浙 江 林 业 科 技，2021，41（3）：39－45
J Zhejiang For Sci Technol

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2021.03.005

浙江省东部和西部林木持久性和森林树种结构 25 年变化对比研究

卢金宝[1]，邵华亮[2]，马雪清[1]，曾春兴[2]，王坚娅[3]，应彬彬[4]，吴伟志[5]

（1. 台州市黄岩区林业局，浙江　台州　318020；2. 江山市林业局，浙江　江山　324100；3. 仙居县自然资源和规划局，浙江　仙居　317300；4. 浙江农林大学 环境与资源学院，浙江　杭州　311300；5. 浙江省森林资源监测中心，浙江　杭州　310020）

摘要：林木持久性是森林稳定程度的直观反映，森林树种结构是森林稳定性的综合体现。文章将浙江的森林林木分为松类、杉类、阔叶类 3 类，将 1994—2019 年按浙江省森林资源连续清查固定样地复查的调查时间分为 1994—1999 年（第一阶段）、1999—2004 年（第二阶段）、2004—2009 年（第三阶段）、2009—2014 年（第四阶段）、2014—2019 年（第五阶段）五个阶段，通过单位面积活立木的株数比例和林木存续期数学期望，定量分析对比浙江省东西部 25 年来森林结构与组成的变化情况，探索林木稳定及其变动的规律和原因，以期服务森林可持续发展。阔叶类林木的比例高，表明森林结构稳定；林木存续期数学期望高，表明林木的持久性强。研究结果表明，在浙江省东西部，3 类林木的林木存续期数学期望均表现出“N”形现象，即随着时间的推移呈先增大后减小再稳定增加，且变化节点均在 1999—2004 年；东部的林木持久性在 25 年间强于西部的，但这种差距随着时间的推移在逐渐减小；无论东部还是西部，松类林木的林木持久性在 3 类林木中都是最低的，而阔叶类都是最高的；东西部的树种组成变化规律基本一致，即松类林木的比例逐年下降、杉类林木的比例在整体上变化不大、阔叶类林木的比例逐年增加；东部的阔叶类林木比例在前三个阶段低于西部，而后两个阶段略高于西部，单位面积株数均低于西部，但差距在缩小。整体上，浙江省东西部阔叶类林木的持久性均在不断增强，但东部强于西部，两地阔叶类林木的单位面积立木株数和相对比例在不断增加，森林趋于更稳定的状态，森林质量得到不断提升。

关键词：浙江东部；浙江西部；森林；树种结构；林木持久性；林木存续期数学期望

中图分类号：S758.5　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-3776（2021）03-0039-07

Changes of Tree Duration and Forest Tree Species Structure in the Eastern and Western Zhejiang Province during 1994 and 2019

LU Jin-bao[1]，SHAO Hua-liang[2]，MA Xue-qing[1]，ZENG Chun-xing[2]，WANG Jian-ya[3]，YING Bin-bin[4]，WU Wei-zhi[5]

（1. Taizhou Huangyan Forestry Bureau of Zhejiang, Taizhou 318020, China; 2. Jiangshan Forestry Bureau of Zhejiang, Jiangshan 324100, China; 3. Xianju Natural Resources and Planning Bureau of Zhejiang, Xianju 317300, China; 4. Zhejiang A & F University, College of Environmental and Resource Sciences, Hangzhou 311300, China; 5. Zhejiang Forest Resources Monitoring Center, Hangzhou 310020, China）

Abstract: According to data of reexamination of permanent sample plots for continuous forest inventory during 1994 and 2019, quantitative analysis was made on forest structure and composition in the eastern and western Zhejiang in terms of unit area number and ratio of standing trees, and the mathematical expectation of tree duration (METD). The results showed that METD of the three tree species groups (pines, firs, and broadleaves) in both the eastern and western part had a "N"-shape, indicating increased first, then decreased and increased steadily. The turning points were at the first period (1999—2004). Tree duration in the eastern part was longer than that in the western part within 25 years. Whether in the eastern or the

