

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2022.30334

何念军, 朱文婷, 李涛, 谢峰淋, 党海山. 亚热带-温带过渡区秦岭落叶阔叶林幼苗组成及数量动态研究[J]. 植物科学学报, 2022, 40 (3): 334~343

He NJ, Zhu WT, Li T, Xie FL, Dang HS. Seedling composition and dynamics of a deciduous broad-leaved forest in the subtropical-temperate transitional zone of the Qinling Mountains, China [J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40 (3): 334~343

亚热带-温带过渡区秦岭落叶阔叶林幼苗组成及数量动态研究

何念军¹, 朱文婷^{2, 3}, 李涛¹, 谢峰淋², 党海山^{2*}

(1. 陕西佛坪国家级自然保护区管理局, 陕西汉中 723400; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074;

3. 西藏大学理学院, 拉萨 850000)

摘要: 以秦岭落叶阔叶林 25 hm² 固定样地的木本植物幼苗为研究对象, 于 2015 – 2019 年对幼苗种类、数量、萌发和死亡情况进行调查, 并对幼苗的物种组成、数量及动态特征进行分析。结果显示: 5 年间调查到的幼苗分属 24 科 42 属, 共 69 个物种, 累计记录 11 408 株; 样地中的树种组成和优势树种组成基本不变, 但整体物种数有减少趋势; 幼苗数量在年际间和不同物种间有较大差异, 17 个物种幼苗数量较多, 大于 100 株, 其总和占幼苗总量的 56.28%, 产生新增幼苗的物种有 53 个, 累计增加 6280 株; 死亡幼苗 6929 株, 其中 4469 株为新生幼苗, 占新增幼苗总数的 74.14%, 新苗的死亡数远远大于旧苗死亡数; 幼苗新增和死亡的高峰期大致吻合, 出现在每年的 5 – 7 月。整体看来, 秦岭大样地的幼苗数量处于平稳波动状态, 物种更新较为稳定。

关键词: 气候过渡区; 森林更新; 幼苗组成; 年际动态中图分类号: Q948.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)03-0334-10

Seedling composition and dynamics of a deciduous broad-leaved forest in the subtropical-temperate transitional zone of the Qinling Mountains, China

He Nian-Jun¹, Zhu Wen-Ting^{2, 3}, Li Tao¹, Xie Feng-Lin², Dang Hai-Shan^{2*}

(1. Administration of Foping National Nature Reserve, Hanzhong, Shaanxi 723400, China; 2. Wuhan Botanical Garden of the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 3. College of Science, Tibet University, Lhasa 850000, China)

Abstract: We investigated the species, quantity, germination, and mortality of woody seedlings in a 25 hm² broad-leaved deciduous forest plot in the Qinling Mountains of China from 2015 to 2019 and analyzed the species composition and dynamic characteristics of seedlings. Results identified 69 species belonging to 42 genera and 24 families, including a total of 11 408 seedlings (2015 to 2019). There was little change in species composition and dominant species composition in the plot, but species number decreased overall. Seedling numbers varied significantly among different tree species across years, including 17 species with more than 100 individuals (accounting for 56.28%) and 53 species with new seedlings. In total, there were 6280 recruited seedlings, 6929 dead seedlings, and 4469 new seedlings, accounting for 74.14% of the total number of recruited seedlings. The mortality of newly

收稿日期: 2021-10-25, 修回日期: 2022-02-28。

基金项目: 国家生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006); 国家自然科学基金(31971491, 31770517); 中华环境保护基金会美团外卖青山公益专项(CEPFQS202169-20)。

This work was supported by grants from the National Ministry of Ecology and Environment Biodiversity Survey and Evaluation Project (2019HJ2096001006), National Natural Science Foundation of China (31971491, 31770517), and Meituan Qingshan Special Commonweal Fund of China Environmental Protection Foundation (CEPFQS202169-20).

作者简介: 何念军(1985-), 男, 林业工程师, 主要从事自然保护和大熊猫保护生态学研究(E-mail: 1055829743@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: dangkey@wbgcas.cn)。

recruited seedlings was much higher than that of old seedlings. Peak seedling growth and mortality roughly occurred from May to July each year. The number of seedlings in the plot fluctuated steadily, and species regeneration was relatively stable.

Key words: Climate transitional zone; Forest regeneration; Seedling composition; Interannual variation

森林的天然更新是以木本植物为主体的生物群落在时空上不断延续、发展和演替的过程^[1], 是森林生态系统研究的主要内容之一。植物幼苗是森林生态系统的重要组成部分, 其存活能力和生长速率会直接影响种群的数量特征和群落组成, 对各物种的稳定共存和更新也有重大意义。然而研究认为植物的幼苗通常十分脆弱, 更易受到外界环境的干扰和天敌的攻击。幼苗阶段的植物根系相对不发达, 贮藏资源的能力也有限, 对外界环境变化的抵抗和适应能力较弱, 因此一般认为幼苗阶段是植物在整个生活史中最敏感的阶段^[2, 3], 也是个体数量变化最大的阶段^[4]。植物在幼苗阶段的一些特征如种群数量、结构变化与物种多样性等对未来种群物种组成、种群空间分布格局以及维持森林群落结构、动态稳定有着直接影响^[5]。研究幼苗的更新情况可以加深对整个森林生态系统的认识。

