

# 独叶草构件生长及其与环境的关系

张文辉<sup>1,2</sup> 王延平<sup>2</sup> 刘国彬<sup>2</sup>

1 (天津师范大学, 天津 300074)

2 (西北农林科技大学, 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 为探求濒危植物独叶草(*Kingdonia uniflora*)种群保护的策略,通过样地调查、室内测定和统计分析,对太白山地区独叶草种群的营养构件(根、茎、叶)的生长发育过程进行了系统的研究,并对其所处群落的生境因子进行了分析。结果表明:不同生境条件下的独叶草各营养构件的生长发育规律均可用方程  $y = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3$  表示( $y$  为构件数量特征,  $A, B$  为常数,  $x$  为个体年龄)。生长于不同群落内的独叶草种群各营养构件生长发育水平具有显著差异( $P < 0.05$ )。巴山冷杉(*Abies fargesii*)林下(海拔 2700 ~ 2900 m)的独叶草种群,其营养构件在数量和形态发育指标上最优;生长于太白红杉(*Larix potaninii* var. *chinensis*)林下(海拔 2900 ~ 3100 m)的种群次之;生长于牛皮桦(*Betula utilis*)林下(海拔 2500 ~ 2700 m)的种群较差。运用主成分分析(PCA)方法对影响独叶草种群构件结构的 9 个环境因子进行了分析,发现人为干扰、光照、气温、湿度、土壤 pH 值、土壤水分是影响独叶草生长发育最主要的因素,土壤腐殖质厚度、有机质含量和群落盖度也有一定影响。独叶草种群以无性繁殖为主,生存环境特殊,应以就地保护为主,对其赖以生存的牛皮桦、巴山冷杉和太白红杉群落应重点保护,减少人为干扰,不提倡引种栽培或以其他方式进行迁地保护。

**关键词:** 根茎叶构件, 生长发育, 主成分分析, 太白山

中图分类号: Q948.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2003)02-0132-09

## The relationship between modular growth of *Kingdonia uniflora* and the environment

ZHANG Wen-Hui<sup>1,2</sup>, WANG Yan-Ping<sup>2</sup>, LIU Guo-Bin<sup>2</sup>

1 Tianjin Normal University, Tianjin 300074

2 Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100

**Abstract:** *Kingdonia uniflora* is a perennial herb, a typical clonal plant that is an endemic and endangered plant in China. It is distributed in the middle and high mountains at altitudes of 2500 – 3900 m in Shaanxi, Gansu, Sichuan, and Yunnan Provinces. Its open dichotomously-veined leaves, as well as other primitive characters, have attracted the interest of botanist. In order to explore the conservation strategy and counter-measures to threats, the growth course of every module, including root, rhizome and leaf, of *K. uniflora* in Taibai Mountain were studied systematically, and the environmental factors that influence populations were analyzed. The growth patterns of modules of different *K. uniflora* populations had a similar tendency, which could be expressed by the equation:  $y = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3$ , where  $y$  is modular growth parameters,  $x$  is age, and  $A$  and  $B$  are constants. The modular growth parameters (root, rhizome and leaf) of *K. uniflora* populations in different communities were significantly different ( $P < 0.05$ ). The number and the architectural index of root, rhizome and leaf developmental growth of *K. uniflora* populations in *Abies fargesii* communities at altitudes of 2700 ~ 2900 m was better than that of populations in *Betula utilis* communities at altitudes of 2500 ~ 2700 m and in *Larix potaninii* var. *chinensis* communities at altitudes of 2900 ~ 3100 m. The habitat in *Abies fargesii* community was most favorable for *K. uniflora* populations, whereas the *L. potaninii* var. *chinensis* community was moderately favourable.

ble , and *Betula utilis* community was marginal. From principal component analysis ( PCA ) of the nine main environmental factors that influenced the modular growth of *K. uniflora* populations , human disturbance , climate ( illumination , air temperature and humidity ) , and soil condition ( pH and moisture ) , were shown to be the most important factors. In addition , the thickness of humus and the organic content of soil , and the coverage of the community also played important roles. Reflecting the importance of asexual propagation in the life of *K. uniflora* and the special range of dependent environmental variables , more attention should be paid on protecting and building favorable environmental conditions. Disturbance by human beings should be stopped. The habitat of communities of *Abies fargesii* , *Betula utilis* , and *L. potaninii* var. *chinensis* , where *K. uniflora* populations live should be conserved. The action of blindly transferring individuals of *K. uniflora* from the wild to the garden should not be promoted.

**Key words** : module of root , rhizome and leaf , growth and development , principal component analysis ( PCA ) , Taibai Mountain

克隆植物生态学是目前生态学领域的研究热点 ( Herbeny & Suzuki , 2002 ; Song & Dong , 2002 ; 祖元刚 , 崔继哲 , 2002 ) , 其中克隆植物生长型结构及形态参数与环境条件的关系研究吸引了不少学者的兴趣 ( Kleunen & Fischer , 2001 ; 张运春等 , 2001 ; Alpert , 1999 ; 李镇清 , 1999 ) 。克隆植物的根、茎、叶是克隆植物的资源吸收系统 ( 董鸣 , 1996 ) , 也是其扩展种群、繁衍后代的主要器官 , 对种群适应环境和生存繁衍极为重要 ( Pennings & Callaway , 2000 ) 。不同生境条件下克隆植物构件的生长动态 , 间接地反映了生存环境的质量 ( Dekroon & Hutchings , 1995 ; 刘庆 , 钟章成 , 1995 ) 。对克隆植物构件的统计分析是对植物基株研究的进一步细化 , 可由此推断植物与环境互作过程的各种细节 ( Nault & Gagnon , 1993 ) 。通过研究克隆植物构件种群的结构和生长发育规律 , 可深入探讨克隆植物种群生态适应机理 , 从而为资源保护和开发利用提供基本资料和技术参考 ( 张运春等 , 2001 ; Alpert , 1999 ) 。