收稿日期：2021-01-07；**修回日期**：2021-04-14

作者简介：卢金宝，工程师，从事森林培育研究；E-mail:234896833@qq.com。通信作者：吴伟志，高级工程师，从事森林资源监测研究；E-mail:907941740@qq.com。

western part, trees duration of pines species was the lowest among the three groups, while broadleaves species was the highest. The tree species composition changes in the eastern and western part were similar, pine group declined, fir group had no change, and broadleaf group increased. The proportion of broadleaves species in the eastern part was lower than that in the western part in the first three periods (1994-2009), and slightly increased in the latter two periods (2009—2019). The unite area number of broadleaves trees in the eastern part was less than that in the western part. The result concluded that the duration of broadleaves species in the eastern and western part of Zhejiang province increased, more in the eastern part, unit area number and proposition of broadleaved tree increased, indicating more stable and better quality of forest.

Key words: the eastern Zhejiang province; the western Zhejiang province; forest; tree species composition; trees duration; mathematical expectation of tree duration

森林的树种结构与组成是森林稳定性的主要特征[1]，是制定森林经营方案的基础[2]，也是森林发挥良好生态服务功能的前提[3]。然而，森林的树种结构与组成及其稳定性受到多种因素的干扰[4]，目前，大多数研究集中在利用一些综合评价方法来评价森林群落或生态系统的稳定性[5-7]，评价指标和方法较为复杂。林木是森林的主体，也是森林经营管理的主要对象，其持久性是维持森林生态系统稳定的基础和关键。林木持久性是森林稳定性的重要特征之一，其强弱是森林稳定程度的直观反映[8]。林木持久性可以用林木存续期数学期望定量描述[9]，即林木从进界时算起（按照我国森林资源监测的技术规定，胸径≥5 cm 的树木称为林木，树木胸径生长到起测胸径 5 cm 称为进界）能够存活的期望年数越长，林木持久性越高，表明森林的结构相对越稳定。本文选择浙江省东部和西部区域分别代表较经济发达和相对欠发达两个地区，以浙江省森林资源连续清查固定样地复查数据为依据，林木存续期数学期望值大小为量纲，研究分析 1994—2019 年松、杉、阔叶树种的结构与组成，探索林木持久性及其变化规律和原因，为浙江省森林的健康经营和可持续发展提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

浙江省地处中国东南沿海，地理坐标为 118°01' ~ 123°10' E，27°06' ~ 31°11' N，陆域面积有 10.55 万 km^2，属亚热带季风湿润气候区，降水充沛，生境复杂，森林资源较为丰富。主要森林类型包括针阔混交林、常绿阔叶林、毛竹 *Phyllostachys edulis* 林、马尾松 *Pinus massoniana* 林和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林。截至 2019 年底，浙江省林地面积达 659.35 万 hm^2，其中，森林面积有 607.88 万 hm^2，森林覆盖率达到 61.15%，活立木蓄积有 4.01 亿 m^3，森林蓄积量有 3.61 亿 m^3。全省乔木林单位面积蓄积量为 83.51 $m^3 \cdot hm^{-2}$。

台州市和衢州市分别位于浙江省的东部和西部，纬度基本相同，地理位置较为对称（图 1），都以丘陵山地为主，森林资源丰富，树种、林相等森林特征相似，能较好的代表浙江省东部和西部两个区域，并以此分别代表较经济发达区和相对欠发达区两个地区。台州市的总面积为 10 050.43 km^2，户籍总人口有 606.64 万人，2019 年生产总值为 5 134.05 亿元，森林覆盖率为 61.37%；衢州市的总面积为 8 844.79 km^2，户籍总人口有 257.63 万人，2019 年生产总值为 1 573.51 亿元，森林覆盖率为 69.62%。

