

文章编号:1000-5641(2010)03-0010-16

浙江天童受损常绿阔叶林实验 生态学研究(V): 不同干扰下植被恢复初期主要树种五年的恢复和更新

戚裕锋¹, 杨徐烽¹, 张奇平¹, 宋坤¹, 康敏明¹, 达良俊¹⁻³

(1. 华东师范大学 环境科学系, 上海 200062;

2. 浙江天童森林生态系统野外科学观测研究站, 浙江 宁波 315114;

3. 华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘要: 为了解常绿阔叶林在遭受不同采伐干扰后的恢复和更新, 于2003年10月至2008年10月在浙江天童地区常绿阔叶林中对5个不同采伐处理下的样地进行了5年的秋季植被跟踪调查。样地处理分别是:(I)去除大树保留萌枝,(II)去除地表植物保留枯枝落叶层,(III)去除地表植物和10 cm的表土,(IV)清除下木层保留大树, 以及(V)对照。结果显示: ① 样地I和II的胸高断面面积(BA)增长量最高, 分别为1 631.8 cm²和1 619.4 cm²; 而样地IV的BA值增长量最少, 为43.4 cm²。② 样地I的BA值增加以常绿阔叶乔木的BA增量为主, 主要通过残留植株的生长而恢复; 样地II的BA值在5年中的恢复速度最快, 主要以落叶灌木或小乔木和落叶阔叶乔木的BA增量为主; 样地III的BA值恢复主要以落叶灌木或小乔木和常绿阔叶乔木的BA增量为主; 样地IV中常绿树种和落叶树种都非常少, BA值都小于10 cm²。③ 各样地中幼苗的补充有一个波动的过程, 恢复第1年最多, 恢复第2年则发生锐减。样地I中幼苗主要以常绿阔叶乔木为主。样地II中幼苗也以常绿阔叶乔木为主, 但相对样地I有较多的落叶树种。样地III中幼苗主要以落叶阔叶树种为主。样地IV中幼苗主要以常绿阔叶乔木为主。结果表明采伐模式对常绿阔叶林的恢复和更新有着深远的影响。择伐上木层后, 常绿阔叶树种能得到较快的恢复; 清除下木层, 保留大树后, 主要树种恢复缓慢; 在皆伐下, 落叶树种侵入, 形成落叶树种为优势种或者常绿和落叶混交的群落。

关键词: 常绿阔叶林; 人为干扰; 主要树种; 更新; 恢复

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A

Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang (V): Five-year recovery and regeneration of main trees after different disturbances

收稿日期:2009-09

基金项目:华东师范大学“211工程”三期重点学科建设项目;“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BAJ10B04);国家自然科学基金(30700094)

第一作者:戚裕锋,男,硕士研究生。研究方向为植被生态学。E-mail:yfengqi@gmail.com.

通讯作者:达良俊,男,教授,博士生导师,研究方向为城市生态学和植被生态学。

E-mail:dalj@sh163.net.

QI Yu-feng¹, YANG Xu-feng¹, ZHANG Qi-ping¹, SONG Kun¹,
KANG Min-ming¹, DA Liang-jun^{1, 2}

(1. Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Tiantong Forest Ecosystem National Research Station, Ningbo Zhejiang 315114, China;

3. Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and
Eco-restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Investigations were carried out for 5 years from October, 2003 to October, 2008 in a logged evergreen broad-leaved forest at Tiantong, Zhejiang province. Five following treatments were used in five sites: (I) Big trees with height > 8 m and DBH > 5 cm were removed but sprouts retained; (II) ground surface vegetation was removed but litter retained; (III) all vegetation and 0-10 cm topsoil were removed. (IV) undergrowth was removed but big trees retained; and (V) a control plot without any disturbance. Our results showed that: (1) The highest BAs (basal area value) were found in plot I and plot II, with a value of 1 631. 8 cm² and 1 619. 4 cm² respectively, and the lowest in plot IV with a value of 43. 4 cm². (2) The increase of BA in plot I was mainly from the growth of retained evergreen broad-leaved trees; plot II had the highest BA increase which was mainly from deciduous broad-leaved shrubs or small trees and deciduous broad-leaved trees, and plot III mainly from deciduous broad-leaved shrubs or small trees and evergreen broad-leaved trees; plot IV had few trees with low BAs. (3) Seedling and sapling recruitment fluctuated in all plots in 5 years. In plot I and plot II, seedlings and saplings were mainly evergreen broad-leaved trees, but plot II had more deciduous trees; seedlings and saplings in plot III were mainly deciduous trees while in plot IV mainly evergreen broad-leaved trees. Our results indicate that logging impact the recovery and regeneration of the evergreen broad-leaved forest trees. Under logging big trees, evergreen broad-leaved trees recover quickly; under clearing undergrowth, main trees recover slowly; under two kinds of clear-cuttings, deciduous trees invade and dominate the plots or are mixed with evergreen broad-leaved trees.

Key words: evergreen broad-leaved forest; human disturbances; main trees; regeneration; recovery

0 引 言

森林在遭受人为或者自然干扰受损后的更新和恢复一直是森林生态系统研究以及林业经营管理中的热点问题。国内外对森林采伐后^[1-5]、飓风破坏后^[6,7]以及各种干扰下产生的次生群落^[2,8-10]的恢复和更新展开了广泛的研究,为森林恢复和林业管理提供了有力的理论依据。中国的东部是中国常绿阔叶林的一个主要分布区,有着丰富的生物资源和物种多样性^[11,12],但由于受人干扰严重,常绿阔叶林大面积退化成为次生林、退化灌丛、灌草丛和人工林^[13]。浙江天童国家森林公园内保存着较为完好的常绿阔叶林,目前已对该地区次生演替现象和演替系列做了许多的研究^[14-22],但多采用空间代替时间的方法,容易混淆空间因素引起的群落变化和群落在时间上的变动,产生较大的误差,不能很好地还原演替的原貌。因而,本研究通过建立永久样地,模拟常见的人为干扰方式,进行长期定位研究来分析受损常绿阔叶林的更新和恢复动态。3年的追踪调查数据显示不同的采伐模式下恢复趋势有所不同^[23]。本文另外补充了2年数据,在综合了5年调查数据基础上,从主要树种的胸高断面积值

(basal area value)和幼苗、幼树补充角度^[7,24],对不同受损程度样地植被群落的恢复动态和早期格局进行了描述,分析了形成机制,并对其恢复方向进行预测,从而揭示了不同采伐模式下可能的演替和恢复方式.

