

不同生境秦岭箭竹人工种群的生长特性研究

王 瑞¹, 周建云¹, 曹 庆², 赵凯辉², 何景峰¹, 张文辉¹

(1 西北农林科技大学 西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2 佛坪国家级自然保护区, 陕西 佛坪 723400)

【摘要】 **【目的】**探索不同生境条件下秦岭箭竹人工种群的生长特点, 为秦岭箭竹的人工繁育及大熊猫栖息地生境质量的改善提供参考。**【方法】**对秦岭南坡不同生境 3 年生箭竹人工种群无性系植株保存率、无性系分株枯死率和生长状况进行了调查, 系统研究了不同生境条件对秦岭箭竹人工种群分株、秆柄的形态特征以及无性系构件生物量分配的影响。**【结果】**(1)随着海拔的升高, 生境对秦岭箭竹人工林保存率的影响逐渐减小, 阳坡人工林的保存率大于阴坡, 海拔在 2 000 m 以上的巴山冷杉-红桦林是进行箭竹人工造林较理想的生境。(2)秦岭箭竹人工种群年龄结构呈现出以 2~3 年生为中心的“偏正态分布”, 随着海拔的升高, 种群密度增大, 无性系分株死亡率降低。(3)秦岭箭竹人工种群无性系 1~2 年生分株生长旺盛, 2 年生分株的高度和地径均达到最大值, 从第 3 年起竹竿进入成年期; 不同生境无性系的秆柄节间长度、根系长度及芽的长度和直径均随海拔的升高而增大。(4)秦岭箭竹人工种群单个无性系的总生物量随着海拔的升高而增加; 阳坡内各群落构件总生物量及各个构件生物量均大于阴坡; 在海拔小于 1 800 m 的群落中, 人工种群无性系地下部分总生物量大于地上部分, 而海拔在 2 000 m 以上的群落人工种群无性系地下部分总生物量小于地上部分。**【结论】**人工建植秦岭箭竹对于大熊猫栖息地的恢复与保护是行之有效的。

【关键词】 秦岭箭竹; 人工种群; 生长特性; 无性系分株; 构件生物量

【中图分类号】 Q948

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)05-0110-09

Growth characteristics of *Fargesia qinlingensis* artificial population in different habitats of Qinling Mountains

WANG Rui¹, ZHOU Jian-yun¹, CAO Qing², ZHAO Kai-hui²,
HE Jing-feng¹, ZHANG Wen-hui¹

(1 Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Foping National Nature Reserve, Foping, Shaanxi 723400, China)

Abstract: **【Objective】**The research was made to investigate the growth characteristics of *F. qinlingensis* artificial population in different habitats for artificial breeding and improving the quality of the giant panda habitat. **【Method】**The clonal ramet morphological character, the culm neck and roots morphological character and the distribution of clones modular biomass of three-year-old *F. qinlingensis* artificial plantation were investigated systematically under the influences of different habitat conditions on the south slope of Qinling Mountain. **【Result】**The influences of *F. qinlingensis* artificial preserving rate which was affected by the difference of habitats decreased as the altitude rose, the preserving rate of sunny slope was greater than that of shady slope, the superior habitat to afforest was *Abies fargesii* + *Betula albo-sinensis* distributing over 2 000 m high; The age structure of *F. qinlingensis* artificial ‘plantation was partial normal distribution’ with the center of 2—3 age period, as the altitude increased, the density of population was de-

* [收稿日期] 2010-10-11

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目“竹藤资源培育与高附加值加工利用技术研究”(2006BAD19B0104); 中国大熊猫保护工程国际合作项目(WH0614)

[作者简介] 王 瑞(1986—), 女, 陕西西安人, 在读硕士, 主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: wr_218@163.com

[通信作者] 张文辉(1954—), 男, 陕西岐山人, 教授, 博士, 主要从事植物生态学、生物多样性与植物保护生物学研究。

E-mail: zwchkh@163.com

veloped, while the senescence rate of ramet was decreased; the ramet of *F. qinlingensis* artificial population clones in the first two years developed rapidly, the height and diameter reached the maximum value at the second year and the cane reached maturity from the third year on. The length of clonal internodes, roots, buds as well as the diameter of buds all increased as the altitude rose. The total biomass of the single clone of *F. qinlingensis* artificial population increased with the elevating altitude, the total modular biomass and the individual biomass of the clone in each community were greater on sunny slope than that on shady slope. The sum of underground modular biomass was greater than aboveground's in the community below 1 800 m high while it was contrary in the community above altitude of 2 000 m. 【Conclusion】 In a word, artificial forestation had a significant effect on recovering and preserving the giant panda habitat.

Key words: *Fargesia qinlingensis*; artificial population; growth characteristics; ramet; modular biomass

秦岭箭竹(*Fargesia qinlingensis*)属禾本科竹亚科箭竹属,是秦岭海拔 1 600 m 以上林区的重要物种,对于高山地区的水土保持和环境防护具有重要的生态意义^[1]。秦岭箭竹不仅是大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)栖息地的主要组成物种,也是大熊猫的主食竹之一^[2]。但由于人为打笋、采药等持续的干扰破坏及竹子开花、森林火灾等自然灾害的影响,天然秦岭箭竹林正面临着面积减少、生长衰退等问题的困扰。秦岭箭竹开花周期一般为 50~60 年,主要通过无性繁殖扩大种群,是一种典型的克隆植物。目前,关于秦岭林区竹类的研究主要集中在主食竹种的资源调查、分类与分布、生物生态学特性等方面^[3-8],而对不同生境条件下秦岭箭竹人工种群的建植以及生长状况的研究较少。

