

刘雪莲, 张洺加, 孙祎晗, 等. 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株的生物量分配与生长分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2025, 56(1): 40-47.

LIU X L, ZHANG M J, SUN Y H, et al. Biomass allocation and growth analysis on the ramets of *Epimedium koreanum* nakai populations in different cultivation habitats[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2025, 56(1): 40-47.

## 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株的生物量分配与生长分析

刘雪莲<sup>1a,2</sup>, 张洺加<sup>1a</sup>, 孙祎晗<sup>1a</sup>, 何文兵<sup>1b</sup>, 石云龙<sup>1a</sup>, 赵颜<sup>3</sup>

(1. 通化师范学院 a. 生命科学学院, b. 食品科学与工程学院, 吉林 通化 134002; 2. 吉林省长白山生物种质资源评价及应用重点实验室, 吉林 通化 134002; 3. 通化鸿蒙农业种植有限公司, 吉林 通化 134002)

**摘要:** [目的] 为探究朝鲜淫羊藿在种群构件水平上的生长特性, 揭示生境对种群构件生物量结构特征、分配特征、生长规律的影响。[方法] 选择平欧榛林、杨树林和松树林 3 个不同栽培生境, 测定和分析朝鲜淫羊藿果实成熟期各构件的生物量特征、生物量分配、构件生长规律。[结果] 平欧榛林生境朝鲜淫羊藿茎生物量(0.486 8 g)、叶生物量为(1.081 4 g)、果生物量(0.250 5 g)、分株总生物量(1.821 4 g)均显著高于杨树林、松树林生境。茎生物量分配以杨树林生境最高为 32.64%, 松树林次之, 二者显著高于平欧榛林; 叶生物量分配平欧榛林最高(59.41%), 但 3 种生境差异不显著; 果生物量分配平欧榛林(13.77%)最高、杨树林次之, 松树林分配最小为 9.18%。松树林生境朝鲜淫羊藿种群数量特征表型可塑性大, 平欧榛林各构件生物量分配相对稳定, 生境对叶、果、分株总生物量及叶生物量分配影响大。不同生境朝鲜淫羊藿各构件生物量及分配存在差异, 且普遍存在显著的正相关关系。3 种栽培生境下朝鲜淫羊藿种群各构件生物量与分株株高、分株总生物量间普遍存在线性同速生长规律, 仅平欧榛林下茎生物量与株高、叶生物量与分株总生物量间呈幂函数异速生长关系。[结论] 朝鲜淫羊藿分株在生长与物质分配上具有较大的生态可塑性和可调节性。

**关键词:** 朝鲜淫羊藿; 种群构件; 分株; 生物量分配

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1000-1700(2025)01-0040-08

### Biomass Allocation and Growth Analysis on the Ramets of *Epimedium koreanum* Nakai Populations in Different Cultivation Habitats

LIU Xuelian<sup>1a,2</sup>, ZHANG Mingjia<sup>1a</sup>, SUN Yihan<sup>1a</sup>, HE Wenbing<sup>1b</sup>, SHI Yunlong<sup>1a</sup>, ZHAO Yan<sup>3</sup>

(1.a.College of Life Science, b.College of Food Science and Engineering, Tonghua Normal University, Tonghua Jilin 134002, China; 2.Key Laboratory of Evaluation and Application of Changbai Mountain Biological Germplasm Resources of Jilin Province, Tonghua Jinlin 134002, China; 3.Tonghua Hongmeng Agricultural Planting Co., Ltd, Tonghua Jilin 134002, China)

**Abstract:** [Objective] In order to investigate the growth characteristics and the influence of habitat on the biomass structure, allocation characteristics, and growth patterns of population components of *Epimedium koreanum*. [Methods] This study selected three cultivation habitats (hazelnut forest, poplar forest and pine forest) and the biomass characteristics, biomass allocation, and growth patterns of each component of *E. koreanum* fruit during its maturity period were measured and analyzed. [Results] The results showed that the stem biomass (0.486 8 g), leaf biomass (1.081 4 g), fruit biomass (0.250 5 g), and total biomass (1.821 4 g) of *E. koreanum* in the hazelnut forest habitat were significantly higher than those in the poplar and pine habitats. The distribution of stem biomass was highest in the poplar forest habitat at 32.64%, followed by the pine forest, both of which were significantly higher than those in the hazelnut forest;

收稿日期: 2024-05-27 修回日期: 2024-08-02

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20230204027YY)

第一作者: 刘雪莲(1978-), 女, 博士, 教授, 从事植物种群生态学、植物资源多样性保护与利用研究, E-mail: liuxuelian1023@163.com

The distribution of leaf biomass in the hazelnut forest was the highest (59.41%), but there was no significant difference among the three habitats; The allocation of fruit biomass was highest in the hazelnut forest(13.77%), followed by the poplar forest, and lowest in the pine forest (9.18%).The phenotypic plasticity in population quantity characteristics of *E. koreanum* in the pine forest habitat were higher, and the biomass distribution of each module in the hazelnut forest was relatively stable. Habitats had a great influence on the total biomass and leaf biomass allocation of leaves, fruits and ramets. There was a significant positive correlation between the biomass of each module and the total biomass of ramets. There was a relatively consistent linear isokinetic growth pattern in ramet height, ramet biomass and relative growth. Only the relationship between stem biomass and ramet height, leaf biomass and total ramet biomass in Hazelnut forest showed a power function allometric growth relationship. **[Conclusion]**The ramets of *E. koreanum* had great ecological plasticity and adjustability in growth and material distribution.

