

濒危植物缙云卫矛果实、种子形态分化研究

窦全丽¹, 何平^{1*}, 肖宜安^{1,2}, 李玉泉¹, 谢大军¹

(1. 西南师范大学生命科学院, 重庆 400715; 2. 井冈山师范学院生命科学系, 江西吉安 343009)

摘要: 对缙云卫矛 7 个天然种群的果实、种子形态进行研究, 测量果实和种子的数量、长度、宽度、重量等 22 项形态学指标。结果显示: 果实、种子的形态性状在种群内和种群间均存在一定程度的变异, 种群间变异系数平均值从 0.750(种子数/序)到 0.062(种子整体形态, 长/宽), 相比之下种子整体形态最为稳定。在种群水平上, 果实、种子的形态性状有一定程度的分化, 但不与种群间的地理距离远近相关联。形态分化与环境因子的灰色关联度分析表明, 在所研究的环境因子中, 没有发现一单一因子对其形态分化起绝对主导作用, 不同环境因子对同一性状所起作用不同, 且同一环境因子对不同性状的影响效应也有差异。潜在的主导因子是土壤中的全钾含量、土壤厚度以及土壤 pH。

关键词: 缙云卫矛; 果实; 种子; 形态分化; 灰色关联度分析

中图分类号: Q914.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2005)03-0219-07

Morphological differentiation of fruits and seeds of the endangered plant *Euonymus chloranthoides*

DOU Quan-li¹, HE Ping^{1*}, XIAO Yi-an^{1,2}, LI Yu-quan¹, XIE Da-jun¹

(1. School of Life Sciences, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China;

2. Department of Life Sciences, Jinggangshan Normal College, Ji'an 343009, China)

Abstract: The fruits and seeds of *Euonymus chloranthoides* were collected from 7 natural populations. Based on the data of 22 morphological characters of fruits and seeds, the morphological differentiation in the 7 populations was studied. The morphological characters of fruits and seeds show certain differentiation among and within populations of *Euonymus chloranthoides*. The average coefficient of variation among populations range from 0.750(the number of seeds per fruiting inflorescence) to 0.062(shape of seed), and the shape of seeds is one of the most conservative characters among the characters studied. The morphological characters of fruits and seeds among populations show certain differentiations, but such differentiations do not correlate with the geographic distance among populations. The result of the analysis on the gray relatedness degree between morphological characters and environmental factors indicates that none of the studied environmental factors plays the notable leading role to influence the variation of one single character. Different environmental factors can have different impacts on variation of a single character, while the same environmental factor shows somewhat different impacts on different characters. The potential leading factors are the total-K in soil, the depth of soil and the value of soil pH.

Key words: *Euonymus chloranthoides*; fruits; seed; morphological differentiation; analysis on gray relatedness degree

收稿日期: 2004-05-17 修订日期: 2004-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070080)

作者简介: 窦全丽(1979-), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事濒危植物保护研究。* 通讯作者, 教授, 博士生导师 E-mail: heping@swnu.edu.cn

缙云卫矛(*Euonymus chloranthoides* Yang)隶属于卫矛科卫矛属(诚静荣等,1999),为重庆特有植物,亦属国家二级保护植物(王诗云等,1995)。仅分布于重庆市北碚区缙云山北温泉后山、鸡公山及渝北区统景的东温泉内。邓洪平(1997)、兰小中等(2000)对其同工酶变异进行了研究,张桂萍等(2001)、林永慧等(2004)分别对其等位酶和形态分化及种群数量动态等方面开展了一些研究。

张桂萍等(2001)对缙云卫矛形态分化研究测量了24项形态性状指标,但果实和种子仅各测3项。缙云卫矛开花结实少,主要用根状茎进行无性繁殖(兰小中等,2000)。其花序为聚伞花序,蒴果黄绿色,近圆盘形,直径约1.6 cm,5室,每室种子1~2;种子深红色,近椭圆形,顶端有红色假种皮。调查发现,完整5室的果实极少,种群间及种群内果实、种子形态均有一定差异。但缙云卫矛果实、种子形态具体变异模式与环境相关性及其生物学意义均缺乏研究。因此,作者使用SPSS统计软件,采用聚类分析及灰色关联度分析等方法对缙云卫矛果实、种子的形态进行研究,探讨其形态性状的变异特征及其影响因素,为进一步揭示缙云卫矛的遗传多样性提供基础资料,并为今后的保护工作提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 野外调查与取样

2003年11~12月,在缙云卫矛的自然分布区内,选取7个种群,由于缙云卫矛的结实率低,且不同种群的结实情况不同,因此在取材过程中选取数量只能根据各种群的具体结实情况而定。经考察,在各种群内标记个体年龄、植株高度无显著差异,生长势基本一致且生长健壮的植株共89株其中鸡公山-1种群的植株相对其他6个种群略旺盛。随机从89株植株上采集成熟果实701个(表1)。