1 研究地区和研究方法

1.1 研究地概况

本研究地点位于浙江省宁波市鄞州区天童国家森林公园内,地理位置 29°48'N, 121°47'E,海拔 260 m,坡度 25°~30°,气候和环境条件见文献[15].

2003年各样地在采伐前,乔木层由米槠(*Castanopsis carlesii*)、木荷(*Schima superba*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)和细叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)等构成.而灌木层则主要为山茶科的连蕊茶(*Camellia fraternna*)、隔药柃(*Eurya muricata*)、窄基红褐柃(*E. rubiginosa var. attenuate*)、山矾科的山矾(*Symplocos sumuntia*)、四川山矾(*S. setchuensis*)、光叶山矾(*S. lanciifolia*),樟科的红楠(*Machilus thunbergii*)、山胡椒(*Lindera glauca*)和一些落叶阔叶树种南酸枣(*Choerospondias axiliaris*)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)、雷公鹅耳枥(*Carpinus viminea*)及群落优势种米槠、木荷幼树组成^[23].

1.2 研究方法

于2003年10月,设置了5块永久样地,每块样地面积为20 m×20 m,其中样地I,II,III位于山路上方,样地间相距5 m,样地IV和V位于山路下方,相距近100 m(见图1).其中4块样地分别模拟当地常见的4种人为干扰,进行了采伐处理^[10]:(1)在样地I中对高度(*H*)大于8 m,DBH大于5 cm的大树进行择伐(保留萌枝);(2)在样地II中将地上植物全部清除,保留枯枝落叶层;(3)在样地III中,清除地上全部植物,并清除枯枝落叶层和表土层(0~10 cm);(4)在样地IV中仅清除下木层和草本层,保留大树.V为对照样地.

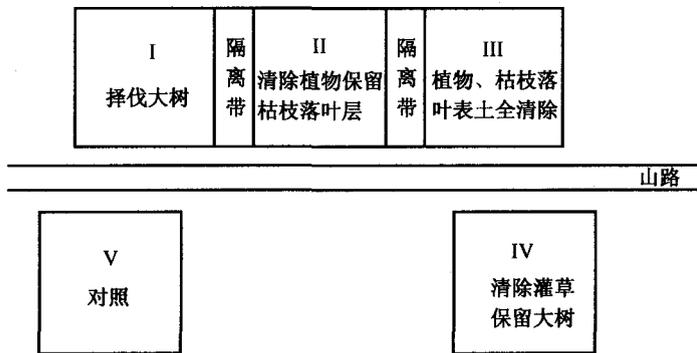


图1 样地设置示意图

Fig. 1 Distribution of the experimental sites

恢复5年间,样地IV和样地V乔木层变化不明显^[25],其它3个样地植株高度均小于8.0 m,因而本研究针对各样地中草本层($H \leq 1.5$ m)和灌木层($1.5 \text{ m} < H \leq 8.0$ m)的植株.对 $H > 1.5$ m的植物记录了物种名、高度、胸径和坐标,对 $H \leq 1.5$ m的乔木幼苗和幼树记录物种名、高度和坐标,并对 $H \leq 1.5$ m的灌木和草本记录物种名,估算盖度和记录最大

高度. 根据《浙江植物志》^[26]对植物进行命名,并将主要树种按照生活型划分为常绿针叶乔木(ECT, evergreen broad-leaved conifer tree),常绿阔叶乔木(EBT, evergreen broad-leaved tree),常绿阔叶灌木或小乔木(EBSST, evergreen broad-leaved shrub or small tree),落叶阔叶乔木(DBT, deciduous broad-leaved tree)和落叶阔叶灌木或小乔木(DBSST, deciduous broad-leaved shrub or small tree)5种. 详细的实验设计见文献[10]. 群落的优势种由优势度分析法^[27,28]得出.

2 结果与分析

2.1 灌木层主要树种胸高断面面积值(BA)的恢复

恢复5年后,样地Ⅱ和样地Ⅰ的BA增量最大,分别为1 631.8 cm²和1 619.4 cm². 样地Ⅳ的BA增量最小,仅为43.4 cm². 样地Ⅲ的BA增量处于中间水平,为511.4 cm². 对照样地BA增量为71.2 cm²(见表1).

表1 采伐前和恢复5年后不同生活型主要树种($H > 1.5$ m)的胸高断面面积值

Tab. 1 Basal area value of main trees ($H > 1.5$ m) before and after logging

in 5 years, grouped by life-forms

cm²/200 m²

生活型	样地号						
	Ⅰ			Ⅱ		Ⅲ	
	2003	2008	BA 增量	2003	2008(BA 增量)	2003	2008(BA 增量)
ECT	-	0.5	0.5	0.3	-	-	5.8
EBT	174.5	1280.3	1105.8	316.3	260.9	859.6	162.2
EBSST	288.9	432.6	143.7	89.5	11.4	257.1	3.4
DBT	23.1	192.4	169.3	10.8	353.5	56.7	121.3
DBSST	21.5	222.1	200.6	10.2	1006.7	37.5	218.7
总计	508.0	2127.4	1619.4	427.1	1631.8	1210.9	511.4