秦岭是中国地理上最重要的南北分界线, 在水文方面是长江和黄河两个水系的分水岭, 在气候方面是亚热带湿润气候和暖温带半干旱气候的分界线。秦岭自然地理跨度大且垂直地带性明显的特点使其孕育了多样又独特的植被类型和植物资源, 是我国进行森林物种多样性研究的重要地点。目前在秦岭开展的与幼苗相关的研究多聚焦于某一物种, 如有学者对秦岭地区的锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim. ex Wenz.)、油松(*Pinus tabuliformis* Carriere)和巴山冷杉(*Abies fargesii* Franch.)等树种幼苗的更新情况进行了研究^[6-8], 但较为全面的幼苗调查报道很少。本文以秦岭佛坪自然保护区落叶阔叶林中的木本植物幼苗为研究对象, 在2015–2019年间连续进行了幼苗的物种组成、种群数量特征和动态的调查。全面的幼苗调查有利于了解秦岭佛坪自然保护区落叶阔叶林森林群落的结构和稳定情况, 有助于探究和预测群落的物种组成、演替过程以及制定合理的森林经营方案^[9, 10], 本研究旨在为揭示群落构建过程和生物多样性维持机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于我国陕西省佛坪县的国家级自然保护区(33°33' ~ 33°46'N, 107°41' ~ 107°55'E), 地处秦岭中段南坡, 总面积29240 hm²。海拔980 ~ 2904 m, 相对高差为1924 m^[11]。地势由西北向东南倾斜, 中部较低, 地貌以山、沟、谷为主^[12]。研究区气候为北亚热带湿润季风气候, 四季分明, 夏秋短、春冬长, 海拔越高夏季越短。森林覆盖率为90.3%, 存在着明显的山地森林小气候特征。年平均气温为11.5℃, 夏季均温在15℃以上, 夏秋季湿润, 9月份降水较多, 年均降水量980 mm^[13]。春秋季均温在6℃ ~ 12℃, 冬季均温低于0℃, 干燥少雨。整体植被具有垂直地带性, 土壤也随海拔变化而不同, 自下而上依次为山地棕壤、山地暗棕壤和山地草甸土^[14]。

1.2 样方设置与调查方法

2015年参照CTFS的大样地监测与调查技术规范标准^[15], 在佛坪自然保护区设置一块25 hm²的固定样地, 样地东西向和南北向的边长各为500 m, 地形较复杂, 海拔在1715.13 ~ 1834.79 m。固定样地中林冠层的主要树种有锐齿栎、刺叶栎(*Quercus spinosa* David ex Franchet)、华山松(*Pinus armandii* Franch.)、水榆花楸(*Sorbus alnifolia* (Sieb. et Zucc.) K. Koch)、华西枫杨(*Pterocarya insignis* Rehd. et Wils)、四照花(*Cornus kousa* subsp. *chinensis* (Osborn) Q. Y. Xiang)等树种。样地中胸径(DBH) > 1 cm的主要灌木种类有山梅花(*Philadelphus incanus* Koenig)、短枝六道木(*Abelia engleriana* (Gaebn.) Rehd.)、蕊被忍冬(*Lonicera gynochlamydea* Hemsl.)、苦糖果(*Lonicera fragrantissima* var. *lancifolia* (Rehder) Q. E. Yang)等。根据实际地形情况, 在样地内设置了135个幼苗监测样站(图1), 每个样站内设置3个1 m × 1 m的小样方,

共 405 个小样方。调查时将 $DBH < 1 \text{ cm}$ 的木本植株定义为幼苗, 于 2015–2019 年间在小样方中进行清查和复查。

野外调查: 2015 年对小样方内的所有幼苗进行清查, 记录幼苗的种名、主干高度等, 对其编号并挂牌, 以便后续监测和复查。在 2016–2019 年的 6–7 月和 8–9 月进行复查, 复查内容包括: 核实并更新物种的种名; 测量幼苗主干高度; 对新出现和已死亡的幼苗进行编号和备注; 将死亡幼苗的标牌收回; 对失踪幼苗备注失踪, 若下次复查仍未找到则记录为死亡。

数据整理与分析: 将样方中所有记录的幼苗鉴定到种, 列出科属, 无法鉴定到种的用科名或属名加 sp 表示; 统计每年调查到的幼苗物种数、各物种幼苗分布的样站号、幼苗个体数量和重要值等; 统计调查期间新增和死亡幼苗数量和物种数的年际变化, 了解样方中幼苗更新的时空动态。

1.3 数据分析

计算木本植物幼苗重要值:

$$\text{物种重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对频度}) / 2 \quad (1)$$

式中: 相对多度 = (某物种个体数 / 所有物种个体数) $\times 100\%$; 相对频度 = (某物种所在样站数 / 所有物种占据的总样站数) $\times 100\%$ 。

计算 2015 年 6 月–2019 年 8 月期间每个树种的死亡率和存活率:

$$\text{新苗死亡存活率} = \text{新苗死亡个体数} / \text{调查期间}$$

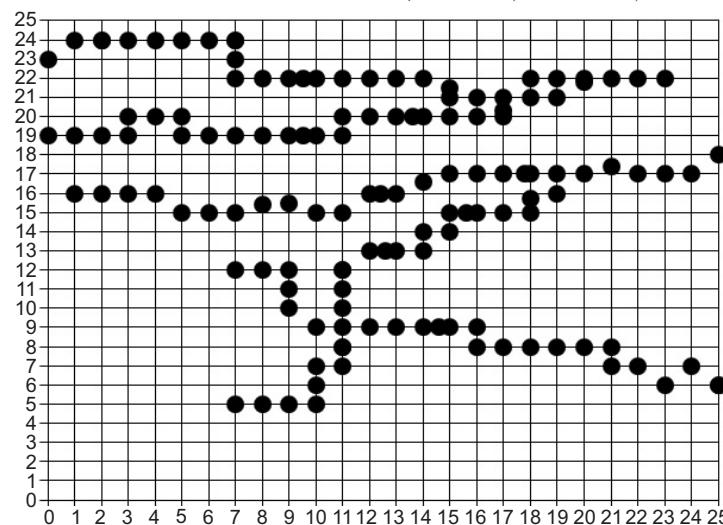


图 1 秦岭样地 135 个幼苗监测样站分布示意图

Fig. 1 Distribution diagram of 135 seedling monitoring stations in plot in Qinling Mountains

