

北京山区人工侧柏林的径级结构与空间分布格局

张佳音, 丁国栋, 余新晓, 史宇, 贾丽娜

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 利用径级结构、空间分布格局、混交度和大小比等 4 个指标来分析北京十三陵林场人工侧柏 *Platycladus orientalis* 林公顷级样地的结构与空间分布格局。结果表明: ①十三陵人工侧柏林胸径分布呈截尾正态分布, I 级和 II 级个体占总株数的 82.6%; ②群落中侧柏种群呈高度集群分布, 聚集度随胸径增长而下降; ③全林的混交程度较低, 平均混交度为 0.15。各树种混交度侧柏为最低, 其他伴生树种混交度以中度、强度和极强度为主; ④优势种侧柏和大部分伴生树种大小比表现为劣态或绝对劣态。图 1 表 4 参 15

关键词: 森林经理学; 侧柏; 人工林; 林分结构; 北京山区

中图分类号: S718.55 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)01-0030-06

Diameter structure and spatial distribution pattern of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing mountain area

ZHANG Jia-yin, DING Guo-dong, YU Xin-xiao, SHI Yu, JIA Li-na

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Four indexes (diameter structure, spatial distribution pattern, mingling, and neighborhood comparison) were used to analyze the spatial structure and spatial distribution pattern of the *Platycladus orientalis* plantation in Ming Tombs Forest Farm. The results showed that: 1) Diameter distribution of the *P. orientalis* plantation revealed truncated normal distribution. The quantity of grade I and II was about 82.6% of the total plants. 2) The *P. orientalis* population of the community revealed highly clumped pattern. The aggregation degree was decreasing with the diameter increasing. 3) The average mingling value of the whole stand was 0.15, which was at a low level. The *P. orientalis* population had the lower mingling value than other populations. The mingling values of the associated tree species presented almost moderate, intensity and high intensity. 4) The value of neighborhood comparison of the population of *P. orientalis* and most of the associated tree species presented almost inferiority and absolutely inferiority. [Ch, 1 fig. 4 tab. 15 ref.]

Key words: forest management; *Platycladus orientalis*; plantation; structure; Beijing mountain area

侧柏 *Platycladus orientalis* 是柏科 Cupressaceae 侧柏属 *Platycladus* 植物, 原产中国和朝鲜, 耐干旱贫瘠且寿命长, 群落比较稳定, 是恶劣生境的主要造林树种之一^[1]。几十年来, 侧柏一直是北京山区低山针叶林中的主要树种之一, 在北京山区的生态环境建设中有着不可替代的地位。但由于它们多为 20 世纪 50 - 80 年代营造的人工林, 在当时社会经济条件和科研水平的制约下, 侧柏林生态系统出现了稳定性差, 生态服务功能低下, 生物多样性丧失严重和森林火险隐患突出等问题。林分空间分布格局是指林木在林地上的分布及其属性在空间上的排列方式, 也就是林木之间树种、大小、分布等空间关系。林分空间分布格局决定了树木之间的竞争势及其空间生态位, 它在很大程度上决定了林分的稳

收稿日期: 2009-01-19; 修回日期: 2009-06-10

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研项目(200804022)

作者简介: 张佳音, 从事荒漠化防治和森林健康等研究。E-mail: zhangjiayingood@126.com

定性、发展的可能性和经营空间大小^[2]。研究北京山区人工侧柏林林分结构和格局能够深刻分析和准确表达侧柏林生态系统出现问题的原因, 从而改进人工侧柏林经营模式。但目前对侧柏的研究主要以生长过程和林分功能为主, 对北京山区侧柏林结构格局研究较少。笔者利用北京十三陵林场人工侧柏林公顷级标准地实地调查数据, 从径级结构、空间分布格局、林分混交度和大小比数等方面分析了北京山区人工侧柏林的林分结构和分布格局特征, 旨在了解其林分结构, 有目的地提高林分的自我调节能力, 保持森林生态系统稳定性的能力, 从而能最大限度地持续发挥其经济、生态和社会效益。