**Key words:** *Epimedium koreanum*; module; ramet; biomass allocation

生物量分配在一定水平上反映特定环境下植物的选择适应,可揭示植物种群与环境资源之间的关系,是生态学研究的重要指标之一<sup>[1-2]</sup>。自 1977 年 HARPER 提出的植物种群构件理论以来<sup>[3]</sup>,构件水平植物种群生物量分配的结构特征与动态逐渐成为植物种群生态研究的焦点。构件植物的生物量分配是指植物一年所同化的物质或固定的能量中用于各功能构件的比例。植物生物量分配格局及其调节生物量分配策略不但受植物本身遗传特性的影响<sup>[4-5]</sup>,也受土壤水分、光照强度、有机物等环境因子及个体大小的影响<sup>[5-8]</sup>。因此,在研究植物种群生物量分配特征中,除了要关注个体层面构件生物量的分配关系,尤其是繁殖构件生物量分配与支持构件、光合构件等的分配关系,更要重点关注不同功能构件生物量分配关系在异质环境间的差异性,以及适应环境变化的调节策略<sup>[9]</sup>。

朝鲜淫羊藿(*Epimedium koreanum* Nakai)是小檗科(Berberidaceae)淫羊藿属(*Epimedium*)多年生草本植物,生于海拔 300~1 300 m 的山坡阴湿肥沃地或针阔混交林下,主要分布于中国东北、朝鲜、日本、俄罗斯(远东地区)<sup>[10]</sup>。以地上部分入药,具有温肾壮阳、强筋骨、祛风寒、抗氧化、抗病毒、降血糖等功效<sup>[11-16]</sup>,是重要的药用植物资源。朝鲜淫羊藿有性更新能力较弱,结实植株不足 9%,具有长根茎,是典型的克隆植物,主要靠根茎进行无性繁殖,形成无性系种群<sup>[17]</sup>。有关朝鲜淫羊藿的光合特征<sup>[18]</sup>、药用成分分析<sup>[19-21]</sup>、繁育栽培<sup>[22]</sup>、无性系种群更新<sup>[10,23-24]</sup>、生长格局和年龄结构<sup>[18]</sup>、内生真菌<sup>[25]</sup>等诸多方面国内外已有较多的研究,但朝鲜淫羊藿种群分株的生长与生物量分配对环境变化的响应,迄今尚无系统报道。本研究根据实地调查,对平欧榛林、杨树林、松树林人工栽培的朝鲜淫羊藿无性系种群分株的生长与生物量分配进行了比较分析,以揭示朝鲜淫羊藿种群构件生长对环境变化的响应及其调节策略,为朝鲜淫羊藿的可持续利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

采样地区位于吉林省通化市二道江区鸭园镇向阳村。通化市(东经 125° 10' ~ 126° 44', 北纬 40° 52' ~ 43° 03')位于吉林省东南部长白山区,北温带大陆性季风气候,年平均气温 5.5~6.0 °C,无霜期 140~171 d,年降水量 893~1 083.8 mm,主要集中在 7~8 月,年日照时数 2 200 h<sup>[26-27]</sup>。在鸭园镇向阳村选择平欧榛林、杨树林和松树林 3 种朝鲜淫羊藿栽培生境作为研究样地,样地环境条件如表 1,3 种生境种植方式均为根茎沟栽,初始行距 40 cm,每行根茎依次排开、首尾相连,栽培 3 年后进行调查,此时样地朝鲜淫羊藿由于根茎的生长行距缩小至 20~30 cm。

### 1.2 研究方法

2023 年 6 月于朝鲜淫羊藿果实成熟期,在平欧榛林、杨树林、松树林 3 种人工栽培生境分别随机选取 30 株无病虫害且结实的生殖分株,用剪刀齐地面剪下,编号后带回实验室测定株高,将每一分株的茎、叶、果实分别剪下用报纸包好放于大信封中,用电热鼓风机干燥箱(80 °C)烘至恒重后分别称重(天平精度 0.000 1 g),记录各构件生物量并计算分株总生物量、各构件生物量分配(构件生物量占总生物量的百分比)<sup>[26]</sup>。土壤有机碳、土壤全氮采用 TOC 分析仪测定;土壤全磷采用碱溶-钼锑抗比色法测定<sup>[28]</sup>;土壤电导率和 pH 值采用电位法测定<sup>[28]</sup>。

表1 研究样地生境特征  
Table 1 Habitat characteristics of the studied sites

环境因子 Environmental factors	栽培生境 Cultivation habitat		
	平欧榛林 Hazelnut forest	杨树林 Poplar forest	松树林 Pine forest
经度 Longitude	126° 08' 31.848"	126° 09' 4.284"	126° 08' 54.06"
纬度 Latitude	41° 45' 01.836"	41° 45' 38.7"	41° 45' 37.656"
海拔 Altitudes/m	526.85	426.18	459.92
郁闭度 Crown density /%	60	70	80
照度 Light illumination /lx	3 346	1 886	1 727
土壤湿度 Soil humidity /%	25.87	41.2	33.67
土壤容重 Soil bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.56	0.88	1.154
土壤有机质 Soil organic matter/(g·kg <sup>-1</sup> )	102.09	71.15	47.03
土壤全氮 TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	6.79	4.31	3.17
土壤全磷 TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.11	0.87	0.94
土壤 pH	6.25	6.90	6.34
土壤电导率 Soil conductivity/(us·cm <sup>-1</sup> )	64.70	85.23	131.47