2006 年,为恢复大熊猫生境,在世界自然基金会(WWF)的支持下,相关部门在秦岭南坡大熊猫分布较为密集的佛坪自然保护区、观音山自然保护区及其周边地区营造了 87 hm² 箭竹人工林。经过近 3 年的努力,人工箭竹种群开始正常萌笋,呈现出持续发育的良好势态。本研究对 2006 年营造的箭竹人工林保存率和生长状况进行了调查,比较不同生境对箭竹人工林恢复效果的影响,分析了无性系地上和地下部分的形态特征及构件生物量的分配特点,探索了不同生境条件下秦岭箭竹人工种群的生长特性,以期对秦岭箭竹的人工繁育、大熊猫栖息地生境质量的改善提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域为秦岭南坡的佛坪自然保护区和观音山自然保护区,地理位置为东经 107°51′~108°01′,北纬 33°35′~33°45′,海拔 980~2 904 m;试区气候为暖温带大陆性气候,年均气温 11~14 ℃,降水量

750~950 mm。该区植被以森林为主,秦岭箭竹生长在海拔 1 000~3 170 m 的栎林(*Quercus*)、桦林(*Betula*)及冷杉林(*Abies*)内,并形成了林下箭竹层,其中海拔 2 200~2 800 m 是箭竹生长最为茂盛的区间^[8]。该区土壤主要为山地暗棕壤,地被层发达^[9]。2006 年,在 WWF 的支持下,相关部门于该区营造箭竹人工林,造林措施及后期管理历史清楚,造林工程在 1—3 月竹子的“休眠”期进行,均为植苗造林(又叫分篴栽植)。穴状整地时尽量避免扰动地面,不破坏地上植物。造林幼苗(无性系分株)从当地箭竹中获得,规格统一,地上部分保留 3 个竹竿,地下部分保留秆柄总长度为 50 cm(秆柄节间多数纵横交错,水平面上直径最大为 50 cm),根系完好;造林密度为 1 050 株/hm²。造林后禁止放牧、打笋及砍伐。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 本研究以 2006 年营造的秦岭箭竹人工林为对象,分别在阴坡和阳坡选取了 C₁(河滩裸地,海拔≥1 600~≤1 800 m)、C₂(落叶松-锐齿栎混交林(*Larix kaempferi* + *Quercus aliena* var. *acutidentata*),海拔>1 800~≤2 000 m)、C₃(巴山冷杉-红桦混交林(*Abies fargesii* + *Betula albo-sinensis*),海拔>2 000~≤2 200 m)等 3 种不同群落共 6 种生境的秦岭箭竹人工林进行调查。经过充分踏查,选取人工竹林干扰较小、保护较好的地段,在每种生境中布设 3 块样地,共 18 块样地。调查于箭竹生长发育比较旺盛的时期(2009-07-08)进行。样地面积为 20 m×20 m,每块样地分别沿对角线设置 3 个 5 m×5 m 的灌木样方和 3 个 1 m×1 m 的草本样方。

1.2.2 箭竹不同生境环境因子的测定 海拔数据用 GPS(MagellanGPS315)进行定位获得;坡度用地质罗盘(DQY-1)测定;温度、湿度和光照强度于晴天

分别用 DHM2 型通风干湿温度计、ZDS-10 型光照计在距地面 0.5 m 处,在 6 种生境样地中的固定位置进行多次测定(测定时间分别为 07:00,10:00,13:00,15:00,18:00),结果取其平均值。土样采集于 2009-08-12(雨后 10 d)在不同样地同时进行,采样深度为 0~20 cm。土壤水分含量采用烘干法测定,pH 用 ZD-2 型电位滴定计测定^[10],有机质含量用

重铬酸钾法^[11]测定,速效 N 含量用碱解扩散法^[12-13]测定,速效 P 含量用 NaHCO₃ 浸提-钼蓝比色法测定,速效 K 含量采用火焰光度法^[14]测定。人为干扰强度采取人为赋值的方法确定,强度最大赋值为 1,最小赋值为 0。测定数据按同一生境不同样地进行合并,取平均值。不同类型箭竹人工林生境概况见表 1。

表 1 不同生境秦岭箭竹人工林群落环境因子的基本状况

环境因子 Environmental factor	C ₁		C ₂		C ₃	
	阳坡 Sunny slope	阴坡 Shady slope	阳坡 Sunny slope	阴坡 Shady slope	阳坡 Sunny slope	阴坡 Shady slope
海拔/m Altitude	≥1 600~≤1 800		>1 800~≤2 000		>2 000~≤2 200	
林内光照/10 ³ lx Light	43.23	41.26	13.06	12.58	20.88	18.92
林内温度/℃ Temperature	22.3	22.1	21.1	20.3	21.4	18.4
空气相对湿度/% Humidity	60.6	63.5	76.5	80.2	80.6	83.7
土壤 pH 值 Soil pH	6.7	6.6	6.4	6.5	6.7	6.5
土壤腐殖质层厚度/cm Thickness of soil humus	10	12	12	12	14	16
0~10 cm 土层含水率/% Moisture of soil	20.98	25.69	35.40	36.84	31.68	33.98
土壤有机质含量/% Soil organic content	6.2	6.1	5.9	6.0	5.9	5.7
速效 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	48.9	44.5	70.5	68.6	79.8	83.0
速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	12.2	13.2	19.9	20.4	26.4	25.7
速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K	156.2	132.6	213.6	201.9	231.5	229.6
人为干扰强度 Human disturbance	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
乔木层盖度/% Coverage of tree layer	0	0	80	80	95	95

1.2.3 箭竹人工种群的界定及其调查 样地中的每一穴人工栽植的箭竹为一个无性系基株(Genets),任意一个无性系基株包括若干无性系分株(Ramet)。无性系分株是指一、二年或者多年生竹笋以及当年生笋。

