

鄂尔多斯高原特有种四合木生长和繁殖的种群间变异与濒危机制

张云飞¹, 杨 持³, 李 博², 陈家宽^{2*}

(1. 武汉大学生命科学学院生物学系, 武汉 430072; 2. 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 复旦大学生命科学学院生物多样性科学研究所, 上海 200433; 3. 内蒙古大学生命科学学院生态与环境科学系, 呼和浩特 010021)

摘要: 四合木为中国特有种, 其分布区局限于鄂尔多斯高原的西部。为了认识四合木濒危的机制并为其保护提供理论依据, 对四合木生活史的关键阶段——繁殖进行了野外研究。由于分布区内存在较大的生境异质性, 并受到了不同强度的人类干扰, 所以对不同生境条件下的 6 个种群进行了取样。通过对四合木的营养生长和繁殖的比较分析, 得出如下结论: (1) 四合木植株的基径和冠幅和高度与年龄显著相关, 但是与基茎和冠幅相关性更大, 冠幅可作为个体大小的测度估计种群的大小结构; (2) 冠幅大小呈负偏斜分布, 通过不同种群冠幅与年龄的相关分析, 得出冠幅的增长速率随种群的衰老而减缓; (3) 四合木的冠幅与其果实量和种子量相关关系显著, 随着冠幅的增大, 四合木植株的果实产量和种子产量也相应增加, 但是这种关系存在种群间差异; (4) 四合木的大部分种群都处于衰老期, 种群内个体的大小变异性很小, 对于种群的生存有不利影响; (5) 由于空间上四合木的大小结构以及反映四合木繁殖状况的植株果实产量、种子产量等参数在不同种群之间存在显著差异 ($P < 0.001$), 因此应对不同的种群采取相应的管理措施以促进种群的更新和续存。

关键词: 冠幅; 生长; 鄂尔多斯高原; 繁殖; 四合木

Interpopulation difference in growth and reproduction of endemic species *Tetraena mongolica* in Ordos Plateau

ZHANG Yun-Fei¹, YANG Chi³, LI Bo², CHEN Jia-Kuan^{2*} (1. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, College of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Department of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 436~443.

Abstract: *Tetraena mongolica* is an ancient shrub endemic to China that has survived in an unglaciated part of Inner Mongolia. Its current range is restricted to the west of Ordos Plateau. *T. mongolica* was identified as an endangered plant, and its population size is still decreasing because it was used for firewood by shepherds and its buds were heavily grazed by their sheep. In order to assess the status of its existing populations, we examined the interpopulation differences in growth and reproduction of six populations of *T. mongolica* occurring in contrasting habitats in Ordos reserve, Inner Mongolia. The results obtained in

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39660017)

收稿日期: 2002-01-19; 修订日期: 2002-09-10

作者简介: 张云飞 (1969~), 男, 内蒙古人, 博士, 主要从事植物生态学研究。zhangyf@sstm.org.cn

* 通讯联系人 Aauthor for correspondence

Foundation item: National Science Foundation of China (No. 39660017)

Received date: 2002-01-19; Accepted date: 2002-09-10

Biography: ZHANG Yun-Fei, Ph. D. Main research interest: plant ecology.

this study are given as follows: 1) There were significant relationships between age and radius of base stem and crown size, while plant height was uncorrelated with age. Thus crown size could be used as a predictor of plant size to reflect the structure dynamics of *T. mongolica* populations. The growth rate of its crown decreased with age; 2) Most individuals of *T. mongolica* concentrated in the large class of crown size, indicating that its populations were in unstable state. The relationship between crown size and age varied among six populations. 3) Fruit and seed production of *T. mongolica* varied significantly among the six populations ($P<0.001$), and was significantly determined by crown size. However, the relationships between fruit and seed production and crown size differed among the six populations. 4) Most populations of *T. mongolica* decreased in size, which is believed to be the result of a combination of poor natural regeneration caused by low fecundity and competition between adults and seedlings, habitat destruction by human disturbance and heavy grazing by sheep. In order to protect *T. mongolica*, managerial measures are obviously needed to promote its regeneration. In doing so, heavy grazing and other types of habitat disturbance should be avoided in the protected areas.