$$\text{累计记录的新苗总数} \quad (2)$$

$$\text{旧苗死亡率} = \text{旧苗死亡个体数} / \text{旧苗总数} \quad (3)$$

$$\text{种群死亡率} = \text{所有死亡个体数} / \text{调查期间累计记录的幼苗总数} \quad (4)$$

$$\text{新苗存活率} = \text{新苗存活个体数} / \text{调查期间累计记录的新苗总数} \quad (5)$$

$$\text{旧苗存活率} = \text{旧苗存活个体数} / \text{旧苗总数} \quad (6)$$

$$\text{种群存活率} = \text{所有存活个体数} / \text{调查期间累计记录的幼苗总数} \quad (7)$$

选取 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 生态优势度指数 (D) 计算乔木幼苗的多样性:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln S \quad (8)$$

$$H = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (9)$$

式中, S 为物种数, P_i 为第 i 个物种的个体数占全部物种个体总数的比例。

2 结果与分析

2.1 幼苗物种组成

除无法鉴定的幼苗外, 2015–2019 年本研究在 415 个样方中累计记录了木本植物幼苗 69 种, 分属 24 科 42 属(附表 1¹⁾)。其中物种数最多的是蔷薇科, 共 12 个物种, 包括灰栒子 (*Cotoneaster acutifolius* Turcz.)、锥腺樱桃 (*Prunus conadenia* Koehne) Yü et Li 和水榆花楸等。其次是槭

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站(<http://www.plantscience.cn>)查看本期文章。

科, 有 7 种, 包括四蕊槭 (*Acer tetramerum* var. *betulifolium* (synonym))、青蛙皮槭 (*Acer gossneri*) 和茶条槭 (*Acer tataricum* subsp. *ginnala* (Maximowicz) Wesmael) 等。忍冬科有 6 种, 桦木科 4 种, 五加科、木樨科和杨柳科都只包含 3 种(附表 1)。卫矛属 (*Euonymus*)、莢蒾属 (*Viburnum*) 和槭属 (*Acer*) 植物只能鉴定到属。由于青榨槭 (*Acer davidii* Franch.) 和重齿槭 (*Acer duplcatoserratum* Hayata) 这两个物种的新苗和旧苗以及灯台树 (*Cornus controversa* Hemsley) 和四照花两个物种的新苗极其相似, 难以准确区分, 故将这 4 个物种分别合并为槭属和山茱萸科 (Cornaceae sp) 进行记录。

经过对 5 年调查数据的整理与分析, 发现样地中幼苗树种组成基本相同, 但物种数除 2017 年外均呈下降趋势(表 1)。2015 年 7 月进行第 1 次调查时共记录了 66 个物种, 而 2019 年 8 月份只调查到 58 个物种。新苗增加和旧苗死亡与物种组成的变化有关。如多花勾儿茶 (*Berchemia floribunda* (Wall.) Brongn.)、五加 (*Acanthopanax gracilistylus* var. *trifoliolatus* (synonym)) 和青杨 (*Populus cathayana* Rehd.) 的幼苗在 2015 年死亡之后, 后续调查中这 3 个物种均未再发现; 2016 年调查中青麸杨 (*Rhus potaninii* Maxim.) 幼苗的新增和海棠 (*Malus spectabilis* (Ait.) Borkh.) 幼苗的死亡等又使物种组成出现了一定变化(附表 1)。从表 1 可以看出, 各年的 Shannon 指数和 Simpson 指数变化不大, Shannon 指数在 2015 年最小, 为 3.04, 2018 年最大, 为 3.16; 最小 Simpson 指数也出现在 2015 年, 为 0.91, 最大为 2017 年的 0.94。

表 1 秦岭动态监测样地幼苗物种数与多样性指数年变化
Table 1 Annual change in seedling species and species diversity index in monitoring plot in Qinling Mountains

年份 Year	物种数 Species	Shannon 指数 <i>H</i>	Simpson 指数 <i>D</i>
2015	66	3.04	0.91
2016	62	3.14	0.93
2017	63	3.16	0.94
2018	60	3.16	0.93
2019	58	3.09	0.93

2.2 幼苗数量动态

在 5 年调查期间, 除无法鉴定的幼苗外, 累计

记录幼苗共 11 408 株。幼苗个体数累计超过 1000 株的物种有山茱萸科 (Cornaceae sp) (1051)、卫矛属 (*Euonymus* sp) (1351)、青蛙皮槭 (1438) 3 种(附表 1), 其总数占幼苗总数的 33.66%。有 17 个物种的幼苗个体数在 100 ~ 1000, 其总和占总数的 56.28%。21 个物种记录到的幼苗个体数不足 10 株, 短枝六道木、梾木 (*Swida macrophylla* Wallich)、蜀五加 (*Acanthopanax setchuenensis* var. *latifoliatus* (synonym))、五味子 (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.)、多花勾儿茶、青杨、五加和盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.) 这 8 个物种都仅有 1 株。大多数物种幼苗数量较少。

第 1 次调查时重要值排名前 20 的物种如图 2 所示。不同树种在调查期间幼苗数量变化差异较大。如鼠李 (*Rhamnus davurica* Pall.)、直穗小檗 (*Berberis dasystachya* Maxim.) 每年的数量波动较小, 变化幅度不超过 10 株。而山茱萸科 (Cornaceae sp)、青蛙皮槭、茶条槭等物种的幼苗数量在年际间的波动较大, 如青蛙皮槭的幼苗数量在 2016 比 2015 年多 205 株, 2017 年又增加了 296 株, 而 2018 年减少了 282 株, 但 2019 年比 2018 年增加 296 株(图 2)。可以看出, 物种幼苗数量变化与分布样站数的变化趋势大致相同, 即幼苗数量增加时其分布的样站数通常也会增多, 反之亦然。各年间优势树种的组成受幼苗数量变化的影响较小, 重要值排名变化不大。