对样地内全部无性系植株的成活与否进行判断,并对其生长状况进行评判,评判标准分为 4 个等级:Ⅰ级.原有无性系分株成活且萌生当年生竹笋;Ⅱ级.原有无性系分株均死亡但萌生当年生竹笋;Ⅲ级.原有无性系分株均死亡,竹筴上有未萌发的芽;Ⅳ级.原有无性系分株均死亡,竹筴上无未萌发的芽级。计算秦岭箭竹人工林保存率:

保存率=无性系植株成活数/无性系植株总数×100%。

分别在样地 2 条对角线上选择 3 个长势中等的无性系基株(高度、地径、冠幅接近平均值)作为无性系标准株。将人工箭竹种群分为 1 年生、2 年生、3 年生和 3 年以上等 4 个龄级(根据竹竿和笋箨的颜色以及主枝上枝节数和叶鞘梯数确定无性系分株的年龄^[15])。

将无性系标准株完整地刨挖出来,在距地面 2.5 cm 处剪断无性系分株,将根系从竹筴上分离下来,

通过颜色判断新增秆柄与原移栽竹筴及秆柄。

(1)统计无性系分株总数以及枯死分株数,计算无性系分株死亡率:

无性系分株死亡率=枯死分株数/无性系分株总数×100%。

(2)统计竹筴上芽的数量、无性系分株枯死侧枝的数量和侧枝总数,测定当年新增秆柄节间的长度和直径,芽的数量、长度和直径,根系的长度和直径及无性系分株的地径、高度和叶片数。计算无性系分株的枯梢率:

无性系分株枯梢率=枯死侧枝数/无性系分株侧枝总数×100%。

(3)最后按地上构件(竹竿、侧枝、叶)和地下构件(秆柄、根系、芽)分别称取完整无性系标准株的鲜质量,并分构件取样带回实验室,烘干测定各构件含水率,再根据含水率计算各构件的生物量,含水率、构件生物量的计算公式为:构件含水率=(样品鲜质量-样品干质量)/样品鲜质量×100%;

构件生物量=构件鲜质量×(1-构件含水率)×100%。

1.3 数据处理

试验数据利用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,

采用单因素方差分析法(one-way ANOVA) 和最小显著差异法(LSD),比较不同数据组间的差异($P<0.05$),应用 Origin 7.5 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同生境秦岭箭竹人工种群的年龄结构

图 1 反映了 3 个生境中秦岭箭竹人工种群(总和)在阳坡和阴坡的年龄结构。从图 1 可以看出,种群的年龄结构 1~3 年生呈“倒金字塔”型,2~3 年生阶段的种群数量最大,3 年生以上阶段的种群均为移栽前生长的老竹。 C_1 、 C_2 和 C_3 中的秦岭箭竹

人工种群的年龄结构基本一致,但随生境条件的改变,各海拔区间种群年龄结构发生了相应变化。如 C_1 由于土壤养分贫乏,海拔较低,受外界干扰较大,秦岭箭竹人工种群各龄级无性系分株数量均不超过 4 株/ m^2 ,且以 2 年生阶段的种群数量最大; C_2 的腐殖质层厚度达 12 cm,较 C_1 肥沃,种群密度增加到 5 株/ m^2 以上,也以 2 年生阶段的种群数量最大; C_3 接近秦岭箭竹天然分布的核心区,腐殖质层厚度达 14~16 cm,种群密度进一步增大,达 10~18 株/ m^2 ,以 3 年生阶段的种群数量最大。

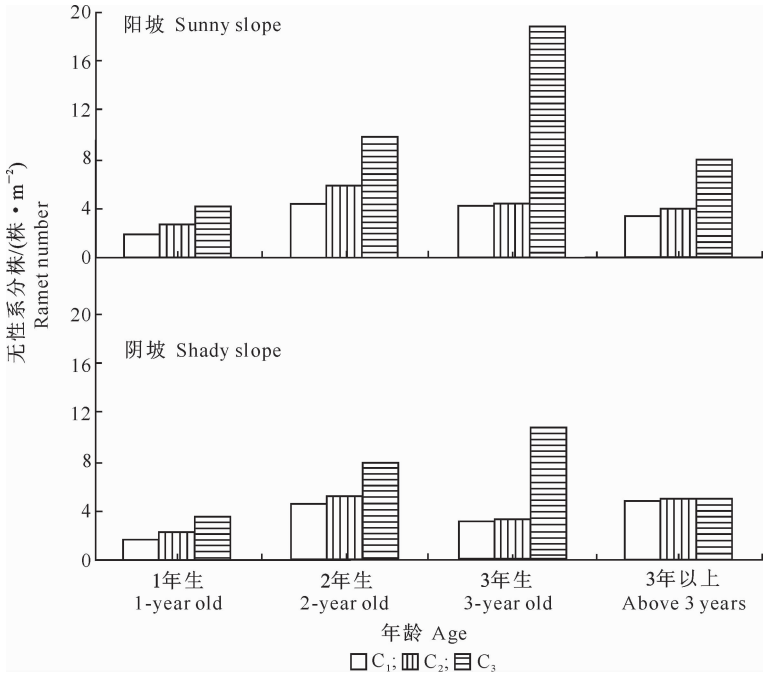


图 1 栽植 3 年后不同生境秦岭箭竹人工种群的年龄结构

Fig. 1 Age structure of three-year-old *F. qinlingensis* artificial plantation

秦岭箭竹人工种群中 3 年以上生阶段的分株均为移栽时秆柄上原有的分株,这些分株在移栽后部分出现了死亡。图 2 表明,阳坡和阴坡下 3 种群落的秦岭箭竹人工种群无性系分株死亡率均表现为阴坡大于阳坡;在同一坡向,秦岭箭竹人工种群无性系分株死亡率表现为 $C_1 > C_3 > C_2$;死亡率最大(41.7%)和最小(24.0%)的生境分别是阴坡 C_1 和阳坡 C_2 ,两者相差 17.7%,差异达显著水平,其他 4 种生境(阴坡 C_2 、 C_3 ,阳坡 C_1 、 C_3)内秦岭箭竹人工种群无性系分株死亡率为 27%~33%,差异均不显著($P>0.05$)。