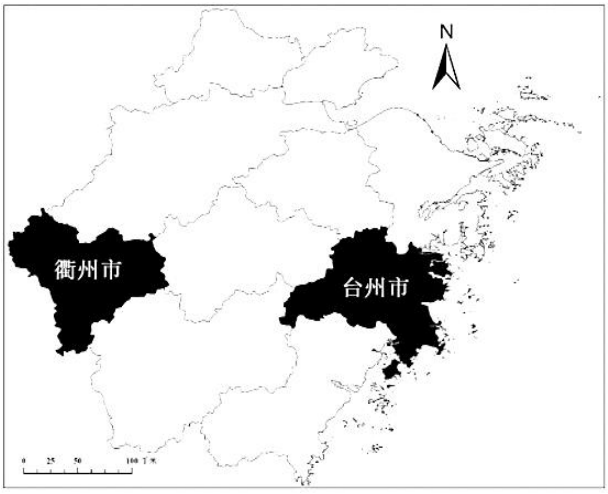


图 1 研究区分布图

Figure 1 Location of study area

1.2 数据来源

研究数据来自浙江省森林资源连续清查固定样地复查数据，调查年度分别为 1994、1999、2004、2009、2014

和 2019 年，每相邻两次调查（复查）组成一个“阶段”，共分五个阶段，分别表示为 1994—1999 年（第一阶段）、1999—2004 年（第二阶段）、2004—2009 年（第三阶段）、2009—2014 年（第四阶段）、2014—2019 年（第五阶段），每个阶段前面的年份为该阶段的前期，后面的年份为该阶段的后期。样地为正方形，边长 28.28 m，面积 800 m^2，样地调查严格遵循国家森林资源连续清查技术规定，对样地内胸径≥5.0 cm 的树种进行每木检尺，记录树种和胸径等内容，并将林木分为松类、杉类、阔叶类 3 类树种组进行研究。具体样地和林木数据见表 1。

表 1　研究数据
Table 1　Data for research

区域	数量		第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段	第五阶段
东部	样地数/个		94	106	175	172	185
(台州市)	林木数/株	松类	4 890	4 344	7 301	5 518	4 395
		杉类	1 028	3 240	6 550	5 577	5 967
		阔叶类	373	628	3 755	7 013	10 654
		小计	6 291	8 212	17 606	18 108	21 016
西部	样地数/个		72	85	143	140	143
（衢州市）	林木数/株	松类	1 472	2 069	2 946	2 010	1 759
		杉类	3 128	5 970	10 729	9 540	8 263
		阔叶类	656	1 422	3 947	6 354	9 065
		小计	5 256	9 461	17 622	17 904	19 087

1.3　林木存续期数学期望计算方法

本研究采用林木存续期数学期望来衡量林木的持久性，数学期望越大，林木持久性越强。林木存续期表示林木进界后存活的理论年数。凡调查前期是活立木，后期被采伐或枯死了的林木都认为存续终止。

林木存续期数学期望的计算方法和过程如下[9]：

（1）复查间隔期林木保存率的计算。设前期有 n_{1T} 株活立木，后期依然存活的有 n_{2T} 株，则复查期林木保存率（$p_{\triangle AT}$）为：

$$p_{\Delta AT} = n_{2T}/n_{1T} \tag{1}$$

这里复查间隔期（ΔAT）为 5 年。

（2）林木年度保存率的计算。将复查间隔期林木保存率转换为年度保存率（p_T），计算公式为：

$$p_T = p_{\Delta AT}^{1/\Delta A} \tag{2}$$

（3）林木存续期数学期望计算。林木存续期数学期望（$\overline{A}_T$）的计算公式为：

$$\overline{A}_T = \frac{1}{1-p_T} \tag{3}$$

2　结果与分析

利用五个阶段固定样地的复位调查数据，将林木分为松类、杉类、阔叶类 3 类，以式（3）计算林木存续期数学期望。五个阶段林木存续期数学期望，反映了林木持久性 25 年的变化情况。

