

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.02.019

陈银萍, 于飞, 杨宗娟, 等. 东祁连山青海云杉种群大小结构及其动态研究[J]. 广西植物 2013, 33(2): 236-241

Chen YP, Yu F, Yang ZJ et al. Size structure and dynamic of the *Picea crassifolia* populations on eastern Qilian Mountains[J]. *Guihaia* 2013, 33(2): 236-241

东祁连山青海云杉种群大小结构及其动态研究

陈银萍, 于飞, 杨宗娟, 张静, 李冬花, 张风霞

(兰州交通大学 环境与市政工程学院, 兰州 730070)

摘要: 采用大小级结构和聚类的方法分析东祁连山青海云杉种群结构及其增长趋势。结果表明: 青海云杉种群大小级结构可划归于增长型、稳定型、成熟型和衰退型; 东祁连山青海云杉林大都处于中龄林阶段, 属于稳定型种群; 种群大小级结构动态与青海云杉林演替序列基本上成线性关系, 体现了种群自组织、自发展的趋稳性; 成、过熟林种群大小级结构的非线性波动则体现了种群以自恢复、自调节使群落整体达到相对稳定状态。

关键词: 东祁连山; 青海云杉; 大小结构; 动态

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)02-0236-06

* Size structure and dynamic of the *Picea crassifolia* populations on eastern Qilian Mountains

CHEN Yin-Ping, YU Fei, YANG Zong-Juan, ZHANG Jing, LI Dong-Hua, ZHANG Feng-Xia

(School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The structure and growth trend of the *Picea crassifolia* populations on eastern Qilian Mountains were analyzed using the method of size structure and cluster. The results demonstrated that there were four types of size structure of the populations as the increasing type, the stationary type, the mature type and the declining type; the *Picea crassifolia* populations on eastern Qilian Mountains were mostly in middle-aged forest stage, belonging to a stationary type; the relationship between size structure dynamic of the populations and succession appeared to be linear, embodying the tendency toward steady state of the population by self-organization and self-development; some non-linear fluctuation of size structure occurred in the mature and over mature stages, embodying the relative steady-state by self-regulation and self-repair of the population.

Key words: eastern Qilian Mountains; *Picea crassifolia*; size structure; dynamic

种群是构成群落的基本单位, 其结构不仅对群落结构有直接影响, 而且能客观地体现群落的发展趋势。因此, 研究群落种群结构及其更新机制对阐明种群生态特性、更新对策乃至群落的形成及其稳定性与演替规律等都具有重要意义(李俊清, 2006)。青海云杉(*Picea crassifolia*)林是祁连山自

然保护区水源涵养林主要森林类型, 喜寒冷潮湿环境, 多生长于海拔 2 600 ~ 3 400 m 的阴坡和半阴坡, 有关青海云杉种群的研究已有较多报道(刘建泉, 2004; 张立杰等 2012), 但对东祁连山青海云杉种群结构的研究报道尚少。种群大小级结构是探索种群状态的有效方法, 既可以阐明种群的动态特征, 又能

* 收稿日期: 2012-10-19 修回日期: 2013-01-01

基金项目: 国家自然科学基金(31060060, 31260089); 兰州交通大学“青蓝”人才工程基金(QL-08-14A)

作者简介: 陈银萍(1974-), 女, 甘肃榆中人, 博士, 副教授, 主要从事环境生态学研究。(E-mail) yinpch@yahoo.com.cn。

在一定程度上阐明种群与环境的互作过程,对种群恢复有一定的指导意义(Knowles & Grant, 1983; Johnson, 1997; Rebertus & Veblen, 1993; 高邦权等, 2005; 邓潮洲等, 2010; 张兴旺等, 2011)。本文通过样地调查,采用大小级结构和聚类的方法,分析东祁连山青海云杉种群结构特征,确定种群结构类型,考查种群大小结构的动态变化,以期为青海云杉种群的合理保护及祁连山水源涵养林可持续经营策略的制定提供参考。

1 研究区概况

研究区位于祁连山的扁都口以东,地理位置为 $33^{\circ}50' \sim 40^{\circ}30' \text{ N}$, $98^{\circ} \sim 104^{\circ} \text{ E}$,属中等切割的高山地貌,海拔 $2\,500 \sim 3\,700 \text{ m}$,土壤为山地灰褐土。气候寒冷,年均气温在海拔 $3\,000 \text{ m}$ 以下山地为 $-0.2 \sim 6.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $3\,000 \text{ m}$ 以上山地为 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,极端最高气温在海拔 $3\,000 \text{ m}$ 以下的山地为 $34 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $3\,000 \text{ m}$ 以上的山地为 $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。年极端最低气温 -30.2