2.2 不同生境秦岭箭竹人工种群的保存率

将造林 3 年后保存率大于 80%的地区确定为造林成功的区域。表 2 反映了移栽 3 年后不同生境中秦岭

箭竹种群的保存率。由表 2 可以看出, C_1 、 C_2 、 C_3 群落内的秦岭箭竹人工种群的保存率均是阳坡大于阴坡,其差异分别为 7.44%,3.60%和 0.61%,说明随着海拔的升高,坡向对秦岭箭竹人工种群存活的影响逐渐减小。

由表 2 还可以看出,阳坡和阴坡的秦岭箭竹人工种群保存率均为 $C_1 < C_2 < C_3$ 。在阳坡中, C_1 与 C_2 的保存率相差 5.01%, C_2 与 C_3 相差 2.41%;在阴坡中, C_1 与 C_2 的保存率相差 9.85%, C_2 与 C_3 相差 5.4%,可见阳坡箭竹人工种群间的保存率差异小于阴坡。高海拔 C_3 阳坡的秦岭箭竹人工种群保存率最高,达 83.18%;低海拔 C_1 阴坡的秦岭箭竹人工种群保存率最低,仅为 68.32%,两者差异达显著水平($P<0.05$)。

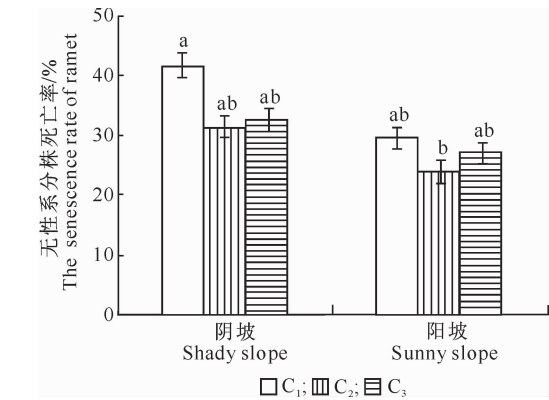


图 2 栽植 3 年后不同生境秦岭箭竹人工种群的无性系分株死亡率

标不同小写字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。下图同。

Fig. 2 Senescence rate of ramet of three-year-old *F. qinlingensis* artificial plantation

Different small letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 2 栽植 3 年后不同生境秦岭箭竹人工种群的保存率

Table 2 Preserving rate of three-year-old *F. qinlingensis* artificial plantation in different communities

群落类型 Community type	坡向 Aspect	无性系植株成活数 Number of clones				保存率/% Preserving rate
		I	II	III	IV	
C ₁	阴坡 Shady slope	20±2.2 a	32±1.7 ab	17±2.1 ab	32±1.5 b	68.32±0.015 a
	阳坡 Sunny slope	25±1.5 a	31±3.3 ab	19±1.8 b	24±1.3 ab	75.76±0.026 ab
C ₂	阴坡 Shady slope	36±2.8 ab	51±2.7 b	11±1.4 a	29±1.8 b	77.17±0.022 ab
	阳坡 Sunny slope	31±2.0 ab	54±1.4 b	10±2.2 a	23±1.6 ab	80.77±0.021 ab
C ₃	阴坡 Shady slope	50±2.6 b	18±1.5 a	22±1.3 b	19±1.2 a	82.57±0.031 b
	阳坡 Sunny slope	48±1.9 b	25±3.1 a	16±1.4 ab	18±1.5 a	83.18±0.028 b

注:同列数据后标不同小写字母者表示生境间有显著差异 ($P<0.05$)。下表同。

Note:Marked with different lower case letters in the same column were significantly different($P<0.05$). The same below.

表 3 栽植 3 年后不同生境下秦岭箭竹人工种群无性系分株地下构件的生长状况

Table 3 Growth status of three-year-old *F. qinlingensis* underground modules in different habitats

坡向 Aspect	群落类型 Community type	秆柄节间 Internode		根系 Root		芽 Bud		
		长度/cm Length	直径/mm Diameter	长度/cm Length	直径/mm Diameter	数量/ (个·标准株 ⁻¹) Number	长度/cm Length	直径/mm Diameter
阴坡 Shady slope	C ₁	4.2±0.707 a	5.6±0.103 a	9.9±1.301 a	2.4±0.017	30±2.383 b	2.9±0.339 a	8.4±0.339 ab
	C ₂	7.2±1.379 ab	7.8±0.018 a	12.6±1.096 b	2.1±0.044	28±2.202 a	3.4±0.527 a	6.7±0.289 a
	C ₃	7.5±1.803 b	6.5±0.336 a	14.2±0.870 b	2.3±0.045	35±2.354 ab	5.7±0.552 b	9.5±0.597 ab
阳坡 Sunny slope	C ₁	5.5±0.347 a	7.7±0.752 a	8.8±1.379 a	2.5±0.049	35±1.412 b	4.6±0.430 ab	8.4±1.950 ab
	C ₂	7.1±0.317 ab	7.4±0.406 a	13.3±2.915 b	3.0±0.037	26±1.425 a	4.5±0.516 ab	8.6±0.537 ab
	C ₃	9.3±0.419 ab	11.5±0.427 b	20.1±1.435 c	2.8±0.042	35±1.451 b	7.1±0.260 c	12.7±1.938 b