1 研究地区概况

十三陵林场位于 40°44' N, 116°35' E, 处于北京市西北郊昌平区境内, 属燕山系低山丘陵区, 山地海拔为 68.0 ~ 954.2 m。林区气候特征为春季干旱多风, 夏季多雨, 冬季寒冷干燥。全年平均气温 11.8 °C, 最低月(1 月)平均气温 - 4.1°C, 最高月(7 月)平均气温 25.7 °C, 全年 ≥ 0 °C 积温为 4 500 °C, ≥ 10 °C 积温为 4 200 °C。无霜期 180 ~ 203 d, 初霜日 10 月 20 日, 终霜日 3 月 23 日。年降水量平均为 631.0 mm, 且 6 - 8 月占全年降水量的 76%。该地区属季风气候区, 冬季盛行偏北风, 夏季盛行偏南风, 春秋为南北风转换季节。土壤以山地褐土为主, 一般 pH 值呈碱性或中性的碳酸盐褐色土, 土壤水分条件差, 肥力低。林场的林分类型以人工侧柏林和油松 *Pinus tabulaeformis* 林为主。从 1958 年开始年年造林, 因此, 侧柏林、油松林的年龄分布为 2 ~ 46 a。其中, 中幼龄林的面积、蓄积所占比例较大, 多数林区形成了侧柏、油松纯林和侧柏-黄栌 *Cotinus coggygia* 等混交林^[3]。

本研究对象为十三陵蟒山公园中侧柏人工林, 林内有少量油松, 槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata*, 臭椿 *Ailanthus altissima* 和黄栌等伴生树种。

2 研究方法

2.1 标准地调查

2006 年 6 月, 在十三陵林场蟒山公园以侧柏为优势种群的群落内, 设置了面积为 1 hm² 的正方形固定标准地: 海拔为 166 m, 坡向为北偏东 43°, 坡度为 49°, 郁闭度为 0.8。对它们进行植被群落调查: 采用相邻网格法, 将这个标准地划分成 25 个 20 m × 20 m 小样方, 对各个小样方内胸径大于 4 cm 的树木个体进行每木检尺, 位置以坐标值表示, 坐标值直接用距离(m)表示。标准地各乔木树种的重要值见表 1, 标准地中侧柏的重要值为 0.80, 占绝对优势。

2.2 径级结构的划分

本研究采用径级确定龄级, 虽然龄级和径级是不同的, 但在同一环境下同一树种的龄级和径级对环境的反应规律具有一致性^[4]。作者根据实验实测侧柏胸径值的范围, 为符合本研究需要, 人为将标准地内侧柏个体胸径(diameter of breast height, D_{BH})的大小分为 4 个径级。这种径级划分方法在国内

表 1 标准地群落主要乔木树种重要值

Table 1 Main tree species importance values of the sampling plot

树 种	相对频度	相对密度	相对显著度	重要值	重要值序
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	0.59	0.88	0.92	0.80	1
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.20	0.07	0.05	0.11	2
槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.06	0.02	0.02	0.03	3
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	0.07	0.01	0.01	0.03	4
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	0.04	0.01	0.01	0.02	5
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	0.01	0.00	0.00	0.01	6
蒙古栎 <i>Quercus mongolicus</i>	0.01	0.00	0.00	0.01	7
黑枣 <i>Diospyros lotus</i>	0.01	0.00	0.00	0.01	8

外相关论文中均经常使用。4个径级分别为：径级Ⅰ， $4\text{ cm} < D_{\text{BH}} \leq 8\text{ cm}$ ；径级Ⅱ， $8\text{ cm} < D_{\text{BH}} \leq 12\text{ cm}$ ；径级Ⅲ， $12\text{ cm} < D_{\text{BH}} \leq 16\text{ cm}$ ；径级Ⅳ， $16\text{ cm} < D_{\text{BH}}$ 。

2.3 空间分布格局的计测

种群分布型指数是描述种群空间分布格局的重要指标，主要通过获取样地资料，运用描述种群分布格局的扩散和聚集指数，来判断种群的空间分布类型。这些指标种类较多，本研究中主要选用偏离指数(方差均值比)，Morisita指数，Lloyd平均拥挤系数 m^* ，聚块性指标 m^*/m ，负二项式分布 K 这5个指标^[5]。应用以上指标对研究区人工侧柏林种群分4个径级进行种群分布格局分析。