1.2 形态指标测定

野外记录每个采集植株的果实数得到果实数/株(FNPP),用游标卡尺、直尺、电子天平分别测量发育成熟的果实、种子,分别记录18项指标:果实数/序(FNPI)、果实重/序(FWPI)、种子数/序(SNPI)、种子重/序(SWPI)、果柄长(FHL)、果厚(FT)、果实直径(FD)、单果重(FW)、种子数/果(SNPF)、种子重/果(SWPF)、果柄重(FHW)、果皮重(PW)、种长(SL)、种宽(SB)、种厚(ST)、总种重

(WSW)、假种皮重(AW)、种子纯重(PSW),并计算果实整体形态(FT/FD)、种子整体形态(SL/SB)、果实重/株(FWPP),共得到22项形态指标(表3)。其中每株所测果实重量平均数与该植株果实数的乘积为果实重/株(FWPP),与果柄延伸方向一致的果实大小测量值为果实厚度(FT),与果柄方向垂直的果实大小测量值为果实直径(FD)(每个果实测量2个直径值,再取其平均值作为该果实的直径),与种柄延伸方向一致的种子大小测量值为种子长度(SL),与种柄延伸方向垂直的种子测量值为种子宽度(SB);去掉假种皮后的单种子重为种子纯重(PSW)。

1.3 数据处理

1.3.1 统计及聚类分析 用常规方法计算各形态性状在种群内的平均值、变异系数值,以衡量形态性状变异的程度(林德光,1982)。利用SPSS软件(张文彤等,2002)中的One-Way过程分别对7个种群果实、种子的形态性状进行种群内显著性分析。利用SPSS软件中的Hierarchical cluster过程对89个个体的22个性状构成的 89×22 矩阵进行个体水平上的聚类分析;再将每个种群内测量个体的同一性状取几何平均值,每一种群得22个平均值,7个种群得 7×22 的矩阵,对其进行种群间的聚类分析。

1.3.2 灰色关联度分析 按杜荣骞等(1985)、刘玉成等(1994)、肖宜安等(2002)的方法步骤,将测量的缙云卫矛果实、种子的22项性状数据组成的数列定义为母数列 $Y_i(aK)$,以全氮、含磷量、全钾、有机质、pH值、吸湿水、水分、土壤厚度、海拔、坡度10个环境因子分别定义为比较数列 X_i ,它们各自组成的数列分别为子数列 $X_i(bK)$ 。运用灰色关联度分析,探讨缙云卫矛果实、种子形态分化与环境因子之间的关系。

2 结果与分析

2.1 果实、种子的形态性状特征

从表2中可以看出,就果实、种子的大小而言,北温泉外山两个种群及公园内种群的平均值普遍偏大,在东温泉两个种群平均值普遍偏小;说明果实、种子的形态性状在不同地区间存在着较大差异。表2还显示,反映果实、种子总体数量和质量的果实数/序、果实重/序、种子数/序、种子重/序等6项性状的平均值在生境为灌木丛中的鸡公山-1种群中均最大,在东温泉-1种群中均偏小。说明果实、种子

的生长发育受生境条件的影响较大。

2.2 表型性状变异特征

变异系数可以反映形态特征的变异幅度。表 2 列出了各形态特征在种群中的变异系数及其平均值。在同一种群内部,不同形态性状的变异系数值不同。如在种群 1 中,形态性状变异系数的最大值为 1.066(种子数/序),最小值为 0.066(种长/宽);在种群 6 中,形态性状的变异系数最大值、最小值分别为 1.001(果实数/株)、0.055(长/宽)。另外,运用 SPSS 软件中的 One-Way 过程分别对 7 个种群果实、种子的形态性状进行种群内显著性分析,结果表明绝大部分形态性状在种群内的变异均达到极显

著水平(由于篇幅所限,反映变异显著性水平的 Sig. 值未列出)。说明果实、种子的形态性状在种群内存在一定程度的变异。在所研究的 7 个种群中,反映果实、种子总体数量和质量性状的变异系数值均偏大,说明这些性状在种群内的分化较大,果实、种子的生长发育受植株生长状况的影响较大。另外,在 7 个种群中,种子长/宽性状的变异系数值均为最小,说明这个性状在种群内的分化较小。从表 2 还可以看出,不同形态性状变异系数的平均值差别较大,从 0.750(种子数/序)到 0.062(长/宽)不等。说明种子数/序性状在测量的 22 项形态性状中变异最大,种子整体形态(长/宽)相对较稳定。