$^{\circ}\text{C}$,年降水量约 400 mm 。气候寒冷而湿润,适于暗针叶林生长,在海拔 $2\,400 \sim 3\,200 \text{ m}$ 的部分为阴坡,保留有林相较整齐的青海云杉林,在低海拔和高海拔混交一定数量的杨桦和祁连圆柏(刘兴聪, 1992)。

2 研究方法

2.1 样地调查

在东祁连山地区选择了20个属于不同次生演替阶段的群落或同一演替阶段但林龄不同的样地(表1)。选择样地时尽可能使各取样地点的生境因子保持一致。样地的选择满足了2个条件:(A)不同演替阶段的群落必须具有特征性的优势种;(B)青海云杉种群年龄的可确定性,即每一阶段对应一确定的年龄级。样地面积为 $1\,600 \text{ m}^2$ ($40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$),采用相邻格子样方法划分为4个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方,对每一个样方调查所有种群个体的株高、胸径、基径等特征,同时记录群落类型、主要种类组成、群落高

表1 样地概况

Table 1 General situation of the sampled plots

样地号 Plot No.	地点 Site	海拔高度(m) Elevation	坡向 Aspect	坡度 Slope($^{\circ}$)	种群年龄(ind/hm ²) Age of population	种群密度(株/hm ²) Density of population	郁闭度(%) Canopy	群落类型 Community type
A1	马蹄	2 920	E	16	35	1250	0.5	云杉纯林
A2	西营河	2 830	N	30	43	6400	0.8	云杉纯林
A3	祁连	2 825	EN	24	49	6250	0.6	云杉纯林
A4	马蹄	2 810	EN	22	53	6075	0.6	云杉纯林
A5	康乐	2 850	N	14	58	5750	0.7	云杉纯林
A6	祁连	2 820	N	35	66	5575	0.9	云杉山杨林
A7	古城	2 460	WS	44	68	5500	0.7	杨桦云杉林
A8	西水	2 900	WN	25	72	6150	0.6	云杉纯林
A9	西水	2 950	WN	22	77	7325	0.5	云杉纯林
A10	康乐	3 040	WN	16	86	5950	0.6	云杉纯林
A11	西营河	2 740	EN	32	97	5750	0.6	云杉纯林
A12	西水	3 000	WN	30	105	5800	0.6	云杉纯林
A13	康乐	3 000	W	20	119	6450	0.6	云杉纯林
A14	祁连	2 735	WN	32	137	4475	0.9	云杉桦木林
A15	西营河	2 700	EN	34	152	6150	0.6	云杉纯林
A16	隆畅河	3 030	N	10	157	8400	0.5	云杉纯林
A17	康乐	3 175	WN	40	156	6325	0.5	云杉纯林
A18	西水	2 990	WN	40	171	7000	0.6	云杉纯林
A19	隆畅河	0 130	WN	35	163	8200	0.5	云杉纯林
A20	西水	3 070	WN	19	1721	6775	0.5	云杉纯林

度、盖度、多度等群落学特征和有关的生境条件。

2.2 种群结构分析

2.2.1 种群大小划分 样地青海云杉种群年龄,即种群入侵立地以来的时间,用样地中青海云杉种群

最大个体的年龄级来估计。对于青海云杉每个个体来说,由于本次调查样地数目较大且样地间地域跨度也较大,通过钻取木芯来确定其个体年龄较为困难。鉴于此,这里采用“空间差异代替时间变化的方