### 1.3 数据处理

使用 SPSS 25.0 软件 Pearson 相关分析方法进行分株构件生物量间及与株高、分株总生物量间的相关性,对所有定量关系进行直线函数  $y=a+bx$ 、幂函数  $y=ax^b$ 、指数函数  $y=ae^{bx}$  分析,并以  $R^2$  值最大的为最佳描述模型<sup>[26]</sup>。采用 One-way ANOVA 进行单因素方差分析,采用 LSD 法进行多重比较。利用 Graphpad Prism 7.0 软件进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株构件结构及数量特征

由表 2 可知,松树林下朝鲜淫羊藿种群植株相对较高,但与其他两个生境相比无显著差异。分株各构件生物量及全株生物量均表现为平欧榛林下种群显著高于其他两个生境 ( $P<0.05$ )。如果把变异系数作为表型可塑性的数量指标,则松树林下种群各数量指标的变异系数均高于其他两个生境,说明松树林生境朝鲜淫羊藿种群表型可塑性高。除了株高和茎生物量外,其他指标生境内变异系数均小于生境间变异系数,说明叶、果、分株总生物量的积累在生境间变异较大,生境内相对稳定。

### 2.2 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株构件的生物量分配特征

由表 3 可知,不同生境叶构件生物分配比重最大,其中又以平欧榛林最高为 59.41%,但 3 个生境间相比无显著差异。茎生物量分配中以杨树林生境最高为 32.64%,松树林次之,二者显著高于平欧榛林 ( $P<0.05$ )。果生物量分配比重最小,其中平欧榛林分配比例最高为 13.77%,松树林分配最小为 9.18%,二者差异显著 ( $P<0.05$ ),而平欧榛林和杨树林之间无显著差异。比较生境内和生境间变异系数可知,叶生物量分配生境间变异系数高于生境内,平欧榛林种群在茎、叶、果的生物量分配变异系数最小。

### 2.3 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群构件生长规律

由图 1 可知,朝鲜淫羊藿种群分株的茎构件生物量在平欧榛林下与分株高度呈幂函数异速生长关系,在杨树林和松树林下则呈线性同速生长关系。叶构件、果构件及分株总生物量在不同生境下均随株高的增加呈线性同速生长关系。从拟合参数可知,随株高的增加,叶构件、果构件生物量及分株总生物量均在平欧榛林下增重最快,松树林增重次之,而杨树林增重最慢。茎构件与株高的拟合方程的确定系数  $R^2$  为 59.96%~73.16%,叶构件在杨树林生境下确定系数最低为 11.58%,果构件在杨树林和松树林下均较低,分别为 2.09% 和 8.55%,通过拟合方程的确定系数  $R^2$  可知,尽管生境条件和各种群的分株生长有极大差异,但朝鲜淫羊藿种群分株在增高和茎构件增重上具有较稳定的生长规律,而叶构件和果构件的增重与分株增高之间生长规律不稳定。

进一步分析可知,在各栽培生境下,朝鲜淫羊藿种群分株茎和果生物量与分株总生物量间均呈线性函数同速生长关系(图 2),平欧榛林下叶构件生物量与分株生物量间呈幂函数异速生长关系,而在杨树林、松树林生境下叶构件生物量随分株生物量的增加而呈线性函数同速增长。根据拟合的回归方程参数可知,随着分株生物量的增加,分株茎生物量的增长速率表现为平欧榛生境 ( $b=3.432\ 3$ )>松树林生境 ( $b=3.065$ )>杨树林生境 ( $b=2.705\ 8$ ),分株叶生物量的增长速率为松树林生境 ( $b=1.523$ )>平欧榛生境 ( $b=0.923\ 8$ )>杨树林生境 ( $b=$

表2 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株的数量特征

Table 2 Quantitative characters among ramets in *E. koreanum* populations under different cultivation habitat conditions

数量性状 Characters	生境 Habitat	样本数 Num	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数/% CV
株高/cm Height of ramet	平欧榛林 Hazelnut forest	31	41.00	23.00	32.51 <sup>a</sup>	4.22	13.00
	杨树林 Poplar forest	27	45.00	23.00	32.93 <sup>a</sup>	5.25	15.93
	松树林 Pine forest	31	48.70	25.50	34.66 <sup>a</sup>	6.01	17.33
	平均 Mean	3	48.70	23.00	33.39	5.24	15.68
茎生物量/g Stem biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	0.849 1	0.171 2	0.486 8 <sup>a</sup>	0.17	35.25
	杨树林 Poplar forest	27	0.582 9	0.182 8	0.323 2 <sup>b</sup>	0.11	34.10
	松树林 Pine forest	31	0.681 1	0.143 9	0.368 1 <sup>b</sup>	0.16	42.12
	平均 Mean	3	0.849 1	0.143 9	0.395 8	0.16	41.22
叶生物量/g Leaves biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	1.647 4	0.457 4	1.081 4 <sup>a</sup>	0.42	38.89
	杨树林 Poplar forest	27	1.061 8	0.087 3	0.586 6 <sup>b</sup>	0.25	42.79
	松树林 Pine forest	31	1.517 8	0.139 5	0.722 2 <sup>b</sup>	0.32	45.00
	平均 Mean	3	1.647 4	0.087 3	0.807 1	0.38	47.19
果生物量/g Seed biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	0.634 1	0.067 3	0.250 5 <sup>a</sup>	0.12	46.95
	杨树林 Poplar forest	27	0.181 0	0.045 7	0.108 9 <sup>b</sup>	0.03	32.03
	松树林 Pine forest	31	0.224 1	0.032 9	0.108 2 <sup>b</sup>	0.06	51.98
	平均 Mean	3	0.634 1	0.032 9	0.158 0	0.10	65.72
分株总生物量/g Total biomass of the ramet	平欧榛林 Hazelnut forest	31	3.130 6	0.801 4	1.821 4 <sup>a</sup>	0.61	33.62
	杨树林 Poplar forest	27	1.720 9	0.349 1	1.018 7 <sup>b</sup>	0.32	34.01
	松树林 Pine forest	31	2.399 9	0.363 4	1.198 5 <sup>b</sup>	0.50	41.99
	平均 Mean	3	3.130 0	0.349 1	1.361 0	0.61	44.66