生活型	样地号				
	Ⅳ		BA 增量	Ⅴ	
	2003	2008(BA 增量)	BA 增量	2003	2008
ECT	-	-	2.3	-	-2.3
ECT	186.2	6.4	165.0	252.1	87.1
EBSST	250.5	11.2	281.07	269.9	-11.17
DBT	61.5	12.2	49.6	50.8	1.2
DBSST	4.8	13.5	76.6	72.9	-3.7
总计	502.9	43.4	574.6	645.8	71.2

注:2003年为采伐前的数据。“-”表示不存在。

样地Ⅰ的BA值在5年中有较快的恢复速度,主要以常绿阔叶乔木的BA增量为主(见表1),占该样地BA值增量的68.3%。其中,米楮的BA值增量最大,为857.2 cm²,成为样地中的绝对优势种,相对优势度为42.5%(见附表*)。这些树种中实生苗和萌枝都占有一定

* 因版面篇幅所限,附表未收录于印刷版中,需要者可见本刊电子版,或向作者索取。

比例,其中米楮和杨梅(*Myrica rubra*)的萌枝比例较高(见表2),在恢复第5年分别达到54.0%和83.3%。常绿灌木或小乔木的BA增量最少,仅占样地的8.9%,主要以实生苗为主(见表2)。可以看出,常绿阔叶乔木米楮、香樟(*Cinnamomum camphora*)和杨梅以及常绿灌木或小乔木黑山山矾(*Symplocos heishanensis*)、山矾、隔药铃和连蕊茶在5年中迅速生长,BA值迅速增加,主要通过残留植株的生长而恢复(见图2和表2),成为群落中的优势种和重要组成种(见附表)。

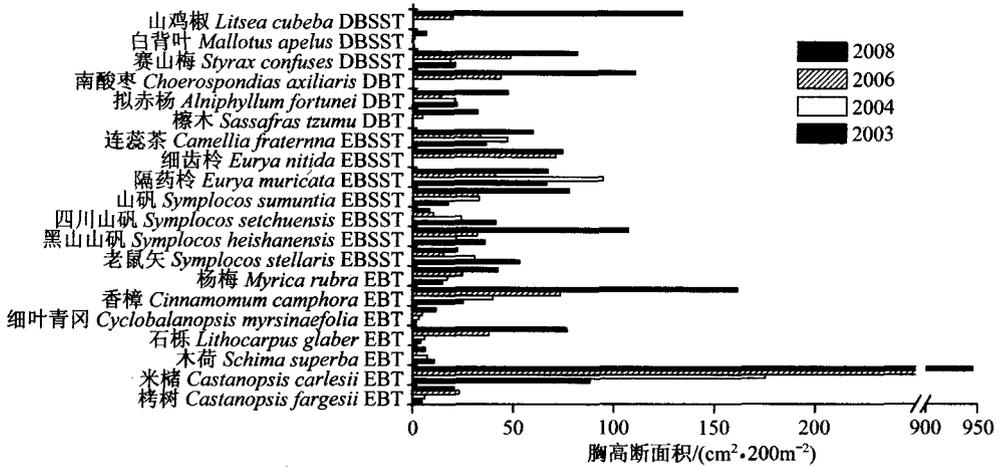


图2 样地 I 中主要树种胸高断面面积值

Fig. 2 Basal area value of main trees in Plot I

表2 各样地主要树种(H>1.5 m)植株数

Tab. 2 Number of stems of main trees (H>1.5 m) in each plot

株/200 m²

植物名称	生活型	样地号							
		I				II			
		2003	2004	2006	2008	2003	2004	2006	2008
杉木	ECT	-	-	-	1(1)	1	-	-	-
马尾松	ECT	-	-	-	-	-	-	-	-
栲树	EBT	1	1	6(1)	9(3)	3	-	13(2)	24(18)
苦楮	EBT	-	-	2	1	-	-	1(1)	1(1)
米楮	EBT	107(45)	99(52)	166(73)	176(95)	53(8)	-	38(14)	80(68)
木荷	EBT	9(4)	4(3)	2(1)	2(1)	2	-	24(23)	21(21)
石栎	EBT	4(1)	3(1)	24(11)	31(19)	8(2)	-	9(9)	20(17)
细叶青冈	EBT	4	10(4)	9(2)	9(1)	17(9)	-	8(5)	9(9)
香樟	EBT	13(2)	13(4)	15(2)	18(4)	3	-	11(10)	20(13)
杨梅	EBT	4(1)	4(1)	5(2)	6(5)	14(10)	-	3(3)	5(5)
青冈	EBT	-	1	-	-	5(2)	-	-	3(3)
黄丹木姜子	EBT	-	2(1)	1	3	-	-	-	-
红楠	EBT	-	-	-	-	2	-	-	2(2)

续表 2

植物名称	生活型	样地号							
		I				II			
		2003	2004	2006	2008	2003	2004	2006	2008
南酸枣	DBT	-	3(2)	10(3)	15(4)	0	3(2)	35(14)	37(11)
杭州榆	DBT	-	-	-	-	-	-	1	1
灯台树	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-
赛山梅	DBSST	3	8(1)	7(1)	6(1)	1	1	6(4)	14(8)
映山红	DBSST	4(3)	1	4(1)	2(1)	-	-	-	-
白背叶	DBSST	-	-	-	4	-	-	-	3
大青	DBSST	-	-	4	-	1	-	14(3)	14(3)
山鸡椒	DBSST	-	-	30	50(3)	-	-	318(12)	409(32)
长刺楸木	DBSST	-	-	-	-	-	-	3	3
榿木	DBSST	-	-	-	-	1	-	-	2(2)
野桐	DBSST	-	-	2	-	-	-	2	1
荚蒾	DBSST	-	-	-	-	-	-	1	-
化香	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-
红脉钓樟	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-
山胡椒	DBSST	-	-	-	-	2	-	-	1
八角枫	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-