2.4 林分混交度的计算

混交度是指参照树 i 的 n 株最近相邻木中与参照树不属于同种的个体所占的比例，用公式表示为^[6]：

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

其中：当参照树 i 与第 j 株相邻木非同种时， $v_{ij} = 1$ ，否则 $v_{ij} = 0$ 。

混交度表明了任意一株树的最近相邻木为其他树种的概率。当考虑参照树周围的4株相邻木时， M_i 的取值有5种： $M_i = 0$ 参照树 i 周围4株最近相邻木与参照树均属于同种； $M_i = 0.25$ 参照树 i 周围4株最近相邻木有1株与参照树不属于同种； $M_i = 0.5$ 参照树 i 周围4株最近相邻木有2株与参照树不属于同种； $M_i = 0.75$ 参照树 i 周围4株最近相邻木有3株与参照树不属于同种； $M_i = 1$ 参照树 i 周围4株最近相邻木有4株与参照树不属于同种^[7]。

这5种可能对应于通常所讲混交度的描述即零度、弱度、中度、强度和极强度混交(相对于此结构单元而言)，它说明在该结构单元中树种的隔离程度，其强度同样以中级为分水岭，生物学意义明显。显然，分树种统计亦可以获得该树种在整个林分中的混交情况^[8]。

2.5 林分大小比数的计算

混交度只反映了在结构单元中各树种的混交程度，未能反映出相邻木与参照树之间的个体优势程度，因此，需要一个能够反映林木个体之间优势程度的指标。我们采用惠刚盈等^[9-11]提出的大小比数来表示。大小比数(U_i)被定义为大于参照树的相邻木株数占所考察的全部最近相邻木的比例。所谓的“大小”用胸径、树高和冠幅均可表示。用公式表示为：

$$U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij}$$

其中，如果相邻木 j 比参照树 i 小， $k_{ij} = 0$ ；否则， $k_{ij} = 1$ 。可见，大小比数量化了参照树与其相邻木个体之间的优势关系。一个结构单元的 U_i 值越低，比参照树大的相邻木越少，该结构单元参照树的生长越处于优势地位。当选择4株相邻木时，大小比数的可能取值范围及代表的意义为： $U_i = 0$ (相邻木均比参照树小)； $U_i = 0.25$ (1株相邻木比参照树大)； $U_i = 0.50$ (2株相邻木比参照树大)； $U_i = 0.75$ (3株相邻木比参照树大)； $U_i = 1.00$ (4株相邻木比参照树大)。

5种不同的大小比数值，分别反映参照树在4个相邻木中不同的优势程度，即优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势。按照树种计算大小比数的平均值，可以反映林分中树种的优势度。某一树种的大小比数的平均值越小，说明该树种在某一比较指标(胸径、树高或树冠等)上越占优势。按树种大小比数平均值的大小升序排列就能说明林分中的所有树种在某一比较指标上的优势程度^[12]。本研究选取胸径作为比较指标。

3 结果与分析

3.1 优势种群的径级结构

种群年龄结构的分析是揭示种群结构现状和更新策略的重要途径之一，是探索种群动态的有效方法。本研究采用以立木胸径代替年龄对侧柏林种群的年龄结构进行分析(图1)。从图1中可以看出，十三陵侧柏种群胸径分布呈截尾正态分布状，呈连续分布。在标准地内全部787株侧柏中，个体数排序为Ⅱ级>Ⅰ级>Ⅲ级>Ⅳ级，Ⅱ级个体数最多，达到了362株，其次为Ⅰ级个体为299株，Ⅰ级和Ⅱ

