



•研究报告•

濒危植物秦岭石蝴蝶野外回归早期探索

蒋景龙^{1*}, 颜文博¹, 胡凤成³, 王琦¹, 孙旺¹, 李耘², 王勇¹

1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西汉中 723000; 2. 汉中市野生动植物保护管理站, 陕西汉中 723000; 3. 略阳县苗圃, 陕西汉中 724310

摘要: 秦岭石蝴蝶(*Petrocosmea qinlingensis*)是秦岭地区分布的国家II级重点保护野生植物, 具有重要的生态价值和观赏价值, 但其野外数量极其稀少, 处于濒危状态, 亟需加强保护和拯救。本文在成功进行人工繁育和野外驯化的基础上, 尝试开展野外回归实验。通过踏查法选择3个不同的野外回归地, 同时采用随机样方调查和观察拍照的方法, 定期记录野外回归的秦岭石蝴蝶生长情况并统计其存活率。结果表明: (1)野外回归地的海拔高度、空气湿度、土质结构和地表植被等环境因素的差异, 均可不同程度地影响野外回归的秦岭石蝴蝶的存活率, 其中海拔高度的影响达显著水平($P < 0.05$)。 (2)遭遇的严重干旱、暴雨和冻害, 均造成了3个野外回归地秦岭石蝴蝶不同程度的损失。 (3)秦岭石蝴蝶野外回归12个月后, 叶柄和叶片会明显伸长, 而叶片数目和叶片宽度会明显下降。以上结果表明, 加强野外回归前的驯化和野外回归地的小气候调查和选择是决定秦岭石蝴蝶野外回归能否成功的关键因素。这些研究将为进一步深入开展秦岭石蝴蝶的野外回归和其他濒危极小种群野生植物的迁地保护提供一定依据。

关键词: 秦岭石蝴蝶; 生境选择; 野外回归; 存活率

蒋景龙, 颜文博, 胡凤成, 王琦, 孙旺, 李耘, 王勇 (2023) 濒危植物秦岭石蝴蝶野外回归早期探索. 生物多样性, 31, 22520. doi: 10.17520/biods.2022520.
Jiang JL, Yan WB, Hu FC, Wang Q, Sun W, Li Y, Wang Y (2023) Preliminary examination of the reintroduction of the endangered plant *Petrocosmea qinlingensis*. Biodiversity Science, 31, 22520. doi: 10.17520/biods.2022520.

Preliminary examination of the reintroduction of the endangered plant *Petrocosmea qinlingensis*

Jinglong Jiang^{1*}, Wenbo Yan¹, Fengcheng Hu³, Qi Wang¹, Wang Sun¹, Yun Li², Yong Wang¹

1 School of Biological Sciences and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000

2 Hanzhong Wildlife Conservation and Management Station, Hanzhong, Shaanxi 723000

3 Nursery of Lueyang County, Hanzhong, Shaanxi 724310

ABSTRACT

Aims: *Petrocosmea qinlingensis* is a Class-II National Key Protected Wild Plant distributed in the Qinling Mountains. It has important value, both ecologically and ornamentally. However, it is endangered and the numbers are few in the wild and thus need urgently strengthen protection and rescue. We are exploring the reintroduction of the endangered plant *P. qinlingensis* to the wild. This will provide the basis efforts to return *P. qinlingensis* to the Qinling Mountains as well as the reintroduction of other endangered species.

Methods: Three different reintroduction sites were selected after inspection. At the same time, we used random quadrat survey and observation photography to record the growth situation and calculate survival rate of *P. qinlingensis* in the reintroduction sites.

Results: (1) The difference of altitude, air humidity, soil texture and surface vegetation across three reintroduction sites affected the survival rate of the reintroduced *P. qinlingensis*. And altitude significantly affected the survival rate of the reintroduced *P. qinlingensis* among three different reintroduction sites ($P < 0.05$). (2) Severe drought, rainstorm, and frost in three reintroduction sites caused the loss of *P. qinlingensis* to varying degrees. (3) After returning to the wild for 12 months, the petioles and leaves of *P. qinlingensis* elongated, while the number and width of the leaves decreased, as

收稿日期: 2022-09-11; 接受日期: 2022-12-06

基金项目: 汉中市野生动植物保护管理站秦岭石蝴蝶人工繁育及野外回归研究项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiangjinglong511@163.com

expected.

Conclusion: Strengthening domestication before returning to the wild and investigation of the microclimate the returning places selected are key factors to determine the success of *P. qinlingensis* reintroduced to the wild.