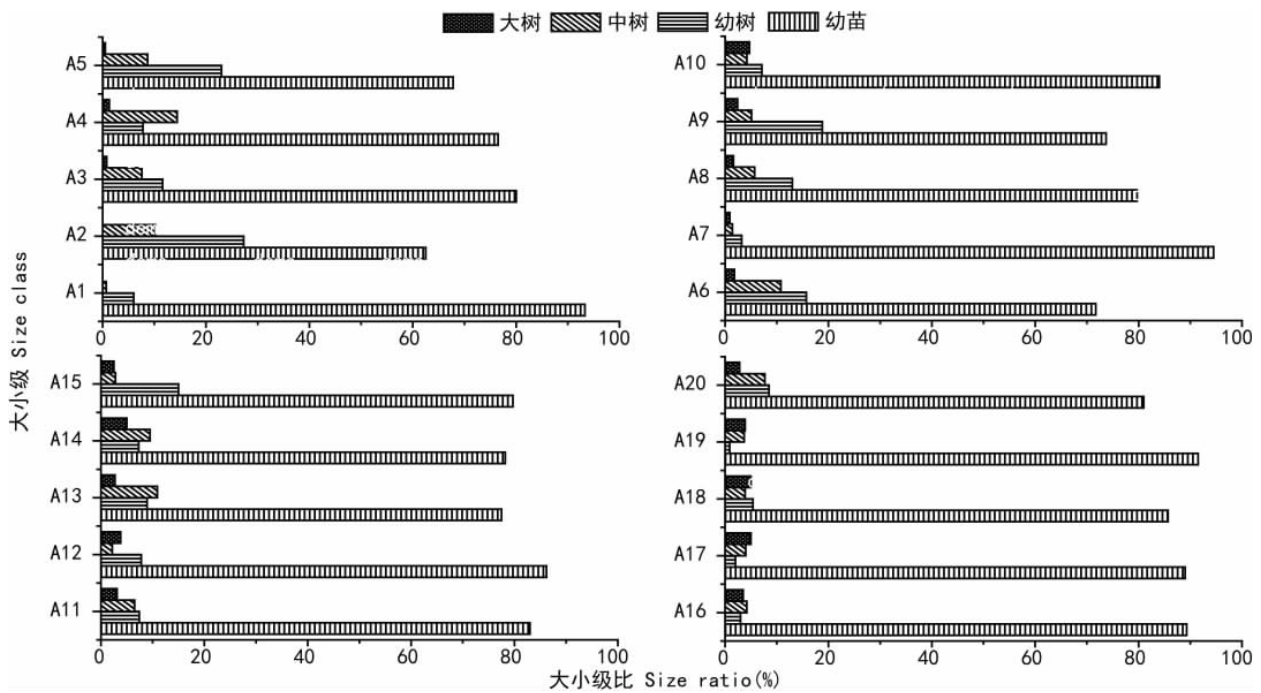


图1 各样地青海云杉种群大小结构(横坐标为大小级比(%),纵坐标为大小级)

Fig. 1 Size structure of *Picea crassifolia* population in 20 plots (x axis is size ratio(%), y axis is size class)

法”,即大小结构代替年龄结构分析青海云杉种群结构。在种群结构图中,横坐标表示各个大小级比率,纵坐标表示各个大小级。根据青海云杉生活史特点,参考有关种群大小级划分方法(胡小兵等,2003),将青海云杉种群大小结构划分为4个级别:1级:幼苗,高度 ≤ 33 cm,胸径 ≤ 5.0 cm;2级:幼树,高度 > 33 cm, 5.0 cm $<$ 胸径 ≤ 12.5 cm;3级:中树, 12.5 cm $<$ 胸径 ≤ 22.5 cm;4级:大树,胸径 > 22.5 cm。根据种群大小级的划分标准,将上述样地上的数据进行整理,得到了青海云杉种群大小结构分布图(图1)。

2.2.2 存活曲线 在对所有样地内不同的个体大小级分类的基础上,以各个大小级的自然对数为横坐标,样地现存个体数的自然对数为纵坐标,得到了青海云杉种群存活曲线图(图2)。

2.3 聚类分析

聚类分析根据各实体间的相似关系,将实体归纳为若干组,其组内的实体尽量相似,而组间的实体尽量相异,从而实现其客观分类的目的。聚类分析的方法有很多,但不同的方法只不过是实现此目的的不同途径(李援越,2002)。其中,采用组平均聚类法(UPGA)是植物研究中常用的方法,也是较理想的聚合方法(徐克学,1994)。本文采用欧式距离

系数和UPGA方法对20个样地中种群的大小结构进行聚类分析,分析其种群结构。该计算利用软件STATISTICA 7.0进行。

3 结果与分析

3.1 青海云杉种群大小结构分析

从青海云杉种群大小结构(图1)和种群存活曲线(图2)分析,青海云杉种群大小结构可分为4种类型:

I. 增长型种群:种群个体胸径大多数不超过12.5 cm,大小结构呈明显的金字塔形,存活曲线略呈弧形,种群常出现于针阔混交林中或次生灌丛中,如A1、A2、A3、A5、A6、A7。

II. 稳定型种群:种群大小结构呈倒J形金字塔形,即拥有较多的幼苗和幼树以及少量大树,存活曲线的形状介于凹型和凸型之间,类似于直线型。由于形成机制不同,这里稳定型种群存在着两种情况,一种存在于演替早期的青海云杉纯林中,如A4、A8、A9、A10、A11,它主要通过增长型青海云杉种群发展而来;另一种存在于成熟的青海云杉纯林中,它主要通过局部林窗效应恢复而产生,它与前者的青海云杉种群类型不存在延续性,如A15、A20。

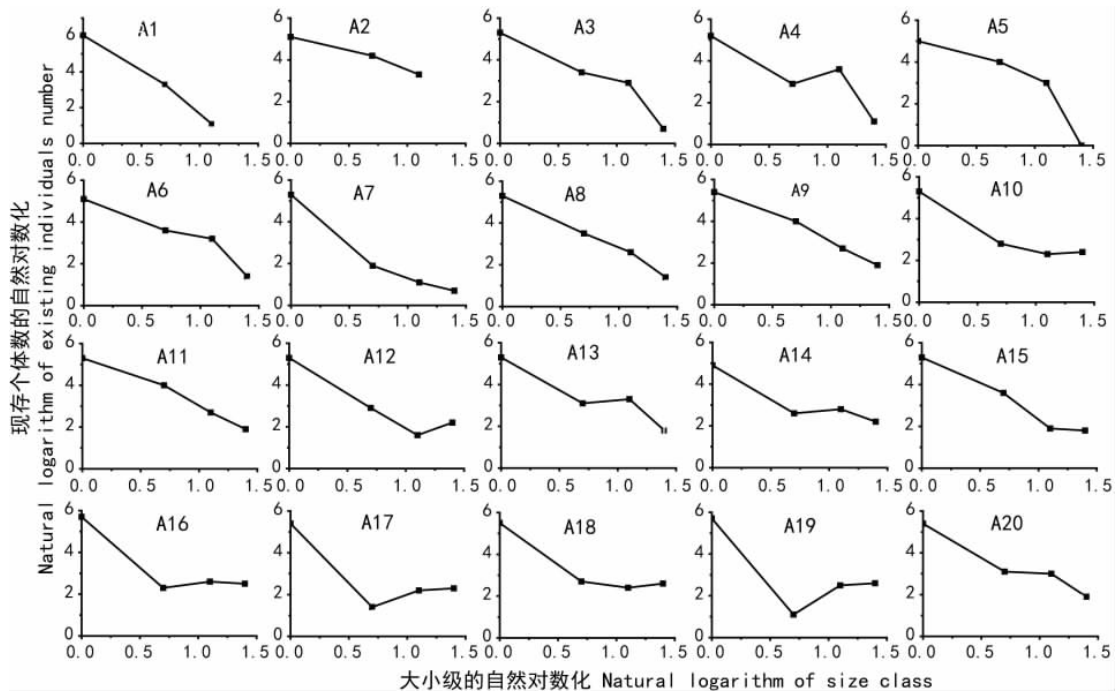


图 2 各样地青海云杉种群存活曲线 (横坐标为大小级的自然对数化、纵坐标为现存个体数的自然对数化)
 Fig. 2 Survival curves of *Picea crassifolia* populations in 20 plots (x axis is natural logarithm of size class y axis is natural logarithm of existing individuals number)

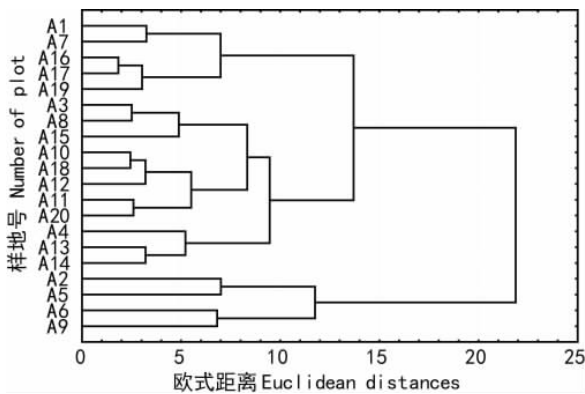


图 3 各样地青海云杉种群聚类树状图
 Fig. 3 Dendrogram of *Picea crassifolia* populations in 20 plots