2.3.2 无性系分株地上构件的生长状况 图 3 反映了不同生境秦岭箭竹人工种群无性系分株地上构件的生长状况。秦岭箭竹 1 年生分株没有长出侧枝和叶片,因此枯梢率和叶片数为零。从 2 年生分株开始萌发侧枝,且逐年增多,叶片数也随着侧枝数量的增加而增加。由图 3 可以看出,3 种群落各龄级分株的高度、地径、叶片数总体上均为阳坡大于阴坡,分株枯梢率为阴坡大于阳坡。

2.3 不同生境秦岭箭竹人工种群的生长特性

2.3.1 无性系分株地下构件的生长状况 秦岭箭竹的地下构件包括秆柄、根系(须根,根系没有主次之分)以及竹筴上萌生的芽。从表 3 可以看出,阳坡群落内人工种群各构件的生长状况总体上优于阴坡。在不同坡向的群落内,秆柄节间长度和根系长度均随着海拔的升高而增加。在阴坡,C₃ 的秆柄节间长度最大,为 7.5 cm,C₁ 的最小,为 4.2 cm;C₃ 的根系长度最大,为 14.2 cm,C₁ 的最小,为 9.9 cm。在阳坡,C₃ 的秆柄节间长度最大,为 9.3 cm,C₁ 的最小,为 5.5 cm;C₃ 的根系长度最大,为 20.1 cm,C₁ 的最小,为 8.8 cm。秆柄节间直径在阴坡无显著差异,阳坡 C₃ 显著大于 C₁ 和 C₂;根系直径在不同坡向、不同群落间差异均不显著 ($P>0.05$)。无论在阴坡还是在阳坡,C₂ 的芽数量均少于 C₁ 和 C₃;芽的长度和直径随着海拔的增加而增大,阳坡 C₃ 的芽长度和直径最大,分别为 7.1 cm 和 12.7 mm。

在阴坡,不同群落秦岭箭竹人工种群各龄级分株的高度、地径变化规律一致,表现为:2 年生的分株高度和地径均较大,其中又以 C₃ 的分株高度和地径最大,分别为 141.4 cm 和 5.5 mm。3 种群落内分株枯梢率随着分株年龄的增加而增加,且以 C₂ 分株枯梢率最高,增长幅度最大,各龄级分株平均枯梢率达到 11.7%,C₃ 分株枯梢率略大于 C₁,但差异不显著 ($P>0.05$);叶片数的变化情况与侧枝枯梢率