2.1　浙江省东部 25 年林木持久性和树种结构变化

2.1.1　浙江东部 25 年林木持久性变化　表 2 和图 2 是浙江省东部 25 年来的林木存续期数学期望计算结果。由表 2 和图 2 可以看出，在五个阶段中，3 个树种组持久性最高时间段均在第二阶段，杉类和阔叶类林木的持久性最差的阶段在第一阶段，松类林木持久性最差的阶段在第三阶段。3 类林木的持久性均呈现出从第一阶段到第二阶段上升幅度较大，第二到第三阶段下降幅度大，第三到第四阶段又逐渐上升的规律。

表 2 浙江省东部 25 年林木存续期数学期望变化

Table 2 Changes of mathematical expectation of tree duration in the eastern Zhejiang province within 25 years

林木类型	阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段	第五阶段
松类	前期活立木株数/株	4 890	4 344	7 301	5 518	4 395
	后期保留木株数/株	3 613	3 367	4 645	3 763	2 876
	复查期保存率	0.738 9	0.775 1	0.636 2	0.681 9	0.654 4
	年度保存率	0.941 3	0.950 3	0.913 5	0.926 3	0.918 7
	数学期望/a	17.03	20.13	11.56	13.57	12.30
杉类	前期活立木株数/株	1 028	3 240	6 550	5 577	5 967
	后期保留木株数/株	724	2 952	5 013	4 764	5 265
	复查期保存率	0.704 3	0.911 1	0.765 3	0.854 2	0.882 4
	年度保存率	0.932 3	0.981 6	0.947 9	0.969	0.975 3
	数学期望/a	14.77	54.21	19.20	32.24	40.45
阔叶类	前期活立木株数/株	373	628	3 755	7 013	10 654
	后期保留木株数/株	312	572	3 310	6 236	9 651
	复查期保存率	0.836 5	0.910 8	0.881 5	0.889 2	0.905 9
	年度保存率	0.964 9	0.981 5	0.975 1	0.976 8	0.980 4
	数学期望/a	28.5	54.03	40.14	43.08	51.07

在浙江省东部松类林木相对杉类、阔叶类林木，除第一阶段外，在其他四个阶段的林木持久性明显较低，25 年来的林木存续期数学期望在 11.56 ~ 20.13 a 之间。杉类林木的持久性在第一阶段是 3 类林木中最低的，进界后期望寿命为 14.77 a；在第二阶段，杉类林木的持久性突然增高，出现最高值，之后下降，之后又逐渐增高。杉类林木的持久性总体上明显强于松类，但比阔叶类差,存续期数学期望在 14.77 ~ 54.21 a 之间。阔叶类林木的持久性相对其他 2 类林木是最高的，存续期数学期望在 28.50 ~ 54.03 a 之间。

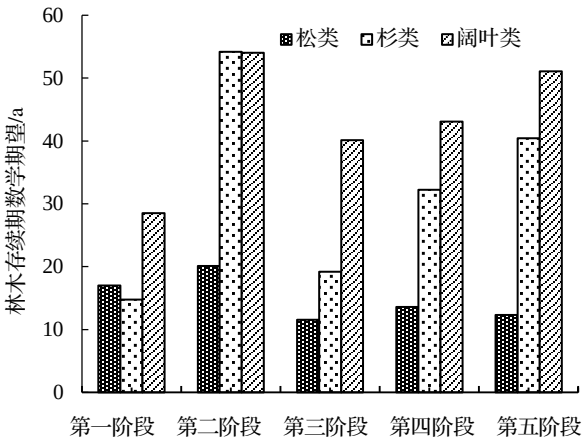


图 2 浙江省东部 3 个树种组 25 年林木存续期数学期望

Figure 2 Mathematical expectation of 3 tree species groups duration in the eastern Zhejiang province within 25 years