注:表中不同小写字母表示栽培生境间差异达显著水平( $p < 0.05$ ),下同。

Note: Different small letters mean significant differences between habitats at the 0.05 level, the same below.

表3 不同栽培生境朝鲜淫羊藿各功能构件生物量分配特征

Table 3 Biomass allocations of ramets in *E. koreanum* populations under different cultivation habitat conditions

数量性状 Characters	生境 Habitat	样本数 Num	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数/% CV
茎生物量分配/% Allocation of stem biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	37.27	21.36	26.83 <sup>b</sup>	3.24	12.08
	杨树林 Poplar forest	27	52.71	24.02	32.64 <sup>a</sup>	7.00	21.45
	松树林 Pine forest	31	39.60	25.18	31.97 <sup>a</sup>	3.84	12.02
	平均 Mean	3	52.71	16.24	30.12	5.78	19.20
叶生物量分配/% Allocation of leaf biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	66.76	47.97	59.41 <sup>a</sup>	4.72	7.95
	杨树林 Poplar forest	27	68.63	25.01	55.67 <sup>a</sup>	10.02	18.00
	松树林 Pine forest	31	67.13	38.39	59.36 <sup>a</sup>	6.38	10.74
	平均 Mean	3	52.71	16.24	30.12	5.78	19.20
果生物量分配/% Allocation of seed biomass	平欧榛林 Hazelnut forest	31	23.65	6.87	13.77 <sup>a</sup>	4.28	31.10
	杨树林 Poplar forest	27	22.62	4.26	11.68 <sup>ab</sup>	4.87	41.72
	松树林 Pine forest	31	22.01	4.23	9.18 <sup>b</sup>	4.50	48.98
	平均 Mean	3	23.65	4.23	11.62	4.85	41.72

0.133 9),分株果生物量的增长速率为松树林生境( $b=5.914 7$ )>平欧榛生境( $b=3.948 8$ )>杨树林生境( $b=2.334 5$ )。分析拟合回归方程的确定系数 $R^2$ 可知,茎、叶构件生物量与分株生物量拟合方程的确定系数 $R^2$ 值为74.06%~96.73%,说明受植株本身遗传特性影响大;而果构件生物量与分株生物量的拟合方程的确定系数 $R^2$ 变化幅度较大,为5.52%~57.59%,说明受环境影响较大。因此,综合分析可知朝鲜淫羊藿种群分株在茎和叶的相对生长中具有更稳定的生长规律。