Key words: crown size; growth; ordos plateau; reproduction; *Tetraena mongolica*

文章编号:1000-0933(2003)03-0436-08 中图分类号:Q16;Q948 文献标识码:A

濒危物种(endangered species)是指在较短时间内具有较高灭绝概率的物种,且其个体数量已接近或达到存活极限,种群大小的进一步减小将导致该物种的灭绝^[1]。据估计,当今世界上 250 000 种维管植物的 25%将在未来 50a 内灭绝^[2];美国 22%的维管植物已受到保育关注^[3];中国的高等植物中濒危种高达 4000 ~5000 种,占总种数的 15%~20%^[4]。因此,濒危物种的生存和保育受到人们的普遍关注。

在影响物种存活的多种因素中^[5,6],生态因素对于物种生存的影响起主导作用^[7]。环境和统计学(demographic)的随机性常常引起濒危物种的灭绝^[8];种群过小、对生境的高度专一或非常强的物种特有性^[9]可能就是引起物种稀有的潜在原因,因此管理这些珍稀濒危植物物种必须了解它们的丰度、空间分布格局、繁殖特性和遗传特征,尤其是影响其种子形成和幼苗定居的因子^[10]。许多植物物种由于定居及生存环境的异质性,往往呈斑块状分布^[11,12]。近年来,由于生境的破碎化与生境丧失,物种的斑块状分布格局更趋明显,空间上斑块状分布种群的动态以及种群间的相互关系成为保护生物学的新热点^[13]。对于以种子为主要繁殖方式的植物,开花结实是物种生活史中的关键而脆弱阶段,直接影响到种群的维持和更新^[14]。讨论空间上不同种群的年龄结构、大小结构及开花结实的关系,对于了解物种在不同生境下种群的生存力十分重要,直接关系到濒危物种的保护^[15]。

四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)是典型的鄂尔多斯高原特有种,被列入首批国家珍稀濒危植物红皮书。其现有分布区极为有限,集中分布在鄂尔多斯高原西北部、库布齐沙漠以南的桌子山山麓等草原化荒漠地带^[16]。四合木对于极端干旱条件有很强的忍耐力^[17,18],但其分布区的生态系统十分脆弱,根本原因是近年来对该地煤炭、石灰岩的无节制开采,导致四合木的分布区迅速减小,目前点缀在面积仅为 2 700km² 的区域内。近年来,四合木的保育受到了各有关方面的高度重视,1996 年成立了以保护四合木为主的国家级自然保护区,许多专家也从不同角度对四合木的濒危机制^[19~21]进行了探讨,但是目前有关不同生境下四合木种群繁殖的研究尚缺乏,本文试图以种群的繁殖为重点,寻找四合木种群的大小结构与繁殖的关系,对四合木的濒危机制作出初步的探讨。

1 材料和方法

1.1 研究材料

四合木(*T. mongolica*)为蒺藜科四合木属植物,是强旱生落叶小灌木,对于干旱有极强的忍耐力^[18],株高可达 90cm,老枝红褐色,小枝灰黄色或黄褐色,花 1~2 朵着生于短枝上,果常下垂,具 4 个不开裂的果实,种子为卵圆形,种群的更新以种子为主。

1.2 研究区自然条件

研究区处于明显的草原化荒漠地带,年降水量为 150~200mm,年平均气温 7.1~9.2℃,≥10℃ 积温 3100~3650℃,年蒸发量 2950~3500mm,湿润系数为 0.13;春季多大风天气,降水少于 50mm,占全年降水量的 12%~16%,春旱突出,≥17m/s 的大风日数在 30d 以上,伴以沙暴天气,加重春旱,影响四合木的生长和繁殖。土壤主要是棕钙土或灰漠土两种类型。

1.3 样地选择与数据收集

研究地点位于国家级自然保护区——西鄂尔多斯自然保护区境内,由于分布区周围有库布其沙漠、乌兰布和沙漠以及黄河的阻隔,四合木只局限分布于桌子山山麓的狭长地段,该地区集中分布了四合木、半日花(*Helianthemum soongorium*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、长叶红砂(*Reaumuria trigyna*)等 7 种国家级珍稀濒危植物。利用卫星遥感影像以及地面考察(1993~1999 年),在桌子山山麓外围没有发现四合木种群,本研究实验种群分布见图 1。为了充分反映分布区内的生境异质性,选择了保护区内生境比较有代表性的低山、丘陵、台地、高平原和倾斜平原 5 个典型生境,6 个四合木种群为研究对象;每一种群的生境特征见表 1。四合木种群密度变化为:高平原种群>台地种群>倾斜平原种群 2>丘陵种群>低山种群>倾斜平原种群 1。