2.1.2 浙江省东部 25 年树种结构变化 表 3 是浙江省东部 25 年来 3 类林木单位面积立木株数及其比例的计算结果。由表 3 表可得，松类林木的立木密度和株数比例在五个阶段同步下降；杉类林木在第一至第二阶段有大幅上升，在第二至第五阶段则无明显变化；阔叶类林木在第一至第二阶段的增幅较小，在第二至第五阶段的增幅显著增加，其比例在第五阶段达到最大，为 50.7%，明显高于松类和杉类林木。

表 3 浙江省东西部 25 年单位面积立木株数及其比例变化

Table 3 Unit area standing trees of 3 species groups and proportion in the eastern and western Zhejiang province within 25 years

区域	林木类型	第一阶段		第二阶段		第三阶段		第四阶段		第五阶段	
		立木密度/(株·hm^{-2})	比例/%	立木密度/(株·hm^{-2})	比例/%	立木密度/(株·hm^{-2})	比例/%	立木密度/(株·hm^{-2})	比例/%	立木密度/(株·hm^{-2})	比例/%
东部	松类	650	77.7	512	52.9	522	41.5	401	30.5	297	20.9
	杉类	137	16.3	382	39.5	468	37.2	405	30.7	403	28.4
	阔叶类	50	6.0	74	7.6	268	21.3	510	38.8	720	50.7
	合计	837	100.0	968	100.0	1 258	100.0	1 316	100.0	1 420	100.0
西部	松类	256	28.0	304	21.9	258	16.7	179	11.2	154	9.2
	杉类	543	59.5	878	63.1	938	60.9	852	53.3	722	43.3
	阔叶类	114	12.5	209	15.0	345	22.4	567	35.5	792	47.5
	合计	913	100.0	1 391	100.0	1 541	100.0	1 598	100.0	1 668	100.0

2.2　浙江省西部 25 年林木持久性和树种结构变化

2.2.1　浙江省西部 25 年林木持久性变化　图 3 和表 4 是浙江省西部 25 年来的林木存续期数学期望计算结果。

由图 3 和表 4 可以看出，在五个阶段中，杉类和阔叶类林木持久性最高的时间段均在第五阶段，松类林木持久性最高的时间段在第二阶段，在第五阶段也接近最高。松类林木持久性最差的时间段在第三阶段，杉类林木持久性最差的时间段在第四阶段，阔叶类林木持久性最差的时间段在第一阶段。除杉类林木的持久性在第三到第四阶段出现小幅下降外，3 类林木的持久性总体上呈现出在第一阶段到第二阶段上升，在第二到第三阶段下降，从第三阶段到第五阶段又开始逐渐上升的现象。

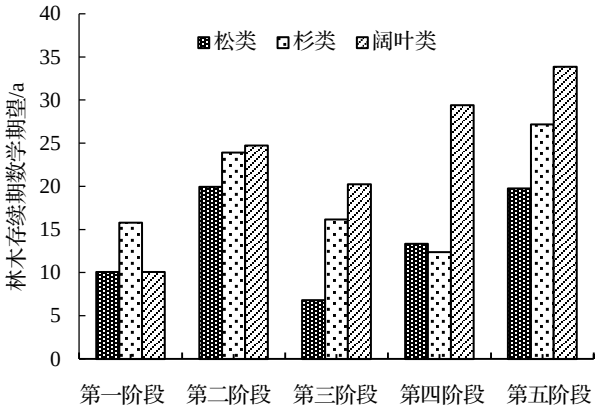


图 3　浙江省西部 3 类林木 25 年林木存续期数学期望

Figure 3　Mathematical expectation of 3 tree species groups duration in the western Zhejiang province

表 4　浙江省西部 25 年林木存续期数学期望变化

Table 3　Mathematical expectation of 3 tree species groups duration in the western Zhejiang province within 25 years