独叶草 ( *Kingdonia uniflora* ) 属于典型的根、茎克隆植物 , 呈岛屿状分布于云南的德钦、四川西北部、甘肃南部以及陕西秦岭中部的中高山地区 , 海拔 2500 ~ 3900 m , 为国家 II 级保护植物 ( 狄维忠 , 于兆英 , 1987 ; 李景侠等 , 2001a ) 。迄今为止 , 对独叶草的研究大部分集中于其分布及形态解剖、细胞学、胚胎学、生物学和生态学特性等方面 ( 胡正海等 , 1964 ; 胡正海 , 李广民 , 1979 ; 胡正海 , 田兰馨 , 1985 ; 母锡金 , 1983 ; 任毅 , 胡正海 , 1996 , 1998 ; 任毅等 , 1998 ; 雷永吉等 , 2000 ; 李景侠等 , 2001a , 2001b ) , 而对于种群构件生长发育的研究还未见报道。对于以克隆生长为主的独叶草来说 , 这正是细化研究、阐明种群适

应力与生境条件关系的重要方面。

本文通过对秦岭太白山地区不同生境中的独叶草根、茎、叶构件的生长发育特性及其与环境条件之间关系的研究 , 分析不同生境条件下各构件的生长过程及其与环境条件的关系 , 目的是阐明独叶草种群各构件的生长发育规律、种群适应机理和扩展策略 , 探求独叶草生长的最适环境 , 为制定保护对策提供理论依据。

1 研究区自然概况

本次研究的独叶草种群位于秦岭中段太白山 , 107°41'23" ~ 107°51'40"E , 33°49'31" ~ 34°08'11"N 。调查区域位于海拔 2500 ~ 3200 m 之间 , 属亚寒带气候。年平均气温在 - 1℃ ~ - 2℃ 之间 , 年降水量 800 ~ 900 mm , 生长期 100 天左右。土壤以山地暗棕壤为主 , 腐殖质层深厚 , pH 值在 6.0 ~ 6.5 之间。该区域植被垂直带谱明显 , 从下向上依次为 : 以牛皮桦 ( *Betula utilis* ) 为主的桦木林带 , 以巴山冷杉 ( *Abies fargesii* ) 、太白红杉 ( *Larix potaninii* var. *chinensis* ) 为主的针叶林带 ( 李家骏 , 1989 ; 应俊生 , 1990 ) 。牛皮桦林的乔木层郁闭度 0.6 , 林下灌木总盖度 0.5 , 主要由黄蔷薇 ( *Rosa* sp. ) 、忍冬 ( *Lonicera* sp. ) 等植物组成 , 该区域受人为干扰比较强烈。巴山冷杉林的乔木层郁闭度 0.7 , 灌木层主要为金背杜鹃 ( *Rhododendron clementinae* ) , 盖度为 0.7 。太白红杉林中偶有巴山冷杉侵入 , 其乔木层郁闭度为 0.7 , 灌木层主要由头花杜鹃 ( *Rhododendron capitatum* ) , 以及忍冬、黄蔷薇等组成 , 盖度 0.6 , 该林分受人为干扰较少。独叶草主要分布于上述 3 个群落中 ( 李景侠等 , 2001b ) , 主要生境因子见表 1 。

表 1 不同独叶草种群所在群落的环境因子  
Table 1 The environmental factors in different communities with *Kingdonia uniflora*

环境因子 Environmental factor	牛皮桦群落 <i>B. utilis</i> community	巴山冷杉群落 <i>A. fargesii</i> community	太白红杉群落 <i>L. potaninii</i> var. <i>chinensis</i> community
1 气温 Temperature( ℃ )	9.9	9.3	9.1
2 湿度 Humidity( % )	52.7	54.0	54.2
3 光照 Light( Lux )	151 300	11 300	124 600
4 盖度 Coverage( % )	0.85	0.90	0.88
5 土壤腐殖质层厚度 Thickness of soil humus( cm )	10	18	20
6 土壤 pH 值 pH of soil	6.7	6.3	6.2
7 土壤水分均值 Mean moisture of soil( % )	16.55	27.58	28.58
8 土壤有机质含量 Content of organic matter in soil( % )	4.4	6.72	7.85
9 人为干扰 Human disturbance	0.2	0.1	0.1

2 研究方法

2.1 样地调查

野外调查在独叶草分布较为集中的牛皮桦林(海拔 2500 ~ 2700 m)、巴山冷杉林(海拔 2700 ~ 2900 m)、太白红杉林(海拔 2900 ~ 3100 m)中进行。样地设在各群落中独叶草分布密度较大、人为干扰相对较少的地段。在每个群落至少设置 3 块样地,每块样地为 20 m × 20 m。根据独叶草的分布情况,各样地沿对角线设定样方 3 个,样方面积 3 ~ 6 m<sup>2</sup>,共设样地 10 块,测定样方 30 个(张文辉,1998)。

2.2 构件测定与统计

一般无性繁殖的幼苗的根状茎腐烂后与母体分离,成为一个独立个体(克隆分株)。每个样方在保留足够数量的可更新个体后,将其余个体全部小心挖出,尽量保持每一个无性系分株根、茎、叶的完整性,压成标本带回室内测定构件参数。以克隆分株为测定单位,根据根状茎上的芽鳞痕来确定每株的年龄(保留在样方中的个体在野外确定年龄)。对于主根状茎(以下称主根茎)多分枝的个体,以最长的主根茎确定个体年龄;着生于主根茎上的茎定为一级分枝。独叶草根系属于不定根系,着生于根状茎上的根定为不定根的主根(以下称主根);着生于主根上的一级分枝定为不定根的侧根(以下称侧根)。在室内风干后,将每一个体标本的主根、侧根、主根茎、一级分枝、叶片等小心分离,分别计测构件数量、长度、直径、叶面积等参数。共观测统计独叶草植株 2164 株。在统计中,按群落将所测定的样地数据合并,以一年为一个龄级,统计出不同群落、

