(EAR)、移动后完整(IAR)、移动后贮藏(CAR)、丢失(M)。记录标签信息及种子到对应释放点中心的距离和角度。

## 1.3 数据分析

所有数据的统计分析均在 Excel 2010 和 SPSS 16.0 统计软件上完成。采用 Cox Regression 对存留动态

进行分析;运用 General Linear Model 分析比较不同种子命运和扩散距离之间的差异显著性.

## 2 结果与分析

### 2.1 种子在释放点的留存动态

从种子存留动态图可以看出,土壤覆盖和凋落叶覆盖对栓皮栎种子均具有保护作用,其中 10 cm 凋落叶覆盖比土壤覆盖效果更好.研究发现,10 cm 凋落叶覆盖处理的种子留存最多,且明显高于 2 cm 土壤覆盖和 5 cm 的枯落叶覆盖(10 cm 枯落物的 7 次观察留存率分别为:100.00%、94.50%、89.00%、89.00%、77.50%、74.00%、72.00%、71.00%),实验最后 10 cm 凋落叶覆盖仍有 70%左右的留存率.相比之下,土下 2 cm 处理的种子和 10 cm 凋落叶处理的种子则留存率较低,且始终都呈现出土下 2 cm 埋藏的留存率略高于 10 cm 凋落叶覆盖处理的种子(最后一次观测分别为 42%和 31%).通过对 3 种处理进行 Cox Regression 分析后发现,3 种处理间存在差异( $\omega=11.538, P=0.003$ ),即 3 种处理能够非常显著的影响种子留存.

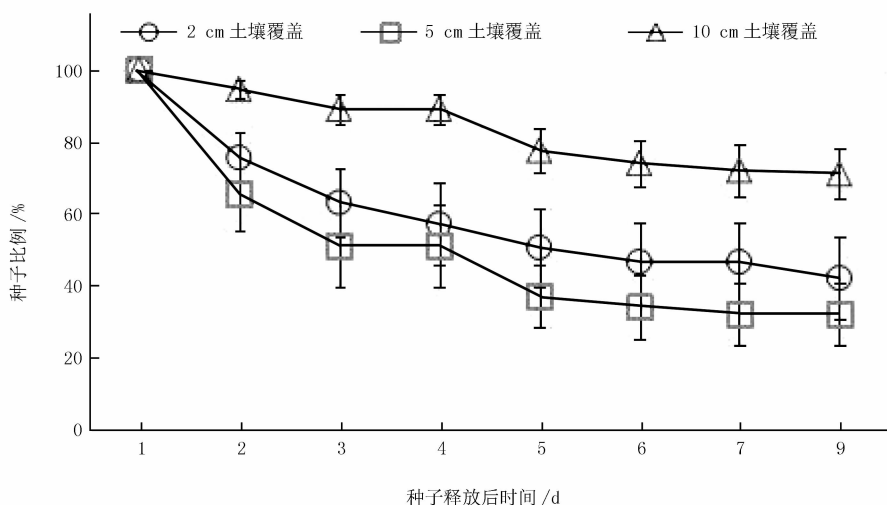


图 1 不同覆盖处理栓皮栎种子在释放点的留存动态

### 2.2 种子的命运

由图 2 可知,2 cm 土壤覆盖处理后原地捕食率与移动后遗弃率最高,5 cm 的枯落叶覆盖移动后捕食率与移动后埋藏率最高,而对于 10 cm 凋落叶覆盖来说,种子命运集中于移动后捕食和原地捕食,几乎没有其他形式.此外除了 10 cm 凋落叶覆盖,其他两种处理内,均呈现出原地捕食率最高的情况.

General Linear Model 分析后发现,不同处理方式对种子命运起着不同的影响.不同处理对原地留存 (IS)有显著影响( $F=3.664, P=0.039$ ),但是对原地取食 (EIS) ( $F=1.588, P=0.223$ ),移动后取食 (EAR) ( $F=0.823, P=0.450$ ),移动后丢弃 (IAR) ( $F=1.928, P=0.165$ ),移动后储藏 (CAR) ( $F=2.037, P=0.150$ ),以及丢失 (M) ( $F=1.843, P=0.178$ )影响不显著.由卡方检验显示,EIS 的处理差异达到了极显著 ( $P<0.01$ ),CAR 的处理差异达到了显著水平 ( $P<0.05$ )(图 2).