Key words: *Petrocosmea qinlingensis*; habitat selection; wild introduction; survival rate

秦岭石蝴蝶(*Petrocosmea qinlingensis*)是苦苣苔科石蝴蝶属(*Petrocosmea*)中华石蝴蝶组(Sect. *Petrocosmea*)多年生草本植物(王文采, 1981), 由中国著名植物分类学家王文采先生于1981年命名, 是秦岭地区特有的石蝴蝶属最北缘植物(吴金山, 1991)。在1999年国务院颁布的《国家重点保护野生植物名录》(第一批)中列为国家II级重点保护野生植物(http://www.gov.cn/gongbao/content/2000/content_60072.htm), 在中国极小种群野生植物濒危程度评估中被定为II级濒危物种(杨文光等, 2014)。因在以往的多次野外调查中未发现秦岭石蝴蝶野生居群, 研究人员一度认为该种在野外已经灭绝, 但在2014年的陕西省第2次野生植物资源调查工作中重新发现了该种(王勇等, 2015)。截至目前, 该种仅在汉中略阳县和勉县的阴湿山沟中被发现, 野生数量极其稀少, 灭绝风险高。秦岭石蝴蝶多生于阴湿的石灰岩崖壁上, 土壤中有机质含量较高, 土壤酸碱度呈近中性(pH = 6.50), 矿质元素含量丰富, 这些对苛刻生境条件的要求限制了其野外的分布。此外, 秦岭石蝴蝶叶片草质, 含水量高, 叶柄脆, 而临近山涧瀑布溪流的空气含水量高, 其着生的苔藓可以捕获并存储空气中的水汽, 为秦岭石蝴蝶的生长提供水分。同时夏季山涧中阴凉湿润的空气也保护了生长于崖壁上的秦岭石蝴蝶不会因高温干旱而死亡。因此, 秦岭石蝴蝶对生长环境要求较为苛刻, 且自然状态下适宜生长的阴湿山沟一般较为分散, 最终造成其野生居群地理分布极为狭窄(杨平等, 2016)。孙旺等(2020)通过SCoT分子标记技术分析了两处秦岭石蝴蝶的遗传多样性, 结果表明秦岭石蝴蝶种群间的遗传多样性较低, 遗传背景狭窄, 这也可能是秦岭石蝴蝶适应环境能力差, 导致其濒危的另一重要原因。秦岭石蝴蝶不仅因其独特性状而为石蝴蝶属的原始类群, 也是该属分布最北缘的种类。因此, 对秦岭石蝴蝶的保护与深入研究将对探讨石蝴蝶属的起源演化、迁移路线、分布规律和秦岭植物区系的属性及历史渊源等具有重要意义(黎君等, 2015)。另外, 秦岭石蝴蝶叶基生, 植株呈莲座

状, 花序2–6条, 花冠淡紫色, 适合作为室内新型盆栽花卉, 是一种具有较高开发价值的野生花卉资源(邱志敬, 2015)。

自1992年《生物多样性公约》通过以来, 中国对珍稀濒危动植物的保护也愈发高度重视, 各种濒危野生动植物的抢救和保护工作也在逐步开展, 并发现了许多久而未见的珍稀动植物, 秦岭石蝴蝶就是其中之一(蒋景龙等, 2019)。濒危物种保护的主要方式是就地保护、迁地保护和野外回归。在加强就地保护的基础上, 选择适宜的位点开展行之有效的迁地保护对种群延续和物种保存至关重要(臧润国等, 2016)。野外回归指在迁地保护的基础上, 通过人工繁殖把植物引种到原来或分布区内的其他自然或半自然的生境中, 以建立具有足够的遗传资源来适应进化改变、可自然维持和更新的新种群(杨文忠等, 2015)。濒危植物的人工繁育成功是野外回归的基础。因此, 近年很多学者开展了秦岭石蝴蝶的人工繁育技术研究, 例如通过叶片扦插繁殖(杨平等, 2016)、叶片离体组织培养繁殖(胡选萍等, 2022)、人工辅助授粉的种子繁殖等(蒋景龙等, 2019; 胡凤成等, 2021), 均获得了大量的人工繁殖苗。同时, 笔者课题组在略阳县苗圃开展了大规模的秦岭石蝴蝶育苗技术研究, 分析了营养基质、光照、湿度、越冬、病虫害等因素对秦岭石蝴蝶户外驯化的影响(胡凤成等, 2021)。最终通过扦插、组培苗驯化等无性繁殖和人工辅助授粉的种子繁殖技术成功繁育了秦岭石蝴蝶成苗10,000余株, 为其野外回归奠定了基础。课题组从2019年5月开始利用人工繁育的秦岭石蝴蝶成苗开展野外回归探索, 并对野外回归中的一些影响因素进行研究, 以期为秦岭石蝴蝶最终实现野外种群重建提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 种苗来源及成苗选择

用于野外回归的所有秦岭石蝴蝶成苗均来自略阳县秦岭石蝴蝶人工繁育与驯化基地(106.21° E, 33.29° N)。秦岭石蝴蝶的种苗栽培基质为珍珠岩:

泥炭土(1 : 1)混合基质。在每年4月下旬至5月上旬,从基地选取植株生长健壮、无病虫害、幼叶3-4片、伸长叶8-10片、未见花苞发育、经过越冬驯化的秦岭石蝴蝶成苗进行野外回归。在准备移栽前的第5 d时浇水1次, 5 d后带土挖出, 运输及野外回归时种苗根系一直保持带有栽培基质。

1.2 秦岭石蝴蝶野外回归地调查与选取

依据秦岭石蝴蝶野外分布地(勉县和略阳县野生居群分布地)富含水源、空气湿度大、覆有浅层土壤或岩石上生长苔藓、岩面垂直或陡峭、林下弱光等地貌特征, 同时根据其生长特征, 如根系不发达、吸水能力弱、不耐干旱、喜散射光的特点, 课题组自2019年5月开始进行野外踏查, 最终在原野生分布地以外的汉台区褒河森林公园、城固县三流水和小河林场兰家湾找到3个地貌相似的生境, 确定为秦岭石蝴蝶的野外回归地(表1)。这3个回归地尽量靠近水源的沟槽地, 且位于郁闭的林下,