表 1 不同四合木种群的生境特征及干扰方式

Table 1 The habitat features of six populations of *Tetraena mongolica*

种群名称 Population	种群代码** Population code	群落的主要伴生种 Accompanying species	干扰方式 Disturbance	种群密度 (株/100m ²)* Population density (ind./100m ²)
高平原种群 High Plain population	GY	霸王 <i>Zygophyllum xanthoxylon</i>	放牧 Grazing	15.4±11.3
倾斜平原种群 1 Terrace population 1	QP1	小叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>	放牧 Grazing	3.3±0.8
倾斜平原种群 2 Terrace population	QP2	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	放牧 Grazing	11.3±2.9
台地种群 Tableland population	TD	半日花 <i>Helianthemum soongorium</i>	放牧 Grazing	12.6±4.9
低山种群 Upland population	DS	红砂 <i>Helianthemum soongorium</i>	放牧及大气污染 Grazing and pollution	3.7±1.7
丘陵种群 Hill population	QL	红砂 <i>Helianthemum soongorium</i>	放牧及大气污染 Grazing and pollution	8.0±3.0

* 种群密度为平均密度±标准差 Population density = average density±standard deviation; ** 下同 the same below

对于植物种群特征的调查,采用无样地取样的样线法,在每一种群内部随机设置 50m 长的样线 3 条以上,记录每条样线上四合木出现位置。本研究共调查四合木 600 株。本文所涉及的主要参数定义如下:

- 株高 通过四合木株冠中心点的自然垂直高度;
- 冠幅 经过株冠中心点的两个直径的平均值;
- 密度 采用样线上四合木株间距估测,具体计算公式为:密度=1/(株间距,m)²×100;
- 果实产量 植株上的所有果实数;
- 种子产量 对应植株上所有果实自然干燥脱粒后的种子数量;

结实率 实际种子数与预期种子数(果实数×每果实的平均种子数)之比;

基径 距离地面 10cm 处植株的直径;

年龄 距离地面 10cm 处的四合木主干完整表面

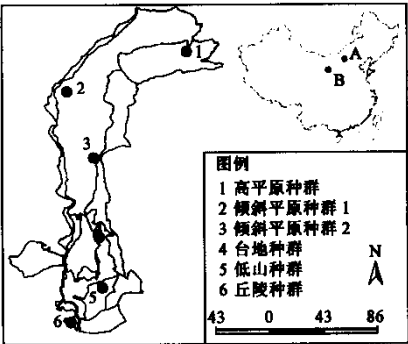


图 1 四合木的分布及研究种群的取样位置

Fig. 1 The distribution of *Tetraena mongolica* and sites of study populations

图例见表 1 种群名称 Legend see the table 1 population

的年轮。

统计分析方法 为了揭示不同生境中四合木种群之间的生长和繁殖行为差异,对不同的参数进行了方差分析;必要时,在分析之前对原始数据进行适当的数据转换以满足方差的整齐性条件。不同种群的生长和繁殖参数之间的相互关系则通过回归分析来确定,种群间回归系数的差异由一般线性模型(*general linear model*)分析比较。

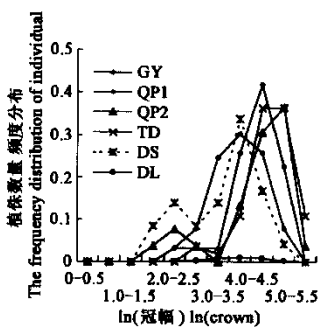
2 结果分析

2.1 四合木植株年龄与其冠幅、高度以及基径的关系

四合木是生长在草原化荒漠的多年生小灌木,由于该地区水分贫乏以及时间和空间上分布的不均匀性,它的生长和发育有很大的可塑性,对 176 株四合木的年龄与其植株冠幅、高度以及基径的多元回归分析结果可以看出:四合木植株的年龄与其基径相关最显著($r=0.63$);冠幅次之($r=0.57$);与高度的相关性最小($r=0.35$);考虑到植株的年龄与冠幅有较好的相关关系,而且植株的冠幅对于繁殖影响极大,因此本文用冠幅作为指标反映四合木种群目前的大小结构以及不同种群的营养生长速率。