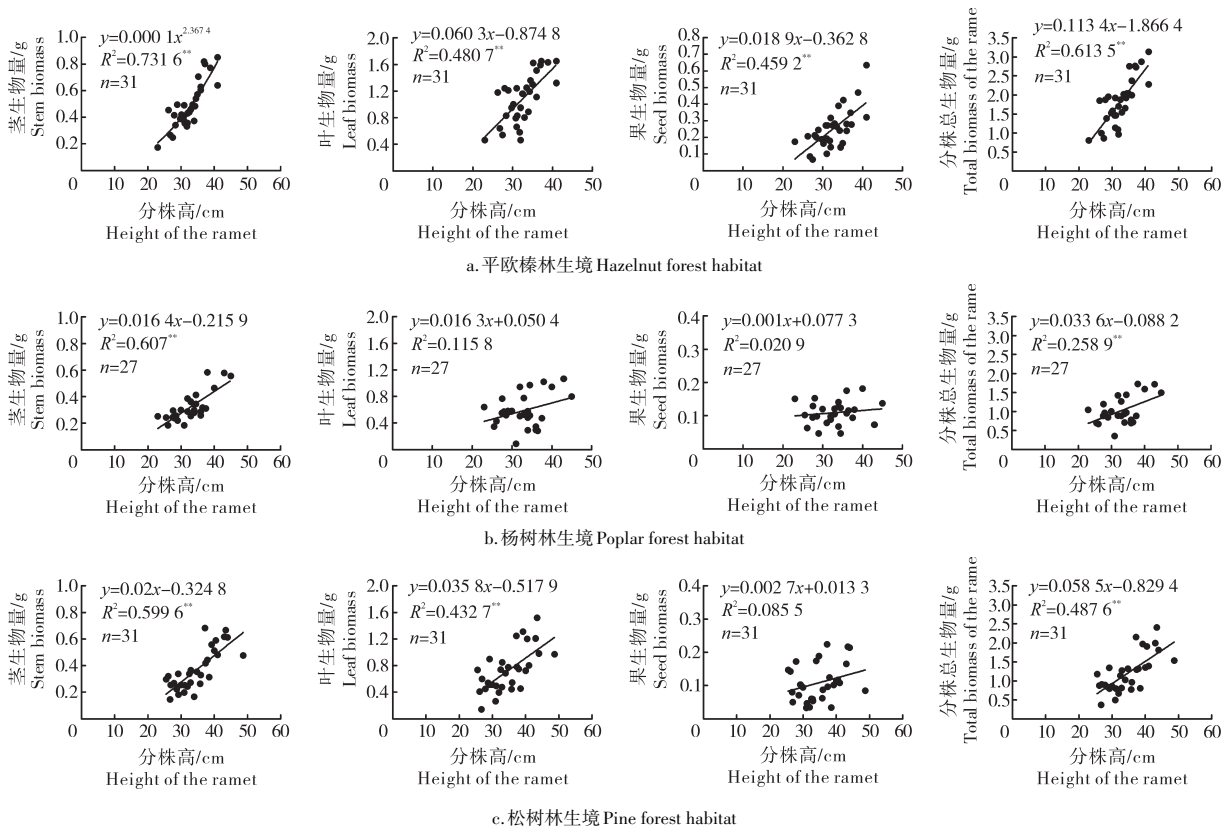


图1 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株的生物量与分株高度的观察值及拟合曲线

Figure 1 Regulations between biomass of modules and height of *E. koreanum* populations under different cultivation habitat conditions

### 3 讨论与结论

植物种群构件的生长情况和温度、光照、水分等环境因素密切相关,不同生境下构件生物量大小及生物量分配的变化趋势可以反映朝鲜淫羊藿对栽培微环境的适应与调节。杨利民等<sup>[10]</sup>研究发现朝鲜淫羊藿在郁闭度为50%的蒙古栎林中生长发育好,而在郁闭度较高的胡桃楸林和次生杂木林下种群生物量小、植株稀疏,说明光照差不利于朝鲜淫羊藿的生长发育。张永刚等<sup>[18]</sup>研究发现朝鲜淫羊藿种群各功能构件生物量及总生物量均表现为林缘>林窗>林下,各生境间差异极显著。江维克等<sup>[29]</sup>研究发现粗毛淫羊藿在水、肥、光照条件良好的林缘旷地生长趋势良好,在群落盖度小、光照条件好的灌木草丛生境下,地上部分生物量较高。刘振成<sup>[30]</sup>研究发现光照对朝鲜淫羊藿生长发育具有重要影响,次生杂木林透光性好,朝鲜淫羊藿生长状况优于蒙古栎林,松树林透光性差,朝鲜淫羊藿生长最差。本试验条件下,平欧榛林生境内光照强度高、郁闭度适中、土壤肥力高,有利于朝鲜淫羊藿生长,平欧榛林生境分株各构件及总生物量累积最多。

植物光合作用积累的干物质在不同构件中分配并不是固定的,常因光照、温度、水分、营养及生物等环境条件的变化而存在一定的差异<sup>[31]</sup>。张永刚等<sup>[18]</sup>研究发现朝鲜淫羊藿有性生殖能力受环境郁闭度和光照强度的影响较大,在荫蔽的林下朝鲜淫羊藿通过调节生物量分配格局,将有限的能量资源优先投入到茎、叶营养构件的生长用于提高生存竞争能力,而投入到繁殖构件花和种子中的生物量则较少,因此,在郁闭度大的林下,有性生殖对朝鲜淫羊藿种群更新贡献率小,而根茎无性繁殖贡献率大。本研究所得结论与上述观点相似,在郁闭度大的松树林下朝鲜淫羊藿种群果生物量分配比例最低,而茎、叶生物量分配比例相对较高,体现了朝鲜淫羊藿对光环境的适应和调节策略。

克隆植物构件生长在不同生境中的可塑性变化,可揭示植物对异质生境的生态适应对策<sup>[3,32]</sup>。本试验对比不同栽培生境下朝鲜淫羊藿种群各构件生物量及分配的变异系数可知,生境对叶、果、分株总生物量的积累及叶生物量分配影响大,对株高和茎生物量、茎分配、果分配影响较小。松树林生境朝鲜淫羊藿种群数量特征表型可塑