2.3 幼苗新增、死亡情况

2015 ~ 2019 年累计记录新增幼苗 6280 株, 2016 ~ 2019 年分别增加 1936、1922、913 和 1509 株(表 2, 图 3)。新增幼苗物种 53 个, 分属 22 科 35 属。有 6 个物种在调查期间未新增幼苗。青蛙皮槭的新增幼苗数量最多, 有 1205 株, 占累计新增幼苗总数的 19.18%。14 个物种的新增幼苗在 100 ~ 1000 株之间, 共占 72.05%。包括锐齿栎 (449)、茶条槭 (533)、和山茱萸科 (880) 等(图 2)。38 个物种新增低于 100 株, 共 550 株, 其中 25 个物种新增不足 10 株, 占新增幼苗数量的 8.76%。统计发现, 几乎所有物种均在 6 ~ 7 月出现新增高峰, 而 8 ~ 9 月新增幼苗的数量很少。如青蛙皮槭在每年 6 ~ 7 月新增幼苗数量均大于 100 株, 而在 8 ~ 9 月只增加了不到 30 株; 湖北花楸

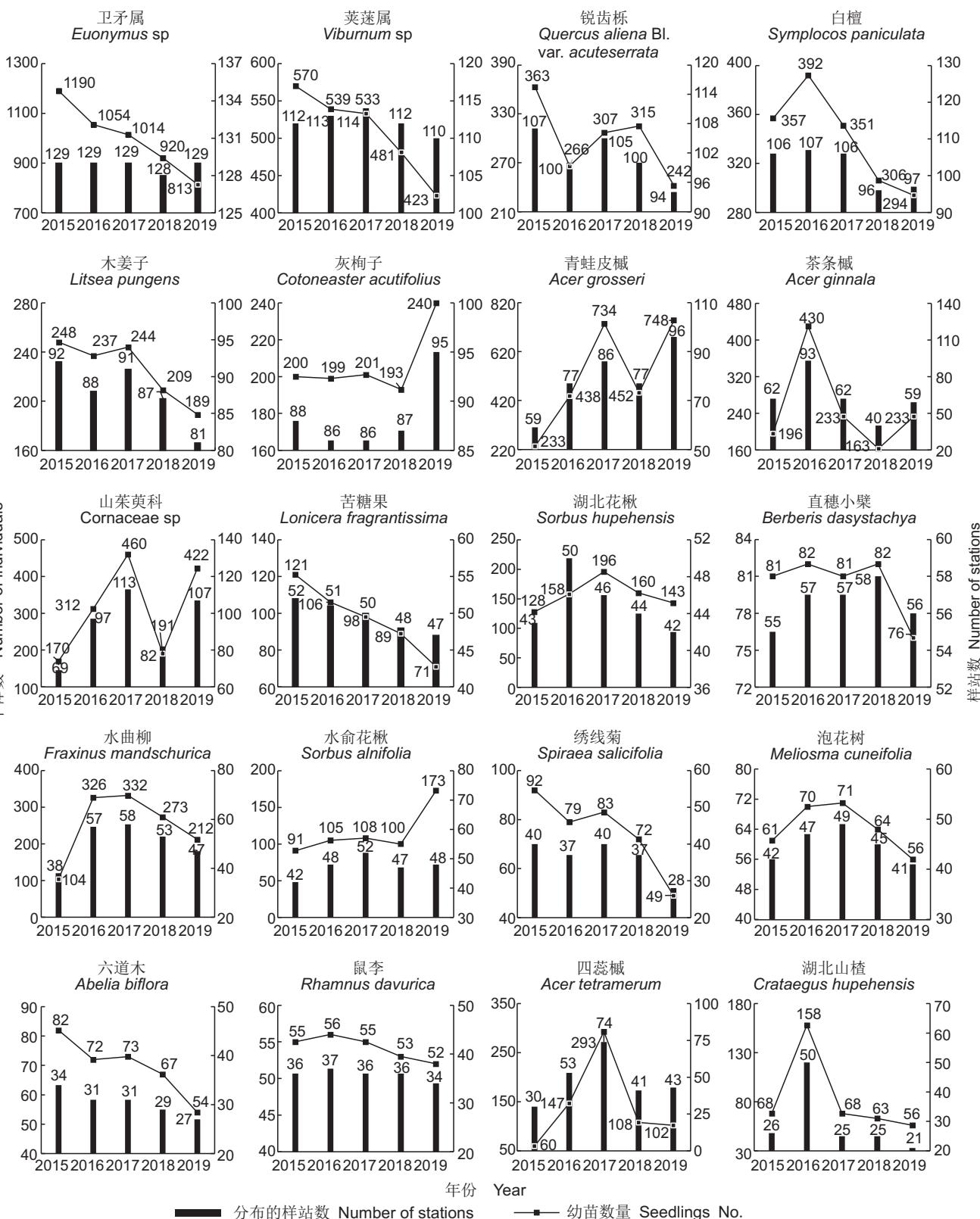


图 2 前 20 物种幼苗数量和分布样站数的年际变化

Fig. 2 Interannual variation in seedling number and sampling distribution number of top 20 species

表 2 秦岭动态监测样地幼苗总新增和死亡
Table 2 Seedling recruitment and mortality in monitoring plot in Qinling Mountains

幼苗数量 No. of seedlings	调查时间 Survey time								总数 Total
	2015 July	2016 July	2017 July	2017 Sept.	2018 July	2018 Sept.	2019 June	2019 Aug.	
新增幼苗 Recruited seedlings	/	1936	1774	148	792	121	1312	197	6280
新苗存活 Survival of recruited seedlings	/	1936	2666	2341	1744	1614	2241	1614	6028
旧苗存活 Survival of old seedlings	5127	4099	3844	3748	3469	3377	3015	2863	5380
总存活 Total survival	/	6035	6510	6089	5213	4991	5256	4477	114
新苗存活率 Livability of recruited seedlings / %	/	/	46.07	82.26	40.71	85.61	57.56	71.98	25.86
旧苗存活率 Livability of old seedlings / %	/	79.95	93.78	97.5	92.56	97.35	89.28	88.46	54.28
总存活率 Total livability rate / %	/	79.95	78.48	91.26	72.62	93.42	79.02	81.43	39.26
新苗死亡 Mortality of new seedlings	/	0	1044	473	1388	251	685	628	4469
旧苗死亡 Mortality of old seedlings	/	1028	255	96	279	92	362	348	2460
总死亡 Total death	/	1028	1299	569	1667	343	1047	976	6929
新苗死亡率 Mortality of new seedlings / %	/	/	53.93	17.74	59.29	14.39	42.44	28.02	74.14
旧苗死亡率 Mortality of old seedlings / %	/	20.05	6.22	2.5	7.44	2.65	10.72	11.54	45.72
总死亡率 Total mortality rate / %	/	20.05	21.52	8.74	27.38	6.58	20.98	18.57	60.74