表 2 四合木植株年龄与高度、基径、冠幅的关系
Table 2 The relationship between age and height, radius and crown of *Tetraena mongolica*

	方程 Equation	样本数 Sample size	相关系数 <i>R</i>	显著性 <i>p</i>
高度 Height	$Y=15.12+0.547x$	176	0.35	<0.0001
基径 Radius	$Y=1.32+0.258x$	176	0.63	<0.0001
ln(冠幅)	$Y=2.73+0.059x$	176	0.57	<0.0001



2.2 不同四合木种群内冠幅分布

从图 2 可以看出:不同四合木种群中 ln 冠幅小于 5cm(对数小于 1.5)的个体没有出现,说明四合木种群内没有幼苗,四合木种群的更新十分困难,比较不同种群的冠幅结构,发现植株冠幅大小分布为负偏斜分布,不同四合木种群个体冠幅较大的植株数量较多,QP2 植株冠幅在 90~150cm(其对数为:4.5~5)之间的个体就有 45%,DS 的植株集中在 33~55cm(其对数为:3.5~4)之间。

2.3 不同四合木种群内个体的生长

从图 3 可以看出:不同种群内植株的冠幅随着年龄增长的速率有显著差异($F_{4,304}=7.93,P<0.0001$),DS 种群植株的冠幅增长最快,GP2 增长最慢,不同种群四合木植株冠幅增长速率的排序为:DS>TD>QL>GY>QP2。

表 3 四合木种群年龄与冠幅的关系
Table 3 The relationship between age and crown in different populations of *Tetraena mongolica*

种群名称 Population	GY	QP2	TD	QL	DS
样本数 Sample size	91	52	55	29	62
回归系数 Regression coefficient	0.068	0.026	0.077	0.06	0.114
相关系数 <i>r</i>	0.686	0.224	0.733	0.711	0.803
显著度 <i>p</i>	0.000001	0.06	0.000001	0.000001	0.00001

2.4 不同四合木种群果实产量变化

不同四合木种群单株果实产量差异显著($p<0.0001$)(见表 3);其最高为 QP1(1079 粒/株),最低为 GY(173 粒/株),值得注意的是种群内的变异亦较大。

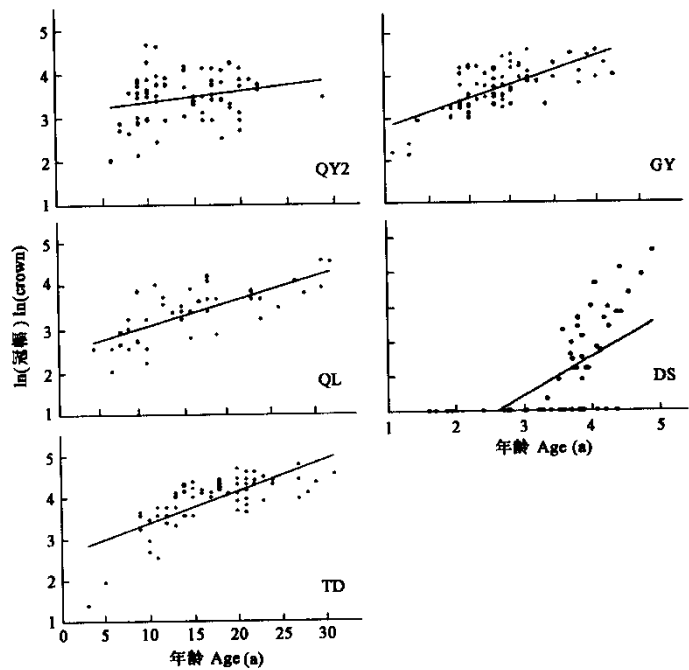


图 3 四合木种群内植株年龄与冠幅关系

Fig. 3 The relationship between crown and age in six populations of *Tetraena mongolica*