级个体占了总株数的 82.6%。由以上结果可知，标准地侧柏分密度较大，林龄小，胸径结构简单，林木个体胸径分布范围窄，林木年龄差异不大，处于旺盛的生长发育时期。

3.2 侧柏种群分布格局

对群落中的侧柏种群分不同径级进行分布格局检验(表 2)。从表 2 看，侧柏种群表现为集群分布，但从 5 项指标上看其聚集程度有所不同。整个侧柏种群从平均拥挤度、聚块指数和负二项指数 3 等个指标上都表现为聚集程度高于各径级木，在方差均值比上仅次于 II 级木，在 Morisita 指数上数值为 0.59 达到了均匀分布的水平，但经 F 检验不显著。可以得出结论侧柏种群分布格局为高度集群分布并趋近于均匀分布。

对于不同径级的侧柏立木，从各项指标计算结果来看，各径级侧柏均呈集群分布。其中 I 级木聚块性指数、Morisita 指数均显示为聚集度最高，负二项式指数位居 II 级木之后列第 2 位。因此，可认为 I 级木聚集程度为最高，总体排序为 I 级 > II 级 > III 级 > IV 级，表现为随胸径增长聚集度下降。

3.3 群落各树种混交程度

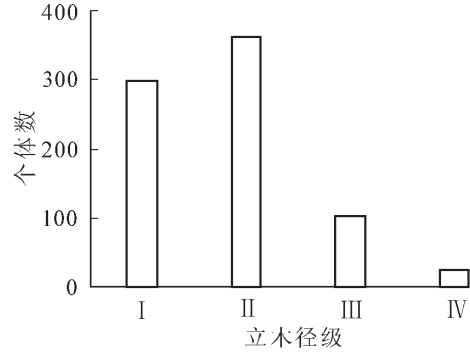


图 1 侧柏的径级分布图

Figure 1 *Platycladus orientalis'* map in diameter distribution

表 2 侧柏种群各径级分布格局测定结果

Table 2 Determination results of *Platycladus orientalis* population in spatial distribution pattern

径级	方差/均值			平均拥挤系数	聚块性指数	负二项式指数	Morisita 指数	
	数值	T 值	格局				数值	F 值
种群	3.36	14.88	集群分布	12.30	1.24	0.10	0.59	- 3.09
I	3.08	13.07	集群分布	5.82	1.56	0.27	1.55	3.12
II	3.83	17.76	集群分布	7.35	1.62	0.22	1.62	3.86
III	2.10	6.92	集群分布	2.36	1.87	0.79	1.87	2.14
IV	2.24	7.77	集群分布	1.55	4.96	3.20	2.27	1.57

说明： $t_{0.05} = 1.99$ ； $F_{0.05} = 1.40$

侧柏人工林各树种混交度见表 3，从表中可知十三陵林场侧柏林群落混交程度较低，以 0 度混交和弱度混交为主，0 度混交个体分布频率为 0.71，弱度混交的比例为 0.15，中度、强度和极强度混交个体分布频率均较小，分布频率相近，平均混交度为 0.15，说明十三陵林场侧柏林群落中树种种类单一，形成侧柏纯林。由表中不同树种混交度可知：侧柏以 0 度混交和弱度混交为主，由于侧柏株数占林分总株数的比例达 87.58%，侧柏单种混交度决定着整个林分的混交程度。伴生树种槲栎、臭椿、黄栌、栓皮栎 *Quercus variabilis* 和蒙古栎 *Quercus mongolicus* 的混交度以中度、强度和极强度为主。油松和槲栎的混交度相比而言分布较分散，但主要也以极强度和强度混交为主。不同树种混交度分析表明，

表 3 十三陵林场侧柏林各树种混交度

Table 3 The mingling of each tree species in *Platycladus orientalis* plantation in Ming Tombs

树种	各混交度个体分布频率					\bar{M}
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	
群落	0.71	0.15	0.05	0.04	0.06	0.15
侧柏	0.79	0.16	0.04	0.01	0	0.07
油松	0.02	0.13	0.19	0.32	0.35	0.71
槲栎	0	0.24	0.18	0.18	0.41	0.69
臭椿	0	0	0	0.22	0.78	0.94
黄栌	0	0	0.20	0.50	0.30	0.78
栓皮栎	0	0	0	0	1.00	1.00
蒙古栎	0	0	0	0	1.00	1.00