表 1 各采样地环境特征概况
Table 1 The general parameters of sampling sites

种群 Population	1	2	3	4	5	6	7
采样地点 Location	北温泉外山-1	北温泉外山-2	东温泉-1	东温泉-2	鸡公山-1	鸡公山-2	北温泉公园内
生境 Habitat	竹林中	竹林中	竹林中	竹林中	灌木丛内	竹林中	岩石上
全氮 Total-N(g/100g)*	0.11	0.22	0.11	0.17	0.11	0.16	0.17
含磷量 Phosphorus content(mg/100g)*	1.51	1.13	1.17	1.02	0.9	1.58	1.72
全钾 Total-K(mg/100g)*	80.3	79.3	83.2	79.1	78.0	78.3	74.2
有机质 Organic matter(%)*	4.41	2.98	4.37	4.09	4.65	1.15	3.90
pH 值 pH value*	7.88	4.86	7.70	5.76	7.73	4.04	8.18
吸湿水 The content of hygroscopic water(%)*	3.58	2.22	4.2	4.10	2.53	3.04	3.43
水分 Moisture content(%)*	10	8	13	14	8	8	13
土壤厚度 Soil ply(cm)*	25.0	25.0	20.0	20.0	30.0	30.0	20.0
海拔 Altitude(m)*	390	270	305	265	300	275	240
坡度 Slope(°)*	50	55	75	75	40	36	50
取 ¹⁵ C 植株数 The number of sampling	13	15	13	15	9	9	15
果实数 Fruits number	116	112	66	107	105	80	115
年龄(年) Age(year)	7~9	7~9	6~7	6~7	7~9	7~9	7~9
高度(cm) Height	156.67± 16.28	158.2± 13.47	149.34± 11.83	151.25± 15.18	162.54± 14.28	155.87± 16.80	157.24± 13.28

注:“*”表示与形态特征进行灰色关联度分析的环境因子 Represent the environmental factors which participate in the analysis on gray relatedness degree with the morphological characters.

2.3 形态分化的聚类分析

2.3.1 个体水平上的聚类 利用 SPSS 软件中的 Hierarchical cluster 过程可以得到缙云卫矛果实、种子形态分化在个体水平上的树状聚类图(图 1)。在欧氏距离 10.0 的水平上,可将 89 个个体划分为 3 个(A-C)表征群。其中 A-10.0 表征群由 82 个个体组成,包含了所有 7 个种群的大部分个体,其中有 4 个种群的全部个体都在此表征群内,只有种群 1、4、5 的极少数个体未包含在内。B-10.0 表征群包含 5 个个体,分别属于种群 1、4、5,C-10.0 表征群包含 2 个个体,各自属于种群 4、5。在欧式距离 5.0 处可进一步划分为 7 个(a-g)亚表征群。a-5.0 亚表征群由 67 个个体组成,7 个种群的个体均包含。b-5.0

亚表征群由 7 个个体组成,其中种群 1 有 1 个,种群 2 有 4 个,种群 5 和 7 各 1 个。c-5.0 亚表征群也包含 7 个个体,分别来自于种群 1(个体 10),种群 2(个体 19、20),种群 5(个体 57、58、62),种群 6(个体 68)。d、e、g-5.0 亚种群均由 2 个个体组成,f-5.0 亚表征群只有 1 个个体,属于种群 4。

从划分的各表征群的组成情况可以看出,大多数表征群由不同种群的个体组成,即同一种群的个体并不聚在一起,而是分散到不同的表征群中,如 A-10.0 表征群包含了 7 个种群的个体,B-10.0 表征群由 3 个种群的个体组成。说明缙云卫矛果实、种子的形态性状在种群内出现了一定的分化,这与前面的分析结果相一致。聚类结果还显示,B-10.0 表

征群中的 5 个个体中,3 个属于种群 5,C-10.0 表征群中共 2 个个体,其中 1 个属于种群 5,这说明种群 5 与其它 6 个种群间存在一定程度的分化。另外相距较远的个体 44 和个体 65 聚在一起组成 g-5.0 亚

表征群,且个体 44 生于林缘,个体 65 生境为灌木丛,两者的小生境相似,这说明缙云卫矛个体间果实、种子的形态分化大小与彼此间分布距离远近并不相关联,而主要受某些环境因子的影响。

表 2 缙云卫矛果实、种子形态特征统计表

Table 2 Statistics on morphological characters of fruit and seed in *Euonymus chloranthoides* Yang

