

海南岛热带低地雨林木本植物幼苗层组成与功能群恢复动态

路兴慧¹, 丁 易¹, 臧润国^{1*}, 蔡笃磊², 林 崇³, 黄卢标², 许洋瑜²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 海南省霸王岭国家级自然保护区管理局, 海南 昌江 572722; 3. 海南省霸王岭林业局, 海南 昌江 572722)

摘要:以海南岛霸王岭林区内不同恢复阶段低地雨林幼苗($DBH < 1$ cm)层为研究对象, 比较了不同恢复群落中幼苗的物种组成和功能群变化, 分析了幼苗层的自然恢复动态。结果表明: 不同恢复阶段幼苗层的物种组成存在显著差异; 不同恢复阶段幼苗层的物种个体多度都随高度级的增加而减少, 其中, 第 I 高度级幼苗的物种数和个体多度在各个恢复时期均显著高于其它 3 个高度级, 这说明幼苗层的存活曲线接近凹型; 恢复 60 年的次生林群落中幼苗的个体多度最高, 符合中度干扰假说; 随着恢复时间的增加, 不同功能群重要值表现出明显的变化规律, 先锋种的重要值随恢复时间的增加逐渐减少, 而耐荫种的重要值则随恢复时间的增加而逐渐增大, 说明在恢复过程中耐荫种逐渐取代先锋种, 从而实现了群落的更新和演替。

关键词: 幼苗; 物种组成; 高度结构; 功能群; 恢复动态

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

Recovery Dynamics of Seedling Composition and Functional Groups in the Tropical Lowland Rain Forest on Hainan Island, China

LU Xing-hui¹, DING Yi¹, ZANG Run-guo¹, CAI Du-lei², LIN Chong³, HUANG Lu-biao², XU Yang-yu²

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest and Environment of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Administration Bureau of Hainan Bawangling National Natural Reserve, Changjiang 572722, Hainan, China; 3. Forestry Administration Bureau of Hainan Bawangling, Changjiang 572722, Hainan, China)

Abstract: The seedling layers ($DBH < 1$ cm) under different recovery stages in the tropical lowland rain forest on Hainan Island were selected as study object. The species composition and variation of functional group of seedling community in different recovery phases were surveyed. The results showed that there were different species compositions of seedling community in different recovery stages. The seedling abundance decreased with the increase of height classes. The seedlings in the lowest height class had higher abundance than those in the other height classes. These indicated that the survival curve of seedlings was close to the concave curve. The seedling abundance peaked in the 60-years-old secondary forest, which compiled with the intermediate disturbance hypothesis. Importance values of different functional groups varied significantly with recovery. The pioneer species decreased while the climax species increased with the increase of recovery time.

Key words: seedling; species composition; height structure; functional group; recovery dynamic

热带林是陆地生态系统中生物多样性最丰富的植被类型,对人类社会有重要的意义和价值。干扰现象广泛存在于热带地区,是维持热带生物多样性的重要机制^[1-2]。刀耕火种是一种主要的人为干扰方式,对热带林植被的恢复有深刻的影响^[3]。刀耕火种导致热带林严重退化,次生植被恢复缓慢,物种多样性降低^[4]。因而,系统地了解刀耕火种弃耕地植被恢复过程、方向和机理,有助于增加对热带林次生林恢复动态特征的基本认识^[5-7]。

在热带雨林中,幼苗库是生态系统的一个重要组成部分,它们在群落演替和物种多样性的维持过程中发挥着重要作用^[8]。在研究演替过程群落组成及植物多样性演变特征中,学者们一般主要关注胸径大于1 cm的树木个体,而对个体更小的幼苗关注较少。尽管幼苗在森林中利用的资源和占据的空间较少,但是幼苗更新格局能决定未来的物种组成和群落结构^[9-10]。热带林树木的幼苗阶段通常持续时间较长,因而幼苗组成和生长的变化能够显著影响群落树木的更新和生长^[11]。以种子特征、幼苗更新特征、演替地位、耐荫能力等指标来划分功能群是进行热带次生林恢复动态研究常采用的方式。有研究表明,在热带林中,随着干扰后恢复时间的增加,先锋物种显著减小,耐荫物种则显著增加^[10, 12]。海南岛热带低地雨林地处亚洲雨林的北缘与东南亚热带雨林保持较高的相似性。近年来,随着对海南岛热带林恢复认识的提高,有关热带林恢复过程中次生植被特点^[13]及不同更新林的群落特征^[14]也有报道。霸王岭林区刀耕火种弃耕地森林恢复研究则是近几年才开始给予关注^[12, 15-16],但有关幼苗组成与功能群恢复动态的相关研究少有报道。本文以海南岛霸王岭林区内不同恢复阶段低地雨林幼苗群落为研究对象,比较不同恢复时间群落中幼苗的物种组成和功能群组成差异,分析幼苗层恢复动态,探讨干扰对次生林幼苗物种组成和功能群恢复的影响,从