不同龄级的独叶草个体各构件的特征值。再将各群落所有个体按构件合并,得到独叶草种群(总和)的各构件特征值。用 origin 5.0 作图并拟合方程。

2.3 环境因子测定和分析

本研究选定的主要环境因子见表 1。环境因子 1 ~ 3 的测定于 2000 年 7 ~ 8 月进行,选择晴天,分别在 3 种林下固定位置,测定 6 个日进程(7 :00,10 :00,13 :00,15 :00,18 :00 时),取其平均值。其中温度、湿度和光照测定分别利用了 DHM2 型通风干湿温度计、ZDS-10 型光照计,均在距地面 0.5 m 处测定(张文辉,1998)。环境因子 4 ~ 8 为各群落不同样地调查的平均值,其中土壤取样是在 2000 年 7 月 13 日(雨后 13 天)在不同样地同时进行,土层深度为 0 ~ 20 cm,土壤水分采用烘干法测定;土壤有机质采用重铬酸钾法测定;土壤 pH 值采用 ZD-2 型电位滴定计测定。环境因子 9 为设定值:人为干扰最大为 1,最小为 0,各群落干扰程度是根据调查结果人为赋值(张文辉,1998)。主成分分析应用 SPSS 10.0 for windows 软件完成。

3 结果与分析

3.1 独叶草种群(总和)根、茎、叶构件生长发育动态

独叶草属多年生草本植物,由多年生根状茎和着生于根状茎节部的不定根、叶和芽构成一个个体。一般情况下,根状茎每年延伸一节,节间长 5 ~ 20 cm,在节间形成芽和不定根,并生长出一个叶片。节间侧芽萌发后形成分枝,分枝角度 70° ~ 90°,构型为合轴分枝所形成的散布状游击型。根状茎与母

体断开后,可形成无性系分株。无性系分株个体的最大年龄可达 15 年(李景侠,2001a)。随年龄增长,无性系分株的根系数量、分枝数量、叶片数量等逐年增加,到 13 龄左右时开始下降;而根状茎直径变化不大,长度累积增长,在 13 龄以后增加速度减慢。

表 2 是对独叶草种群(总和)各构件随年龄生长的参数统计表。种群(总和)各构件生长发育包含不同生境条件的基本信息,其生长发育规律体现着各种群的基本特点。经过对独叶草各构件的生长发育参数与年龄之间的关系拟合方程(表 3),可以看出,独叶草种群(总和)各构件参数与年龄的关系均可以用方程  $y = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3$  表示(式中  $y$

为构件参数,  $x$  为种群年龄,  $A, B_1, B_2, B_3$  是方程中的常数),通过相关系数检验和  $\chi^2$  检验,该方程适合性较好,均达到极显著水平  $r > r_{0.01}(15) = 0.6055$ ,  $\chi^2 < \chi^2_{0.01}(15) = 28.259$ ,  $P < 0.01$ (表 3)。这说明不同的独叶草种群各构件尽管功能各异,但生长发育过程协调,生长发育节律基本一致。13 龄以前各构件参数不断增加,说明其种群生活力旺盛、扩展能力较强;此后生长缓慢,可能与个体衰老、种群及构件的扩展能力减弱有关。

3.2 不同群落中独叶草种群构件生长动态的比较

3.2.1 根构件

独叶草的不定根着生于根状茎的节部,其数量和长度受生境的土壤条件影响较大。图 1 显示了独

表 2 独叶草种群各构件生长参数统计表  
Table 2 Modular growth parameters of *Kingdonia uniflora* population

年龄 Age /y	主根 Main root		侧根 Lateral root		主根茎 Main rhizome		分枝 Branch of rhizome		叶 Leaf	
	数量 Number ( ind. )	长度 Length ( cm )	数量 Number ( ind. )	长度 Length ( cm )	长度 Length ( cm )	节数 No. of nodes ( ind. )	长度 Length ( cm )	数量 Number ( ind. )	数量 Number ( ind. )	面积 Area ( cm <sup>2</sup> )
1	2.914 ± 0.1	2.415 ± 0.1	2.228 ± 0.1	1.224 ± 0.1	4.690 ± 0.2	4.114 ± 0.2	2.433 ± 0.1	0.086 ± 0.01	1.085 ± 0.1	4.014 ± 0.2
2	6.195 ± 0.3	3.003 ± 0.2	4.848 ± 0.2	1.178 ± 0.1	10.71 ± 0.5	9.424 ± 0.5	4.376 ± 0.2	0.101 ± 0.01	0.919 ± 0.1	5.786 ± 0.3
3	8.932 ± 0.4	2.955 ± 0.1	7.801 ± 0.4	1.398 ± 0.1	15.28 ± 0.8	12.87 ± 0.6	4.379 ± 0.2	0.294 ± 0.02	1.316 ± 0.1	7.435 ± 0.4
4	12.40 ± 0.6	3.053 ± 0.2	11.60 ± 0.2	1.375 ± 0.1	21.60 ± 1.1	17.74 ± 0.9	4.559 ± 0.2	0.566 ± 0.03	1.446 ± 0.1	8.926 ± 0.4
5	15.46 ± 0.8	3.098 ± 0.2	15.21 ± 0.8	1.433 ± 0.1	26.20 ± 1.3	21.41 ± 1.1	5.366 ± 0.3	0.721 ± 0.04	1.496 ± 0.1	10.06 ± 0.5
6	17.13 ± 0.9	5.383 ± 0.3	20.03 ± 1.0	1.537 ± 0.1	31.08 ± 2.1	22.46 ± 1.1	6.281 ± 0.3	0.768 ± 0.04	1.492 ± 0.1	9.467 ± 0.5
7	22.32 ± 1.1	3.249 ± 0.2	25.16 ± 1.3	1.797 ± 0.1	34.63 ± 1.7	27.79 ± 1.4	5.904 ± 0.3	1.172 ± 0.06	1.688 ± 0.1	11.58 ± 0.6
8	25.67 ± 1.2	2.431 ± 0.1	26.38 ± 1.3	1.348 ± 0.1	42.94 ± 2.1	33.57 ± 1.7	5.811 ± 0.4	1.261 ± 0.06	1.866 ± 0.1	11.85 ± 0.6
9	29.82 ± 1.5	2.979 ± 0.1	34.82 ± 1.7	1.733 ± 0.1	48.68 ± 2.4	35.76 ± 1.8	7.372 ± 0.4	1.405 ± 0.07	1.838 ± 0.1	13.27 ± 0.7
10	35.32 ± 1.8	3.626 ± 0.2	39.96 ± 2.0	1.678 ± 0.1	59.32 ± 3.0	41.25 ± 2.1	8.736 ± 0.4	1.893 ± 0.09	2.250 ± 0.1	15.77 ± 0.8
11	43.48 ± 2.2	2.864 ± 0.1	42.48 ± 2.1	1.436 ± 0.1	69.80 ± 3.5	52.26 ± 2.6	7.205 ± 0.4	1.696 ± 0.09	2.261 ± 0.1	18.08 ± 0.9
12	44.75 ± 2.2	2.827 ± 0.1	63.88 ± 3.2	1.368 ± 0.1	53.85 ± 2.7	46.50 ± 2.3	10.25 ± 0.5	2.500 ± 0.13	2.625 ± 0.1	19.58 ± 0.8
13	55.75 ± 3.8	1.969 ± 0.1	63.25 ± 3.2	1.009 ± 0.1	82.95 ± 4.1	53.50 ± 2.7	8.754 ± 0.4	2.657 ± 0.16	3.250 ± 0.2	22.73 ± 1.1
14	20.50 ± 1.0	2.440 ± 0.1	20.00 ± 1.0	1.040 ± 0.1	95.00 ± 4.7	52.00 ± 2.6	2.050 ± 0.1	2.000 ± 0.10	2.000 ± 0.1	9.350 ± 0.5
15	34.00 ± 1.7	1.882 ± 0.1	47.00 ± 2.4	1.110 ± 0.1	97.59 ± 4.9	60.00 ± 3.0	4.367 ± 0.2	1.000 ± 0.05	3.000 ± 0.2	8.000 ± 0.4