种群 Population	1		2		3		4		5		6		7		平均值 Average value	
	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV
FNPI	1.163	0.393	1.117	0.313	1.138	0.347	1.358	0.525	1.453	0.591	1.266	0.472	1.208	0.391	1.243	0.433
FWPI(g)	0.967	0.795	1.192	0.643	0.574	0.761	1.013	0.675	1.495	0.596	0.832	0.681	1.283	0.475	1.051	0.661
SNPI	3.221	1.066	3.571	0.729	2.439	0.891	1.751	0.744	5.386	0.587	3.393	0.716	4.755	0.513	3.931	0.750
SWPI(g)	0.639	0.919	0.713	0.766	0.348	0.870	0.683	0.702	0.879	0.606	0.504	0.731	0.753	0.506	0.645	0.729
FNPP	12.31	0.575	12.80	0.577	5.154	0.236	13.00	1.277	26.78	0.534	12.56	1.001	8.533	0.436	13.02	0.662
FWPP(g)	11.57	0.792	13.24	0.575	2.609	0.198	10.69	1.506	24.71	0.682	7.506	0.772	9.339	0.568	11.380	0.728
FHL(cm)	0.782	0.309	1.032	0.371	1.077	0.357	1.095	0.210	0.910	0.222	1.014	0.230	0.953	0.251	0.981	0.284
FT(cm)	1.038	0.185	1.073	0.172	0.903	0.161	0.898	0.219	0.976	0.231	0.921	0.162	1.103	0.221	0.987	0.193
FD(cm)	1.583	0.259	1.762	0.217	1.391	0.236	1.552	0.230	1.716	0.277	1.649	0.711	1.870	0.232	1.616	0.309
FB/FD	0.678	0.187	0.624	0.178	0.666	0.161	0.594	0.227	0.587	0.202	0.620	0.247	0.604	0.224	0.625	0.204
FW(g)	0.876	0.689	1.073	0.621	0.509	0.724	0.779	0.593	0.997	0.639	0.681	0.529	1.059	0.469	0.853	0.609
SNPF	3.019	0.801	3.208	0.689	2.154	0.771	3.528	0.602	3.680	0.525	2.749	0.531	3.938	0.479	3.182	0.628
SWPF(g)	0.594	0.802	0.636	0.728	0.3131	0.871	0.532	0.696	0.586	0.637	0.407	0.581	0.634	0.530	0.529	0.692
FHW(g)	0.004	0.472	0.005	0.317	0.005	0.372	0.005	0.283	0.004	0.273	0.004	0.189	0.004	0.204	0.004	0.301
PW(g)	0.326	0.353	0.367	0.321	0.211	0.351	0.288	0.466	0.458	0.512	0.253	0.219	0.426	0.367	0.333	0.374
SL(cm)	0.851	0.099	0.835	0.070	0.710	0.082	0.734	0.099	0.801	0.107	0.778	0.074	0.808	0.082	0.788	0.087
SB(cm)	0.741	0.097	0.716	0.076	0.629	0.089	0.650	0.106	0.680	0.115	0.641	0.084	0.684	0.087	0.677	0.093
SL/SB	1.150	0.066	1.170	0.058	1.131	0.052	1.132	0.074	1.181	0.066	1.218	0.055	1.184	0.066	1.167	0.062
ST(cm)	0.532	0.084	0.532	0.089	0.501	0.112	0.512	0.094	0.522	0.088	0.510	0.083	0.524	0.072	0.519	0.089
WSW(g)	0.284	0.374	0.260	0.339	0.162	0.109	0.215	0.407	0.163	0.698	0.200	0.277	0.283	0.145	0.267	0.378
AW(g)	0.023	0.572	0.023	0.277	0.014	0.329	0.016	0.518	0.036	0.661	0.016	0.354	0.030	0.520	0.022	0.462
PSW(g)	0.261	0.362	0.237	0.353	0.146	0.141	0.199	0.417	0.321	0.419	0.184	0.278	0.258	0.371	0.229	0.335

注: \bar{x} 表示各形态形状的平均值 Represents the average value of each morphological character; CV表示各形态性状的变异系数值 Represents the average coefficient of variation.

2.3.2 种群水平上的聚类 根据 22 项形态性状的测量值,采用组间欧氏距离聚类法进行种群间聚类分析,得到聚类图 2。结果显示,当欧式距离为 10 时,7 个种群形成 I、II 两个聚类群,欧式距离为 7.5 时,形成 A、B、C 三个聚类群,欧式距离为 5 时,形成 a、b、c、d 四个聚类群。从聚类图可以看出,种群 1、2 在地理位置上相距很近,且首先聚在一起,说明缙云卫矛果实、种子形态性状在这 2 个种群间的分化不明显;种群 3 与 4 相距较近却出现了一定程度的分化,可能是由于某些环境因子的差异所致;种群 5 与其它种群间的分化最大,可能与其生境条件的特殊性有关。另外,种群 4、6 虽相距较远却聚在一起,而种群 7 与种群 1、2 的距离相对较近,却先与 4、6 相聚。这一结果表明,在种群水平上,形态分化并不与种群间的地理距离远近相关联。也就是说,种群间地理距离越远,并不意味着它们之间的形态分化就越大。