相反,表现为 C_1 和 C_3 分株叶片均多于 C_2 ,其中 C_3 的分株叶片平均达 144.4 片/标准株, C_1 为 133.9

片/标准株,而 C_2 仅为 89.4 片/标准株。

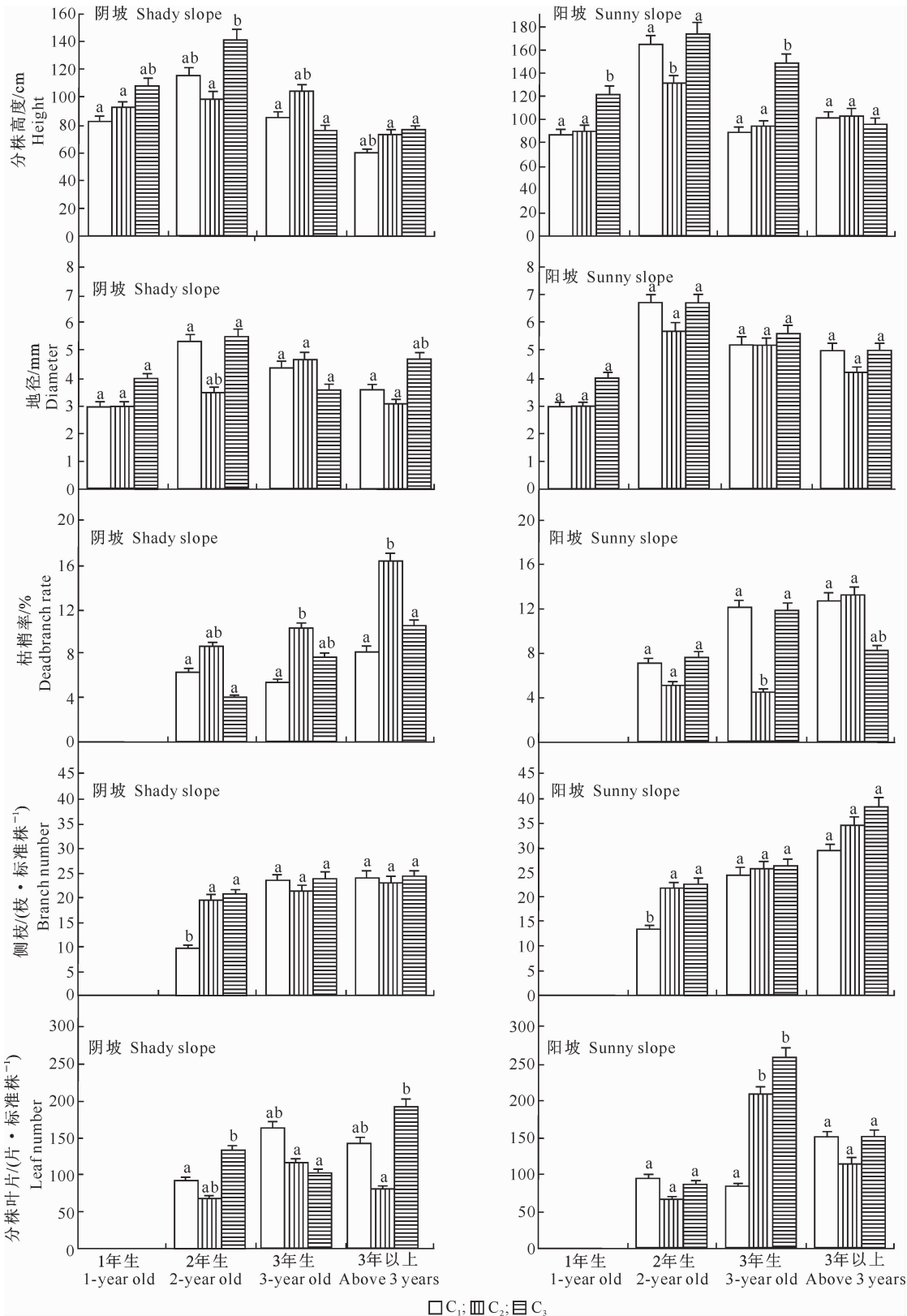


图 3 栽植 3 年后不同生境下秦岭箭竹人工种群无性系分株地上构件的生长状况
Fig. 3 Growth status of three-year-old *F. qinlingensis* ramets above ground modules at different age classes in different habitats

在阳坡,不同群落秦岭箭竹人工种群各龄级的分株高度、地径的变化规律与阴坡一致,最大值均出现在 2 年生种群内,其中 C₃ 的分株高度和地径最大,分别达到 172.8 cm 和 6.7 mm。3 种群落内枯梢率的变化规律与阴坡不同,其中 C₂ 内分株的平均枯梢率为 7.6%,而 C₁ 和 C₃ 分别为 10.7% 和 9.2%;分株的叶片在阳坡表现出随着海拔的增加而增多的趋势,C₁、C₂、C₃ 中各龄级分株平均叶片分别为 109.9,129.8 和 166.4 片/标准株。

2.3.3 地上构件和地下构件的生物量 表 4 列出了不同生境秦岭箭竹人工种群一个完整无性系标准株的各构件生物量。从表 4 可以看出,在阴坡,C₁、

C₂、C₃ 中无性系总生物量(地上部分+地下部分)分别为 335.1(163.5+171.6),412.7 (193.2+219.5) 和 515.9(297.3+218.6) g/标准株;在阳坡,C₁、C₂、C₃ 中无性系总生物量(地上部分+地下部分)分别为 353.1(172.1+181),449.6(225.2+224.4)和 549.6(312.3+237.3) g/标准株,说明秦岭箭竹人工种群无性系的总生物量随着海拔的升高而增加。在阴坡中,C₁、C₂ 2 个群落人工种群无性系地下部分总生物量大于地上部分,而在 C₃ 中情况相反;在阳坡中,C₁ 群落无性系地下部分总生物量大于地上部分,而在 C₂、C₃ 中情况相反。阳坡 3 种群落构件的总生物量及各构件生物量均大于阴坡。

表 4 栽植 3 年后不同生境秦岭箭竹人工种群无性系构件的生物量

Table 4 Modular biomass of three-year-old <i>F. qinlingensis</i> clones in different habitats g/标准株							
坡向 Aspect	群落类型 Community type	无性系地下构件 Underground modules			无性系地上构件 Aboveground modules		
		秆柄 Culm neck	根系 Roots	芽 Bud	竹竿 Cane	侧枝 Lateral branch	叶 Leaf
阴坡 Shady slope	C ₁	110.7±5.694 a	41.8±3.214 ab	19.1±0.567 a	120.9±2.144 a	32.5±1.236 a	10.1±1.254 a
	C ₂	148.1±8.256 b	45.2±4.125 b	26.2±1.012 ab	142.8±5.214 a	35.8±1.488 a	14.6±2.224 a
	C ₃	158.9±6.654 b	34.5±2.587 a	25.2±0.566 ab	237.6±3.334 b	41.8±2.355 b	17.9±1.117 ab
阳坡 Sunny slope	C ₁	126.2±4.258 a	31.4±4.336 a	23.4±0.874 a	121.9±4.141 a	33.7±1.648 a	16.5±2.001 ab
	C ₂	155.3±3.498 b	37.3±1.956 ab	31.8±1.004 ab	176.6±5.202 ab	32.2±2.341 a	16.4±1.458 ab
	C ₃	161.7±4.447 b	41.3±2.227 ab	34.3±0.697 b	246.7±1.588 b	45.1±1.896 b	20.5±2.048 b

3 结论与讨论

3.1 秦岭箭竹人工造林的可行性分析

成活率是人工造林验收时的一个重要指标,在以往的研究中,人们常用成活率评价造林效果^[16-18]。但是成活率只能说明苗木的繁殖能力、生存能力,而移栽后的苗木依靠自身原有的营养物质生长,短期内不能表现出对新环境的适应能力^[19]。叶林等^[20]在毛赤杨人工林营造技术的研究中发现,植苗造林成活率高,而保存率较低。杨曾奖等^[21]对华南地区桉树、相思树混交种植的林木生长效应进行了研究,认为保存率能够很好地反映造林效果。因此,本研究选取保存率作为评价指标,结果表明,随着海拔的升高,生境差异对秦岭箭竹人工林存活的影响逐渐减小,不同群落内秦岭箭竹在阳坡的保存率大于阴坡,在海拔大于 2 000 m 的群落内秦岭箭竹人工林 3 年后保存率达到 80% 以上,说明在该区域进行人工造林是一种有效的扩大竹林面积的方式。