表 4 不同生境中四合木种群的繁殖状况

种群名称 Population	GY	QP1	QP2	TD	DS	QL
样本大小 Sample size	91	30	52	55	62	29
果实产量 ^a (粒/株)	170±728	1079±1597.8	791±2615.8	312±1144.9	334±1388.2	620±658.2
Fruit production						
种子产量 ^b (粒/株)	33.8±135.7	790±1876.5	204.9±435.2	12±62.7	0±0	453±681.9
Seed production						

a 果实产量为平均果实产量±标准差 fruit production=average production±standard deviation;b 种子产量为平均种子产量±标准差;seed production=average production±standard deviation

2.5 不同四合木种群种子产量的差异

种子产量在不同种群中的差异显著($p<0.0001$):最高为QP1,达790粒/株,最低为DS,即0粒/株;种子产量的变化情况是:GP1>QL>GP2>GY>TD>DS。

2.6 植株冠幅与繁殖关系

2.6.1 植株冠幅与果实产量的关系 将所有6个种群的数据综合分析发现,四合木平均单株果实产量与四合木冠幅呈显著的正相关关系($r=0.52, n=320, p<0.0001$)。就单个种群而言,其相关关系亦显著(图4、表5),但不同种群之间其斜率显著不同($F_{5,306}=2.80, P=0.017$)。通过比较回归方程的斜率可以发现:QL内植株果实产量随冠幅的增加最快,而TD种群则增长最慢。

2.6.2 植株冠幅与种子产量的关系

四合木的植株冠幅与植株种子产量相关显著($r=0.334, p<0.0001$),就单个种群(DS除外)而言,其

相关关系亦显著(表 6),但不同种群之间斜率显著不同($F_{4,245}=5.12, p=0.005$)。通过比较回归方程的斜率可以发现:QP1 内植株的种子产量随植株的冠幅增长最快,TD 的冠幅与植株的种子产量无显著的线性关系。

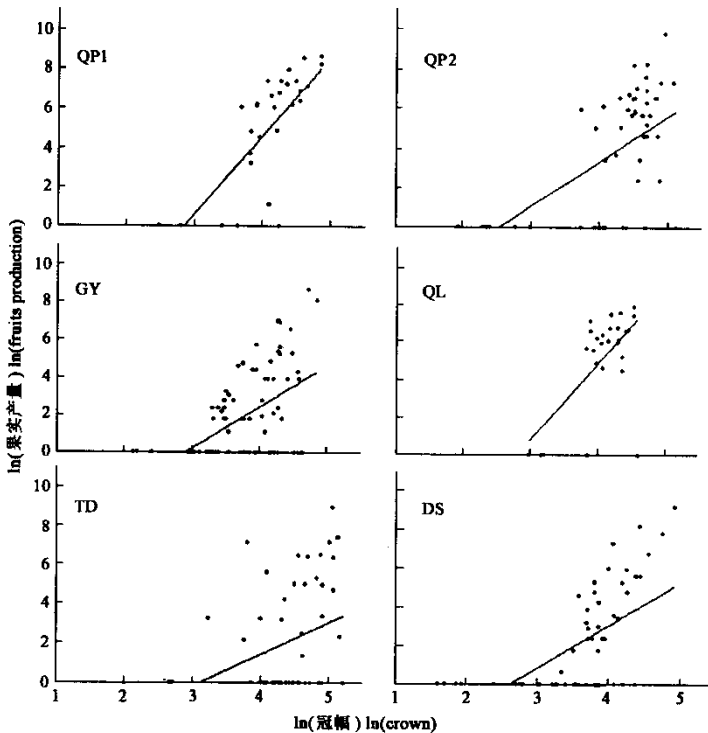


图 4 四合木种群内植株冠幅与果实产量的关系

Fig. 4 The relationship between crown and fruit production in six populations of *Tetraena mongolica*

表 5 不同四合木种群个体的冠幅与果实产量的关系
Table 5 Relationships between crown and fruit yield for six populations of *Tetraena mongolica*

种群名称 Population	样本数 Sample size	回归方程 Regression equation	相关系数 r	显著性 p
GY	91	$Y=-6.132+2.188x$	$R=0.53$	$P<0.0001$
DS	62	$Y=-5.799+2.225x$	$R=0.64$	$P<0.0001$
QP1	30	$Y=-11.29+3.981x$	$R=0.70$	$P<0.0001$
QP2	52	$Y=-5.753+2.274x$	$R=0.61$	$P<0.0001$
TD	55	$Y=-5.117+1.649x$	$R=0.30$	$P=0.022$
QL	29	$Y=-11.309+4.03x$	$R=0.63$	$P<0.0001$