### 2.3 种子被动物搬运的距离及分布

2 cm 土壤覆盖,5 cm 凋落叶覆盖和 10 cm 凋落叶覆盖处理下栓皮栎种子的平均扩散距离分别是( $3.08 \pm 0.38$ ) m、( $5.26 \pm 0.58$ ) m、( $5.73 \pm 0.70$ ) m,之间差异显著( $F=8.066, P=0.010$ ).5 cm 枯落物覆盖和 10 cm 枯落物覆盖种子平均扩散距离显著大于 2 cm 土壤覆盖.另外,在  $\leq 1$  组,2 cm 土壤覆盖的种子数最大,而在 (5,10]和  $>10$  组,5 cm 枯落物覆盖种子数最大,即 5 cm 枯落物覆盖处理下,种子更易扩散到更远的地方.2 cm 土壤覆盖和 10 cm 枯落物覆盖均更容易在较近处扩散(图 3).

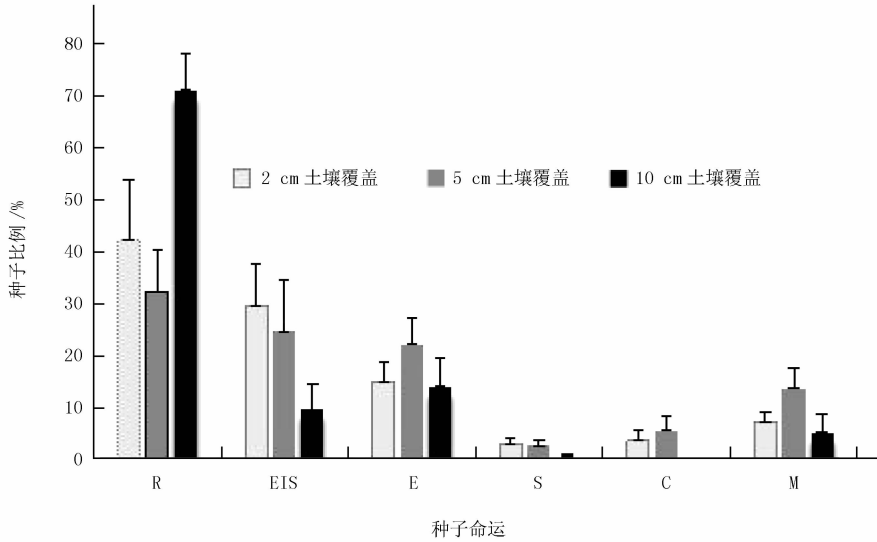


图2 不同覆盖处理的栓皮栎种子在释放点的命运

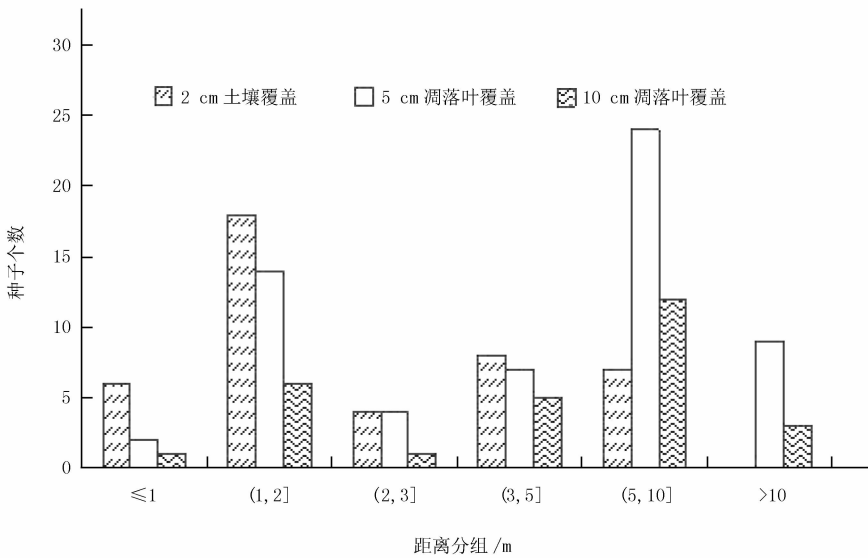


图3 3种处理下扩散距离分布

### 3 讨论

本研究发现,在整个试验期间被处理的种子留存率始终呈现出10 cm 枯落物覆盖大于2 cm 土壤覆盖大于5 cm 枯落物覆盖,这说明种子释放的早期阶段覆盖处理可延缓动物发现种子的时间<sup>[19]</sup>,也有学者研究认为枯落物覆盖会加大捕食难度,降低动物对种子的捕食<sup>[14]</sup>.同时,研究表明栓皮栎种子在2 cm 土壤覆盖下,动物更倾向于将种子搬运至(1,2] m;而在5 cm 枯物和10 cm 枯物覆盖下动物更倾向于将种子搬运至更远的距离中(5,10] m.虽然5 cm 和10 cm 的种子扩散都集中在一个范围,但是前者明显比后者的数量多.这可能是因为厚度影响了啮齿动物对取食风险的判断.在扩散的平均距离上,5 cm 枯落物覆盖比10 cm 枯落物覆盖的扩散距离更远,但这一结果是否普遍存在还有待进一步研究.