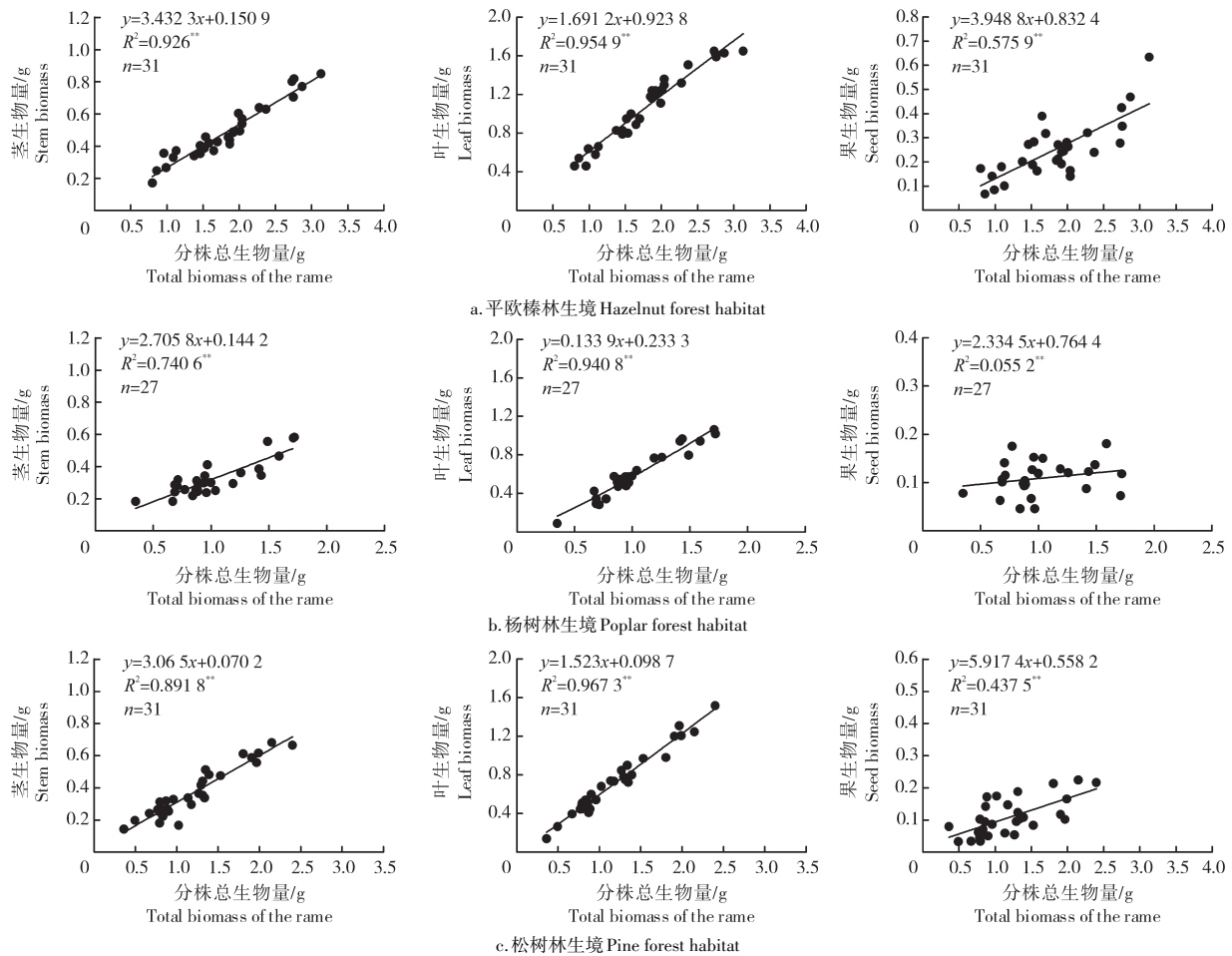


图2 不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株各构件生物量与分株总生物量的观察值及拟合曲线

Figure 2 Regulations between biomass of modules and total biomass of *E. koreanum* populations under different cultivation habitat conditions

性普遍高于其他两个生境,平欧榛林的各构件生物量分配可塑性小。

植物种群构件间的生长多具有显著的相关性和异速生长关系,体现了构件之间的协同生长策略<sup>[9]</sup>。植物异速生长规律是植物内在的本质特征,具有相对稳定性,同时可对环境压力产生可塑性响应。植物构件的形态生长和生物量分配格局受海拔、坡度、水分、光照等环境因素的影响,会根据环境的变化而变化,通过调节内部资源的分配,改变构件间异速生长关系来应对环境压力,增强其生态响应性。本试验条件下不同生境朝鲜淫羊藿各构件生物量及分配存在差异,且普遍存在显著的正相关关系。平欧榛林下朝鲜淫羊藿种群茎生物量与株高、叶生物量与分株总生物量间呈幂函数异速生长关系,而其他栽培生境下朝鲜淫羊藿种群分株高度和分株总生物量间,及茎、叶、果构件生物量与分株总生物量间具有线性函数同速生长关系。可根据拟合的回归方程确定系数 $R^2$ 值的大小,估计遗传因子的影响程度,根据 $1-R^2$ 值的大小来估计随机环境影响程度。本试验条件下,3种不同栽培生境朝鲜淫羊藿种群分株茎生物量与分株高度的生长关系中,遗传因子影响占比高于50%,最高可达73.16%,随机环境影响比例为26.84%~40.04%。而叶、果生物量与分株高度的相关关系中,遗传因子影响占比为2.09%~48.07%,随机环境影响占比为51.93%~97.91%;不同生境下茎、叶生物量与分株生物量的协同生长关系中,遗传因子影响占比为74.06%~96.73%,而果构件与分株生物量的协同生长中,遗传因子影响占比为5.52%~57.59%。说明朝鲜淫羊藿种群分株在增高和茎增重受遗传因素影响更大,而叶和果的增重与分株增高之间受环境因素影响更大,种群茎、叶生物量的大小依赖受遗传因素影响较大,而果实生物量的大小依赖受环境因素影响较大。不同栽培生境下种群间和种群内构件生长间相互关系的拟合方程参数值的差异,可揭示朝鲜淫羊藿分株在生长与物质分配上具有较大的生态可塑性和可调节性。因此,在朝鲜淫羊藿人工栽培时,可通过剪枝、遮阴、施肥等措施适当调节栽培林地的光照和土壤肥力,以满足种子生产或药材生产的不同需求。