坡面位于阴面, 避免阳光直射。通过手持GPS定位仪(易力S7, 中国)获得经纬度和海拔数据, 由温湿度计(山东仁科测控技术有限公司)获取空气湿度和温度数据。光照强度数据由数字照度计(深圳弘彦科技有限公司)获得。

1.3 野外回归实施

在采挖和运输过程中应该防止苗株失水和叶片损失, 同时移栽时应该带土栽培, 防止伤根和失水, 栽培株距不宜过密。尽量选择沟槽的向阳坡进行移栽, 避免在易被雨水冲刷的沟底移栽。同时在不破坏回归地地被植物的情况下, 尽量选择植物生长丰富的地方进行移栽, 移栽时尽量保持一定的行距和株距。将人工驯化的秦岭石蝴蝶成苗分别带土移栽到3个野外回归地(表2)。移栽过程中使用号码牌进行标记, 不同颜色号码牌代表不同的区域。秦岭石蝴蝶野外移栽回归后, 定期进行观察, 同时对其生长情况进行拍照和做好详细记录, 并定期统计

表1 秦岭石蝴蝶野外回归地地貌特征

Table 1 Geomorphic characteristics of the reintroduction sites for *Petrocosmea qinlingensis*

| 编号 No. | 回归地 Reintroduction sites | 经纬度 Longitude Latitude | 海拔 Altitude (m) | 土壤pH Soil pH | 年均温度 Mean annual temperature | 空气湿度 Air humidity (%) | 光照强度 Light intensity (lux) | 地貌特征 Geomorphic characteristics |
|-----------|--|------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 | 汉台区褒河森林公园 Baohe Forest Park in Hantai | 106.99° E, 33.26° N | 888-900 | 6.9 | 14.3°C | 5月 May 56 7月 July 64 9月 Sept. 72 11月 Nov. 53 | 546 620 670 518 | 山体的小沟槽, 有溪水, 上部有小灌木遮挡, 土质疏松、植被丰富, 坡向朝北、坡度62.4°, 环境阴湿 The mountain body has a small gully and its upper part has the small shrub's shelter and the stream water. The reintroduction environment with the north facing and 62.4° slope has the loose soil, rich in vegetation, and high air humidity |
| 2 | 城固县三流水 Sanliushui in Chenggu County | 107.19° E, 33.38° N | 657-670 | 7.1 | 18.7°C | 5月 May 69 7月 July 72 9月 Sept. 76 11月 Nov. 65 | 682 743 782 540 | 附近有河常年流水, 植被丰富、土质岩化, 坡向朝西、坡度72.1°, 环境阴湿, 上部有乔木遮挡 The adjoining river is always flowing. The reintroduction environment with the west facing and 72.1° slope has the hard rock soil, rich in vegetation, high air humidity, and rich in tall trees |
| 3 | 城固县兰家湾 Lanjiawan in Chenggu County | 107.10° E, 33.34° N | 1,000-1,123 | 6.8 | 13.5°C | 5月 May 48 7月 July 55 9月 Sept. 50 11月 Nov. 34 | 461 532 548 481 | 夏季有溪水, 上部有乔木遮挡, 土质疏松、植被丰富, 坡向朝北、坡度44.8°, 环境阴湿, 弱光 There are streams in summer. The reintroduction environment with the north facing and 44.8° slope has loose and wet soil, weak light, and rich in tall trees |

表2 秦岭石蝴蝶野外回归实施情况

Table 2 Summary of implementation for reintroduction of *Petrocosmea qinlingensis*

| 编号 No. | 回归地 Reintroduction sites | 回归面积 Reintroduction area (m ²) | 回归时间 Reintroduction time | 回归时温度 Temperature at reintroduction | 回归时湿度 Reintroduction humidity | 回归株数 Reintroduction no. | 小区数 Subarea no. |
|-----------|-----------------------------|---|-----------------------------|--|----------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | 褒河森林公园 Baohe Forest Park | 150 | 2020年5月 May 2020 | 23-25°C | 53%-55% | 1,000 | 4 |
| 2 | 三流水 Sanliushui | 280 | 2021年6月 June 2021 | 25-27°C | 56%-58% | 1,000 | 4 |
| 3 | 兰家湾 Lanjiawan | 220 | 2021年6月 June 2021 | 25-26°C | 56%-58% | 1,000 | 3 |

存活率。

1.4 试验方法与数据处理

野外回归种苗种植后, 分别在移栽后2个月(当年7–8月)、4个月(当年9–10月)、6个月(当年11–12月)、12个月(次年5–6月)时调查存活率, 每阶段调查3次。存活率(%) = (存活数/回归时数目) × 100%。采用每个区域随机设置3个1 m × 1 m的样方调查秦岭石蝴蝶的存活率和生长情况。在1 m × 1 m的样方内, 选择6株同一生长时期的略阳苗圃中人工繁育苗和经过野外回归的秦岭石蝴蝶苗, 分别测量叶柄长度、叶片长度、叶片宽度和叶片数目4个指标, 在选择6株秦岭石蝴蝶苗中分别挑选最大的3个叶片测量叶柄长度、叶片长度和叶片宽度。用SPSS 19.0软件进行测量指标及环境因子影响效应的单因素方差分析(one-way ANOVA), $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3个野外回归地差异性分析