表 6 四合木植株冠幅与种子产量的关系
Table 6 Relationships between crown and seed yield in different populations of *Tetraena mongolica*

种群名称 Population	样本数 Sample size	回归方程 Regression equation	相关系数 r	显著性 p
GY	91	$Y=-3.435+1.035x$	$r=0.368$	$p<0.0001$
DS	62	—	—	—
QP1	30	$Y=-12.891+3.973x$	$r=0.642$	$p<0.001$
QP2	52	$Y=-3.887+1.451x$	$r=0.417$	$p<0.001$
TD	55	$Y=-1.938+0.485x$	$r=0.234$	$p=0.086$
QL	29	$Y=-8.203+3.058x$	$r=0.426$	$p<0.021$

3 讨论
植物种群统计学研究对于了解种群变化和确定物种生活史关键阶段具有十分重要作用^[5,7,8]。由于种群大小结构与繁殖数据直接相关,因而在濒危物种保护中日益受到重视^[8]。通过对四合木种群大小结构的分析(图 2),发现其大小结构呈不连续状态。种群内植株大小的分布集中在较大的等级内,这表明四合木种

群的结构属于非金字塔形,幼苗和幼树的缺乏直接影响其自然的补充和更新。从机制上来看,由于种群内成熟植株占优势,其与幼苗对光的竞争严重影响了出土幼苗的存活率;而且由于四合木的分布区内土壤的有效水分低,刚出土的幼苗常常会因为扎根较浅而难于吸收深处的土壤水分,加之成熟植株对水分的竞争而使幼苗死亡。因而,这些可能是造成四合木不稳定种群结构的重要原因。野外调查时发现,四合木的更新苗一般出现在种群的边缘或种群间大的空斑上,在种群内部很少有更新苗出现,这正说明上面所述原因是四合木更新不良的机制。同时,由于四合木植株含有油性物质,容易点燃,长期被作为当地居民的薪柴砍伐,人为干扰也影响了四合木种群的自然更新。

四合木以种子为主要繁殖方式,开花结实是物种生活史中的关键而脆弱阶段,直接影响到种群的维持和更新^[15]。而四合木植株的果实和种子产量受种群的大小结构影响十分显著(图3、图4),现存四合木种群的大小结构是决定种群繁殖量的主要因素,由于四合木不同种群大小结构空间上的变异(图2),不同四合木种群间繁殖量差异显著,种群DS的植株平均冠幅较小,果实产量较低,其种群的种子产量为0;种群QP1和QL由于个体数量最多的植株都集中在中龄级上,即 $\ln(\text{冠幅})$ 为4~4.5的个体数最多,种群的果实产量和种子产量远高于其它种群;而种群QP2的大部分植株年龄大,其种群的繁殖量反而减小;高平原种群的冠幅结构比较均匀,果实和种子产量较大;目前狭窄的四合木分布区内开采矿石、挖掘煤炭等经济活动,造成了大面积的四合木种群消失,现存种群的面积缩小,导致不同种群的大小结构差异进一步扩大,加之种群间日益隔绝,空间上不同四合木种群的种子交流日趋困难,种群间繁殖量的差异会进一步加剧;在当地恶劣的自然资源的限制下,种子量大的种群中许多种子不能正常萌发转化为种群的幼苗,而低密度种群也会因为种子量小而缺少更新苗;四合木种群在繁殖量和自然资源的双重压力下,比一般物种的种群更易于衰亡。

影响物种濒危的原因包括:分布区大小、种群数量以及每一个种群的大小^[5,8]。四合木局限分布于西鄂尔多斯地区,由于人为干扰的频度和强度逐渐增加,分布区的面积和种群的数量急剧减少;同时也引起每一个种群的面积进一步缩小,在种群内部开花结实集中在少量的植株上,使得有效种群的大小远远小于实际种群,遗传多样性明显降低^[20];种群的繁殖量存在很大的时间上和空间上的随机性,而四合木分布区内降水量的年际波动性十分明显,对于种群的更新十分不利。