侧柏的混交度最低, 单种平均混交度仅为 0.07, 伴生树种的混交程度比侧柏大。

3.4 林木大小分化程度

十三陵林场侧柏林林分大小比数分布见表 4。可知, 十三陵林场侧柏林群落大小比数在等级 $U_i = 0.75$ 时个体分布频率最大, 等级 $U_i = 0.5$ 时个体分布频率最小。说明十三陵林场侧柏林群落处于劣态和绝对劣态分布的个体较多, 中庸状态个体最少。由表中不同侧柏人工林各树种大小比数分布可知: 十三陵林场侧柏林中侧柏单种大小比数不同等级之间个体分布频率基本相同, 林分不同径阶内的个体胸径分布较均匀, 林木个体分化程度较大。油松、榿栎、臭椿和黄栌等在空间结构单元中以劣态和绝对劣态分布为主, 常与较粗的相邻木生长在一起, 说明它们在林分中生长处于绝对劣势, 主要分布在乔木下层, 个体生态位较低。榿栎和蒙古栎在空间结构单元中以优势木、亚优势木和中庸木为主, 说明在林分内榿栎和蒙古栎个体高大, 树种优势明显。栓皮栎的大小比数为 0.50, 在空间结构单元中处于中庸状态。

4 结论与讨论

十三陵林场蟒山公园内的人工侧柏林从造林时间和林分组成上都能够体现北京市人工侧柏林的主要特征。该地区侧柏林 I 级和 II 级木占了总株数的 82.6%, 说明种群以幼龄和中龄个体为主, 平均年龄小, 年龄差距不大, 正处在生长发育阶段。

在研究地区侧柏种群呈高度的集群分布, 并趋近与均匀分布, 这是人工经营造成的, 具有空间利用率高, 林相整齐等优点, 但同时也造成了人工林在水平和垂直结构上过于单一, 森林的功能性和稳定性较差的问题。另外, 侧柏的各个径级木也均表现为集群分布, 总体排序为 I 级 > II 级 > III 级 > IV 级。由此可见, 林龄越小, 造林时间越晚, 表现出来的聚集程度越高, 而较早栽植的苗木现存数量较少且分布也较为分散。这是因为传统的人工林森林经营模式种植密度过大, 使得林木在生长过程中个体间对阳光和空间的竞争激烈, 产生较强的自疏作用, 造成林木成活率偏低的特点。这也说明了传统的森林经营模式不能完全发挥栽植苗木的生长潜力, 会造成一定程度上资源浪费的特点^[13]。

十三陵林场侧柏林混交程度较低, 0 度混交和弱度混交的个体分布频率占到 0.86, 中度、强度和极强度混交个体分布频率均较小。侧柏单种混交度在与群落内其他乔木树种相比混交度最低, 单种平均混交度仅为 0.07。从标准地各个树种的重要值来看, 侧柏达到了 0.80, 也占绝对优势。该群落树种结构相对单一, 林分混交度偏低, 处于不稳定状态。

十三陵林场侧柏林大小比数在等级 $U_i = 0.75$ 时个体分布频率最大, 等级 $U_i = 0.50$ 时个体分布频率最小。说明十三陵林场侧柏林处于劣态和绝对劣态分布的个体较多, 中庸状态个体最少。这是人工林密度大、树种单一和结构简单造成的必然结果, 也印证了之前分析得出的结论。而且通过对其他伴生树种的大小比研究发现除了少数栎类植物外, 臭椿、枣、榿栎、黄栌和油松等其他树种都以劣态和绝对劣态分布为主, 说明群落会进一步向侧柏纯林发展, 混交度会继续降低, 林分功能和健康水平将继续下降^[14]。

以上研究结论可为北京侧柏人工林的营造和经营提出一些建议: 通过间伐降低侧柏林林分密度, 采取天然更新和人工更新相结合 (优先考虑天然更新) 的方法, 增加阔叶树种和灌木在群落中的比率, 逐步建立多树种、多层次和多龄级的复合混交林。这样才能提高森林健康水平, 充分发挥森林的特有的功能并保持其资源利用的可持续性^[15]。

表 4 十三陵林场侧柏林各树种大小比数

Table 4 The neighborhood comparison of each tree species in *Platycladus orientalis* plantation in Ming Tombs