表 3 独叶草种群平均个体构件生长与年龄关系的拟合方程  
Table 3 The regression equation of *Kingdonia uniflora* population between modular growth and age

项目 Item		拟合方程 Regression equation	相关系数 $r$ Coefficient	$\chi^2$
根 Root	主根数 No. of main roots	$y = 12.78 - 7.107x + 1.825x^2 - 0.084x^3$	0.83 **	11.69 **
	主根长 Length of main root	$y = 1.78 + 0.675x - 0.075x^2 + 0.002x^3$	0.65 **	0.051 **
	侧根数 No. of lateral roots	$y = 8.605 - 5.15x + 1.613x^2 - 0.075x^3$	0.88 **	15.68 **
	侧根长 Length of lateral root	$y = 0.995 + 0.152x - 0.009x^2 + 0.00007x^3$	0.81 **	0.009 **
主根茎 Main rhizome	主根茎节数 No. of rhizome nodes	$y = 2.094 + 2.913x + 0.203x^2 - 0.01x^3$	0.99 **	9.55 **
	主根茎长 Length of rhizome	$y = 0.227 + 5.019x + 0.043x^2 + 0.004x^3$	0.99 **	14.33 **
	根茎分枝数 No. of rhizome branches	$y = 0.485 - 0.338x + 0.092x^2 - 0.004x^3$	0.94 **	2.154 **
	根茎分枝长 Length of rhizome branch	$y = 3.824 - 0.57x + 0.228x^2 - 0.013x^3$	0.78 **	1.024 **
叶 Leaf	叶数量 No. of leaves	$y = 1.04 + 0.001x + 0.019x^2 - 0.00007x^3$	0.91 **	4.36 **
	叶面积 Leaves area	$y = 7.142 - 1.859x + 0.577x^2 - 0.03x^3$	0.86 **	2.58 **