2.4 形态分化与环境因子的灰色关联度分析

由上述 22 项形态性状组成的母数列 $Y_i(aK)$ 和以全氮、含磷量、全钾、有机质、pH 值、吸湿水、水分、土壤厚度、海拔、坡度 10 个环境因子组成的子数列 $X_i(bK)$ 构建为数据矩阵,并进一步经均值化进行无量纲处理,再通过分析得到表 3 的灰色关联度数据矩阵。

从表 3 可知,在所测量的 22 项形态性状中,不同性状受不同环境因子的影响,即没有一个环境因子能够控制全部的性状,起着绝对主导的作用。但有的环境因子可能控制多个形态性状的变异;对果实、种子的大小和数量而言,土壤中的全钾是主要影响因素。而单果重和单果的种子重则受土壤 pH 值的影响。土壤厚度是果实重/株、果皮重、总种重、假种皮重以及种子纯重的主要影响因素,说明果实、种子的重量受土壤条件的影响较大。另外,水分对种

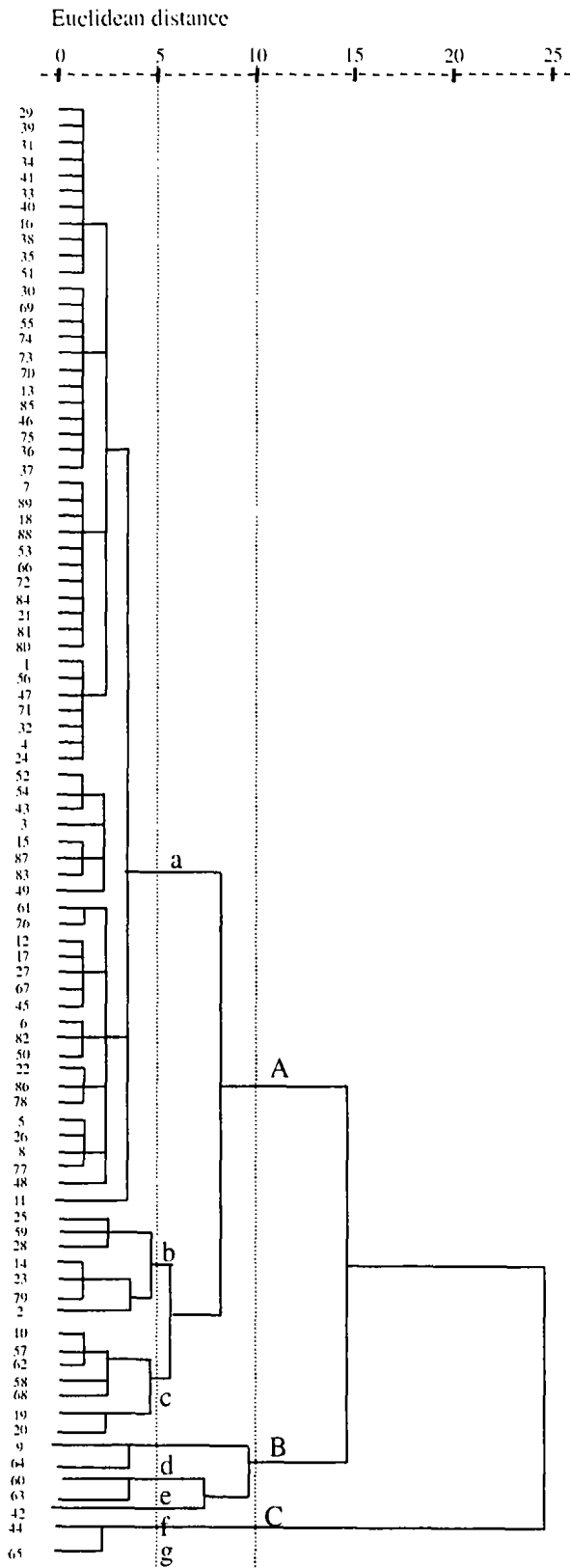


图 1 形态特征欧氏距离 UPGMA 聚类图
 Fig. 1 The clustering dendrogram of morphological characters with euclidean distance clustered by UPGMA
 种群 1: 1~13, 种群 2: 14~28, 种群 3: 29~41, 种群 4: 42~56,
 种群 5: 57~65, 种群 6: 66~74, 种群 7: 75~89.