在 6 – 7 月新增 30 株以上, 但 8 – 9 月仅新增不到 10 株(图 3)。

调查期间共有 6929 株幼苗死亡, 占累计总幼苗数的 60.74%; 其中 45.72% 的旧苗死亡, 共 2460 株; 74.14% 的新生幼苗死亡, 共 4469 株(表 2)。累计死亡幼苗数大于 500 株的物种有茶条槭(569)、卫矛属(651)、山茱萸科(704)和青蛙皮槭(872)(附表 1)。同年 6 – 7 月统计的死亡幼苗数量和死亡率远大于 8 – 9 月, 新苗的死亡率也比旧苗高很多。调查期间共 11 408 棵幼苗存活, 其中新苗存活率仅为 25.86%, 旧苗的存活率为 54.28%。2017 – 2019 年的数据均显示 8 – 9 月份新增幼苗数量小于 6 – 7 月, 但幼苗的存活率却较高, 如 2017 年 7 月新增幼苗 1774 株, 总存活率为 78.48%; 2017 年 9 月新增 148 棵幼苗, 总存活率为 91.26%。

3 讨论

3.1 幼苗树种组成

本研究在 5 年中, 累计记录的物种共 69 个, 其中 65 个可以鉴定到种。大多数物种幼苗特征明显, 可以辨认, 但有些新生幼苗由于刚萌发或者叶片太小, 其形态特征不明显, 这些难以准确辨认的幼苗将在后续调查中继续辨别, 以期将物种名逐渐修正, 或者鉴定到属。如同属于山茱萸科的四照花

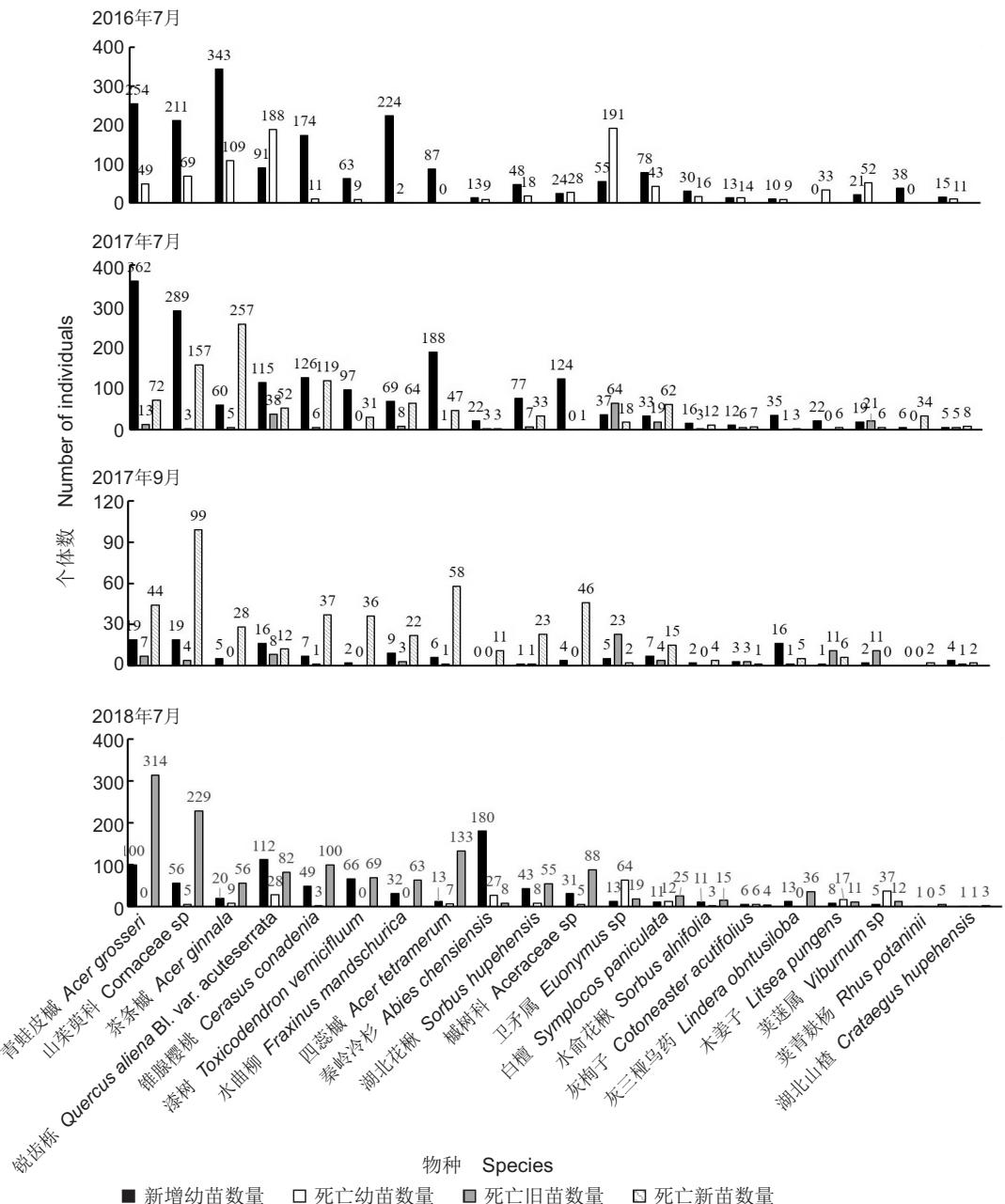
和灯台树, 二者的幼苗形态极为相近, 为防止辨认错误影响调查结果, 在统计时把它们都归到山茱萸科中。有 58 个物种在每年的调查中都有记录, 这些物种可能是存活多年的旧苗或者为附近产生的新苗。秦岭地区的物种十分丰富, 远远大于长白山 40 hm² 样地 228 个幼苗样方中调查到的 17 个物种^[16]; 但与热带雨林和黄山亚热带常绿阔叶林的 100 多个物种相比还存在一些差距^[17, 18]。