3个野外回归地在海拔高度、平均湿度、光照强度和土质上均存在明显的差异。2号野外回归地三流水的海拔高度为657–670 m, 最接近秦岭石蝴蝶的野生分布区(670–700 m), 而1号野外回归地褒河森林公园的海拔接近900 m, 3号野外回归地兰家湾则突破了1,000 m。随着海拔的升高, 冬季1–2月的最低温度也会变低。调查发现, 1–3号野外回归地5–11月的平均湿度存在显著差异($P < 0.05$), 分别为61.25%、70.5%和46.75%。秦岭石蝴蝶野外居群生长在石灰岩或岩石缝隙间, 同时伴有丰富的苔藓和

虎耳草类植物。1号野外回归地的4个小区域仅有1个为伴有丰富苔藓的岩石基质, 其余3处均为有机质丰富的疏松土质。2号野外回归地有2处陡峭岩壁结构, 岩壁上附有丰富的苔藓植物, 而3号野外回归地无岩壁结构的土质, 3处均为林下有机质丰富的疏松土质。此外, 不同野外回归地的植物群落也表现才一定的差异(表3)。植被中乔木和灌木的丰富程度直接影响着野外回归地的光照强度。

2.2 野外回归后秦岭石蝴蝶生长分析

对3个野外回归地移栽的秦岭石蝴蝶生长情况进行定期跟踪和观察统计(图1A–C)。带土移栽避免了秦岭石蝴蝶在野外回归过程中的失水萎蔫, 因此绝大部分移栽的成苗都能够快速适应, 在10 d后便开始正常生长(图1D)。5–8月是秦岭石蝴蝶的快速生长期, 但此时叶片仍然比较柔软, 叶柄较短, 叶片表面有较多表皮毛(图1E)。随着温度的逐渐降低(9–10月), 秦岭石蝴蝶长出花苞, 大部分已经开始开花, 甚至有少数植株提前开花(图1F)。当气温继续降低, 到12月至次年2月, 大多数秦岭石蝴蝶地上部分的生长开始进入衰退期, 部分叶片开始发黄甚至枯萎凋落, 只留下地下部分的茎原基和生长点, 在有落叶覆盖的地方, 仍能看到秦岭石蝴蝶地上部分的嫩叶(图1G)。次年3–4月, 随着气温的逐渐回升, 秦岭石蝴蝶从越冬状态开始转为萌发状态(图1H)。次年5–7月, 仍是秦岭石蝴蝶的快速生长时期(图1I), 叶片比最初移栽时变得更加狭长, 叶片数目减少, 叶柄伸长(图1J), 此时的秦岭石蝴蝶更加接近略阳县和勉县秦岭石蝴蝶原分布地的生长状态。到次年的8–10月, 秦岭石蝴蝶开始陆续开花(图1K)。

表3 秦岭石蝴蝶野外回归地的几种典型植物群落。植被种类统计时间为每年的7–9月, 在3个野外回归地中随机选择4个1 m × 1 m的样方进行统计。

Table 3 Several typical plant communities in reintroduction sites for *Petrocosmea qinlingensis*. Statistics of plants types in the table are from July to September every year, and four samples of 1 m × 1 m were randomly selected from three reintroduction sites.

| 编号 No. | 乔木 Trees | 灌木 Shrubs | 草本 Herbs |
|--------|--|--|--|
| 1 | 异叶天仙果 <i>Ficus heteromorpha</i> | 中华青夹叶、紫萁 <i>Helwingia chinensis</i> , <i>Osmunda japonica</i> | 山麦冬、马蹄香、常春藤、虎耳草、冷水花、小叶贯众 <i>Liriope spicata</i> , <i>Saruma henryi</i> , <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Saxifraga stolonifera</i> , <i>Pilea notata</i> , <i>Matteuccia struthiopteris</i> |
| 2 | 山胡椒、鹅耳枥 <i>Lindera glauca</i> , <i>Carpinus turczaninowii</i> | 九节龙、南天竹 <i>Thamnia vermicularis</i> , <i>Nandina domestica</i> | 伏地卷柏、铁线蕨、淫羊藿、扁竹兰、山麦冬、金盞苣苔、鸭儿芹 <i>Selaginella nipponica</i> , <i>Adiantum capillus-veneris</i> , <i>Epimedium brevicornu</i> , <i>Iris confusa</i> , <i>Liriope spicata</i> , <i>Isometrum farreri</i> , <i>Cryptotaenia japonica</i> |
| 3 | 刚竹、山核桃、棕榈 <i>Phyllostachys sulphurea</i> var. <i>viridis</i> , <i>Carya cathayensis</i> , <i>Trachycarpus fortunei</i> | 亮叶忍冬 <i>Lonicera ligustrina</i> var. <i>yunnanensis</i> | 花叶燕麦草、虎耳草、刺齿贯众、对马耳蕨、狭叶重楼、秋海棠 <i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Saxifraga stolonifera</i> , <i>Cyrtomium caryotideum</i> , <i>Polystichum tsus-simense</i> , <i>Paris polyphylla</i> var. <i>stenophylla</i> , <i>Begonia grandis</i> |