3.2 秦岭箭竹人工造林生境的选择

本研究结果表明,3 个秦岭箭竹人工种群年龄结构均表现为以 2~3 年生为中心的“偏正态分布”;随着海拔的升高,种群密度增加,无性系分株死亡率降低;同一海拔阳坡的幼龄分株数量大于阴坡,阴坡

人工种群无性系分株死亡率高于阳坡;C₁ 群落中秦岭箭竹分株死亡率最高,C₂ 和 C₃ 中的秦岭箭竹分株死亡率最低。说明,光照和海拔对于秦岭箭竹的更新与生长有重要影响。由此可见,阳坡高海拔地区的巴山冷杉-红桦混交林由于人为干扰少、腐殖质层深厚,比低海拔地区的河滩裸地和落叶松-锐齿栎林更适合秦岭箭竹生存,这与周世强等^[22]关于冷箭竹的研究结论一致。

3.3 秦岭箭竹的生长特性

不同的坡向、海拔导致秦岭箭竹人工种群无性系生长发育出现差异。秦岭箭竹幼龄竹竿的高度和地径均在 1~2 年内达到最大值,第 3 年经历从幼龄到成年的过渡时期后便进入成年阶段。相对幼龄竹竿,成年的竹竿木质化程度加强,随着竹龄的增加,侧枝和叶片数量均呈先增加后减少的趋势。不同生境的秦岭箭竹均可萌发一定数量的幼芽,说明在不同环境中秦岭箭竹均有较好的适应性,具备更新潜力。但是在巴山冷杉-红桦群落中,萌生芽长度和直径明显大于其他群落,表明在这一生境内秦岭箭竹生长旺盛,芽可得到更充足的养分以促进种群更新。

通过对克隆植物构件统计分析,可以推断植物与环境互作过程中的各种细节^[23]。秦岭箭竹各构件生物量在不同生境中表现不同是其所处环境的

一种适应策略。在海拔大于 2 000 m 的群落中,秦岭箭竹整个无性系分配给地下部分的生物量小于地上部分,而在海拔 1 800 m 以下区域情况正好相反。Bell 等^[24]认为,克隆植物的无性系由一系列“供养点”(即获取主要资源的分株)和“隔离者”(即连接供养点的根茎部分)组成。随着环境条件的改善,“隔离者”长度可能减小而分枝强度增加;同理,如果环境可提供的养分、水分减少,“隔离者”长度增大,分枝强度减少^[25]。对于秦岭箭竹而言,生长在地下的秆柄即为“隔离者”,无性系内的分株即为“供养点”。秦岭箭竹的根系吸收水分和矿物质,营养物质在分株体内存贮并通过秆柄转运到其他器官中。当环境条件适宜,养分充足时,秆柄生长延缓,表现为节间长度变短,分叉数量减少,养分主要供给地上部分;当环境条件较恶劣时,则通过秆柄的生长实现植株养分在土壤中的迁移,以寻求在养分充足的微环境中定居。这是植物为了适应外界环境而将生物量在整个无性系各构件之间进行再分配的生殖策略。

3.4 建 议

秦岭箭竹主要以无性繁殖为主,采取人工方法对其种群进行保护与恢复是切实可行的。在未来秦岭箭竹人工种群的经营管理中,应考虑不同坡向和海拔生境条件的差异,根据秦岭箭竹生物学特性,分别采取不同的管理措施:在低海拔地区应注重增加土壤有机质,改善立地质量,为人工林的存活创造良好条件;阴坡造林应注意改善群落内的光照条件,降低群落郁闭度,以利于人工种群的更新;移栽种苗时应挖取生长旺盛的植株进行植苗造林,造林前应适度清除林地中的灌木和草本植物。总体而言,即通过近自然经营的方式,对造林成活的秦岭箭竹进行管理,通过抚育间伐,调节群落内水、光的竞争,促进其生长。

[参考文献]

[1] 梁泰然. 中国森林 [M]. 北京:中国林业出版社,2000:1915-1917.
Liang T R. China forest [M]. Beijing China Forestry Press, 2000:1915-1917. (in Chinese)

[2] 刘雪华,金学林. 秦岭南坡两个大熊猫活动密集区的生境特征及大熊猫对生境的选择 [J]. 生态学杂志,2008,27(12):2123-2128.
Liu X H, Jin X L. Habitat feature of giant pandas' high-frequency activity areas on southern slope of the Qinling Mountains and habitat selection of giant panda [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(12): 2123-2128. (in Chinese)

[3] 周世强,黄金燕. 大熊猫主食竹种的研究与进展 [J]. 世界竹藤

通讯,2005,3(1):1-6.
Zhou S Q, Huang J Y. Research into bamboo species as giant panda s main diet and its progress [J]. World Bamboo and Rattan, 2005, 3(1): 1-6. (in Chinese)

[4] 刘 冰. 秦岭大熊猫主食竹及其特性研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.
Liu B. Studies on staple food bamboo and its characteristics of giant panda in the Qinling Mountains [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)

[5] 冯永辉,冯鲁田,雍严格,等. 秦岭大熊猫主食竹的分类学研究(Ⅱ) [J]. 西北大学学报:自然科学版,2006,36(1):101-102.
Feng Y H, Feng L T, Yong Y G, et al. A taxonomic study on the bamboo as the main food of giant panda from Mt. Qinling (II) [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2006, 36(1): 101-102. (in Chinese)

[6] 周世强,黄金燕,王鹏彦,等. 大熊猫野化培训圈主食竹种生长发育特性及生物量结构调查 [J]. 竹子研究汇刊,2004,23(2):21-25.
Zhou S Q, Huang J Y, Wang P Y, et al. A study on the feature of bamboo growth and biomass structure in giant panda s field training area [J]. Journal of Bamboo Research, 2004, 23(2): 21-25. (in Chinese)