物种组成在年际间的波动不大, 可能是由于调查期间部分个体稀少的物种死亡数量较少, 或很少有新物种的幼苗产生。如短枝六道木在每年的调查中都只有 1 棵幼苗, 不增不减; 冬瓜杨的幼苗第一年有 2 株, 后面的调查中只剩 1 棵, 但没有消失。第一年调查中共记录了 66 个物种, 后面的调查中只增加了野核桃(*Juglans cathayensis* Dode)、青麸杨(*Rhus potaninii* Maxim.)、盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)3 个物种。

物种多样性指数是由物种丰富度与物种均匀度综合而来, 反映个体出现的不确定程度^[19]。2015 年物种数最多, 但 Shannon 指数和 Simpson 指数最小, 说明该年度物种的均匀度不高, 一些物种的数量较少, 有 17 个物种的幼苗不足 5 棵。而 2018 年虽然只记录到 60 多个物种, 但仅有 13 个物种的幼苗数量少于 5 棵。但总体来看, 物种多样性指数年度变化幅度不大。

秦岭样地中大树的物种数量远远大于幼苗，木本植物中 $DBH \geq 1\text{ cm}$ 的共有 119 种^[20]，而本研究调查累计得到的幼苗物种仅有 69 个。其他样地调查中也发现有幼苗种类低于样地中总物种数的情况^[16]。其可能的原因一是部分物种在样地中数量较少，且种子产量也很低，由于各种因素的限制，大部分种子只能掉落在母树附近进行萌发生长，因此样地中有些地方可能无法记录到其幼苗；二是在样地中安装的幼苗监测样站的数量较少、覆盖范围较小，幼苗样站覆盖的总面积不到大样地总面积的 1%，因而幼苗样站不能监测到所有物种。

样地中林冠层的树种多为本地区的优势树种，数量较多，竞争力强。一些林冠层树种在调查中记录到的幼苗数量较多，如锐齿栎、山茱萸科和水榆花楸等幼苗数有 812、1051 和 245 棵（附表 1）。大多数物种的种子会掉落在其周围，且优势度高的树种种子也较多，对其下层幼苗的种类和数量有直接影响。但也有一些林冠层树种的林下幼苗数量不多，如刺叶栎、华山松和华西枫杨，其累计发现的幼苗仅有 5、14 和 15 棵，这可能与树木种子的丰歉年、幼苗存活率低和森林演替等有关^[21]。



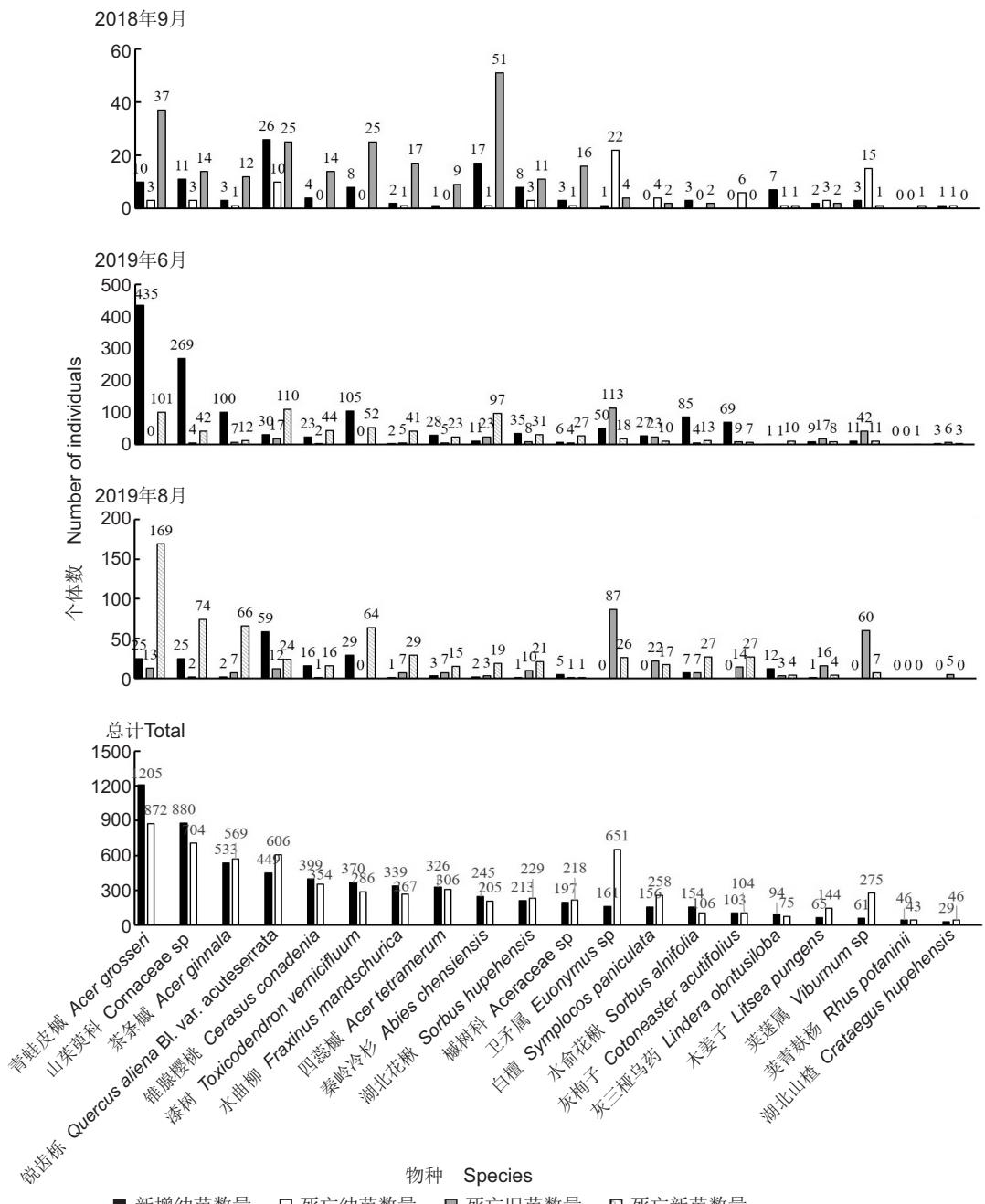


图 3 秦岭样地新增和死亡幼苗的树种组成及数量特征

Fig. 3 Species composition and quantitative characteristics of recruited and dead seedlings in monitoring plot in Qinling Mountains