而为以生态功能为主导的植被恢复提供参考。

1 研究方法

1.1 研究地区自然概况

研究区设在海南霸王岭国家级自然保护区内,该保护区位于海南省西南部的昌江县和白沙县的交界处(18°57'~19°11' N, 109°03'~109°17' E),总面积约50 000 hm²;全区地形复杂,以山地为主,海拔约100~1 654 m;该地区属热带季风气候,干湿季明显,5-10月为雨季,11月至次年4月为旱季。低地雨林主要分布在海拔600 m左右的区域,年平均气温22.5℃,年平均降水量2 553 mm(2007—2008年平均数据)^[12],土壤以砖红壤为代表类型。在低海拔地区分布的植被类型是以青梅(*Vatica mangachapoi* Blanco)为优势种的热带低地雨林,该类型也是刀耕火种干扰的主要植被类型。

1.2 研究方法

在研究区内选择6个1 hm²的热带低地雨林群落样地,其中:(1)刀耕火种弃耕后恢复30年的群落样地2个(样地编号为LSB1、LSB2);(2)刀耕火种弃耕后恢复60年的群落样地2个(LSC1、LSC2);(3)低地雨林老龄林群落样地2个(LOG1、LOG2)。所有样地均为100 m × 100 m的正方形。按相邻格子样方法^[17]把每个样地划分为100个10 m × 10 m的样方。在每个样方中心位置设置1个2 m × 2 m的幼苗调查小样方,调查其中胸径(DBH)小于1 cm的所有木本植物的幼苗(本研究中将胸径DBH < 1 cm的植株定义为幼苗),并记录每个个体的物种名称和高度(H)。根据高度将幼苗划分为4个等级,第Ⅰ级:5 cm ≤ H < 20 cm;第Ⅱ级:20 cm ≤ H < 40 cm;第Ⅲ级:40 cm ≤ H < 80 cm;第Ⅳ级:80 cm ≤ H < 120 cm,这4个高度等级在一定程度上能够近似代表4个不同的生长阶段。各恢复阶段的林分具体特征见表1。

表1 不同恢复阶段林分特征

林龄	干扰类型	海拔/m	冠层开阔度/%	植被类型(乔木+灌木+藤本)	胸高断面面积/(m ² ·hm ⁻²)
30年次生林	刀耕火种	543	12.74	银柴+毛蕊+锡叶藤	24.83
60年次生林	刀耕火种	454	9.87	米楮+九节+两粤檀	27.96
老龄林	无	585	8.47	青梅+罗伞树+山橙	41.76

1.3 数据处理和分析

分别统计各个样地内调查到的物种数量及其科、属组成。不同恢复阶段幼苗多用其株数表示,各物种在不同恢复幼苗层中的重要值=(相对多度

+相对高度+相对频度)/3。根据《中国植物志》的物种特征描述,并结合种子特征、幼苗更新特征和前期工作基础^[18-19],将所有样地内出现的植物种按照需光程度划分为3个功能群^[12, 20],即:先锋种,如

银柴 (*Aporosa dioica* Merr)、黄牛木 (*Cratoxylum cochinchinense* (Lour.) Bl.)、毛茛 (*Melastoma sanguineum* Sims) 等;非先锋喜光种,如黄杞 (*Engelhardtia roxburghiana* Wall.)、乌桕 (*Diospyros cathayensis* Steward)、丛花山矾 (*Symplocos poilanei* Guill.) 等;耐荫种,如青梅、托盘青冈 (*Cyclobalanopsis patelliformis* (Chun) Y. C. Hsu et H. W. Jen)、岭南山竹子 (*Garcinia oblongifolia* Champ. ex Benth.) 等。所有统计采用 R2.12.0 程序进行。植物中文名和拉丁学名依照《中国生物物种名录》2011 版^[21]。