图1 秦岭石蝴蝶野外回归后的生长情况。A-C: 分别为1-3号回归地秦岭石蝴蝶的野外回归情况; D: 当年5-6月野外回归地刚移栽的秦岭石蝴蝶状态; E: 回归后当年7-8月的生长情况; F: 回归后当年9-11月的生长情况; G: 回归后当年12月至次年2月的生长情况; H: 回归后次年3-4月的生长情况; I: 回归后次年5-6月的生长情况; J: 回归后次年7-8月的生长情况; K: 回归后次年9-10月的生长情况。

Fig. 1 The growth of *Petrocosmea qinlingensis* after returning to the wild. A-C, The field reintroduction of the *Petrocosmea qinlingensis* at reintroduction sites from 1 to 3, respectively; D, From May to June of that year, the state of the reintroduction *P. qinlingensis* just transplanted in the reintroduction sites; E, Growth from July to August after the reintroduction of the current year; F, Growth from September to November after the reintroduction of the current year; G, Growth from December after the reintroduction of the current year to February of the next year; H, Growth from March to April of the following year after reintroduction; I, Growth from May to June of the following year after reintroduction; J, Growth from July to August of the following year after reintroduction; K, Growth from September to October of the following year after the reintroduction.

2.3 环境因素对野外回归秦岭石蝴蝶存活率的影响

调查发现在6-7月汉中地区比较干旱,容易导致部分移栽的秦岭石蝴蝶失水萎蔫甚至死亡(图2A-C)。野外回归地2020-2022年6-7月干旱的天数分别为42 d、45 d、52 d,尤其是2022年的连续干旱,导致大量秦岭石蝴蝶干枯死亡。而9-10月汉中地区进入雨季,野外回归的秦岭石蝴蝶易被暴雨冲刷或泥土掩埋,甚至部分地方出现了大面积的滑坡(图2D-F),造成了较高的损失率。野外回归7个月后,此时冬季的冻害影响较大,尤其3号野外回归地海拔在1,000 m以上,温度较低,冻害严重(图2G-I)。

如表4所示,干旱、暴雨和冻害均对野外回归的秦岭石蝴蝶造成了一定的损失,其中干旱和暴雨造成的损失较大,分别为647株和651株,冻害造成的损失相对较小,为224株。干旱给1-3号野外回归地造成的损失差异不大,分别为213、206和228株。但暴雨给3个野外回归地造成的损失差异非常明显,其中3号野外回归地损失最大,达到了292株,1号野外回归地次之,为277株,而2号野外回归地最低,为82株,这也与3个野外回归地的土质特征差异有关。冻害造成的损失也存在一定差异,3号野外回归地损失最大,达到了148株,1号野外回归地次之,



图2 环境因素对野外回归地秦岭石蝴蝶的影响。A-C: 夏季高温干旱对野外回归秦岭石蝴蝶的影响; D-F: 秋季暴雨对野外回归秦岭石蝴蝶的影响; G-I: 冬季低温冻害对野外回归秦岭石蝴蝶的影响。

Fig. 2 The effects of environmental factors on *Petrocosmea qinlingensis* after reintroduction to the wild. A-C, The effect of high temperature and drought in summer on *P. qinlingensis* after reintroduction to the wild; D-F, The effect of Autumn rainstorm on *P. qinlingensis* after reintroduction to the wild; G-I, The effect of low temperature and freezing injury in winter on *P. qinlingensis* after reintroduction to the wild.

为48株, 而2号野外回归地最低, 为28株, 这可能与3个野外回归地的海拔高度差异带来的冬季温差有关。此外, 从统计的存活率数据看, 秦岭石蝴蝶野外回归15个月后, 2号野外回归地存活率最高, 达到了68.4%, 1号野外回归地次之, 为46.2%, 3号野外回归地最低, 仅33.2%。以上数据表明, 综合分析2号野外回归地最适宜秦岭石蝴蝶的生长。

2.4 野外回归后秦岭石蝴蝶的形态变化

对3个野外回归地的秦岭石蝴蝶苗形态进行调查, 发现与同一时期的人工繁殖的秦岭石蝴蝶成苗相比, 在野外回归后第12个月, 秦岭石蝴蝶的叶柄

显著伸长了1.65倍(图3A), 叶片的长度也由平均4.41 cm伸长到5.49 cm, 增加了1.24倍(图3B), 相反, 叶片宽度和叶片数目分别下降了29%和39% (图3C-D)。此外, 与人工繁殖的秦岭石蝴蝶成苗相比, 野外回归秦岭石蝴蝶的叶片表皮毛明显减少。这些结果表明, 野外回归后, 随着环境条件的变化, 秦岭石蝴蝶的形态也发生了明显的变化。