植物名称	生活型	样地号									
		III				IV				V	
		2003	2004	2006	2008 ¹	2003	2004	2006	2008	2003	2008
南酸枣	DBT	4	-	5(2)	6(2)	-	-	-	3(2)	-	-
杭州榆	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
灯台树	DBT	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
赛山梅	DBSST	7(2)	-	4	6	1	-	-	5(1)	8(1)	5
映山红	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	3(1)	2	-
白背叶	DBSST	-	-	-	4(2)	-	-	-	4(1)	-	-
大青	DBSST	-	-	3(1)	17(5)	-	-	-	4	7	2
山鸡椒	DBSST	-	-	38(5)	183(20)	-	-	-	3	1	1
长刺楸木	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
榿木	DBSST	-	-	-	-	2(1)	-	-	5(2)	9	6
野桐	DBSST	-	-	-	1(1)	-	-	-	1	-	-
荚蒾	DBSST	2	-	-	-	1	-	-	5(1)	2(1)	2(1)
化香	DBSST	1	-	1	3(3)	-	-	-	-	-	-
红脉钓樟	DBSST	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
山胡椒	DBSST	1	-	-	-	4(2)	-	-	-	-	-
八角枫	DBSST	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-

注:2003年为采伐前的数据。括号外为实生苗和萌枝总数,括号内为萌枝数。“-”表示不存在。各物种拉丁学名如下:杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 马尾松 *Pinus massoniana*, 栲树 *Castanopsis fargesii*, 苦槠 *C. sclerophylla*, 米槠 *C. carlesii*, 木荷 *Schima superba*, 石栎 *Lithocarpus glaber*, 长叶石栎 *L. harlandii*, 细叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*, 青冈 *C. glauca*, 小叶青冈 *C. gracilis*, 赤皮青冈 *C. gilva*, 香樟 *Cinnamomum camphora*, 杨梅 *Myrica rubra*, 黄丹木姜子 *Litsea elongata*, 红楠 *Machilus thunbergii*, 铁冬青 *Ilex rotunda*, 刺叶桂樱 *Prunus spinulosa*, 光叶石楠 *Photinia glabra*, 老鼠矢 *Symplocos stellaris*, 黑山山矾 *S. heishanensis*, 光叶山矾 *S. lanciifolia*, 四川山矾 *S. setchuensis*, 山矾 *S. sumuntia*, 薄叶山矾 *S. anomala*, 马银花 *Rhododendron ovatum*, 隔药铃 *Eurya muricata*, 细齿铃 *E. nitida*, 细枝铃 *E. loquiana*, 窄基红褐铃 *E. rubiginosa* var. *attenuate*, 连蕊茶 *Camellia fraterna*, 油茶 *C. oleifera*, 米饭花 *Vaccinium mandarinorum*, 乌饭树 *V. bracteatum*, 杨桐 *Cleyera japonica*, 胡颓子 *Elaeagnus pungens*, 浙江新木姜子 *Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*, 黄檀 *Dalbergia hupeana*, 雷公鹅耳枥 *Carpinus viminea*, 榿木 *Sassafras tzumu*, 拟赤杨 *Alniphyllum fortunei*, 枫香 *Liquidambar formosana*, 橄欖槭 *Acer olivaceum*, 南酸枣 *Choerospondias axillaris*, 杭州榆 *Ulmus changii*, 灯台树 *Bothrocaryum controversum*, 赛山梅 *Styrax confuses*, 映山红 *Rhododendron simsii*, 大青 *Clerodendrum cyrtophyllum*, 山鸡椒 *Litsea cubeba*, 长刺楸木 *Aralia spinifolia*, 榿木 *Loropetalum chinense*, 白背叶 *Mallotus apeltus*, 野桐 *M. tenuifolius*, 荚蒾 *Viburnum dilatatum*, 化香 *Platycarya strobilacea*, 红脉钓樟 *Lindera rubronervia*, 山胡椒 *Lindera glauca*, 八角枫 *Alangium chinense*.

样地Ⅱ的BA值在5年中的恢复速度最快,主要以落叶灌木或小乔木和落叶阔叶乔木的BA增量为主(见表1),分别占该样地BA值的61.7%和21.7%。其中,山鸡椒(*Litsea cubeba*)和南酸枣的BA增量最大,分别为967.3 cm²和210.7 cm²,成为样地中的绝对优势种(见附表)。这两类生活型物种主要以实生苗为主。常绿灌木或小乔木的BA增量最少,仅占样地的0.7%,主要以萌枝为主(见表2)。

样地Ⅲ的BA值在5年中的恢复主要以落叶灌木或小乔木和常绿阔叶乔木的BA增量为主(见表1),分别占该样地BA值的42.8%和31.7%。其中,山鸡椒和檫木(*Sassafras tzumu*)的BA增量最大,分别为202.4 cm²和81.4 cm²(见附表)。落叶灌木或小乔木的BA值增加主要以实生苗的增量为主,而常绿阔叶乔木则以萌枝为主(见表2)。常绿灌木或小乔木的BA增量最少,仅占样地的0.7%,除了2株光叶石楠(*Photinia glabra*)(萌枝)和1株连蕊茶(实生)外,不存在1.5 m以上的植株(见表2和附表)。

样地Ⅳ在所有样地中恢复速度最慢,直到恢复5年后才有高于1.5 m的植株(见表2),常绿树种和落叶树种都非常少,如栲树、米楮、木荷、石栎、连蕊茶、檫木、南酸枣和山鸡椒等,所有的树种BA值都小于10 cm²(见附表)。

样地Ⅴ的BA值增加在5年中主要以常绿阔叶乔木为主,其他的生活型则有少量的变化。其中,米楮和石栎的BA增量最大,分别为65.2 cm²和64.0 cm²(见附表)。常绿阔叶乔木主要以实生苗为主(见表2)。