林木类型	阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段	第五阶段
松类	前期活立木株数/株	1 472	2 069	2 946	2 010	1 759
	后期保留木株数/株	874	1 600	1 334	1 362	1 357
	复查期保存率	0.5 938	0.773 3	0.4 528	0.6 776	0.7 715
	年度保存率	0.9 010	0.9 49 9	0.8 535	0.9 251	0.9 494
	数学期望/a	10.10	19.95	6.82	13.35	19.77
杉类	前期活立木株数/株	3 128	5 970	10 729	9 540	8 263
	后期保留木株数/株	2 256	4 823	7 799	6 265	6 851
	复查期保存率	0.7 212	0.807 9	0.7 269	0.6 567	0.8 291
	年度保存率	0.9 367	0.958 2	0.9 382	0.9 193	0.9 632
	数学期望/a	15.81	23.94	16.18	12.40	27.19
阔叶类	前期活立木株数/株	656	1 422	3 947	6 354	9 065
	后期保留木株数/株	389	1 157	3 064	5 345	7 803
	复查期保存率	0.593 0	0.813 6	0.7 763	0.8 412	0.8 608
	年度保存率	0.9 008	0.959 6	0.9 506	0.966 0	0.9 705
	数学期望/a	10.08	24.75	20.25	29.42	33.86

在浙江省西部，松类林木相对杉类、阔叶类林木的持久性较低，25 年来的林木存续期数学期望在 6.82 ~ 19.95 a 之间。杉类林木的持久性总体上比松类强，比阔叶类差，存续期数学期望在 12.40 ~ 27.19 a 之间。阔叶类林木的持久性相对是最高的，存续期数学期望在 10.08 ~ 33.86 a 之间。

2.2.2　浙江省西部 25 年树种结构变化　由表 3 可知，松类林木的立木密度在第一至第二阶段有小幅上升，在第二至第五阶段则明显下降，其株数比例在第一至第五个阶段中稳定下降；杉类林木的立木密度在第一至第二阶段有小幅上升，在第二至第五阶段则无明显变化，其株数比例在五个阶段中一直无明显变化；阔叶类林木的立木密度和株数比例在五个阶段中持续上升，其比例在第五阶段达到最大，为 47.5%，明显高于松类和杉类林木。

2.3　浙江省东西部 25 年林木持久性和树种组成变化对比

图 4 至图 6 分别表示了浙江省东西部 25 年来 3 类林木的持久性变化情况。从表 2 至表 3、图 4 至图 6 可以看出，浙江东部的林木持久性在 25 年间总体上强于西部，其中阔叶类林木的差距最为明显，每个阶段东部均明

显强于西部，但随着时间的推移，这种差距有缩小迹象；杉类林木的持久性在第一阶段东部略低，第二阶段以后东部明显强于西部；松类林木在前四个阶段东部比西部略强，第五阶段，西部明显增强，而东部略微下降，导致西部强于东部。

从表 3 可以看出，在 3 类林木的单位面积立木株数方面，东部的杉类和阔叶类林木在五个阶段中均低于西部，但松类林木高于西部的。在 3 类林木的株数比例方面，东部的松类林木在五个阶段中均高于西部，但两者的差距随着时间的推移在缩小；东部的杉类林木 25 年间均低于西部，但两者的差距随着时间的推移有缩小的迹象；东部的阔叶类林木在前三个阶段低于西部，但由于后续增幅大于西部，导致其在后两个阶段反超西部。

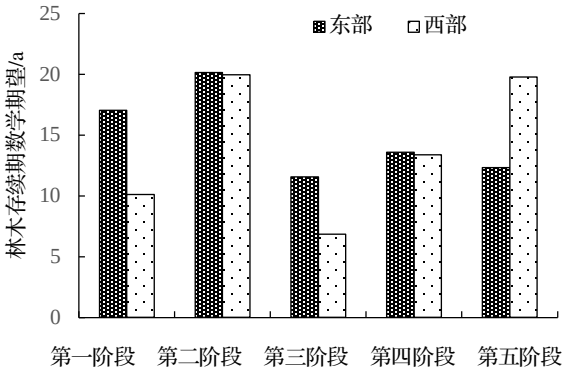


图 4 浙江省东西部 25 年松类林木存续期数学期望

Figure 4 Mathematical expectation of pine species in the eastern and western Zhejiang province within 25 years