注 Note : \*\*  $P < 0.01$

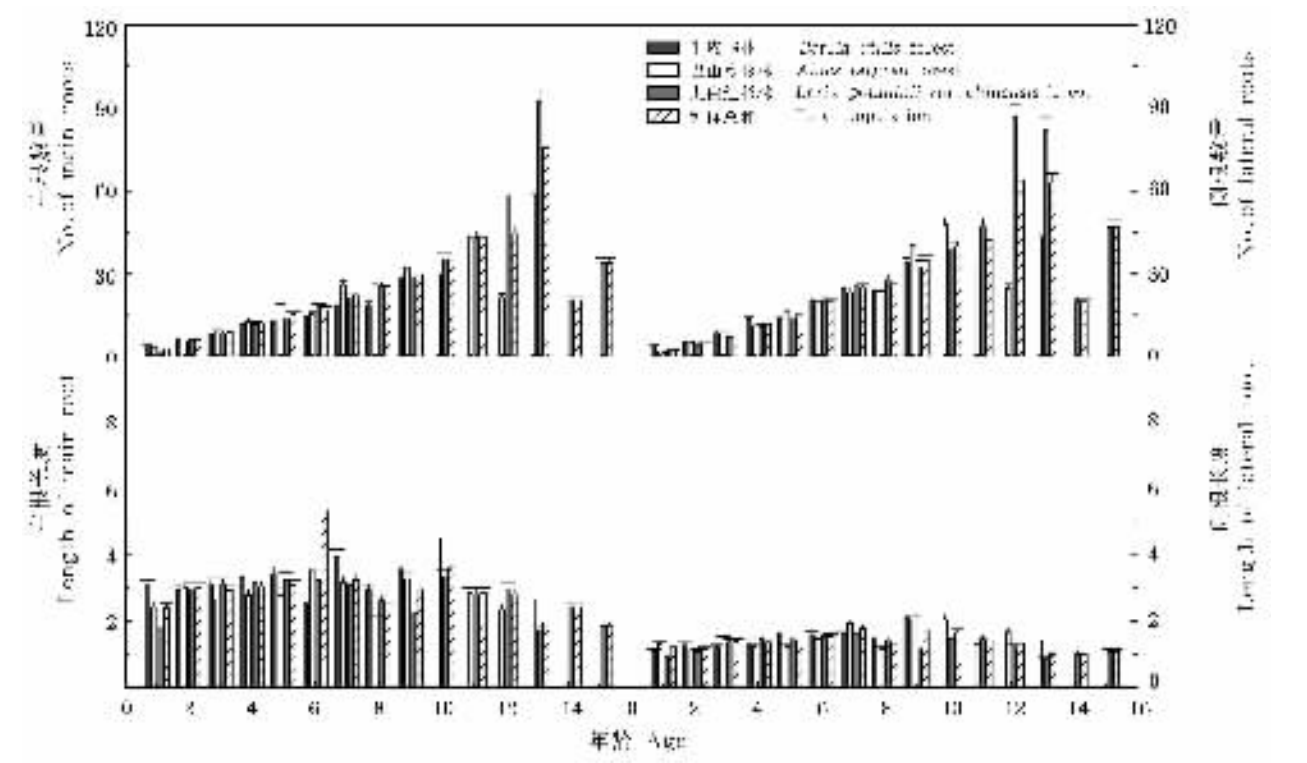


图 1 不同独叶草种群根构件生长发育过程  
Fig. 1 The root growth process of different *Kingdonia uniflora* populations

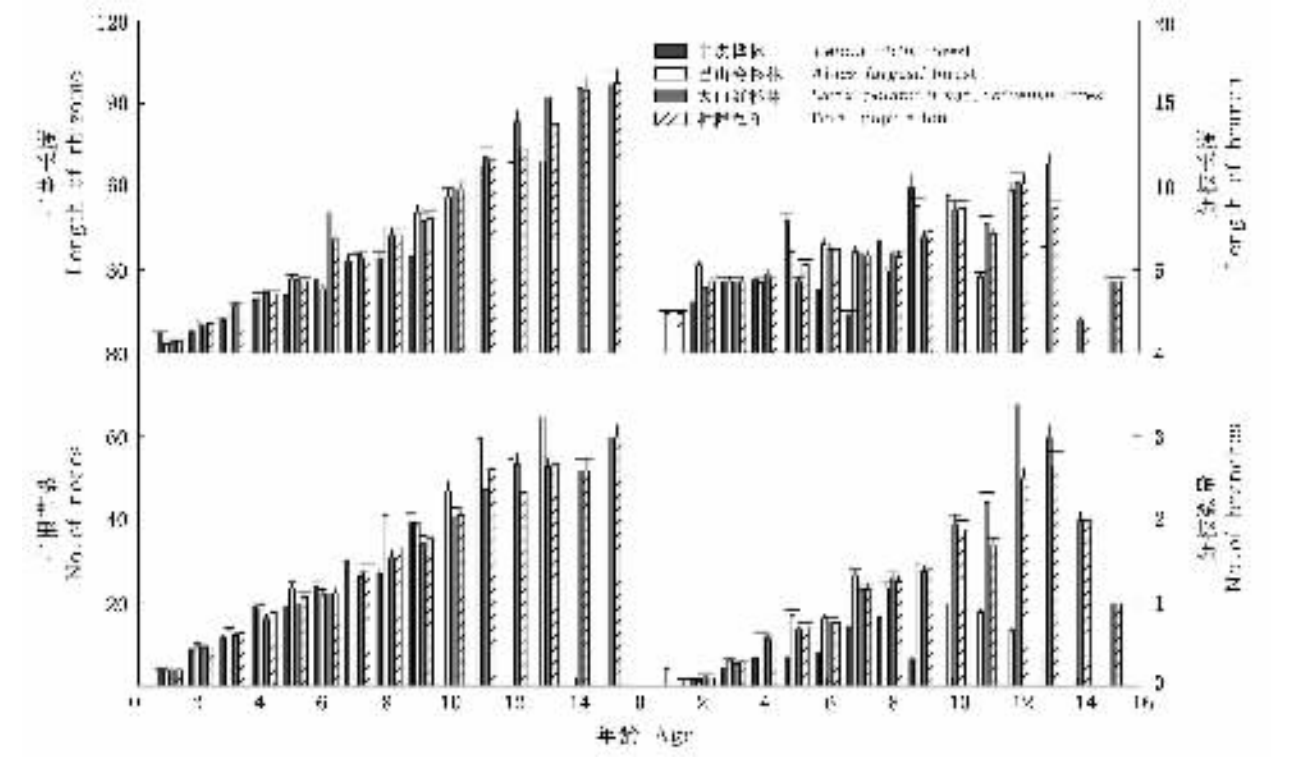


图 2 独叶草种群根状茎构件的生长发育过程  
Fig. 2 The rhizome growth process of different *Kingdonia uniflora* populations

叶草不同种群根系生长与年龄的关系。从中可以看出,不同种群的根系发育趋势基本一致,但根系数量和长度有差异。在无性系分株达到最大年龄时,不同的独叶草种群个体平均根系数量(主根数、侧根数)均存在显著性差异( $P < 0.05$ ,单因素方差分析)。海拔 2500 ~ 2700 m 之间的种群,主根数有 29 个,侧根数有 34 个;海拔 2700 ~ 2900 m 之间的种群,主根数有 78 个,侧根数有 44 个;海拔 2900 ~ 3100 m 之间种群,主根 34 个,侧根有 48 个。3 个种群主、侧根数量之比大小依次为:巴山冷杉林(0.977) > 牛皮桦林(0.853) > 太白红杉林(0.723)。良好的生境条件可促进根系发育(Klein & Groenendaal, 1999)。独叶草种群在海拔 2700 ~ 2900 m 区间的巴山冷杉林下,人为干扰较少,土壤腐殖质层深厚,水分养分条件充足,个体平均根系数量多、长度较大,主侧根比值较大。在低海拔的牛皮桦林下土壤腐殖质层较薄,腐殖质层相对紧实,根系扩展相对较难,独叶草种群的根系数量和长度均低于巴山冷杉林下。在高海拔的太白红杉林下土壤腐殖质虽厚且疏松,但低温度使根系生长受到限制(李景侠, 2001a),独叶草种群通过降低主侧根比,强化吸收功能,增强种群适应能力。