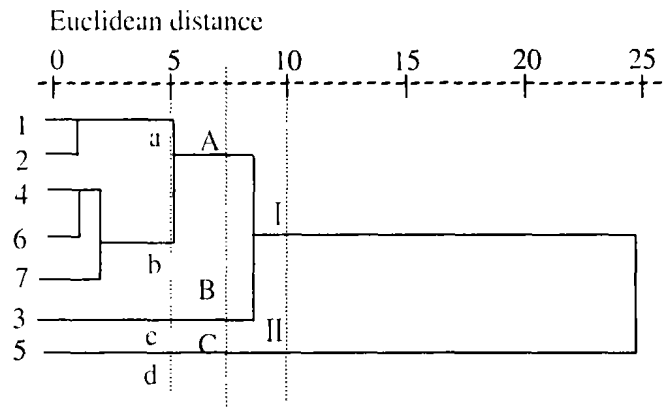


图 2 基于果实、种子形态特征的缙云卫矛天然种群聚类图
 Fig. 2 Dendrogram based on euclidean distance by UPGMA, showing the clustering of populations of *Euonymus chloranthoides* Yang by using the fruit and seed characters

的形态性状的影响较上述 3 个因子小。据分析,有果厚、果重、种重/果和种子纯重 4 个性状受坡度的影响最小,种子重/序、果实重/株和种子数/果 3 个性状受土壤含磷量影响最小,果实直径、种子长/宽和种子厚 3 个性状受有机质的影响最小,种子数/序、果实数/株和果柄长 3 个性状受 pH 值的影响最小,果实重/序、果皮重和假种皮重 3 个性状受吸湿水的影响最小,果实厚/直径和总种子重 2 个性状受全氮的影响最小,种长和种宽 2 个性状受水分影响最小,还有果柄重、果实数/序 2 个性状分别受海拔和土壤厚度的影响最小。但这些环境因子的影响均无规律可循,其原因有待进一步的探讨。因此,反映果实、种子质量的果实重/株、果皮重、总种子重、假种皮重和种子纯重 5 个性状均主要受土壤厚度的影响,果实重和种子重/果 2 个性状受 pH 值的影响,而反映果实、种子大小和数量的果实数/序、果实数/株、果柄长、果实厚、果实直径、果实厚/直径、种子数/果、果柄重、种长、种宽、种子长/宽、种子厚 12 个性状则主要受土壤中全钾的影响,另有果实重/序和种子重/序受全钾的影响,可能与每序的果实、种子数的较大差异有关;只有种子数/序 1 个性状主要受土壤中水分的影响,且受全钾的影响也较大。可以认为,土壤中的全钾含量、土壤厚度、pH 值是影响缙云卫矛果实、种子生长发育的潜在主导因子。

另一方面,就其中一个环境因子而言,对不同性状的影响程度不同(表 3)。如土壤中全氮对果柄重

子数/序的影响也较大。其它环境因子对果实、种子

的影响最大,而对其它性状的影响次之,对假种皮重的影响最小;土壤中含磷量、有机质、坡度分别对果实数/序的影响最大,而分别对果柄长、果厚、果重的影响最小。土壤 pH 值对果重的影响最大,对种子数/序的则影响很小。土壤水分对种子数/序的影响力最大,对种宽的影响力最小。海拔对果实的整体形态(厚/直径)的影响较大,而对假种皮重的影响较小。因此,从这一角度讲,每一环境因子都可能对某一或某些形态性状起主要作用,要对所有性状形成绝对支配作用,需要多个环境因子甚至是所有环境因子

的综合作用,而不仅仅是某一环境因子能够完成的。

3 讨论

对缙云卫矛 7 个种群 89 个个体的果实、种子形态特征的数据统计及个体水平的聚类分析结果均显示:所研究的 22 项形态性状在种群内和种群间均存在一定程度的分化,个体间果实、种子的形态分化大小与彼此间分布距离远近并不相关联,而主要受某些环境因子的影响。种群水平上的欧式距离聚类分

表 3 形态分化与环境因子灰色关联度

Table 3 The value gray relatedness degree matrix between morphological characters and environmental factors