## 参考文献:

- [1] 艾明君,李恒艳,孙嘉蔓,等.不同生境下二月兰种群构件的生物量分配特性[J].长春师范大学学报,2021,40(10):91-96.  
AI M J,LI H Y,SUN J M,et al.Module biomass allocation of *Orychophragmus violaceus* population in different habitats[J]. Journal of Changchun Normal University,2021,40(10):91-96.
- [2] 左晨,王梦亭,王礼欣,等.不同生境大托叶猪屎豆构件生物量分配的权衡特征[J].草地学报,2020,28(2):454-460.  
ZUO C,WANG M T,WANG L X,et al.Trade-offs in modular biomass allocation of *Crotalaria spectabilis* in different habitats[J]. Acta Agrestia Sinica,2020,28(2):454-460.
- [3] 冯图,黎云祥,钱宝英,等.淫羊藿无性系种群构件生物量分配格局[J].西华师范大学学报(自然科学版),2006,27(1):42-47.  
FENG T,LI Y X,QIAN B Y,et al.Biomass allocation pattern of modules in ramet population of *Epimedium brevicornum*[J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences),2006,27(1):42-47.
- [4] 崔猛,冯媛媛,王新宇,等.不同放牧方式对松嫩草地地下、地上生物量及其分配比例的影响[J].东北师范大学学报(自然科学版),2021,53(4):145-150.  
CUI M,FENG Y Y,WANG X Y,et al.Effects of different grazing regimes on below/aboveground biomass and allocation in Songnen Plain,China[J].Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition),2021,53(4):145-150.
- [5] 贾风勤,张娜,纳森巴特.不同生境角果毛茛种群生物量分配与生长分析[J].草业科学,2017,34(6):1278-1285.  
JIA F Q,ZHANG N,NASENBATE.Study on biomass allocation and growth in *Ceratocephalus testiculatus* population of Ta-keermohuer desert[J].Pratacultural Science,2017,34(6):1278-1285.
- [6] 杨立山,李邵宇,郑佳华,等.典型草原区不同年限弃耕地植物群落生物量权衡及其影响因素[J].中国草地学报,2024,46(4):33-42.  
YANG L S,LI S Y,ZHENG J H,et al.Plant community biomass trade-off and its influencing factors for different years of abandoned cropland in a typical steppe[J].Chinese Journal of Grassland,2024,46(4):33-42.
- [7] 熊旭东,刘爱忠,鲁赛,等.不同遮阳率对蒜头果幼苗生长及生物量分配的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2024,44(2):36-41.  
XIONG X D,LIU A Z,LU S,et al.Response of *Malania oleifera* seedling growth and biomass allocation to different light intensities[J].Journal of Southwest Forestry University(Natural Sciences),2024,44(2):36-41.
- [8] 邱东,吴甘霖,周晓兵,等.短命植物小车前构件属性特征及其相互关系[J].草业科学,2017,34(4):744-752.  
QIU D,WU G L,ZHOU X B,et al.Characteristics of modular trait and interrelationships of the ephemeral species *Plantago minuta*[J].Pratacultural Science,2017,34(4):744-752.
- [9] 常怡然,史佳梅,许冬梅,等.荒漠草原不同自然种群蒙古冰草生物量和养分权衡特征[J].草业学报,2024,33(11):186-197  
CHANG Y R,SHI J M,XU D M,et al.Trade-off relationships between biomass and nutrient allocation in different natural populations of *Agropyron mongolicum* on the desert steppe[J].Acta Prataculturae Sinica,2024,33(11):186-197.
- [10] 杨利民,韩梅,吴劲松,等.朝鲜淫羊藿(*Epimedium koreanum* Nakai)不同生境种群生物量与更新潜力[J].生态学报,2007,27(6):2251-2258.  
YANG L M,HAN M,WU J S,et al.Population biomass and renewal potential of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats Linjiang Northeast China[J].Acta Ecologica Sinica,2007,27(6):2251-2258.
- [11] 邢中夫,于慧,万新焕.淫羊藿多糖提取、分离纯化、结构特征和生物活性研究进展[J].药学研究,2023,42(10):830-836.  
XING Z F,YU H,WAN X H.Research progress in extraction, purification, structural characteristics and biological activities of *Epimedium polysaccharides*[J].Journal of Pharmaceutical Research,2023,42(10):830-836.
- [12] 乔春雷.淫羊藿多糖和糖蛋白的提取纯化、性质表征及其抗氧化、降血糖活性研究[D].西安:陕西师范大学,2018.  
QIAO C L.Study on extraction, purification, characterization, antioxidation activity and hypoglycemic activity of the active ingredient of *Epimedium brevicornu*[D].Xian:Shanxi Normal University,2018.
- [13] 卢宇,胡元亮,黄小燕,等.淫羊藿多糖的硫酸化修饰及其对IBDV感染细胞的影响[J].畜牧兽医学报,2008(2):251-256.  
LU Y,HU Y L,HUANG X Y,et al.Sulfated modification of *Epimedium polysaccharide* and effects of the modifiers on cellular infectivity of IBDV[J].Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica,2008(2):251-256.
- [14] 李晓兵,丁云录,李驰坤,等.淫羊藿多糖的提取分离及体内抗氧化活性研究[J].长春中医药大学学报,2020,36(5):908-912.  
LI X B,DING Y L,LI C K,et al.Extraction and separation of *Epimedium polysaccharide* and its antioxidant activity *in vivo*[J]. Journal of Changchun University of Chinese Medicine,2020,36(5):908-912.
- [15] 董娜,李倩,张贵强,等.淫羊藿多糖对甲型H1N1流感病毒裂解疫苗的免疫佐剂作用[J].国际药学研究杂志,2013,40(1):63-68.  
DONG N,LI Q,ZHANG G Q,et al.Adjuvant effect of *Epimedium polysaccharide* for H1N1 influenza viruses split vaccine[J]. Journal of International Pharmaceutical Research,2013,40(1):63-68.