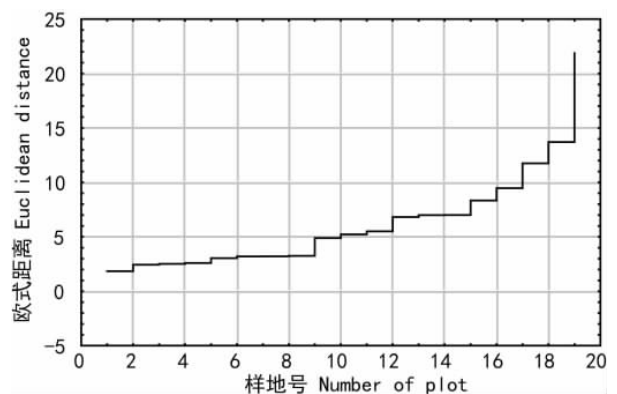


图 4 各样地青海云杉种群聚类过程阶梯图
 Fig. 4 Grading plot of clustering of *Picea crassifolia* populations in 20 plots

Ⅲ. 成熟型种群: 种群大小结构分布已不规则, 但各个大小级还存在着延续性, 没有出现缺失现象, 幼苗数量虽然不多, 但仍多于中树和大树的数量, 幼树数量较少, 存活曲线在其中段呈一明显的凹型, 此时的群落外貌、结构已分化成熟, 故称为成熟型种群, 如 A12、A13、A14。

Ⅳ. 衰退型种群: 种群大小结构存在不同程度的个体缺失或某大小级个体极少, 存活曲线出现断点,

如 A16、A17、A18、A19。

3.2 青海云杉种群聚类分析

根据 20 个样地的聚类树状图 (图 3) 和聚类过程阶梯图反映出的特点 (图 4), λ 值在 12 处的跨越最大, 因此, 选取 $\lambda = 12$ 为阈值将 20 个样地划分为 3 个类型:

第一类: 幼苗数量多, 占到该种群样地树木的 90% 以上, 幼树、中树和大树数量少, 且比例不一。

此类种群平均郁闭度为 0.54,表明其林地阳光充足,利于幼苗迅速成长,因此,该种群属于增长期。按林龄分两种情况:其一,种群年龄偏小(<70 a),幼苗数量远大于中树和大树,包括:A1、A7;其二,种群年龄偏大(>150 a),过熟纯林中大树死亡或倒伏,在群落中局部地段产生林窗,在林窗较适宜的光照条件下,幼苗、幼树迅速生长,包括:A16、A17、A19。

第二类:幼苗数量较第一类而言有所减少,占该种群样地树木的68%,而幼树数量相对增加,中树和大树数量依然较少。此类种群平均郁闭度为0.73,表明其林地枝叶繁茂,阳光不足,不利于幼苗成长,且幼树由于迅速长高,占据有利资源,导致幼树数量较多,林龄为40~80 a,介于增长期和稳定期之间,因此,该种群属于增长后期,正向稳定期过渡。包括:A2、A5、A6、A9。

第三类:幼苗数量仍然较多,占到该种群样地树木的80%左右,但幼树、中树和大树数量适中,比例均衡。此类种群平均郁闭度为0.62,种群年龄多为80~150 a,表明种群结构平衡,因此,该种群属于稳定期。包括:A3、A4、A8、A10、A11、A12、A13、A14、A15、A18、A20。此外,根据聚类过程阶梯图反映出的特点(图4),λ值在9处有一个较为明显的跨跃,选取λ=9为阈值又可分为两类,其中一类属于林窗期,林龄多为120~140 a,由成熟林的林窗效应恢复而来,与增长型种群不存在延续性,即A4、A13、A14。

3.3 青海云杉种群大小结构动态与群落演替的关系

祁连山地区青海云杉种群大小结构与群落演替各阶段的关系归纳在表2中。青海云杉是阴性树种,多生长在阴坡和半阴坡上,耐寒耐旱耐瘠薄,种子小而轻、具有膜翅及数量巨大,是对构造上迁移能力不足和定居生境条件严酷及竞争中处于劣势等因素的有力补偿,且种子有较强的发芽力,一旦杨桦林为青海云杉的生长创造了有利的生境,青海云杉便顺利侵入杨桦林并在杨桦的辅佐与遮荫作用下迅速生长,这时其大小结构属增长型。随着青海云杉个体的生长,青海云杉逐渐进入乔木层,群落郁闭度增大,杨桦等种群由于荫蔽不能更新,开始逐渐退出群落,青海云杉种群由于生长迅速逐渐在林冠层中占据了优势地位,群落也发展成为以青海云杉为优势种的类型,多形成单层纯林结构,此时其大小结构属稳定型。随着群落的发展,郁闭度越来越大,青海云杉种群由于种内竞争引起自疏作用,种群密度开始下降,种群大小结构趋于成熟型,群落发展成以青海云杉为单优种的顶极群落,在这种群落中大小结构显示出某种不稳定的迹象,幼树个体数量较少,这些特点主要是由于林内较差的光照条件和青海云杉本身生物学特性所决定的,青海云杉幼苗虽然有一定的耐荫能力,但其幼树需要充足的阳光才能生长良好,而郁闭的青海云杉纯林下较差的光照条件影响了其幼树的生长,使其死亡率较高,由此导致了这种成熟型的大小结构。