代码	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Y ₁	0.789	0.718	0.865	0.739	0.721	0.740	0.714	0.388	0.777	0.815
Y ₂	0.631	0.592	0.673	0.603	0.661	0.573	0.665	0.662	0.610	0.619
Y ₃	0.746	0.693	0.734	0.731	0.394	0.728	0.770	0.721	0.709	0.702
Y ₄	0.663	0.594	0.716	0.672	0.662	0.625	0.702	0.698	0.620	0.637
Y ₅	0.668	0.649	0.781	0.637	0.634	0.661	0.651	0.749	0.736	0.680
Y ₆	0.647	0.629	0.737	0.657	0.687	0.643	0.657	0.751	0.716	0.708
Y ₇	0.723	0.588	0.834	0.641	0.583	0.680	0.643	0.652	0.705	0.687
Y ₈	0.623	0.664	0.803	0.575	0.633	0.659	0.605	0.701	0.750	0.570
Y ₉	0.695	0.666	0.827	0.597	0.646	0.633	0.645	0.758	0.740	0.618
Y ₁₀	0.598	0.651	0.921	0.625	0.646	0.711	0.626	0.701	0.797	0.658
Y ₁₁	0.629	0.615	0.683	0.590	0.730	0.585	0.653	0.698	0.643	0.565
Y ₁₂	0.670	0.602	0.723	0.633	0.675	0.618	0.681	0.686	0.635	0.636
Y ₁₃	0.646	0.626	0.708	0.637	0.712	0.620	0.670	0.655	0.654	0.586
Y ₁₄	0.808	0.615	0.871	0.628	0.706	0.714	0.627	0.612	0.683	0.713
Y ₁₅	0.581	0.627	0.649	0.581	0.687	0.544	0.66	0.701	0.602	0.585
Y ₁₆	0.634	0.688	0.858	0.617	0.642	0.697	0.596	0.749	0.781	0.609
Y ₁₇	0.606	0.663	0.855	0.611	0.627	0.701	0.589	0.714	0.783	0.608
Y ₁₈	0.66	0.671	0.903	0.63	0.635	0.676	0.65	0.744	0.777	0.662
Y ₁₉	0.628	0.647	0.925	0.621	0.621	0.687	0.626	0.744	0.776	0.645
Y ₂₀	0.638	0.695	0.728	0.681	0.705	0.671	0.675	0.757	0.693	0.663
Y ₂₁	0.571	0.675	0.662	0.583	0.668	0.562	0.643	0.707	0.597	0.616
Y ₂₂	0.602	0.646	0.674	0.649	0.699	0.602	0.607	0.720	0.658	0.583

注:数列编号 Y_i 表示形态性状, X_i 表示环境因子 Note: Y_i represents the morphological characters, X_i represents the environmental factors.

析也表明形态分化并不与种群间的地理距离远近相关联。鸡公山-1 种群的生境为灌木丛,其透光率较其它 6 个种群高,而缙云卫矛对光需求量大(兰小中等, 2000), 此类生境较适宜缙云卫矛的生长。实地调查也发现,鸡公山-1 种群的缙云卫矛植株生长旺盛,其果实和种子的生长发育也相应较好。另外,生境为竹林的种群中,生于林缘的缙云卫矛的植株较林下的旺盛,且果实和种子数量多、饱满、成熟早,这也说明适量的透光率对缙云卫矛的生长和繁殖有利。除此之外,野外调查表明,鸡公山-1、北温泉外山的 2 个种群以及北温泉公园内种群中,缙云卫矛植株的无性繁殖能力较强,植株生长较旺盛,而东温泉 2 个种群的植株偏小,尤其是东温泉-1 种群,新

生植株较多,且进行无性繁殖的植株少,这可能与其果实、种子生长发育有关,其成因有待进一步研究。

邓洪平等(1999)对四川大头茶居群种子形态分化的研究表明,生长在土层厚、土壤肥沃等生境条件较好的种子,其长度、宽度、厚度、总质量等形态指标均明显大于生长于土壤条件不良的种子,且土壤类型对种子的形态性状也有一定的影响。李珊等(2003)对云南金钱槭果实、种子形态分化的研究结果也证实了这一点。本研究结果表明土壤中的全钾、土壤厚度及土壤 pH 值是影响缙云卫矛果实、种子生长发育的潜在主导因子,也说明果实、种子的形态性状受土壤条件影响较大。土壤中的全钾含量是主要影响因子,这与土壤中钾元素含量影响繁殖器

官数量和大小生理特性相一致。在土壤条件中, 土壤酸度是许多化学性质的综合反映, 土壤中微生物的活动, 有机质合成与分解, 营养元素的转化与释放等都与土壤酸度有关, 因而对果实、种子的质量影响较大。灰色关联度分析显示没有一个环境因子能够控制全部性状, 不同环境因子对同一性状的作用不同。需指出的是, 环境因子包含的内容很多, 本研究只调查了 10 个环境因子, 此外许多因子可能对缙云卫矛果实和种子的生长发育起重要作用, 比如透光率的影响, 但在研究过程中没有测到这项环境因子, 这也是本研究的不足。另外, 缙云卫矛果实、种子的形态分化也可能与繁育系统中的某些差异有关, 这有待于进一步研究补充。