2 结果与分析

2.1 幼苗层物种组成

在海南岛霸王岭热带低地雨林 3 个恢复阶段的

6 hm² 样地中,共 600 个 2 m × 2 m 的幼苗小样方中 (合计 2 400 m²) 共调查到 371 个物种,分属于 92 科,227 属。在 30 年次生林中,银柴、黄牛木、山杜英 (*Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir.)、毛茛、乌墨 (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) 等占优势,这些物种均为喜光种;在 60 年的次生林中,九节 (*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.)、米楮 (*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata)、黄杞、乌桕和丛花山矾占优势。在老龄林中占优势的是龙脑香科、樟科、茜草科和壳斗科植物,包括青梅、托盘青冈、岭南山竹子、白茶树 (*Koilodepas hainanense* (Merr.) Airy Shaw.) 等 (表 2)。

表 2 海南岛霸王岭低地雨林幼苗层主要优势物种在不同恢复阶段的重要值

物种	重要值/%			物种	重要值/%		
	30 年次生林	60 年次生林	老龄林		30 年次生林	60 年次生林	老龄林
银柴	11.24	3.10	0.05	芳樟润楠	0.70	2.04	0.48
黄牛木	2.18	0.33	0.00	木荷	0.00	1.23	0.37
山杜英	2.83	0.52	0.21	丛花山矾	0.05	1.73	0.46
子楝树	1.10	0.15	0.00	两粤檀	0.63	2.69	0.28
毛茛	2.59	0.19	0.18	白茶树	0.00	0.00	1.57
翻白叶	1.26	0.49	0.00	罗伞	0.92	3.18	6.13
乌墨	2.90	0.69	0.00	岭南山竹子	0.00	0.20	1.61
锡叶藤	2.87	3.26	0.21	油楠	0.00	0.00	0.53
胡颓叶柯	1.35	0.17	0.00	海南暗罗	0.00	0.00	0.36
米楮	0.00	3.56	0.00	山橙	0.10	0.19	1.51
黄杞	1.14	3.50	0.59	买麻藤	2.01	1.36	0.91
乌桕	0.20	2.03	1.33	青梅	0.00	0.00	10.05
九节	5.23	10.57	0.67	托盘青冈	0.00	0.20	2.16

注:子楝树 *Decaspermum gracilentum* (Hance) Merr. et Perry; 翻白叶树 *Pterospermum heterophyllum* Hance; 锡叶藤 *Tetracera asiatica* (Lour.) _ Hoogland; 胡颓叶柯 *Lithocarpus elaeagnifolius* (Seemen) Chun; 芳樟润楠 *Machilus suaveolens* S. Lee; 木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; 两粤檀 *Dalbergia bentham* Prain; 罗伞 *Ardisia quinquegona* Bl.; 海南暗罗 *Polyalthia laui* Merr.; 油楠 *Sindora glabra* Merr. ex de Wit; 山橙 *Melodinus suaveolens* Champ. ex Benth.; 买麻藤 *Gnetum montanum* Markgr.。

与老龄林相比,刀耕火种次生林中幼苗个体物种累积速度缓慢(图 1)。第 I、II 高度级幼苗种多度累积曲线均表现出相似的变化趋势,随着演替的进展,幼苗物种多度累积速度逐渐增加;第 III、IV 高度级幼苗物种多度累积速度在老龄林中较快,60 年次生林中累积速度相对较慢。

2.2 幼苗层高度结构

在各恢复阶段中,第 I 高度级幼苗多度明显比其它 3 个高度级的高,而其它 3 个高度级的幼苗多度变化较小(图 2)。在刀耕火种弃耕地恢复过程中,第 I 高度级幼苗多度在 60 年次生林中显著高于

30 年次生林和老龄林 (ANOVA, $F = 9.17, d_f = 2, P < 0.001$); 第 II 高度级幼苗多度在刀耕火种弃耕地次生林和老龄林中差异不显著 ($F = 2.16, d_f = 2, P = 0.11$); 第 III 高度级幼苗多度在恢复 30 年和 60 年群落中差异不显著 ($P = 0.97$), 但都显著高于老龄林群落 ($P < 0.05$)。第 IV 高度级幼苗多度随恢复阶段呈逐渐下降趋势,但在 30 年次生林和 60 年次生林中差异不显著 ($P = 0.17$)。