啮齿动物发现食物(植物的种子或果实)后并不会全部捕食,而是将一部分搬离扩散开,有时埋藏,有时

遗弃至地表<sup>[25]</sup>,这些贮藏行为是许多啮齿动物和鸟类应对食物资源短缺的一种适应,有利于保证动物自身生存和繁殖,对于未被找回的种子,扩散过程被阻止,则为种子扎根赢得了更多的时间,完成森林更新的幼苗建成阶段<sup>[26]</sup>.本试验中发现 10 cm 枯落物覆盖处理的原地捕食(EIS)显著低于其他两种处理(4.5% < 24%),与此相反,前人研究较厚凋落物覆盖处理原地取食(EIS)的比例大于较薄凋落物覆盖处理<sup>[27]</sup>,这是因为哺乳动物的觅食行为与其对消耗成本和所获收益的判断不同<sup>[28]</sup>.但是相较于 5 cm 的枯落物覆盖中原地捕食(EIS)比例均大于移动后捕食(EAR),10 cm 枯落物覆盖则正相反,因为枯物覆盖处理下,当动物取食种子时,要投入更多的时间,这可能是啮齿类动物在种子捕食过程中投资与收益间进行权衡的结果<sup>[29]</sup>,就种子萌发而言,覆盖物太厚阻碍了种子与土壤之间接触<sup>[30]</sup>,可能对提高土壤温度不利,对促进土壤养分分解也不利,可能会引起通气不畅,不利于种子萌发出苗,对其造成机械损伤的可能性增大,导致种子萌发困难,或种子本身营养物质不足以支持幼苗伸出土壤表面<sup>[31-32]</sup>.另外,本研究发现栓皮栎种子在 2 cm 土壤覆盖下,动物更倾向于将种子搬运至(1,2] m,而在 5 cm 枯物和 10 cm 枯物覆盖下动物更倾向于将种子搬运至更远的距离中(5,10] m.虽然 5 cm 和 10 cm 的种子扩散都集中在一个范围,但是前者明显比后者的数量多,这可能是因为覆盖物厚度影响了啮齿动物对取食风险的判断.

综上,覆土与覆枯显著影响了伏牛山森林鼠类对栓皮栎种子的存留动态、种子命运和扩散距离.3 种处理下种子释放后留存率表现为 10 cm、5 cm、2 cm,10 cm 枯落物覆盖处理的原地捕食(EIS)量显著低于其他两种处理,但 3 种处理间种子埋藏率未呈现极显著差异.由此可见,对伏牛山水源林建群种种子进行覆盖可以延缓动物发现种子的时间,显著影响森林种子命运.从森林更新的角度而言,覆盖处理能够为种子提供临时庇护,这在一定程度上为非休眠性白栎类橡子萌发争取了“时间”,从而有利于完成森林更新和幼苗建成.该结果在不同地区或不同生境是否呈现同一性仍需进一步研究.