3.2.2 根状茎构件

图 2 展示了不同群落下独叶草种群根状茎构件的生长发育过程。从图中可以看出,各种群根状茎长度和节数随年龄增长持续增加,但在 12 ~ 13 龄以后开始下降。由于生境条件的差异,不同独叶草种群在个体寿命和主根茎长度方面表现出各自的特点:在海拔 2500 ~ 2700 m,独叶草种群个体最大年龄仅为 9 年,长度为 35.27 cm;海拔 2700 ~ 2900 m,个体最大年龄 13 年,主根茎长 69.35 cm;海拔 2900 ~ 3100 m,个体寿命为 15 年,主根茎最长为 97.4 cm。就分枝数来说,不同种群出现分枝数最多的年龄和分枝数量有差异:海拔 2500 ~ 2700 m 8 年时分枝数最多达 0.83 个;海拔 2700 ~ 2900 m 9 年时分枝数最多为 1.47 个;海拔 2900 ~ 3100 m 12 年时独叶草分枝数可达 3.4 个。不同种群的独叶草分枝数最多的年龄均集中于 8 ~ 12 年,说明该年龄段独叶草种群克隆繁殖的能力较强。克隆植物的无性生长是一种觅食行为,根状茎延伸可以看作种群的扩展行为,分枝强度随资源水平的增高而增大(Pennings & Callaway, 2000; 刘庆, 钟章成, 1995; 董鸣, 1996)。

根状茎是独叶草种群扩展的主要构件,个体根茎的长度和数量,反映了种群的扩展能力。牛皮桦林处于低海拔区间,遭受人为干扰相对较大,土壤腐殖质层薄、质地紧实,根状茎延伸和扩展受到限制。巴山冷杉林和太白红杉林下的独叶草种群受人为干扰较少,土壤腐殖质层深厚,水分养分条件充足,为独叶草根状茎的生长和扩展提供了更为有利的空间,因此,根状茎生长能达到较高水平。

茎节是独叶草根系和侧芽着生的部位,是个体的觅食点和生长点(Klein & Groenendaal, 1999; 刘庆, 钟章成, 1995; 董鸣, 1996)。比较不同种群独叶草同龄根茎上的节数可以发现,海拔 2700 ~ 2900 m 的巴山冷杉林下的种群总是最大,说明该种群有较强的扩展能力。独叶草根状茎是其繁殖的主体,分枝总是朝向资源丰富的环境,并在那里生根定居,体现了种群的觅食行为和策略。单保庆等(2000)对黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)的克隆生长研究也得出了相似结论,这可能是多年生克隆草本植物的共性。

3.2.3 叶构件

图 3 展示了不同群落中独叶草种群叶的生长发育规律。不同独叶草种群的平均个体叶数量、叶面积随年龄增大而增加,但各种群之间存在着差异。在海拔 2500 ~ 2700 m 区间的牛皮桦林下,7 龄独叶草个体叶面积最大,为 14.2 cm<sup>2</sup>;在海拔 2700 ~ 2900 m 的巴山冷杉林下,13 龄时平均个体叶面积最大,为 20.1 cm<sup>2</sup>;在海拔 2900 ~ 3100 m 的太白红杉林下,12 龄时平均个体叶面积达到最大,为 15.1 cm<sup>2</sup>。可以看出,当种群平均个体叶面积达到最大时的年龄与根系、根状茎的旺盛生长期基本一致。高峰期后,随着植株衰老,叶面积和数量也相应减少。叶是所测构件中唯一的地上部分,每年秋季死亡,春季从茎节处重新长出新叶,虽易受当地气候条件和当年天气条件的影响,但可以间接反映种群的生存质量。

3.3 环境因子对独叶草种群构件生长发育的影响

本文选择了 9 个与独叶草种群构件生长发育有重要影响的环境因子(表 1),为了明确到底哪些因子更为重要,对其进行了主成分分析,得到表 4 的结果。由于前两个主分量的累积贡献率已经达到了 100%,故应用前 2 个主分量进行综合分析。第一主分量的累积贡献率为 68.755%,其中人为干扰负荷

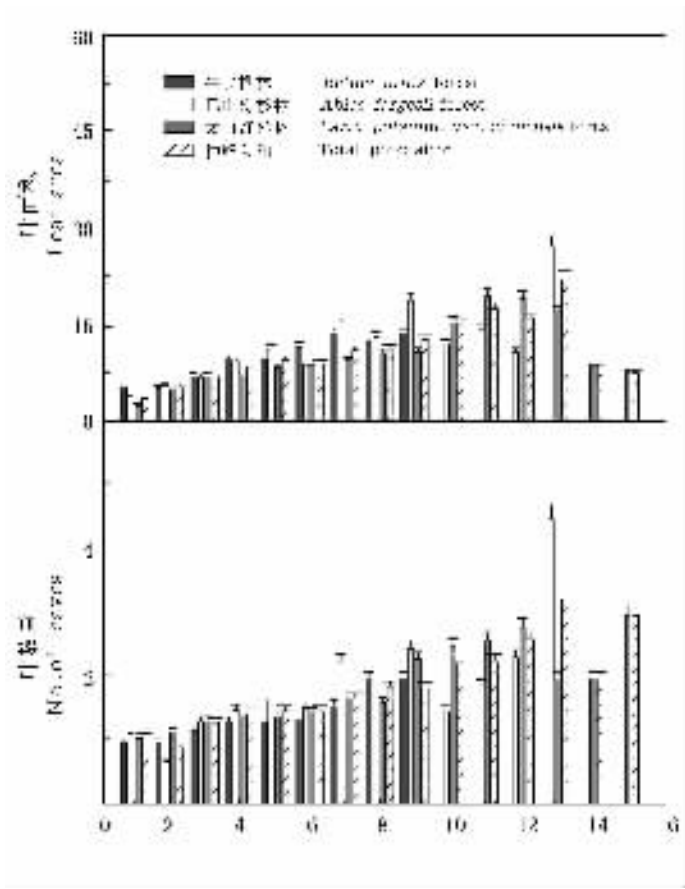


图3 不同群落中独叶草种群叶构件的生长发育过程  
Fig.3 The leaf growth process of different *Kingdonia uniflora* populations