表 2 不同群落演替阶段中青海云杉种群大小结构

Table 2 Dynamics of size structure of *Picea crassifolia* populations in different community succession stages

群落演替阶段 Stage of community succession	云杉杨桦 混交林	云杉林			
		幼龄林	中龄林 近熟林	成熟林	过熟林
种群大小结构类型 Types of population size structure	I	I	II	III	IV
				II 林窗更新	

此外,由于青海云杉纯林下灌木、草本、藓类等盖度过大,特别是苔藓层厚度大,从而使青海云杉种子无法接触到土壤而生长发育为幼苗,这样就形成了大树、中树多而幼苗、幼树少的倒金字塔形的衰退型种群大小结构类型。正是这一种群大小结构上的特点,使得在过熟的青海云杉纯林中大树死亡或倒伏,在群落中的局部地段形成林间空地即林窗,一旦林窗形成,在林窗较适宜的光照条件下,青海云杉种子大量萌发,幼苗、幼树迅速生长,进入林冠层。衰

退型的青海云杉种群可通过林窗完成更新并修复自己的种群结构,使种群结构又趋于稳定型。这种现象可以不断地在青海云杉成、过熟林中不同地段内发生。这使得青海云杉种群的大小结构变化具有波动性,但这种波动性与演替过程中青海云杉种群大小结构的动态具有不同的生态学意义,前者是种群在同一群落类型中的一种非线性的波动现象,后者是种群在不同群落类型替代过程中的一种线性的动态变化过程。青海云杉种群大小结构的这种方式,

说明青海云杉种群在青海云杉成、过熟林中可通过林窗更新,高概率地维持自己在群落中的优势地位,因而青海云杉林群落被视为单优顶级群落,可以长期保持相对稳定。

4 结论与讨论

种群结构和动态是生态学研究的核心内容之一(刘建泉等,2012),通过对青海云杉种群大小结构和种群存活曲线的分析,青海云杉种群大小结构可以分为4种类型:Ⅰ.增长型,种群平均年龄(林龄)38~70 a,胸径 ≤ 12.5 cm,大小级结构呈明显的金字塔形,存活曲线略呈弧形;Ⅱ.稳定型,拥有幼苗、幼树及少量大树,大小级结构呈倒J形金字塔形,存活曲线介于凹、凸型之间,接近直线型,可区分为2种情形(其一,由增长型种群发展而来,种群平均年龄多为70~100 a;其二,由成熟林的林窗效应恢复而来,与增长型种群不存在延续性);Ⅲ.成熟型,大小级结构呈现不规则构型,平均年龄多为100~150 a,但仍存在大小级间的延续性,无缺失现象,存活曲线中端呈明显凹形;Ⅳ.衰退型,种群大小级结构存在不同程度的个体缺失现象,存活曲线出现相应断点,种群平均年龄 > 150 a(即成熟林、过熟林)。而目前东祁连山青海云杉林大都处于中龄林阶段,属于稳定型种群。通过对青海云杉种群的聚类分析,青海云杉种群可以分为3种类型:Ⅰ.增长期种群;Ⅱ.增长后期种群;Ⅲ.稳定期种群。聚类分析所得结果,与种群大小结构和种群存活曲线所得结果虽然不尽相同,即青海云杉种群结构所分类型不同,可能是与幼苗数量多且变化幅度小,中树和大树数量少且其变化对整体数据影响不大有关,但分析结果大部分相似,能基本反映其结构特征。然而,大小级结构分析所得结果表明,种群结构特征显著,种群年龄分界明显,空间差异代替时间变化还原度高。因此,对东祁连山青海云杉种群进行大小级结构分析,能够更好地反映其结构特征。