3 讨论

珍稀濒危植物的野外回归是迁地保护与就地保护的桥梁, 也是迁地保护植物的最终归宿, 回归

表4 不同环境因素对野外回归秦岭石蝴蝶存活率的影响

Table 4 The effects of environmental factor on the survival rate of *Petrocosmea qinlingensis* after reintroduction to the wild

| 编号 No. | 小区 Subarea | 回归株数 Reintroduction seedlings | 干旱(6-7月) Drought (June-July) | | 暴雨(9-10月) Rainstorm (Sept. -Oct.) | | 冻害(1-2月) Clod (Jan.-Feb.) | | 回归15个月的存活率 Survival rate after reintroduction for 15 months |
|-----------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|--|
| | | | 损失株数 Lost number | 损失率 Lost rate | 损失株数 Lost number | 损失率 Lost rate | 损失株数 Lost number | 损失率 Lost rate | |
| 1 | a | 438 | 122 | 28% | 152 | 35% | 13 | 3% | 34% |
| | b | 322 | 57 | 18% | 82 | 25% | 15 | 5% | 52% |
| | c | 116 | 15 | 13% | 31 | 27% | 9 | 8% | 53% |
| | d | 124 | 19 | 15% | 12 | 10% | 11 | 9% | 66% |
| 小计/平均 | Sum or average | 1,000 | 213 | 19% ± 7% | 277 | 24% ± 10% | 48 | 6% ± 3% | 51% ± 13% |
| 2 | a | 584 | 82 | 14% | 42 | 7% | 12 | 2% | 77% |
| | b | 216 | 65 | 30% | 16 | 7% | 8 | 4% | 59% |
| | c | 122 | 37 | 30% | 19 | 16% | 5 | 4% | 50% |
| | d | 78 | 22 | 28% | 5 | 6% | 3 | 4% | 62% |
| 小计/平均 | Sum or average | 1,000 | 206 | 26% ± 8% | 82 | 9% ± 5% | 28 | 4% ± 1% | 62% ± 11% |
| 3 | a | 676 | 145 | 21% | 172 | 25% | 94 | 14% | 39% |
| | b | 202 | 65 | 32% | 97 | 48% | 32 | 16% | 4% |
| | c | 122 | 18 | 15% | 23 | 19% | 22 | 18% | 48% |
| 小计/平均 | Sum or average | 1,000 | 228 | 23% ± 9% | 292 | 31% ± 15% | 148 | 16% ± 2% | 30% ± 23% |
| 总计/平均 | Total or average | 3,000 | 647 | 22% | 651 | 20% | 224 | 8% | 49% |

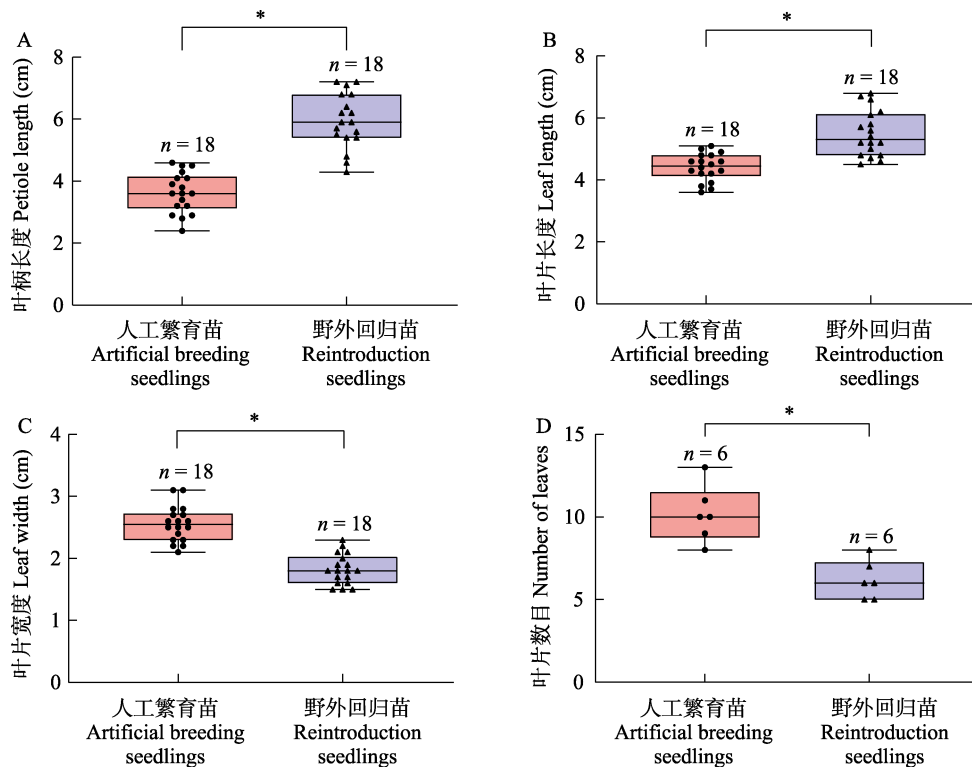


图3 秦岭石蝴蝶人工繁育苗与野外回归苗形态差异性比较。* $P < 0.05$ 。

Fig. 3 Morphological difference analysis between artificial breeding seedlings and reintroduction seedlings of *Petrocosmea qinlingensis*. * $P < 0.05$.