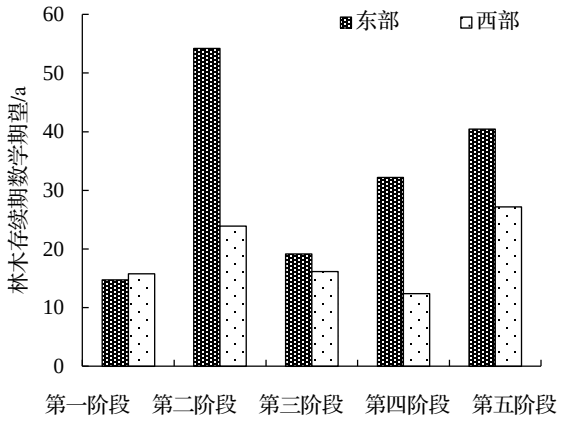


图 5 浙江省东西部 25 年杉类林木存续期数学期望

Figure 5 Mathematical expectation of Chinese fir in the eastern and western Zhejiang province within 25 years

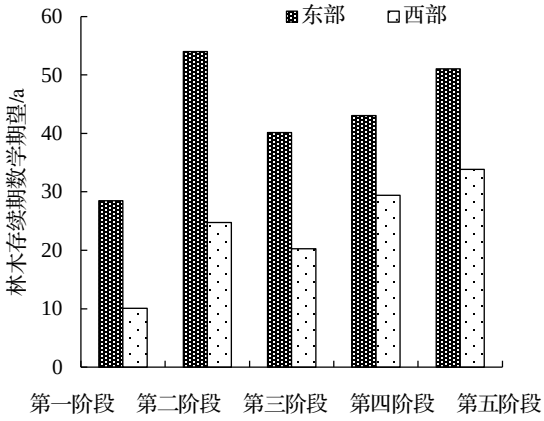


图 6 浙江省东西部 25 年阔叶类林木存续期数学期望

Figure 6 Mathematical expectation of broadleaf tree group in the eastern and western Zhejiang province within 25 years

3 结论与讨论

3.1 结论

以上从树种结构和林木持久性两个角度对比研究浙江省东西部两个设区市 1994—2019 年这 25 年来森林的变化情况，结果表明，浙江省东西部 3 类树种（松类、杉类、阔叶类）的林木持久性均表现出“N”状规律，即先增加后减小再稳定增加，且变化的第一个节点均在 1999—2004 年之间，这个期间持久性较高，而 2004—2009 年之间明显降低，之后又逐步增高；浙江省东部的林木持久性在 25 年间高于西部，但这种差距随着时间的推移有逐渐缩小的迹象；无论是东部还是西部，松类林木的持久性在 3 类林木中都是最低的，而阔叶类林木都是最高的；浙江省东西部的树种结构变化情况相似，即松类林木的比例逐年下降、杉类林木的比例有波动但整体变化不大、阔叶类林木的比例逐年增加至 50%左右；东部的阔叶类林木的比例在前三个阶段差于西部，而在后两个阶段略高于西部，单位面积立木株数均低于西部，但差距在缩小。

整体上，浙江省东部的林木持久性在 25 年间整体强于西部，两地阔叶类林木的持久性均在不断增强。两地

阔叶类林木的单位面积株数和相对比例在 25 年不断增加，森林趋于更稳定的状态，森林质量得到不断提升。

3.2　讨论

浙江省东西部的林木持久性变化的“N”状规律，很大程度上是对当时的林业政策及市场的反映。杉类林木是最重要的木材资源，其“N”状规律也最明显，阔叶类次之。

东部的阔叶类林木持久性一直明显高于西部，杉类除 1994—1999 年外，也明显高于西部。这可能与东部经济强于西部，东部经济对林木采伐的依赖程度低有一定的关系，而随着西部经济的发展，这种差异在逐步缩小。