## 参 考 文 献

- [1] 金永焕,李敦求,姜好相,等.长白山山区次生林恢复过程中天然更新的动态[J].南京林业大学学报,2015,29(5):65-68.
- [2] Yu F, Wang D X, Yi X F. Does Animal-mediated seed dispersal facilitate the formation of *Pinus armandii-Quercus aliena* var. *acuteserrata* forests? [J]. Plos One, 2014, 9(2): e89886.
- [3] 刘文静. 种子大小和昆虫寄生对榿栎和栓皮栎种子命运的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2010.
- [4] Yu F, Shi X X, Wang D X. Effects of insect infestation on seed dispersal of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in Qinling Mountains China [J]. New Forests, 2015, 46: 51-61.
- [5] 牛可坤. 小兴安岭地区红松、平榛和毛榛种子扩散的时空动态[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2011.
- [6] 李晓亮, 王洪, 郑征, 等. 西双版纳热带森林树种幼苗的组成、空间分布和旱季存活[J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 658-671.
- [7] 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.
- [8] Yu F, Shi X X, Wang D X. Seed predation patterns favor the regeneration of dominant species in forest gaps compared with the understory in an oak-pine mixed forest China [J]. Acta Theriologica, 2014, 59: 495-502.
- [9] 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.
- [10] 李娟, 郭聪, 肖治术. 都江堰亚热带森林常见木本植物果实组成与种子扩散策略[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 572-581.
- [11] SHIMADA T, SAITOH T. Re-evaluation of the relationship between rodent populations and acorn masting: a review from the aspect of nutrients and defensive chemicals in acorns [J]. Population Ecology, 2006, 48: 341-352.
- [12] 沈泽昊, 唐圆圆, 李道兴. 啮齿类取食的物种偏好与时空格局[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6018-6024.
- [13] 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[J]. 生物多样性, 2001, 9(1): 2537.
- [14] 程瑾瑞, 肖治术, 张知彬. 包衣、埋藏的栓皮栎和枹栎种子在鼠类捕食下的存留[J]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 668-672.
- [15] 赵雪峰, 路纪琪, 乔王铁, 等. 生境类型对啮齿动物扩散和贮藏栓皮栎坚果的影响[J]. 兽类学报, 2009, 29(2): 160-166.
- [16] 孙明洋, 马庆亮, 田澍辽, 等. 种子产量对鼠类扩散栓皮栎坚果的影响[J]. 兽类学报, 2011, 31(3): 265-271.
- [17] 石子俊. 秦岭南坡壳斗科植物种子雨及种子扩散的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [18] 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, 2000, 24(2): 215-221.
- [19] Yu F, Shi X X, Wei K L, et al. Leaf litter affects the survival and predation rates for large and small *Pinus* seeds in the Qinling Mountains, China [J]. Israel Journal of Ecology & Evolution, 2016, 61(3/4): 162-168.
- [20] 常罡, 王开锋, 王智. 秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3177-3181.
- [21] 闫兴富, 杨晋, 思彬彬, 等. 凋落物和土壤覆盖对动物取食和搬运辽东栎种子的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(11): 2547-2553.
- [22] 路纪琪. 河南省啮齿动物地理分布的研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 1997, 25(2): 1000-2367.

- [23] 常罡.鼠类扩散种子的几种标签标记法的比较[J].生态学杂志,2012,31(3):684-688.
- [24] Xiao Z S,Gao X,Steele M A,et al.Frequency-dependent selection by tree squirrels: adaptive escape of nondormant white oaks[J].Behavioral Ecology,2009,21(1):169-175.
- [25] 张义锋.太行山区植物种子—鼠类—昆虫的相互作用研究[D].郑州:郑州大学,2014.
- [26] 闫兴富,余杨春,周立彪,等.啮齿动物对六盘山区辽东栎、野李和华山松种子的取食和搬运[J].生物多样性,2012,20(4):427-436.
- [27] Fedriani J M,Manzaneda A J.Pre-and postdispersal seed predation by rodents: balance of food and safety[J].Behavioral Ecology,2005,16(6):1018-1024.
- [28] 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):2778-2787.
- [29] Negi A.S,Negi G S C,Singh SP.Establishment and growth of *Quercus floribunda* seedlings after a mast year[J].Journal of Vegetation Science,1996,7(4):559-564.
- [30] 杨玲,康永祥,李小军,等.黄帝陵古柏群林下天然更新研究[J].西北林学院学报,2015,30(1):82-86.
- [31] 边银霞,王辉,李永斌,等.土壤水分和覆土厚度对油松种子萌发和幼苗出土的影响[J].甘肃农业大学学报,2009,44(2):116-121.
- [32] 李华,康志钰.覆砂厚度对玉米半粒种子发芽特性的影响[J].云南农业大学学报,2009,24(4):528-533.

## Effects of forest rodents on *Quercus variabilis* seed fate under soil and litter cover in Funiu Mountains

Shi Xiaoxiao, Wei Kailu, Yan Huihui, He Bo, Jiang Zheng, Yu Fei

(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** To explore the interaction mechanisms between rodents and dominant species regeneration in the Funiu Mountain Nature Reserve, which is also water source area of the south to North Water Transfer Project. The effects of forest rodents on seed dispersal and fate of *Quercus variabilis* under 2 cm soil cover (SC), 5 cm litter cover (LC), and 10 cm litter cover (HC) were conducted by artificial released seeds in the Funiu Mountain Nature Reserve. The results showed that: (1) Survival dynamics of *Q. variabilis* seeds were significantly affected by the cover treatments. The survival rates of seeds from high to low is always HC, SC, LC. (2) the rate of seed eaten in situ under HC was significantly lower than the other two treatments, but no significant difference was found among the 3 treatments. (3) Seeds under SC were more likely carried to distance of (1, 2] m, while the animals were more inclined to transport the seeds to the distance of the (5, 10] m in the treatment of LC and HC. Therefore, 10 cm leaf litter may protect *Q. variabilis* seeds to interference the feeding of the rodents and enhance their survival by making them more difficult to detect. This also strives for "time" for non-dormant white oak acorn to germinate in some sense.

**Keywords:** Funiu Mountains; *Quercus variabilis*; seed dispersal; cover treatment

[责任编辑 王凤产]