自然是野生植物种群重建的重要途径, 其保护效果超出了单纯的就地保护和单一的物种保护, 能更有

效地对极小种群野生植物进行拯救和保护(周艳等, 2018)。开展濒危植物野外回归的首要任务就是选择

适宜的野外回归地。野外回归地的选择一般会以濒危植物的模式产地或野生居群的原生境特征为依据进行筛选, 例如比较成功的德保苏铁(*Cycas debaoensis*)的野外回归, 就是将深圳仙湖植物园繁育的德保苏铁回归引种至广西黄连山自然保护区, 而这个保护区首先位于广西壮族自治区德保县境内, 并且与德保苏铁模式产地扶平乡相距也较近(王运华等, 2018)。本课题组也遵循这一原则, 结合秦岭石蝴蝶的原生境和人工驯化过程中的生长特性, 分别在汉台和城固选择了3个野外回归地(表1)。这3个野外回归地既具有共同的特征, 即常年有流水, 都在郁闭的林下, 避免阳光直射, 但又在海拔高度、空气湿度、土质状况和地表植被上存在较大差异。实践结果也证明, 这些差异也决定了秦岭石蝴蝶野外回归的成败。例如, 3号野外回归地海拔高于1,000 m, 冻害造成的损失明显高于其他两个回归地(表4)。而土质条件的差异也造成了野外回归秦岭石蝴蝶损失率的差异。3号野外回归地土质较为疏松, 结果在回归后的9–10月时遭受暴雨的冲刷和泥石流的掩埋, 造成了较大损失, 而2号野外回归地由于是岩面土质, 因此在雨季损失较小。尽管选择了在空气湿度比较大的地方进行秦岭石蝴蝶的野外回归, 但是突然遭遇2022年近52 d的干旱, 还是给3个野外回归地的秦岭石蝴蝶造成了较大的损失。


有学者发现, 人工繁育或人工条件下驯化的植物会出现失去“野性”的问题。我们将野外回归12个月后的秦岭石蝴蝶苗和同一时期的基地人工繁育苗相比, 结果发现二者形态差异较大。野外回归后的秦岭石蝴蝶叶片变得更加狭长, 叶柄也明显伸长(图3A–B), 更加接近原居群的野生状态。这可能与光照的变化有关, 驯化基地尽管有遮阳网, 但是光线仍然很强, 叶柄很短而叶片伸展, 而野外回归的环境中光线较弱, 多为散射光, 这导致叶柄和叶片狭长。叶片数目也有明显的变化, 野外回归后, 秦岭石蝴蝶的叶片数目明显变少($P < 0.05$), 这可能与人工驯化基地和回归地的营养状态有关。这些数据也为今后更好地开展驯化提供了思路, 将来在驯化时应该设置更加精准的营养梯度和光照强度, 使秦岭石蝴蝶提前调整到野外生长的状态。

野外回归是一个长期的系统工程, 如果从短期

来看, 回归成功至少包括物种能在回归地点顺利完成生活史, 能顺利繁衍后代并增加现有种群大小, 种子产量和发育阶段类似于自然种群, 种子能够借助本地媒介得到扩散, 从而在回归地点之外建立新的种群(任海等, 2014)。目前, 秦岭石蝴蝶的野外回归还仅仅是能够适应环境, 并且能够有较大的存活率, 但对于能否顺利完成生活史, 并借助自然条件顺利繁衍后代而增加现有种群数目, 还需要进一步深入研究, 同时可在花期利用红外相机或录像设备进行访花昆虫的抓拍和跟踪。最终实现回归种群融入生态系统, 并在生态系统恢复和功能重建中扮演重要作用。

致谢: 野外调查得到陕西省林业局、汉中市野生动植物保护管理站、略阳苗圃、汉台区褒河森林公园、城固县秦巴生态保护中心、城固县小河林场、城固县青龙寺林场等相关管理和科研人员的协助, 在此表示衷心的感谢!

ORCID

蒋景龙  <https://orcid.org/0000-0003-2447-2259>

参考文献

- Hu FC, Zhao XF, Jiang LP, Li X, Chen JH, Sun W, Jiang JL, Li Y (2021) Cultivation technologies for the rare and endangered plant *Petrocosmea qinlingensis*. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 49(2), 106–109. (in Chinese with English abstract) [胡凤成, 赵新锋, 蒋丽萍, 李星, 陈建华, 孙旺, 蒋景龙, 李耘 (2021) 秦岭石蝴蝶育苗技术. *陕西林业科技*, 49(2), 106–109.]
- Hu XP, Jiang JL, Wang Q, Li Y (2022) *In vitro* tissue culture technology of leaves of *Petrocosmea qinlingensis*. *Northern Horticulture*, (10), 70–76. (in Chinese with English abstract) [胡选萍, 蒋景龙, 王琦, 李耘 (2022) 秦岭石蝴蝶叶片离体组织培养技术. *北方园艺*, (10), 70–76.]
- Jiang JL, Sun W, Hu XP, Li Y, Hu FC, Wang Y, Wang Q (2019) Research status of the breeding of rare and endangered plant *Petrocosmea qinlingensis*. *Molecular Plant Breeding*, 17, 3024–3029. (in Chinese with English abstract) [蒋景龙, 孙旺, 胡选萍, 李耘, 胡凤成, 王勇, 王琦 (2019) 珍稀濒危植物秦岭石蝴蝶的繁育研究现状. *分子植物育种*, 17, 3024–3029.]
- Li J, Yang N, Zhou TH (2015) Progress of rare and endangered plants *Petrocosmea qinlingensis*. *Chinese Wild Plant Resources*, 34(5), 38–40. (in Chinese with English abstract) [黎君, 杨妮, 周天华 (2015) 珍稀濒危植物秦岭石蝴蝶