3.2 幼苗的数量特征和新增、死亡情况

幼苗总数在整个调查期间呈先增加后减少的趋势。有 20 个物种累计幼苗数超过 100 株，物种数仅占总物种数的 28.99%，但其幼苗总量却占总数的 89.94%，说明在秦岭样地中优势种的优势地位比较明显。且优势种的数量在每年的调查中均占很大比例。各物种的重要值排名在年际间日有一些小

的波动，说明该林分更新良好。灌木或者小乔木在幼苗阶段的重要值排名较靠前。重要值排名前 20 的物种中，灌木或者小乔木有 13 个，与样地成树数据对比，茶条槭、绣线菊 (*Spiraea salicifolia* L.) 和直穗小檗这 3 个物种没有发现 $DBH \geq 1\text{ cm}$ 的个体。秦岭样地中的灌木或小乔木物种在幼苗时期比较占优势，它们的耐阴性使其幼苗在遮阴的林中

比大乔木幼苗的生长更好，故在生长初期生长速率更快，有更大的竞争空间和获取资源的优势，同时也会对其他幼苗的存活和生长造成一定影响^[21]。但在生长后期，大乔木的优势会逐渐显露出来，灌木和小乔木受到自身生长特性的限制，优势地位逐渐减弱。

调查发现，2015–2019 年共 53 个物种产生了新增幼苗，累计新增 6280 株。从图 3 可以看出，幼苗新增的高峰期在 6–7 月，新增数量明显高于 8–9 月，但死亡率也较高，与前人在吉林和八大公山的研究结果一致^[21, 22]。这说明秦岭 6–7 月的气温和降水等气候和环境条件更适宜种子萌发和生长，使幼苗大量更新生长。另外，根据每年新增幼苗数量的波动状况可以推测，茶条槭、锐齿栎、山茱萸科和腺锥樱桃等物种的新增存在丰歉年现象。如茶条槭 2016 年新增幼苗 343 株，而后 3 年新增分别只有 65、23 和 102 株，数量差异很大。幼苗新增出现丰歉年的原因与调查当年母树结实以及极端天气情况等因素密不可分。

新苗的死亡数远远大于旧苗，幼苗累计死亡 6929 株，死亡幼苗大多为一年生的新生苗，新苗的死亡数几乎是旧苗的两倍。生长时间越短的幼苗越容易受到干扰而被淘汰，这是由于新生幼苗通常比较脆弱，储存资源和抵抗外界恶劣条件的能力都较弱，更易受到外界环境的影响；且新生幼苗在资源和空间竞争中也处于劣势地位，受到干扰之后甚至无法继续生长^[4]。因此，一年龄的新生幼苗死亡率最高。通过对新增或死亡超过 100 株的物种进行分析，发现新增数量较多的物种幼苗的存活率却不高。例如山茱萸科新增 880 株，死亡 704 株；青蛙皮槭的新增幼苗 1205 株，死亡 872 株。幼苗死亡是一个复杂的生态学过程，除新生幼苗本身具有很大的脆弱性外，种子的大小和成熟度，外界环境的变化如气温和降水的急剧变化，以及其他生物因素如动物啃食和踩踏以及病原微生物的侵害等都可能导致其死亡。

4 结论

2015–2019 年调查期间累计记录木本植物幼苗 69 个物种 11 408 株，分属 24 科 42 属。累计幼苗个体数超过 1000 株的 3 个物种分别是山茱萸科、卫矛属和青蛙皮槭，共占 33.66%。63 个物种

有新增，新增幼苗数量累计达到 6280 株。新增幼苗数量在每年的 5–7 月达到高峰，而此时也是幼苗死亡的高峰期。死亡幼苗数累计有 6929 株，新苗比旧苗更加脆弱，死亡率更高。新增幼苗较多的物种其死亡率也较高。青蛙皮槭幼苗的新增数量最多，但其新增数量的年际波动较大。调查期间物种组成基本不变，说明林内物种更新良好。幼苗总数的变化趋势为先增加后减少，幼苗数量年际变化的原因除树种丰歉年影响外还有待进一步研究。总体来看，秦岭样地的幼苗更新状况良好，数量较为稳定。

参考文献：

- [1] 王彬, 田相林, 廖梓延, 王志涛, 耿生莲, 等. 松栎林天然更新模拟与不确定性分析[J]. 应用生态学报, 2020, 31(12): 4004–4016.
Wang B, Tian XL, Liao ZY, Wang ZT, Geng SL, et al. Simulation and uncertainty analysis of natural regeneration for pine-oak forests[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(12): 4004–4016.
- [2] 陈贝贝, 匡文浓, 姜俊, 赵秀海, 何怀江. 长白山次生杨桦林优势更新幼苗空间分布及环境解释[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4469–4475.
Chen BB, Kuang WN, Jiang J, Zhao XH, He HJ. Spatial distribution of dominant regeneration seedlings and environmental interpretations of secondary poplar-birch forest in Changbai Mountains, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(11): 4469–4475.
- [3] Comita LS, Queenborough SA, Murphy SJ, Eck JL, Xu KY, et al. Testing predictions of the Janzen-Connell hypothesis: a meta-analysis of experimental evidence for distance-and density-dependent seed and seedling survival[J]. *J Ecol*, 2014, 102(4): 845–856.
- [4] 刘国军, 张希明, 李建贵, 吴俊侠, 魏疆, 等. 准噶尔盆地东南缘天然更新梭梭苗期动态生命表及生存分析[J]. 干旱区研究, 2010, 27(1): 83–87.
Liu GJ, Zhang XM, Li JG, Wu JX, Wei J, et al. Analysis on dynamic life table of natural *Haloxylon ammodendron* at seedling stage in the southeastern Marginal zone of the Junggar basin[J]. *Arid Zone Research*, 2010, 27(1): 83–87.
- [5] Yan Y, Zhang CY, Wang YX, Zhao XH, von Gadow K. Drivers of seedling survival in a temperate forest and their relative importance at three stages of succession[J]. *Ecol Evol*, 2015, 5(19): 4287–4299.
- [6] 卢彦磊, 张文辉, 杨斌, 王亚楠. 秦岭中段不同坡向锐齿栎种子雨、土壤种子库与幼苗更新[J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 1965–1973.