[7] 王太鑫,丁雨龙,李继清,等. 巴山木竹种群生物量结构研究 [J]. 竹子研究汇刊,2005,24(1):20-24.
Wang T X, Ding Y L, Li J Q, et al. Studies on the structure of biomass of *Arundianaria fargesii* clone population [J]. Journal of Bamboo Research, 2005, 24(1): 20-24. (in Chinese)

[8] 李 云,任 毅,贾 辉. 秦岭大熊猫主食竹的分类学研究: I [J]. 西北植物学报,2003,23(1):127-129.
Li Y, Ren Y, Jia H. The taxonomic studies on the bamboo as the main food of giant panda from Qinling Mountains: I [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2003, 23(1): 127-129. (in Chinese)

[9] 张仰渠,张启凡,吴建恭. 陕西森林 [M]. 北京:中国林业出版社,1989:34-39.
Zhang Y Q, Zhang Q F, Wu J G. Shaanxi forest [M]. Beijing: China Forestry Press, 1989: 34-39. (in Chinese)

[10] 董 鸣,王义凤,孔繁志. 陆地生物群落调查观测与分析-中国生态系统研究网络观测与分析标准方法 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1996:14.
Dong M, Wang Y F, Kong F Z. Survey, observation and analysis of terrestrial biocommunities [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1996: 14. (in Chinese)

[11] 张文辉,王延平,康永祥,等. 太白山太白红杉种群空间分布格局研究 [J]. 应用生态学报,2005,16(2):207-212.
Zhang W H, Wang Y P, Kang Y X, et al. Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(2): 207-212. (in Chinese)

[12] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘群落特性及林地水分、养分分析 [J]. 应用生态学报,2002,13(9):1061-1064.
Ruan C J, Li D Q. Community characteristics of *Hippophae*

rhamnoides forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1061-1064. (in Chinese)

[13] 卢金伟, 李占彬. 陕北黄土坡面水分和养分的空间变异性 [J]. 山地学报, 2002, 20(1): 108-111.

Lu J W, Li Z B. Spatial variation of soil water and nutrient content on Loess slope in Shanbei China [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(1): 108-111. (in Chinese)

[14] 李立平, 张佳宝, 邢维芹, 等. 土壤速效氮磷钾测定进展 [J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 483-488.

Li L P, Zhang J B, Xing W Q, et al. Progress in soil available nitrogen, phosphorus and potassium analysis: A review [J]. Journal of Soil Science, 2003, 34(5): 483-488. (in Chinese)

[15] 秦自生, 艾伦·泰勒, 刘捷. 大熊猫主食竹种龄鉴定及种群动态评估 [J]. 四川环境, 1993, 12(4): 26-29.

Qin Z S, Alan H·Taylor, Liu J. Determination of culmage of bamboo species as giant pandas, staple food and assessment of their population dynamics [J]. Sichuan Environment, 1993, 12(4): 26-29. (in Chinese)

[16] 黄宝灵, 吕成群, 蒙钰钗, 等. 不同造林密度对尾叶桉生长、产量及材性影响的研究 [J]. 林业科学, 2000, 36(1): 81-90.

Huang B L, Lü C Q, Meng Y C, et al. Effects of different planting densities on the growth, output and wood properties of eucalyptus urophylla [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(1): 81-90. (in Chinese)

[17] 王瑞辉, 刘春林, 付小义, 等. 洞庭湖滩地造林成活率的关键影响因子 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(2): 27-31.

Wang R H, Liu C L, Fu X Y, et al. Key influential factors of afforestation success on the beaches of Dongting Lake [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27(2): 27-31. (in Chinese)

[18] 韩德波. 影响冬季杨树造林成活率因素调查 [J]. 林业科技, 2007, 32(5): 10-12.

Han D B. Study on the factors affecting the survival rate of poplar trees in winter [J]. Forestry Science & Technology, 2007, 32(5): 10-12. (in Chinese)

[19] 王亚涛. 造林保存率浅析 [J]. 林业科技情报, 2009, 41(2): 1.

Wang Y T. Analysis of plantation survival rate [J]. Forestry Science and Technology Information, 2009, 41(2): 1. (in Chinese)

[20] 叶林, 张佰顺, 王清君, 等. 毛赤杨人工林营造技术 [J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(2): 93-94.

Ye L, Zhang B S, Wang Q J, et al. Afforestation technique of *Alnus sibirica* plantations [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(2): 93-94. (in Chinese)

[21] 杨曾奖, 徐大平, 陈文平, 等. 华南地区桉树/相思混交种植的林木生长效应 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2339-2344.

Yang Z J, Xu D P, Chen W P, et al. Growth effect of eucalyptus-acacia mixed plantation in South China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2339-2344. (in Chinese)

[22] 周世强, 黄金燕. 冷箭竹更新幼龄无性系种群结构的研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1998, 17(1): 31-36.

Zhou S Q, Huang J Y. A study on the clonal population structure of young *Bashania fangiana* after natural regeneration [J]. Journal of Bamboo Research, 1998, 17(1): 31-36. (in Chinese)

[23] Nault A, Gagnon D. Ramet demography of *Allium tricoccum*, a spring ephemeral, perennial herb [J]. Journal of Ecology, 1993, 81: 101-119.

[24] Bell A D. Dynamic morphology: A contribution to plant population ecology [M]//Dirzo R, Sarukhan J. Perspectives in Plant population ecology. Sunderland, Massachusetts, USA: Sinauer, 1984: 48-65.

[25] Sutherland W J, Stallman R A. The foraging tactics of plants [J]. Oikos, 1988, 52: 239-244.