- [16] 杨娟. 心叶淫羊藿多糖的水酶法提取、抗氧化与抗DNA损伤活性评价及保健口服液研制[J]. 西安:陕西师范大学,2016.  
YANG J. Water enzyme extraction, antioxidant and anti DNA damage activity evaluation of polysaccharides from *Epimedium brevicornu* polysaccharides and development of oral liquid[D]. Xi'an: Shanxi Normal University, 2016.
- [17] 吴劲松, 韩忠明, 杨利民. 朝鲜淫羊藿种群无性系构型及其年龄结构的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(4): 393-406.  
WU J S, HAN Z M, YANG L M, et al. Study on clonal architecture and age structure of *Epimedium koreanum* population[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2006, 28(4): 393-406.
- [18] 张永刚, 韩梅, 韩忠明, 等. 不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征[J]. 生态学报, 2012, 32(5): 1442-1449.  
ZHANG Y G, HAN M, HAN Z M, et al. Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1442-1449.
- [19] 刘振成, 张硕, 代艾林, 等. 土壤因子对朝鲜淫羊藿有效成分的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(5): 40-44.  
LIU Z C, ZHANG S, DAI A L, et al. Effects of soil factors on effective ingredients in *Epimedium koreanum* Nakai[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(5): 40-44.
- [20] 白洋, 王英哲, 姜大成, 等. 不同产地朝鲜淫羊藿的土壤因子与药材质量相关性分析[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(1): 215-218.  
BAI Y, WANG Y Z, JIANG D C, et al. Analysis on the correlation between the quality of *Epimedium koreanum* medicinal materials and soil factors from different origins[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2022, 33(1): 215-218.
- [21] ZHANG Y, WANG D, WU F, et al. Transcriptome analysis on the quality of *Epimedium koreanum* in different soil moisture conditions at harvesting stage[J]. Genes, 2024, 15(5): 528-543.
- [22] 容路生, 王英哲, 肖井雷, 等. 朝鲜淫羊藿的繁殖技术研究进展[J]. 特种经济动植物, 2020, 23(3): 19-20.  
RONG L S, WANG Y Z, XIAO J L, et al. Research progress on reproductive technology of *Epimedium koreanum*[J]. Special Economic Animals and Plants, 2020, 23(3): 19-20.
- [23] 吴劲松. 朝鲜淫羊藿无性系种群更新机制的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006.  
WU J S. Study on regeneration mechanism of clonal population of *Epimedium koreanum*[D]. Changchun: Jilin Agriculture University, 2006.
- [24] 郑霏. 不同采收强度对朝鲜淫羊藿种群更新与生长发育的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2008.  
ZHENG F. Effect of different harvesting intensity on the population regeneration and growth of *Epimedium koreanum* population[D]. Changchun: Jilin Agriculture University, 2008.
- [25] JIAWEN C, YUAN W, XIN Z, et al. Diversity analysis of leaf endophytic fungi and rhizosphere soil fungi of Korean *Epimedium* at different growth stages[J]. Environmental microbiome, 2022, 17(1): 52-66.
- [26] 刘雪莲. 长白山早春类短命植物生物与生态特性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2016.  
LIU X L. Research on biological and ecological characteristics of spring ephemeroïd plants in Changbai Mountain, China[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2016.
- [27] 刘雪莲, 蒋明格, 朱俊义, 等. 猪牙花更新芽年生育进程及鳞茎营养物质含量的变化[J]. 沈阳农业大学学报, 2023, 54(1): 46-52.  
LIU X L, JIANG M G, ZHU J Y, et al. Study on the growth and development process of renewal bud and nutrient contents of the bulbs of *Erythronium japonicum*[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2023, 54(1): 46-52.
- [28] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 29-70.  
LU R K. Methods for Agricultural Chemical Analysis of Soil[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 29-70.
- [29] 江维克, 周涛, 邵爱娟, 等. 粗毛淫羊藿不同生境下种群构件的生物量分配分析[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(4): 420-424.  
JIANG W K, ZHOU T, SHAO A J, et al. Study on modules biomass structure of *Epimedium acuminatum* in different habitats[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011, 36(4): 420-424.
- [30] 刘振成. 生态因子对朝鲜淫羊藿生长发育及其药材质量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.  
LIU Z C. Effects of ecological factors on the growth and development of *Epimedium koreanum* Nakai and the medicinal material quality[D]. Changchun: Jilin Agriculture University, 2020.
- [31] 周兵, 闫小红, 肖宜安, 等. 不同生境下入侵植物胜红蓟种群构件生物量分配特性[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2602-2608.  
ZHOU B, YAN X H, XIAO Y A, et al. Module biomass of *Ageratum conyzoides* populations in different habitats[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2602-2608.
- [32] 陈劲松, 董鸣, 于丹, 等. 不同光照条件下聚花过路黄的克隆构型和分株种群特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1383-1388.  
CHEN J S, DONG M, YU D, et al. Clonal architecture and ramet population characteristics of *Lysimachia congestiflora* growing under different light conditions[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1383-1388.