群落演替现阶段在空间上的差异可以反映种群在时间上的变化,因此把青海云杉种群的大小结构与群落演替的各阶段联系起来分析,可以反映种群数量动态及其发展趋势,有助于理解群落的动态及发展趋势(刘普幸等,2012)。在自然和人为干扰的影响下,云杉林常常会被其它群落更替,而后在这些群落的林冠下又会出现云杉幼苗更新,逐渐地排挤

上层林木,林分又恢复到云杉林(刘兴聪,1992)。本研究中青海云杉种群大小级结构动态与演替序列基本上成线性关系,体现了种群自组织、自发展的趋稳性。另外植物群落尤其是森林群落都具有一个以上的层次,尽管它们在群落中的地位和作用有所不同,但它们都执行同一种功能——光合生产。当上一层次受损时,下一层次便接替上来,以维持一定的光合生产能力。因此,群落的所有层次是按并联方式组合的,即层次(或不同高度的个体)是冗余的。层次冗余除保持群落光合生产相对稳定外,还具有使群落恢复原貌的能力。这里研究的青海云杉种群也是如此,其林层的配合形式呈明显的金字塔形,有足够的冗余,为最佳配合。青海云杉能在林内更新,它的中幼树在各层次缓慢地生长。当上层的云杉个体衰老或遭受干扰而死亡时,下一层次中的个体便能迅速生长,最终填满上层云杉原先所占据的空间,通过这种林窗更新使群落恢复原貌,在对群落稳定性的维持中这种冗余兼有双重特性:既具有抵抗力又具有恢复力。青海云杉成、过熟林种群大小级结构的非线性波动正体现了种群以自恢复、自调节使群落整体达到相对稳定状态。

参考文献:

- 李俊清. 2006. 森林生态学[M]. 北京: 高等教育出版社: 186-192
- 刘兴聪. 1992. 青海云杉[M]. 兰州: 兰州大学出版社
- 徐克学. 1994. 数量分类学[M]. 北京: 科学出版社
- Deng CZ(邓潮洲), Zhang XM(张希明), Li L(李利), et al. 2010. Community characteristics and population structure of *Populus euphratica* Oliv in lower reaches of Tarim River(塔里木河下游胡杨群落特征及种群结构分析)[J]. *J Desert Res*(中国沙漠) 30(3): 589-595
- Gao BQ(高邦权), Zhang GF(张光富). 2005. Studies on population structure and distribution pattern of *Celtis sinensis* in Laoshan National Forest Park of Nanjing(南京老山国家森林公园朴树种群结构与分布格局研究)[J]. *Guihaia*(广西植物) 25(5): 406-412
- Hu XB(胡小兵), Yu MJ(于明坚). 2003. Size structure and distribution pattern of *Cyclobalanopsis glauca* population in evergreen broad-leaved forests(青冈常绿阔叶林中青冈种群结构与分布格局)[J]. *J Zhejiang Univ*(浙江大学学报) 30(5): 574-579
- Johnson JB. 1997. Stand structure and vegetation dynamics of a subalpine wooded fen in Rocky Mountain National Park, Colorado [J]. *J Veget Sci* 8: 337-342
- Knowles P, Grant MC. 1983. Age and size structure analyses of *Engelmann spruce*, *Ponderosa pine*, *Lodgepole pine*, and *Limber pine* in Colorado [J]. *Ecology* 64(1): 1-9
- Li YY(李捷越). 2002. The multivariate analysis methods applying in the domain of ecology(多元分析法在生态学中的应用)(下转第163页 Continue on page 163)