树种	各大小比数个体分布频率					
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	\bar{U}
群落	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.50
侧柏	0.21	0.20	0.19	0.20	0.20	0.49
油松	0.07	0.19	0.17	0.35	0.22	0.62
榿栎	0.29	0.12	0.24	0.18	0.18	0.46
臭椿	0.11	0.11	0	0.33	0.44	0.72
黄栌	0	0.10	0.30	0.40	0.20	0.68
栓皮栎	0	0	1.00	0	0	0.50
蒙古栎	0.33	0	0.33	0.33	0	0.42

参考文献:

- [1] 董铁民, 陈晓阳, 张雪敏. 侧柏[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1990: 1 - 6.
- [2] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, **14** (1): 177 - 181.
HUI Gangying, HU Yanbo. Measuring species spatial isolation in mixed forests [J]. *For Res*, 2001, **14** (1): 177 - 181.
- [3] 王希群, 马履一, 张永福. 北京地区油松、侧柏人工林叶面积指数变化规律[J]. 生态学杂志, 2006, **25** (12): 1486 - 1489.
WANG Xiqun, MA Lüyi, ZHANG Yongfu. Change patterns of leaf area index (LAI) of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* plantations in Beijing [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25** (12): 1486 - 1489.
- [4] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析[J]. 生态学报, 2004, **24** (1): 35 - 40.
ZHANG Jintun, MENG Dongping. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (1): 35 - 40.
- [5] 李新, 胡理乐, 黄汉东, 等. 后河自然保护区水丝梨群落优势种群结构与格局[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (6): 849 - 852.
LI Xin, HU Lile, HUANG Handong, et al. Structures and spatial distribution patterns of dominant populations in *Sycopsis sinensis* community in Houhe Nature Reserve [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14** (6): 849 - 852.
- [6] FUELDNER K. *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz Mischwäldern*[M]. Goettingen: Cuvillier Verlag Goettingen, 1995: 342 - 356.
- [7] NORTON B G. Ecological integrity and social values: at what scale[J]. *Ecosystem Health*, 1995, **45** (9): 228 - 241.
- [8] 胡艳波, 惠刚盈, 戚继忠, 等. 吉林蛟河天然红松阔叶林的空间结构分析[J]. 林业科学研究, 2003, **16** (5): 523 - 530.
HU Yanbo, HUI Gangying, QI Jizhong, et al. Analysis of the spatial structure of natural Korean pine broad leaved forest [J]. *For Res*, 2003, **16** (5): 523 - 530.
- [9] 惠刚盈, 克劳斯·冯佳多. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [10] 惠刚盈, 盛炜彤. 林分直径结构模型的研究[J]. 林业科学研究, 1995, **8** (2): 127 - 131.
HUI Gangying, SHENG Weitong. A study on model of stand diameter structure [J]. *For Res*, 1995, **8** (2): 127 - 131.
- [11] 惠刚盈, Von GADOW K, MATTHIAS A. 一个新的林分空间结构参数——大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, **12** (1): 1 - 6.
HUI Gangying, Von GADOW K, MATTHIAS A. A new parameter for stand spatial structure neighbourhood comparison [J]. *For Res*, 1999b, **12** (1): 1 - 6.
- [12] 陈高, 代力民, 范竹华, 等. 森林生态系统健康及其评价监测[J]. 应用生态学报, 2002, **13** (5): 605 - 610.
CHEN Gao, DAI Liming, FAN Zhuhua, et al. Monitoring and assessing forest ecosystem health [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (5): 605 - 610.
- [13] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 2001, **21** (12): 2106 - 2116.
MA Keming, KONG Hongmei, GUAN Wenbin, et al. Ecosystem health assessment: methods and directions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, **21** (12): 2106 - 2116.
- [14] 惠刚盈, Von GASOW K, 胡艳波, 等. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [15] 韩博平. 生态系统稳定性: 概念及其表征[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 1994, **2** (2): 37 - 44.
HAN Boping. Ecosystem stability: concepts and characterization [J]. *J South China Nor Univ Nat Sci Ed*, 1994, **2** (2): 37 - 44.