- Lu YL, Zhang WH, Yang B, Wang YN. Seed rain, soil seed bank and seedling regeneration of *Quercus aliena* var. *acureserrata* in different slope directions on the middle Qinling Mountains, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(6): 1965–1973.
- [7] 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[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1659–1667.
- Kang B, Wang DX, Cui HA, Di WZ, Du YL. Regeneration characteristics and related affecting factors of *Abies fargesii* natural forests in Qinling Mountains [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1659–1667.
- [8] 迪玮峙, 康冰, 高妍夏, 张莹, 杜艳玲. 秦岭山地巴山冷杉林的更新特征及影响因子[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 71–78.
- Di WZ, Kang B, Gao YX, Zhang Y, Du YL. Regeneration characteristics and related affecting factors of *Abies fargesii* natural forests in Qinling Mountains [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(6): 71–78.
- [9] 葛芳红, 刘红岩, 赵富王, 王宁, 周正朝. 黄土丘陵区植物间正相互作用对幼苗更新的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(10): 134–143.
- Ge FH, Liu HY, Zhao FW, Wang N, Zhou ZC. Effects of positive plant interactions on seedling regeneration in the hill-gully region of the Loess Plateau [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(10): 134–143.
- [10] Muller-Landau HC, Wright SJ, Calderon O, Condit R, Hubbell SP. Interspecific variation in primary seed dispersal in a tropical forest [J]. *J Ecol*, 2008, 96(4): 653–667.
- [11] 李杰, 刘盼, 曹李华, 杜建奇. 佛坪自然保护区观赏性种子植物资源多样性研究[J]. 现代农业科技, 2017(8): 165+167.
- [12] 侯涛易, 李春英, 杜杨阳. 佛坪县猕猴桃标准化栽培技术[J]. 河北果树, 2019(4): 38+41.
- [13] 党超琪, 赵凯辉, 刘新玉. 气象因子对秦岭大熊猫季节性垂直迁徙等活动的影响[J]. 陕西林业科技, 2019, 47(3): 1–5.
- Dang CQ, Zhao KH, Liu XY. The influence of meteorological factors on the seasonal vertical migration of giant pandas [J]. *Shanxi Forest Science and Technology*, 2019, 47(3): 1–5.
- [14] 钟娇娇, 陈杰, 陈倩, 姬柳婷, 康冰. 秦岭山地天然次生林群落 MRT 数量分类、CCA 排序及多样性垂直格局[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 277–285.
- Zhong JJ, Chen J, Chen Q, Ji LT, Kang B. Quantitative classification of MRT, CCA ordination, and species diversity along elevation gradients of a natural secondary forest in the Qinling mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 277–285.
- [15] Condit R. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots [M]. New York: Springer Science & Business Media, 1998.
- [16] 邱华, 舒皓, 吴兆飞, 李明鲁, 殷正, 等. 长白山阔叶红松林乔木幼苗组成及多度格局的影响因素[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2049–2056.
- Qiu H, Shu H, Wu ZF, Li ML, Yin Z, et al. Influencing factors of composition and abundance pattern of tree seedlings in broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest, Changbai Mountain, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(6): 2049–2056.
- [17] 李晓亮, 王洪, 郑征, 林露湘, 邓晓保, 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.
- Li XL, Wang H, Zheng Z, Lin LX, Deng XB, et al. Composition, spatial distribution and survival during the dry season of tree seedlings in a tropical forest in Xishuangbanna, SW China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 658–671.
- [18] 丁晖, 方炎明, 杨新虎, 袁发银, 何立恒, 等. 黄山亚热带常绿阔叶林的群落特征[J]. 生物多样性, 2016, 24(8): 875–887.
- Ding H, Fang YM, Yang XH, Yuan FY, He LH, et al. Community characteristics of a subtropical evergreen broad-leaved forest in Huangshan, Anhui Province, East China [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(8): 875–887.
- [19] 解希涛. 大兴安岭天然更新幼苗幼树空间分布格局及物种多样性分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017: 13–14.
- [20] 谢峰淋, 周全, 史航, 舒枭, 张克荣, 等. 秦岭落叶阔叶林 25 ha 森林动态监测样地物种组成与群落特征[J]. 生物多样性, 2019, 27(4): 439–448.
- Xie FL, Zhou Q, Shi H, Shu X, Zhang KR, et al. Species composition and community characteristics of a 25 ha forest dynamics plot in deciduous broad-leaved forest, Qinling Mountains, north-central China [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(4): 439–448.
- [21] 姚杰, 闫琰, 张春雨, 邓田辉, 赵秀海. 吉林蛟河针阔混交林乔木幼苗组成与月际动态[J]. 植物生态学报, 2015, 39(7): 717–725.
- Yao J, Yan Y, Zhang CY, Pi TH, Zhao XH. Composition and monthly dynamics of tree seedlings in a coniferous and broad-leaved mixed forest in Jiaohé, Jilin Province, China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, 39(7): 717–725.
- [22] 徐文秀. 亚热带山地常绿落叶阔叶混交林幼苗动态研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2017: 22–27.

(责任编辑: 李惠英)