表4 不同环境因子的贡献率和主分量值  
Table 4 The ratio of contribution and main weight value of different environmental factors

环境因子 Environmental factor	主分量 Component 1	主分量 Component 2
1 气温 Temperature	0.942	0.337
2 湿度 Humidity	-0.989	-0.145
3 光照 Light	1.000	-0.006
4 盖度 Coverage	0.253	0.968
5 腐殖质厚度 Thickness of soil humus	0.013	1.000
6 土壤 pH 值 pH of soil	0.964	0.265
7 土壤水分 Mean moisture of soil	-0.970	0.244
8 土壤有机质含量 Content of organic matter in soil	-0.672	0.740
9 人为干扰强度 Human disturbance	1.000	-0.253
各分量贡献率 Ratio of contribution ( % )	68.755	31.245
累积贡献率 Accumulative ratio of contribution ( % )	68.755	100

最大 ,为 1.000 ;气象因子中光照负荷量为 1.000、湿度为 -0.989、气温为 0.942 ;土壤因子中土壤水分

为 -0.970、土壤 pH 值为 0.964。这说明人为干扰、气象因子和土壤因子对独叶草种群的生长发育非常重要。这一结论与独叶草种群主要分布于林下 ,喜荫凉湿润气候的生物学特性完全一致。此外 ,本地区属旅游区 ,人为干扰对独叶草种群影响非常大 ,仅旅游者进入林地踩踏林地腐殖质层 ,就足以破坏独叶草种群的生存空间 ,导致种群小面积消失。在第二主分量中 ,主要因素为土壤腐殖质厚度( 1.000 )、群落盖度( 0.968 )、土壤有机质含量( 0.740 )。群落盖度决定光照条件 ,土壤腐殖质层厚度直接影响着独叶草生长和种群扩展的空间 ,土壤有机质含量的多少决定着独叶草生长所需的养分丰富程度 ,这 3 个因子在独叶草生长过程中也都是非常重要的因素。

综合比较不同群落内生境因子的差异和各构件的数量、长度和叶面积 ,可以推断 ,海拔 2700 ~ 2900 m 地区的巴山冷杉林是独叶草生长的最适生境 ,群落内人为干扰少 ,林内光照、温度、湿度、群落盖度、腐殖质层、土壤有机质含量等综合因素可能更适合

独叶草种群的生长发育。

4 结论与讨论

不同独叶草种群的构件生长发育规律比较相似：生存于牛皮桦林、巴山冷杉林和太白红杉群落下独叶草种群尽管最大年龄有差异，但根、茎、叶构件生长发育具有相似的规律，各构件的生长发育均可用方程  $y = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3$  表示。随年龄增长，各种群根、茎、叶构件数量和扩展能力增加，到一定年龄后，构件生长缓慢。这与个体衰老，种群构件的扩展能力减弱有关（Svensson & Callaghan，1988）。

独叶草种群构件生长发育与环境条件相互适应，表现为：处于海拔 2700 ~ 2900 m 的巴山冷杉林下的种群，根系数量、根状茎的长度、分枝数量及个体平均最大叶面积等方面均高于其他两个种群，说明在巴山冷杉林下，独叶草对空间、资源利用方面具有优势，种群扩展能力也达到较高的水平（Kleunen & Fischer，2001）。海拔 2900 ~ 3100 m 的太白红杉林下，独叶草种群个体寿命较长，而在牛皮桦林下的种群个体寿命较短，说明独叶草种群为了适应生境，调整了生存策略。

独叶草种群构件生长发育受到多方面环境因素的影响，影响独叶草种群构件生长发育的环境因素主要是人为干扰以及光照、气温、空气湿度、土壤 pH 值、土壤水分、群落盖度、腐殖质厚度等自然因素。海拔 2700 ~ 2900 m 的巴山冷杉林内人为干扰较少，是独叶草种群生长发育较适宜的生境。海拔 2500 ~ 2700 m 区间的牛皮桦林下的土壤腐殖质层薄，人为干扰较多，独叶草个体寿命短，构件发育不够充分，已经表现出退化现象。海拔 2900 ~ 3100 m 的太白红杉林的人为干扰虽然较少，但高海拔地区的严酷气候条件可能成为限制因素，独叶草构件生长发育介于前两个种群之间。

独叶草种群保护应该以就地保护为主，独叶草以无性繁殖为主，属环境依赖型植物，适应的环境范围狭小，仅生存于中高山地区的针叶林或阔叶林中，要求凉湿气候和腐殖质深厚的土壤，迁地保护较困难（张文辉等，2002）。在目前条件下，应尽量减少人为干扰，保护独叶草生存的环境，特别要注重对牛皮桦、巴山冷杉和太白红杉群落的保护，为独叶草种群生存与扩展创造条件。在未解决在低海拔地区独叶草的人工成功繁殖问题之前，不宜提倡引种栽培

或以其他方式进行迁地保护。

参考文献

Di W-Z (狄维忠) and Yu Z-Y (于兆英). 1987. *The First Set of the Chinese Rare and Endangered Plants in Shaanxi Province* (陕西省第一批国家珍稀濒危保护植物). Northwest University Press, Xi'an, 72 - 75. (in Chinese)

Dong M (董鸣). 1996. Clonal growth in plants in relation to resource heterogeneity: foraging behavior. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **38**(10): 828 - 835. (in Chinese)

Hu Z-H (胡正海), Li G-M (李广民) and Li Z-L (李正理). 1964. Distribution and general morphology in *Kingdonia uniflora*. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **12**(4): 351 - 357. (in Chinese)