浙江省东西部森林的树种组成与结构都随着时间进程趋于更稳定的状态，即在减少松类林木占比的同时，增加阔叶类林木的占比。无论东部还是西部，松类林木的立木密度及其占比均在逐年下降，这与松材线虫病危害有关。松材线虫病的入侵促使了马尾松林演替为阔叶林[10]，演替期间不可避免地降低了林木持久性。松材线虫病是一种特别重大的检疫性森林灾害[11]，2019 年疫区数量占浙江省县级行政区的 76.67%[12]。松类林木保留量的持续减少也与浙江省为了防治松材线虫病扩散以及提高森林生态效益而多年来推行的“针改阔”有关。阔叶类林木的单位立木密度及其占比无论东西部都在稳定增加，这与浙江省重视对阔叶类林木的保护有关。

松材线虫病一般是先从东部发生，而后逐步向西蔓延，从理论上讲，林木持久性应该是西部高于东部，但实际上仅在 2014—2019 年西部的林木持久性高于东部，1994—2014 年西部均低于东部。虽然松材线虫病促使东部松类林木采伐总量大于西部，但在东部松类林木的保留量远大于西部的前提下，东部的采伐比例仍低于西部，使得前 20 年东部的林木持久性高于西部。随着东西部松类林木的保留量差距的减小，在两地松类林木采伐量差不多的前提下，东西部的松类林木采伐比例差距也随之减小，最终导致东西部的林木持久性差距逐年减小。另一个原因是松材线虫病疫区划定的范围从东部向西部扩展，疫区内的商业性被限制，所以东部林木的商业性采伐少于西部。

东部林木的持久性整体高于西部，但单位面积立木株数低于西部，说明西部林木的更新演替强于东部。基于林木存续期数学期望的林木持久性定量评价基于样木复测数据，而我国存在大量这样的数据，所以这个方法还具有很好的推广应用条件。

参考文献：

[1] 冶民生，吴斌，关文彬，等. 岷江上游植物群落稳定性研究[J]. 水土保持研究，2009，16（01）：259 – 263.
[2] 王鹏程，黄志霖，雷静品，等. 基于样地调查和森林资源数据的森林稳定性评价——以秭归县为例[J]. 湖北林业科技，2013，42（04）：1 – 6，37.
[3] 葛宏立，聂祥永. 我国经济林林地稳定性研究[J]. 华东森林经理，2002（04）：15 – 17.
[4] 吴文跃，张金良，巩延苹，等. 华东森林资源监测区林地稳定性研究[J]. 林业调查规划，2019，44（01）：1 – 7.
[5] 郭其强，张文辉，曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建——以黄龙山主要森林群落为例[J]. 林业科学，2009，45（10）：19 – 24.
[6] 宋启亮，董希斌. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价[J]. 林业科学，2014，50（06）：10 – 17.
[7] 高润梅，石晓东，郭跃东. 山西文峪河上游河岸林群落稳定性评价[J]. 植物生态学报，2012，36（06）：491 – 503.
[8] ORIANS G H. Diversity, stability and maturity in natural ecosystems[J]. Unif Conc Ecol，1975：139 – 150.
[9] 应宝根，廖文海，姚任图，等. 基于数学期望的森林稳定性评价——以浙江省江山市为例[J]. 林业资源管理，2019（05）：145 – 149，165.
[10] 徐华潮，骆有庆. 松材线虫入侵对森林生态系统的影响[J]. 浙江林学院学报，2010，27（03）：445 – 450.
[11] 叶建仁. 松材线虫病在中国的流行现状、防治技术与对策分析[J]. 林业科学，2019，55（09）：1 – 10.
[12] 潘佳亮，姚翰文，董瀛谦，等. 2019 年全国松材线虫病疫情分析[J]. 中国森林病虫，2021，40（01）：32 – 37.