2.2 主要树种幼苗和幼树($H \leq 1.5$ m)的补充

从图3可见,幼苗和幼树的补充有一个波动的过程,因不同的采伐干扰强度表现出不同的特征。在2004年,样地Ⅰ和样地Ⅱ中的幼苗和幼树数量最多,分别为1309株和1736株,样地Ⅳ中最少,为458株,样地Ⅲ处于中间水平。到2005年,幼苗数都有一个锐减的过程。到2008年,样地Ⅲ中的幼苗和幼树数量最多,为648株,样地Ⅳ中最少,为432株(样地Ⅴ中为376株),样地Ⅰ和Ⅱ处于中间水平。

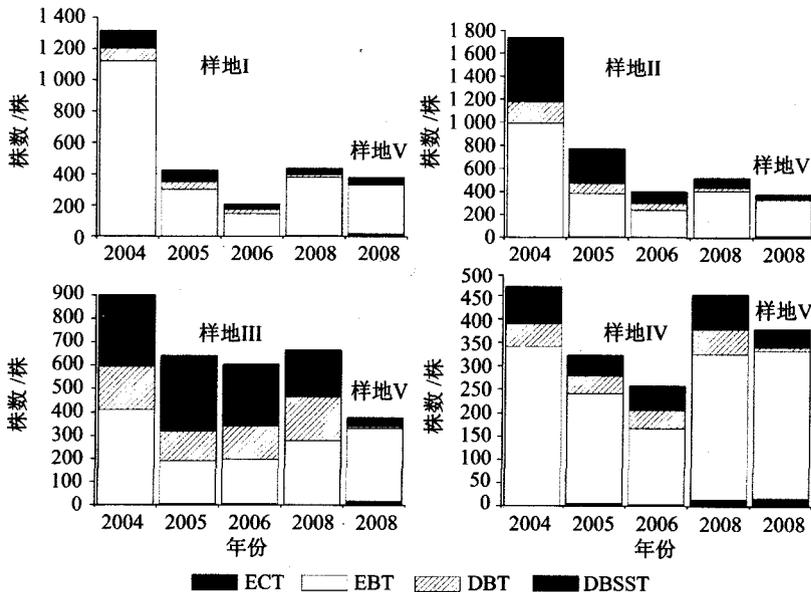


图3 恢复5年中各样地主要树种幼苗+幼树($H \leq 1.5$ m)植株数,按照生活型累加(株/200 m²)

Fig. 3 Number of stems of main trees ($H \leq 1.5$ m) of each plot in 5 year recovery, grouped by life-forms

续表 3

植物名称	生活型	样地号							
		I				II			
		2004	2005	2006	2008	2004	2005	2006	2008
刺叶桂樱	EBT	-	-	-	-	-	-	-	-
赤皮青冈	EBT	-	-	-	-	-	-	-	-
长叶石栎	EBT	-	-	-	-	-	-	-	-
黄檀	DBT	11	13(3)	8	24(2)	4(4)	12(4)	8(1)	16(3)
雷公鹅耳枥	DBT	-	-	-	1	-	-	2	-
榉木	DBT	115(26)	79(10)	79(7)	58(11)	27(1)	14(1)	11	11(1)
拟赤杨	DBT	14(6)	13(1)	14(1)	9	37(19)	18(2)	19	18
枫香	DBT	-	1	-	-	-	-	-	1
橄榄槭	DBT	-	-	-	-	2(2)	-	-	-
南酸枣	DBT	28(11)	12(2)	7(1)	7(2)	42(12)	11(3)	2(1)	5(4)
杭州榆	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-
灯台树	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-
赛山梅	DBSST	8(7)	2(1)	1	5(2)	26(23)	10(5)	4(3)	13(9)
映山红	DBSST	1(1)	2(2)	0	2(2)	-	-	-	-
白背叶	DBSST	13(1)	8	3	1	43(6)	19(3)	7	15
大青	DBSST	6	9(1)	6	16(1)	16(6)	18(1)	7	11(1)
山鸡椒	DBSST	84(11)	53(4)	22	7	436(74)	246(37)	78(9)	38(13)
茅栗	DBSST	3	-	-	-	1	-	-	-
长刺楸木	DBSST	-	-	-	-	4	5	2	-
榿木	DBSST	-	-	-	3(3)	35(34)	-	-	-
野桐	DBSST	-	-	1	4	-	-	5	3
莢蒾	DBSST	-	-	-	-	-	-	2	4(2)
化香	DBSST	-	-	-	-	-	-	1	1
红脉钓樟	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-
山胡椒	DBSST	-	-	-	1	-	-	-	1(1)
八角枫	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-

植物名称	生活型	样地号								
		III				IV				V
		2004	2005	2006	2008	2004	2005	2006	2008	2008
拟赤杨	DBT	26(4)	25	48(2)	94(5)	6	7	14(1)	17	5(1)
枫香	DBT	10(8)	-	2(2)	3(1)	7(2)	-	-	2	-
橄榄槭	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-	1
南酸枣	DBT	21(11)	11(2)	7(1)	7(2)	5(1)	4	4	7(1)	-
杭州榆	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
灯台树	DBT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
赛山梅	DBSST	0	12(1)	8(2)	14(8)	22(18)	7(3)	7(1)	6	2
映山红	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-	2(2)
白背叶	DBSST	10	12	7	6(1)	24	18	23	21	-
大青	DBSST	40(12)	53(4)	33(4)	35(5)	4	4	4	8(4)	31(3)
山鸡椒	DBSST	247(54)	243(34)	206(33)	130(41)	1	12	12	9(1)	-
茅栗	DBSST	-	-	-	-	4(1)	3	-	8	-
长刺楸木	DBSST	2	1	2	-	-	-	-	-	-
榿木	DBSST	-	-	-	-	13(13)	-	-	2(2)	3(3)
野桐	DBSST	-	-	6	13(2)	-	-	1	4	-
莢蒾	DBSST	-	-	-	1	11(11)	-	4	5(3)	1
化香	DBSST	7(7)	1	-	-	-	-	-	-	-
红脉钓樟	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	12(2)	-
山胡椒	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-	-
八角枫	DBSST	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:各物种拉丁学名同表 2 注,茅栗(*Castanea seguinii*),括号外为实生苗和萌枝总数,括号内为萌枝数;“-”表示不存在