Hu Z-H (胡正海) and Li G-M (李广民). 1979. Morphological studies of *Kingdonia uniflora* Balfour f. et W. W. Smith II. The anatomy of rhizome. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **17**(2): 23 - 27. (in Chinese)

Hu Z-H (胡正海) and Tian L-X (田兰馨). 1985. Studies on morphology of *Kingdonia uniflora* Balfour f. et W. W. Smith III: the morphology and anatomy of flowers, fruits and seeds. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **23**(3): 170 - 178. (in Chinese)

Lei Y-J (雷永吉), Ren L (任琳) and Li Z-J (李智军). 2000. Studies on vegetative reproduction pattern of *Kingdonia uniflora*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **20**(3): 432 - 435. (in Chinese)

Li J-J (李家骏). 1989. *The Collection Papers of Synthetic Exploration of Natural Reserve in Taibai Mountain* (太白山自然保护区综合考察论文集). Shaanxi Normal University Press, Xi'an, 3 - 21. (in Chinese)

Li J-X (李景侠), Zhang W-H (张文辉) and Li H (李红). 2001a. The study on the geographical distribution and ecological characteristics of *Kingdonia uniflora*. *Journal of Northwest Forestry College* (西北林学院学报), **16**(1): 1 - 4. (in Chinese)

Li J-X (李景侠), Zhang W-H (张文辉) and Li H (李红). 2001b. Study on the distribution pattern of endangered *Kingdonia uniflora* population. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **21**(5): 879 - 884. (in Chinese)

Li Z-Q (李镇清). 1999. Architecture of clonal plants and morphological responses to habitat heterogeneity. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **41**(8): 893 - 895. (in Chinese)

Liu Q (刘庆) and Zhong Z-C (钟章成). 1995. Advances in ecological research of clonal plant population and some concepts. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **14**(3): 40 - 45. (in Chinese)

Mu X-J (母锡金). 1983. Ovule, female and male gametophytes and fertilization of *Kingdonia uniflora* Balfour f. et W. W. Smith. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **11**(6): 479 - 501. (in Chinese)

Ren Y (任毅) and Hu Z-H (胡正海). 1996. Morphological stud-



- ies on anatomizes and blind veins in dichotomous venation of the leaf in *Kingdonia uniflora*. *Acta Phytotaxonomica Sinica*(植物分类学报), **34**(6): 569 – 576. (in Chinese)
- Ren Y(任毅) and Hu Z-H(胡正海). 1998. Anatomical studies on root, node and leaf of *Kingdonia uniflora*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), **18**(1): 72 – 77. (in Chinese)
- Ren Y(任毅), Wang M-L(王玛丽) and Hu Z-H(胡正海). 1998. *Kingdonia uniflora*, embryology and its systematic significance. *Acta Phytotaxonomica Sinica*(植物分类学报), **36**(5): 423 – 427. (in Chinese)
- Shan B-Q(单保庆), Du G-Z(杜国祯) and Liu Z-H(刘振恒). 2000. Clonal growth of *Ligularia virgaurea*: morphological responses to nutritional variation. *Acta Phytoecologica Sinica*(植物生态学报), **24**(1): 46 – 51. (in Chinese)
- Ying T-S(应俊生). 1990. Observations on the flora and vegetation of Taibai Shan, Qinling Mountain Range, southern Shaanxi, China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*(植物分类学报), **28**(4): 261 – 293. (in Chinese)
- Zhang W-H(张文辉). 1998. *The Population Ecology on Adenophora lobophylla*(裂叶沙参种群生态学研究). Northeast Forestry University Press, Harbin, 7 – 22. (in Chinese)
- Zhang W-H(张文辉), Zu Y-G(祖元刚) and Liu G-B(刘国彬). 2002. Population ecological characters and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **22**(9): 1512 – 1520. (in Chinese)
- Zhang Y-C(张运春), Su Z-X(苏智先) and Gao X-M(高贤明). 2001. The characters of clonal plant and its study advance. *Journal of Sichuan Normal College*(四川师范学院学报), **22**(4): 398 – 342. (in Chinese)
- Zu Y-G(祖元刚) and Cui J-Z(崔继哲). 2002. Clonal diversity in *Leymus chinensis* populations. *Acta Phytoecologica Sinica*(植物生态学报), **26**(2): 157 – 162. (in Chinese)
- Alpert P. 1999. Clonal integration in *Fragaria chiloensis* differs between populations: ramets from grassland are selfish. *Oecologia*, **120**: 69 – 76.
- Dekroon H. and Hutchings M. J. 1995. Morphological plasticity in clonal plant: foraging concept reconsidered. *Journal of Ecology*, **83**: 143 – 152.
- Herbeny T. and Suzuki J. 2002. A simulation study of the effects of architectural constraints and resource translocation on population structure and competition in clonal plants. *Evolutionary Ecology*, **15**: 403 – 423.
- Klein D., Groenendaal J. M. 1999. The exploitation of heterogeneity by a clonal plant in habitats with contrasting productivity levels. *Journal of Ecology*, **87**: 873 – 884.
- Kleunen M. V. and Fischer M. 2001. Adaptive evolution of plastic foraging responses in a clonal plant. *Ecology*, **82**: 3309 – 3319.
- Song M. and Dong M. 2002. Clonal plants and plant species diversity in wetland ecosystems in China. *Journal of Vegetation Science*, **13**(2): 237 – 244.
- Nault A. and Gagnon D. 1993. Ramet demography of *Allium tricoccum*, a spring ephemeral, perennial herb. *Journal of Ecology*, **81**: 101 – 119.
- Pennings S. C. and Callaway R. M. 2000. The advantages of clonal integration under different ecological conditions: a community-wide test. *Ecology*, **81**: 709 – 716.
- Svesson B. M. and Callaghan T. V. 1988. Small-scale vegetation pattern related to the growth of *Lycopodium annotinum* and variations in its micro-environment. *Vegetation*, **76**: 167 – 177.

(责任编辑:孙大川)