- seed aging and death [J]. *Nature* **260**: 323 - 324
- Hasegawa K, Kusunoki M. 1998. Inoue Y. Simulation of S2-state multiline EPR signal in oriented Photosystem II membranes: Structural implications for the manganese cluster in anoxygenic-evolving complex [J]. *Biochemistry* **37**(26): 9 457 - 9 465
- Hou DY(侯典云), Zhao PP(赵盼盼), Ma ZQ(马占强). 2011. The effect of manganese on seed germination and seedling growth of triticum aestivum 锰处理对小麦种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *J Henan Agric Sci(河南农业科学)* **40**(7): 38 - 40
- Hu J(胡晋). 1986. The improvement of seed vigor by using TTC (TTC 定量法测定玉米种子活力的改良) [J]. *Seed(种子)*, (5-6): 71 - 72
- Liu JF(刘建凤), Cui YH(崔彦宏), Wang RH(王荣焕). 2005. Effects of manganese on maize seed germination and physiological activities of seedlings(锰对玉米种子萌发及幼苗生理活性的影响) [J]. *Plant Nutr Fertil Sci(植物营养与肥料学报)*, **11**(2): 279 - 281
- Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), Ni JY(倪建英) *et al.* 2002. The effects of soaking of manganese on germination and physiological characteristics of soybean seedling(锰浸种对大豆种子萌发和幼苗生理特性的影响) [J]. *Chin J Oil Crop Sci(中国油料作物学报)* **24**(4): 24 - 29
- Renger G. 1997. Mechanistic and structural aspects of photosynthetic water oxidation [J]. *Physiol Plant* **100**: 828 - 841
- Xu GD(徐根娣), Liu P(刘鹏), Xu XJ(许献军) *et al.* 2003. Effects of soaking of manganese on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems of soybean seedling(锰浸种对大豆幼苗膜脂过氧化和体内保护系统的影响) [J]. *J Zhejiang Norm Univ: Nat Sci Edit(浙江师范大学学报·自然科学版)* **26**(3): 278 - 282
- Xu GD(徐根娣), Sun HH(孙和和), Liu P(刘鹏) *et al.* The effects of manganese on isozymes of soybean(大豆过氧化物酶和酯酶同工酶对锰胁迫的反应) [J]. *J Zhejiang Norm Univ: Nat Sci Edit(浙江师范大学学报·自然科学版)* **29**(2): 195 - 200
- Yachandra VK, Saue K, Klein MP. 1996. Manganese cluster in photosynthesis: where plants oxidize water to dioxygen [J]. *Chem Rev* **96**(7): 2 927 - 2 950
- Yu HN(俞慧娜), Xu GD(徐根娣), Yang WY(杨卫韵) *et al.* 2005. Effects of manganese on physiological characteristics of soybean(锰处理对大豆生理特性的影响) [J]. *J Henan Agric Sci(河南农业科学)* **4**(7): 35 - 38
- Zhou HB(周化斌). 2002. Developments of peroxidase isozymes during seed germination of soybean 大豆种子萌发中过氧化物酶同工酶的动态研究 [J]. *Seed(种子)* **1**: 12 - 19
- Zhou HB(周化斌), Jiang D(姜丹), Jin WT(金卫挺) *et al.* 2003. The effect of manganese on seed germination of soybean (锰对大豆种子萌发的影响) [J]. *Seed(种子)* **4**(4): 22 - 23

(上接第 241 页 Continue from page 241)

- [J]. *J Guizhou Univ(贵州大学学报)* **21**(3): 215 - 218
- Liu JQ(刘建泉). 2004. Spatial pattern of *Picea crassifolia* population in Qilianshan nature conservation(祁连山保护区青海云杉种群分布格局的研究) [J]. *J Northwest For Univ(西北林学院学报)* **19**(2): 152 - 155
- Liu JQ(刘建泉), Sun JZ(孙建忠), Yang KE(杨开恩) *et al.* 2012. Structure and dynamics of *Picea crassifolia* population in Dongdahe forest area of Qilian Mountains Nature Reserve(东大河林区青海云杉种群结构与动态) [J]. *J Northwest For Univ(西北林学院学报)* **27**(2): 18 - 21
- Liu PX(刘普幸), Zhang J(张杰). 2012. Dynamics of *Populus euphratica* population in Guazhou Oasis Northwest China (瓜州绿洲胡杨种群结构与动态研究) [J]. *J Desert Res(中国沙漠)*, **32**(2): 407 - 412
- Rebertus AJ, Veblen TT. 1993. Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina [J]. *J Veget Sci* **4**: 641 - 654
- Zhang LJ(张立杰), Liu H(刘鹤). 2012. Response of *Picea crassifolia* population to climate change at the treeline ecotones in Qilian Mountains(祁连山林线区域青海云杉种群对气候变化的响应) [J]. *Sci Silv Sin(林业科学)* **48**(1): 18 - 21
- Zhang XW(张兴旺), Zhang XP(张小平), Hao CY(郝朝运) *et al.* 2011. Population structure and spatial distribution pattern of *Pteroceltis tatarinowii* in Langyashan Mountain of Anhui Province (安徽琅琊山青檀种群结构与空间分布格局研究) [J]. *Guihaia(广西植物)* **31**(6): 782 - 788