样地Ⅱ中的幼苗也以常绿阔叶乔木树种为主,恢复5年中都占到50%以上(见图3),其中以栲树、米楮、香樟和石栎数量最多,以萌枝为主。但相对样地Ⅰ有较多的落叶树种。在2004年,落叶树种幼苗数量占到43.0%,以山鸡椒和檫木为主。整体幼苗在恢复第1年经历了爆发式的增长,而随着恢复的进行幼苗数锐减,其中变化最大的为一些常绿阔叶乔木,如米楮和木荷,以及落叶树种,如檫木和山鸡椒(见表3)。

样地Ⅲ中幼苗主要以落叶阔叶树种为主(见图3),其中山鸡椒、檫木和拟赤杨的幼苗数最多,以实生苗为主。幼苗在恢复第1年最多,达到894株,随着恢复的进行幼苗数量趋于稳定,其中常绿阔叶乔木数量减少最多,如木荷和杨梅(见表3)。

样地Ⅳ中幼苗主要以常绿阔叶乔木为主(见图3),恢复5年中都占到50%以上,其中米楮、石栎和杨梅的幼苗数最多,米楮和石栎的萌枝和实生苗各占一定比例,而杨梅的幼苗主要靠萌枝。整体幼苗在恢复中呈现出先下降后上升的趋势。其中一些常绿阔叶乔木数量变化最大,如石栎从2004年的128株降到了2006年的56株,至2008年则又上升到149株;而杨梅数量在5年中一直处于减少中(见表3)。

样地Ⅴ中幼苗以常绿阔叶乔木为主(见图3),为315株,其中米楮和石栎最多,以实生苗为主。落叶灌木或小乔木为38株,落叶乔木为7株(见表3)。

3 讨 论

3.1 不同干扰下主要树种的恢复格局

本研究中,受择伐上层乔木处理后的样地中的常绿阔叶树种恢复最快,形成了以常绿乔木树种为优势种的格局。在该地区通过年轮对米楮、木荷和石栎生长分析研究表明,树种经历释压和抑制事件的多少影响了树种的生长格局^[29]。去除乔木层,改善了下层的光照环境,可能对于这些树种是一种释压事件,促进了其生长。在南太平洋 Tonga 雨林中研究结果也表明遭受飓风和火烧损害后,BA值的恢复主要通过残留的大树的生长^[7]。而 Pacala & Rees 的研究^[30]也表明残留树种能凭借“定居优势”(colonizing advantage)快速生长,将资源限制在演替先锋树种的需求之下,从而来限制其他树种的侵入。

本研究中,在两种皆伐干扰下,恢复初期阳性先锋种侵入并占据优势地位的局面,与一些研究得出的结果类似^[1,7]。林窗作为森林更新的一个重要组成部分,改善了林下光照条件,同时改变了土壤的水热和理化性质^[31],诱导了土壤内休眠种子和外来种子的萌发,使许多不能在林冠下更新的树种得以在林窗下更新^[32],从而为山鸡椒、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、檫木和拟赤杨等阳性先锋树种^[13,19,33]进入和生长提供了条件。样地Ⅱ和样地Ⅲ的演替格局有所不同,样地Ⅱ中阳性树种山鸡椒和南酸枣占据绝对优势,而在样地Ⅲ中除了阳性树种外,常绿树种仍然作为优势种存在。这可能是由于样地Ⅱ相对样地Ⅲ具有更好的土壤营养源(水分和氮),有利于阳性树种通过快速生长超过演替后期种^[30],而在样地Ⅲ中,阳性树种受资源限制,生长缓慢,常绿树种主要依靠树桩萌枝更新,生长较为快速,从而形成常绿和落叶混交的恢复格局。

清除下层植被,保留大树的处理下(样地Ⅳ),植株更新缓慢,直到恢复第3年才有植株超过1.5 m,而且数量相对很少,到恢复5年BA值还保持在一个相当低的水平。主要原因是由于大树的保留,造成林下光照相对较差,在恢复初期草本层中以草本占优,藤本次之,使得整个样地的地被层覆盖度较高^[34]。地被层和地被层枯死物的过度覆盖会导致土壤水分过

高,降低地表光照,阻碍种子进入土壤定居,同时部分地被层植物有可能分泌一些毒素,抑制种子萌发,这些都严重影响了下木层的更新和生长^[35-38].

3.2 不同干扰下主要树种的恢复趋势

现有的植被分布格局和幼苗状况决定了森林今后的发展趋势^[7,24]. 择伐上层的样地中以常绿阔叶树种的幼苗为主,恢复整体朝着常绿阔叶林发展,虽然一部分阳生树种侵入,但南酸枣、山鸡椒、拟赤杨和檫木这些先锋树种在恢复5年后缺乏更新体(见表3),随着恢复的进行,不久将被排挤. 优势种米槠在恢复中始终占据绝对优势,不久将进入乔木层,其他的树种如石栎、香樟等也能相继进入,预计恢复10年后能形成乔木层,进入演替中期. 林业管理上采取择伐大树结合封山育林方法也证明是较可行的,在自然更新下能够得到较快的恢复^[5].

清除下层植被的采伐模式下,恢复5年中,幼苗以常绿阔叶乔木为主,并且数量逐渐增多(见图3),说明恢复仍然可能朝着常绿阔叶林方向,但这种采伐模式不利于森林的较快更新和恢复.