- 的研究进展. 中国野生植物资源, 34(5), 38–40.]
- Qiu ZJ, Zou CQ, Tan XL, Peng Y, Xie RX (2015) Study on plant cutting of Gesneriaceae. Northern Horticulture, 39(11), 60–65. (in Chinese with English abstract) [邱志敬, 邹纯清, 谭小龙, 彭杨, 谢锐星 (2015) 苦苣苔科植物的扦插繁育研究. 北方园艺, 39(11), 60–65.]
- Ren H, Jian SG, Liu HX, Zhang QM, Lu HF (2014) Research progress on field regression of rare and endangered plants. Scientia Sinica (Vitae), 44, 230–237. (in Chinese with English abstract) [任海, 简曙光, 刘红晓, 张倩媚, 陆宏芳 (2014) 珍稀濒危植物的野外回归研究进展. 中国科学: 生命科学, 44, 230–237.]
- Sun W, Jiang JL, Hu XP, Li Y, Wang Q, Tao XB, Hu FC (2020) Genetic diversity analysis of endangered plant *Petrocosmea qinlingensis* based on SCoT. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 40, 425–431. (in Chinese with English abstract) [孙旺, 蒋景龙, 胡选萍, 李耘, 王琦, 陶小斌, 胡凤成 (2020) 濒危植物秦岭石蝴蝶的SCoT遗传多样性分析. 西北植物学报, 40, 425–431.]
- Wang WT (1981) Notulae de Gesneriaceis sinensibus (II). Bulletin of Botanical Research, 1(4), 35–75. (in Chinese with English abstract) [王文采 (1981) 中国苦苣苔科的研究(二). 植物研究, 1(4), 35–75.]
- Wang Y, Yang PJ, Li CB, Fan R (2015) Introduction of the plant front cover: *Petrocosmea qinlingensis*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 35, 97, 130. (in Chinese) [王勇, 杨培君, 李长波, 樊荣 (2015) 封面植物介绍——秦岭石蝴蝶. 西北植物学报, 35, 97, 130.]
- Wang YH, Gan JJ, Chen T, Gong YQ, Lu YZ, Li N (2018) Preliminary study on reproductive features of reintroduction population of *Cycas debaoensis*. Subtropical Plant Science, 47, 134–139. (in Chinese with English abstract) [王运华, 甘金佳, 陈庭, 龚奕青, 陆燕兆, 李楠 (2018) 德保苏铁回归种群繁殖特征的初步研究. 亚热带植物科学, 47, 134–139.]
- Wu JS (1991) Rare and endangered plant—*Petrocosmea qinlingensis*. Plants, (3), 6. (in Chinese) [吴金山 (1991) 珍稀濒危植物——秦岭石蝴蝶. 植物杂志, (3), 6.]
- Yang P, Lu T, Qiu ZJ, Chen P, Peng Y, Tan XL (2016) Analyses on ecological characteristics and endangered reason of endangered plant *Petrocosmea qinlingensis*. Journal of Plant Resources and Environment, 25(3), 90–95. (in Chinese with English abstract) [杨平, 陆婷, 邱志敬, 陈朋, 彭杨, 谭小龙 (2016) 濒危植物秦岭石蝴蝶的生态学特性及濒危原因分析. 植物资源与环境学报, 25(3), 90–95.]
- Yang WG, Chu JL, Zhang YG, Li JM (2014) Assessment on the endangered status of Gesneriaceae plants in China. Journal of Henan Agricultural University, 48, 746–751, 756. (in Chinese with English abstract) [杨文光, 储嘉琳, 张耀广, 李家美 (2014) 中国苦苣苔科植物濒危状况评估分析. 河南农业大学学报, 48, 746–751, 756.]
- Yang WZ, Xiang ZY, Zhang SS, Kang HM, Shi FQ (2015) Plant species with extremely small populations (PSESP) and their significance in China's national plant conservation strategy. Biodiversity Science, 23, 419–425. (in Chinese with English abstract) [杨文忠, 向振勇, 张珊珊, 康洪梅, 史富强 (2015) 极小种群野生植物的概念及其对我国野生植物保护的影响. 生物多样性, 23, 419–425.]
- Zang RG, Dong M, Li JQ, Chen XY, Zeng SJ, Jiang MX, Li ZQ, Huang JH (2016) Conservation and restoration for typical critically endangered wild plants with extremely small population. Acta Ecologica Sinica, 36, 7130–7135. (in Chinese with English abstract) [臧润国, 董鸣, 李俊清, 陈小勇, 曾宋君, 江明喜, 李镇清, 黄继红 (2016) 典型极小种群野生植物保护与恢复技术研究. 生态学报, 36, 7130–7135.]
- Zhou Y, Feng YH, Li YM, Zhou Q (2018) Reintroduction of endangered plant *Paphiopedilum emersonii*. Guizhou Science, 36(5), 10–13. (in Chinese with English abstract) [周艳, 冯佑鸿, 李依蔓, 周庆 (2018) 濒危植物白花兜兰野外回归研究. 贵州科学, 36(5), 10–13.]

(责任编辑: 臧润国 责任编辑: 黄祥忠)