由于四合木种群的大小结构,营养生长速率以及繁殖在空间上都存在很大变异,因而对于处于不同发育阶段的四合木种群的综合保护以及促进种群间种子的正常交流是保护这一古老植物的关键。

References:

- [1] IUCN. IUCN red list categories. Switzerland, 1994; IUCN, Gland.
- [2] Raven P H. The scope of the plant conservation problem world-wide. In: Bramwell D, Hamann O, Heywood V, Syngé H, editors. *Botanic gardens and the world conservation strategy*. Academic Press, London, England, 1994. 19~20.
- [3] Falk D A. From conservation biology to conservation practices: strategies for protecting plant diversity. In: Fielder P L, Jain S K, editors. *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation and management*. Chapman & Hall, New York, USA, 1992. 397~491.
- [4] Chen Lin-Zhi. *The state of biodiversity in China and conservation strategy*. Academic Press, Beijing, 1994.
- [5] Burgman M A, Akcakaya H R and Loew S S. The use of extinction models for species conservation. *Biological Conservation*, 1988, **43**: 9~25.
- [6] Pimm S L, Jones H L, Diamond J. On the risk of extinction. *American Naturalist*, 1988, **132**: 757~785.
- [7] Holsinger K E, Gottlieb L D. Conservation of rare and endangered plants: principles and prospects. In: Falk D A, Holsinger K E, editors. *Genetics and conservation of rare plants*. Oxford University Press, New York, USA, 1991: 195~208.
- [8] Lande R. **万方数据** and demography in biological conservation. *Science*, 1988, **241**: 1455~1460.
- [9] Rabinowitz D, Cairns S, Dillon T. Seven forms of rarity and the frequency in the flora of the british Isles. In:

Soule M E, editors *Conservation biology: The science of scarcity and diversity*. Sinauer, Sounderland, Mass, 1986. 182~204.

[10] Schemske D W *et al.* Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*, 1994, **75**:584~606.

[11] Levin D A, Kerster, H W. Gene flow in seed plants. *Evolutionary biology*, 1974, **7**: 139~317.

[12] Hanski I. Colonization of ephemeral habitats. In: Pickett S T A, White P S, editors. *Ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Academic Press, Orlando, Florida, USA, 1985. 155~185.

[13] Menges E S. Population viability analysis for an endangered plant. *Conservation Biology*, 1990, **4**: 41~62.

[14] Silvertown J W, Lovett Doust J. *Introduction to plant population biology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1993.

[15] Fiedler P L. Life history and population dynamics of rare and common mariposa lilies (*Calochortus Pursh; Liliaceae*). *Journal of Ecology*, 1987, **75**:977~995.

[16] Li Bo, Shi Pei Jun, Li Tian Jie. *The study of natural resource and environmental in Ordos, Inner Mongolia*, Academic Press, Beijing, 1990.

[17] Dong X J. Experimental measurement of the water relations parameters of nine shrubs and some ecological interpretations. *Acta Botanica Sinica*, 1998, **39**: 149~155.

[18] Dong X J and Zhang X S. Some observations of the adaptations of sandy shrubs to the arid environment in the Mu Us Sandland: leaf water relations and anatomic features. *Journal of Arid Environments*, 2001, **48**: 41~48.

[19] Wu S Q, Li K C, Yang R Q, *et al.* The study of *Tetraena mongolica* seeds characteristic. *Pratacultural Science*, 1994, **11**(3):29~31.

[20] Zhang Y J, Yang C. Comparative analysis of genentic diversity in the endangered shrub *Tetraena mongolica* and its related congener *Zygophyllum xanthoxylon*. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(4): 425~429.

参考文献:

[4] 陈灵芝. 中国的生物多样性现状及其保护对策. 北京:科学出版社, 1994.

[16] 李博, 史培军, 李天杰. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境研究. 北京:科学出版社, 1990.

[17] 董学军. 九种灌木水分关系的实验研究和生态学解释. 植物学报, 1998, **39**: 149~155.

[19] 吴素琴, 李克昌, 杨瑞全, 等. 四合木种子特性的测定研究. 草业科学, 1994, **11**(3):29~31.

[20] 张颖娟, 杨持. 濒危灌木四合木及其近缘种霸王 的遗传多样性的比较分析. 植物生态学报, 2000, **24**(4):425~429.