果实、种子形态性状分化主要受其生境因子的影响, 这与其营养器官的性状特征变异受环境条件的影响较大(张桂平等, 2001)相一致; 分析表明果实、种子重量受其生境土壤条件的影响较大, 而果实、种子的重量与质量相关, 可能将进一步影响种子向幼苗的转化率, 从而导致有性生殖能力的下降, 迫使缙云卫矛以无性繁殖作为繁衍后代的对策, 而濒危植物无性繁殖仅是有性生殖失败情况下的一种补充, 对种群繁衍的作用有限, 以无性繁殖为主的濒危植物即存在有性生殖, 往往由于自交、基因纯合使开花结实等有性生殖能力进一步下降(张文辉等, 2002), 从而加重其濒危状况。因此, 缙云卫矛果实、种子生长主要受环境因子的影响, 而其生境条件又主要受人为因素的影响。而缙云卫矛的适生生境近年来由于旅游业的发展及人为砍伐而遭到很大的破坏, 种群分布区在逐渐缩小, 有的种群已消失。由此, 对缙云卫矛的保护工作, 可以采取以下措施: (1) 保护缙云卫矛的生存环境, 防止人为破坏。可以采取就地保护的原则, 通过行政干预、立法等措施停止或减少人为破坏, 使缙云卫矛的种群得到正常的发展。(2) 对缙云卫矛进行迁地保护, 目的是当种群达到一定数量时, 放归自然, 建立自然状态下可生存种群。(3) 通过增加基因流来改善其濒危状况。可以采取移植、种子交流或进行种群间杂交等方法。(4) 建立资源种质保存基因库。利用缙云卫矛的花粉、种子等器官的贮藏, 以保存种质资源。

参考文献:

- 王诗云, 赵子恩, 彭辅松, 等. 1995. 华中珍稀濒危植物及其保护(第一册)[M]. 北京: 科学出版社.
- 林德光. 1982. 生物统计的数学原理[M]. 沈阳: 辽宁人民出版社.
- 杜荣寿. 1985. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社. 119-329.
- 张文彤. 2002. SPSS11 统计分析教程[M]. 北京: 希望电子出版社.
- 诚静容, 黄普华, 马金双. 1999. 中国植物志. 第四十五卷[M]. 北京: 科学出版社, 59-59.
- Deng HP(邓洪平), He P(何平). 1997. The isozymic variation and genecological differentiation of the endangered species *Euonymus chloranthoides* Yang(濒危植物缙云卫矛的同工酶变异及生态遗传分化)[J]. *J Southwest China Normal Uni*(西南师范大学学报), 22(4): 379-384.
- Lan XZ(兰小中), Deng HP(邓洪平), He P(何平). 2000. The isozymic variation of the cytochrome Oxidase of the endangered species *Euonymus chloranthoides* Yang(濒危植物缙云卫矛细胞色素氧化酶的同工酶变异)[J]. *J Northeast Fore Uni*(东北林业大学学报), 28(6): 40-44.
- Zhang GP(张桂平), He P(何平), Deng HP(邓洪平). 2001. The study on the morphological differentiation in the endangered species *Euonymus chloranthoides* Yang(濒危植物缙云卫矛的形态分化研究)[J]. *J Southwest China Normal Uni*(西南师范大学学报), 26(6): 703-708.
- Lin YH(林永慧), He P(何平), He XB(何兴兵). 2004. Analysis of population dynamics of the endangered plant *Euonymus chloranthoides* Yang(濒危植物缙云卫矛种群数量动态分析)[J]. *J Southwest China Normal Uni*(西南师范大学学报), 29(1): 109-113.
- Liu YC(刘玉成), Du DL(杜道林), Yue Q(岳泉). 1994. Analysis of the relatedness of dominant populations and ecological factors in the secondary succession forest communities of Jinyun Mountain(缙云山森林次生演替中优势种群的特性与生态因子的关联度分析)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 18(3): 283-289.
- Xiao YA(肖宜安), He P(何平), Deng HP(邓洪平). 2002. Numerical analysis of population morphological differentiation of *Disanthus cercidifolius* in Jinggangshan(井冈山长柄双花木种群形态分化的数量分析)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), 20(5): 36-370.
- Deng HP(邓洪平), He P(何平), Zhong ZC(钟章成). 1999. The studying of seeds morphological differentiation among population of *Gordonia acuninata* from different geographical provenances and successiving communities(不同地理种源及演替群落的四川大头茶居群种子形态分化研究)[J]. *J Southwest China Normal Uni*(西南师范大学学报), 24(2): 207-213.
- Li S(李珊), Cai YL(蔡宇良), Xu L(徐丽). 2003. Morphological differentiation of samaras and seeds of *Dipteronia dyeriana*(Aceraceae)(云南金钱槭果实、种子形态分化研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), 25(5): 589-595.
- Zhang WH(张文辉), Zu YG(祖元刚), Liu GB(刘国彬). 2002. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species(十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 22(9): 1512-1520.