皆伐的样地(样地Ⅱ和Ⅲ)中,阳生树种如山鸡椒、南酸枣和檫木等,无论从BA值还是从种群结构上看,都是样地中绝对优势种. 样地Ⅱ中的山鸡椒、南酸枣和檫木更新层个体缺乏,更新会发生断层,但因其大个体数量较多,在样地中仍将以优势种存在一段时间. 相对而言,南酸枣和檫木是乔木,生命周期长,而山鸡椒是小乔木,生命周期短^[39],因而山鸡椒将首先退出群落,南酸枣和檫木随后退出. 同时可以看到,样地Ⅱ中存在丰富的常绿阔叶乔木幼苗(见图3和表3),特别是米槠、栲树、石栎和苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)等常绿阔叶树种在遭到不同程度干扰后产生的大量萌枝^[40],也为这些物种的恢复提供了可能^[41,42],但由于阳生树种对资源的过度消耗^[43,44],要发展成为以常绿阔叶树种为优势种的群落需要很长一段时间,比如游水生等^[5]. 研究表明米槠林在皆伐后,经过12年的自然更新能够恢复到以米槠为优势种的群落. 样地Ⅲ由于土地贫瘠,生长缓慢,相应的演替速度也将放缓. 在恢复5年后,阳生树种仍然具有丰富的幼苗和幼树,因而将继续维持以山鸡椒、檫木等阳生树种为主,混有常绿阔叶树种的群落.

对照样地Ⅴ,由于有大树存在,下木层生长缓慢,需要上层乔木的去除,改善光照后才能使下木层一些常绿树种迅速生长进入乔木层.

本研究中,4种不同采伐模式下的群落目前仍然处于相对动荡的更新和恢复阶段,还需要作长时间的观察和研究,以期能更好地解释恢复的机制.

致谢 感谢杨同辉和杨永川博士前期的样地调查和监测工作,感谢商侃侃博士、杨珏、陈晓双和曹雅蓓在野外调查中给予的帮助和支持.

[参 考 文 献]

- [1] BORMANN F H, LIKENS G E. Pattern and Process in a Forested Ecosystem[M]. New York: Springer-Verlag Inc, 1994.
- [2] 黄世能, 李意德, 王伯荪. 海南岛尖峰岭两类热带山地雨林次生群落在15年演替过程中的林木消长[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 710-717.
HUANG S N, LI Y D, WANG B S. Tree population mortality, recruitment and growth during a 15-year period of secondary succession in tropical montane rainforest at Jianfengling on Hainan Island, China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(6): 710-717.

- [3] OKUDU T, SUZUKI M, ADACHI N, et al. Effect of selective logging on canopy and stand structure and tree species composition in a lowland dipterocarp forest in peninsular Malaysia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175: 297-320.
- [4] FARWIG N, SAJITA N, SCHAAB G, et al. Human impact diminishes seedling species richness in Kakamega Forest, Kenya[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2008, 9(4): 383-391.
- [5] 游水生, 叶功富, 陈世品, 等. 不同采伐更新模式对米槠群落植物物种 β 多样性的影响[J]. *武汉植物学研究*, 2008, 26(6): 600-607.
YOU S S, YE G F, CHEN S P, et al. Effects of different cutting and regeneration patterns on β diversity of *Castanopsis carlesii* communities[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2008, 26(6): 600-607.
- [6] COOPER-ELLIS S, FOSTER D R, CARLTON G, et al. Forest response to catastrophic wind: Results from an experimental hurricane[J]. *Ecology*, 1999, 80(8): 2683-2696.
- [7] FRANKLIN J. Recovery from clearing, cyclone and fire in rain forests of Tonga, South Pacific: Vegetation dynamics 1995 - 2005[J]. *Austral Ecology*, 2007, 32: 789-797.
- [8] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落演替之研究[J]. *华南植物学报*, 1993(1): 34-42.
PENG S L, WANG B S. Forest succession at Dinghushan, Guangdong, China[J]. *Botanical Journal of South China*, 1993(1): 34-42.
- [9] 陈小勇, 宋永昌. 受损生态系统类型及影响其退化的关键因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(1): 78-83.
CHEN X Y, SONG Y C. Types of damaged ecosystems and the critical factors leading to degradation[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(1): 78-83.
- [10] 宋永昌, 陈小勇. 中国东部常绿阔叶林生态系统退化机制与生态恢复[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
SONG Y C, CHEN X Y. Degradation Mechanism and Ecological Restoration of Evergreen Broad-leaved Forest Ecosystem in East China[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [11] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
WU Z Y. Vegetation in China[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [12] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
SONG Y C. Vegetation Ecology[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001.
- [13] 王希华, 闫恩荣, 严晓, 等. 中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题[J]. *生态学报*, 2005, 25(7): 1796-1802.
WANG X H, YAN E R, YAN X, et al. Analysis of degraded evergreen broad-leaved forest communities in Eastern China and issues in forest restoration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1796-1802.
- [14] 李兴东, 宋永昌. 常绿阔叶林次生演替的一种系统动力学模型[J]. *生态学报*, 1992, 13(3): 287-290.
LI X D, SONG Y C. A system kinetic model for the secondary succession of broad-leaved evergreen forest[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 13(3): 287-290.
- [15] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995.
SONG Y C, WANG X R. Vegetation and Flora of Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1995.
- [16] 丁圣彦, 宋永昌. 常绿阔叶林演替过程中马尾松消退的原因[J]. *植物学报*, 1998, 40(8): 755-760.
DING S Y, SONG Y C. Declining causes of *Pinus massoniana* in the processes of succession of evergreen broad-leaved forest[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(8): 755-760.
- [17] 王希华, 宋永昌. 天童国家森林公园废弃采石场植被自然恢复早期阶段的种群动态及生物量的研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 545-548.
WANG X H, SONG Y C. Dynamics of population and biomass at early natural recovery stage of vegetation on a abandoned quarry of Tiantong National Forest Park[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 545-548.
- [18] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列的比较生态学研究[M]. 河南开封: 河南大学出版社, 1999.
DING S Y. Comparative Ecology of Successive Stages in Evergreen Broad-leaved Forest[M]. Kaifeng Henan:

- Henan University Press, 1999.
- [19] 丁圣彦, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林演替前期的群落生态学特征[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 97-107.
DING S Y, SONG Y C. Study on the synecological characteristics of the early successional stage of an evergreen broadleaved forest on Tiantong national forest park, Zhejiang province[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(2): 97-107.
- [20] 张庆费, 宋永昌, 吴化前, 等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 250-255.
ZHANG Q F, SONG Y C, WU H Q, et al. Dynamics of litter amount and it's decomposition in different successional stages of evergreen broadleaved forest in Tiantong, Zhejiang province[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(3): 250-255.
- [21] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列群落下土壤性质的比较[J]. 河南大学学报(自然科学版), 1999, 29(3): 92-96.
DING S Y. Comparison of soil characteristics under different successive communities of evergreen broad-leaved forest[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 1999, 29(3): 92-96.
- [22] 丁圣彦. 浙江天童常绿阔叶林演替系列栲树和木荷成为优势种的原因[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2001, 31(1): 79-83.
DING S Y. The causes of *Castanopsis fargesii* and *Schima superba* being dominant species of series of evergreen broad-leaved forest in Zhejiang Tiantong[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2001, 31(1): 79-83.
- [23] 达良俊, 宋坤. 浙江天童受损常绿阔叶林实验生态学研究(I): 生态恢复实验与长期定位[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2008(4): 1-11.
DA L J, SONG K. Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang (I): Ecological restoration experiments and long-term ecological study[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2008(4): 1-11.
- [24] 万慧琳, 冯宗炜. 庐山常绿阔叶林物种组成及其演替趋势[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1147-1157.
WAN H L, FENG Z W. Species composition and succession trend of evergreen broad-leaved forest in Lushan Mountain, Jiangxi Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1147-1157.
- [25] DEKKER M, DE GRAAF N R. Pioneer and climax tree regeneration following selective logging with silviculture in Suriname[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 172: 183-190.
- [26] 浙江植物志编辑委员会. 浙江植物志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993.
Editors of Flora of Zhejiang. Flora of Zhejiang[M]. Hangzhou: Zhejiang Technology Press, 1993.
- [27] OHSAWA M. Difference of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji[J]. Vegetatio, 1984, 57: 15-52.
- [28] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 376-384.
DA L J, YANG Y C, SONG Y C. Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(3): 376-384.
- [29] 宋坤, 杨徐烽, 康敏明, 等. 浙江天童受损常绿阔叶林实验生态学研究(II): 主要常绿树种的生长格局[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2008(4): 12-24.
SONG K, YANG X F, KANG M M, et al. Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang (II): The growth patterns of dominant evergreen trees determined by tree ring analysis[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2008(4): 12-24.
- [30] PACALA S W, REES M. Models suggesting field experiments to test two hypotheses explaining successional diversity[J]. American Naturalist, 1998, 152(5): 729-737.
- [31] 梁晓东, 叶万辉. 林窗研究进展(综述)[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(4): 355-364.
LIANG X D, YE W H. Advances in study on forest gaps[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2001,

- 9(4): 355-364.
- [32] 何永涛,李贵才,曹敏,等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林林窗更新研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1399-1404.
- HE Y T, LI G C, CAO M, et al. Regeneration in gaps of the middle-mountain moist evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1399-1404.
- [33] 张光富,宋永昌. 浙江天童灌丛群落的种类组成、结构及外貌特征[J]. 广西植物, 2001, 21(3): 201-207.
- ZHANG G F, SONG Y C. Studies on species composition, structure and physiognomy of shrub communities in Tiantong region, Zhejiang Province[J]. Guihaia, 2001, 21(3): 201-207.
- [34] 杨徐烽. 天童国家森林公园不同受损程度常绿阔叶林恢复初期研究:植物群落与生境动态[D]. 上海:华东师范大学, 2008.
- YANG X F. Study on early community and habitat dynamics of differently damaged evergreen broad-leaved forests in Tiantong National Forest Park[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [35] 张笃见,叶晓娅,由文辉. 常绿阔叶林地被层在群落中的作用-以浙江天童为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1997, 22(3): 319-323.
- ZHANG D J, YE X Y, YOU W H. The study on function of evergreen broad-leaved forest floor-Tiantong, Zhejiang Province as an example[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science), 1997, 22(3): 319-323.
- [36] 张笃见,叶晓娅,由文辉. 浙江天童常绿阔叶林地被层的研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(6): 544-556.
- ZHANG D J, YE X Y, YOU W H. Evergreen broad-leaved forest floor in Tiantong, Zhejiang Province[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(6): 544-556.
- [37] FACELLI J M. Multiple indirect effects of plant litter affect the establishment of woody seedlings in old fields[J]. Ecology, 1994, 75(6): 1727-1735.
- [38] GEORGE L O, BAZZAZ F A. The fern understory as an ecological filter: emergence and establishment of canopy-tree seedlings[J]. Ecology, 1999, 80(3): 833-845.
- [39] 孔祥海. 福建山鸡椒自然资源与生态群落特征[J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(6): 18-21.
- KONG X H. Natural resources and ecological population feature of *Litsea cubeba* in Fujian Province[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2004, 23(6): 18-21.
- [40] 王希华,严晓,闫恩荣,等. 天童几种常绿阔叶林优势种在砍伐后萌枝更新的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(1): 52-57.
- WANG X H, YAN X, YAN E R, et al. Primary study on sprout regeneration of several dominant species of evergreen broad leaved forest after logging in Tiantong[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2004, 22(1): 52-57.
- [41] BELLINGHAM P J, SPARROW A D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities[J]. Oikos, 2000, 89(2): 409-416.
- [42] BOND W J, MIDGLEY J J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2001, 16(1): 45-51.
- [43] HARDIN G. The tragedy of the commons[J]. Science, 1968, 162: 1243-1248.
- [44] FALSTER D S, WESTOBY M. Plant height and evolutionary games[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(7): 337-343.