2.3 功能群变化

随着刀耕火种弃耕地恢复时间的增加,不同功能群重要值表现出明显的规律性(图 3): 先锋种幼

苗重要值随着刀耕火种弃耕地恢复时间的增加而逐渐减少;30年次生林中先锋种幼苗的重要值最高,后随恢复时间的增加逐渐减少,而在老龄林中低至

1.25%;非先锋喜光种幼苗重要值在60年次生林中比重最大(64.34%);耐荫种重要值随群落恢复过程而逐渐增加,在老龄林中达到68.11%。

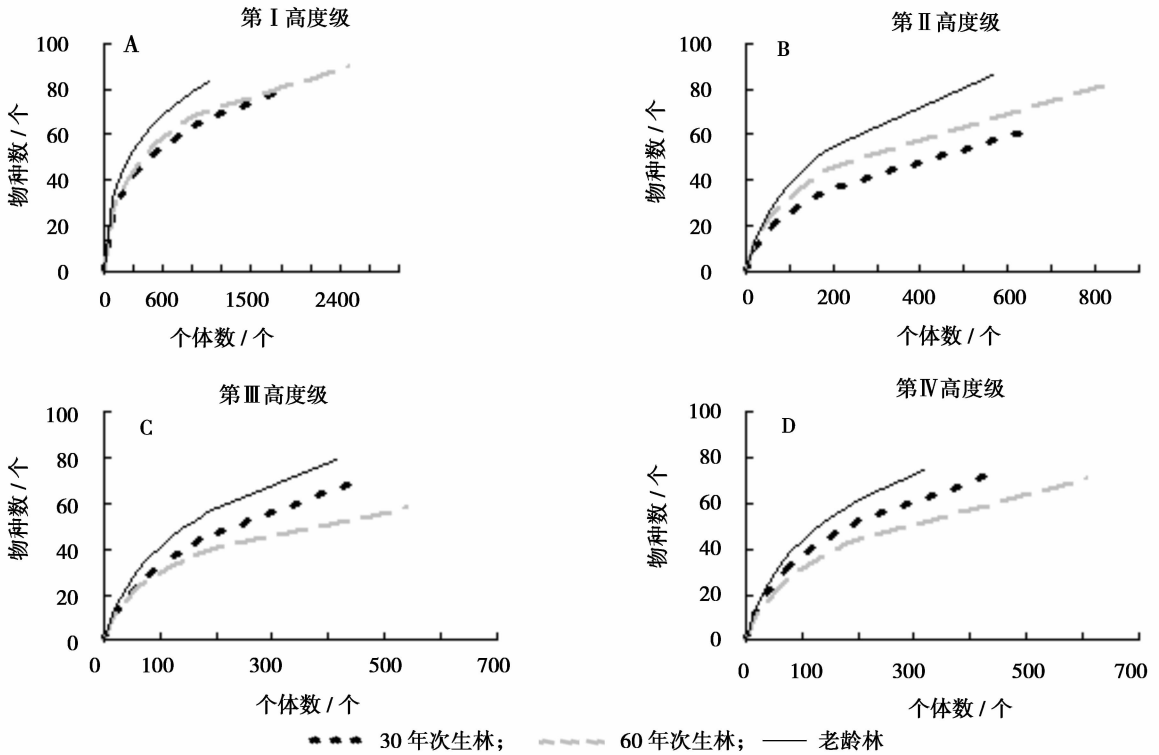


图1 不同恢复时间次生林和老龄林样地中4个高度级幼苗的物种累积曲线

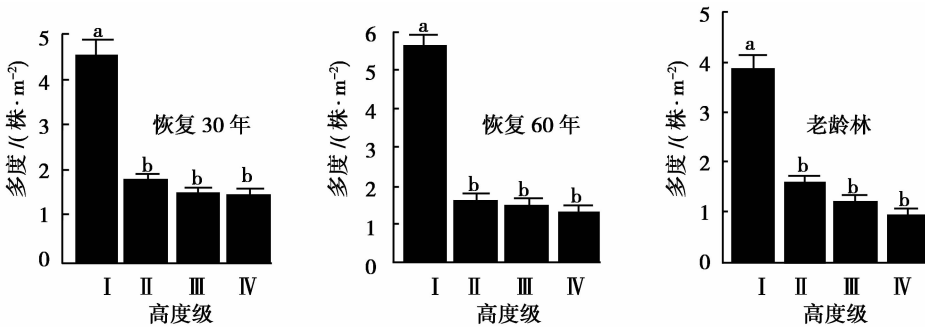


图2 4个高度级幼苗在不同恢复时间群落内多度的变化

3 结论与讨论

3.1 幼苗层物种组成和高度结构恢复动态

有关热带林生态恢复研究表明,人为干扰后的次生林恢复速度和物种组成等方面均与原始林存在较大差异^[22-24]。虽然恢复群落中的物种数量能够在较短的时间内达到原始林水平,但是物种组成的恢复通常需要上百年甚至更长的时间,或者无法恢复到干扰前的水平^[23]。Pascarella等^[25]通过调查弃耕地恢复群落发现,25~30年恢复群落中物种

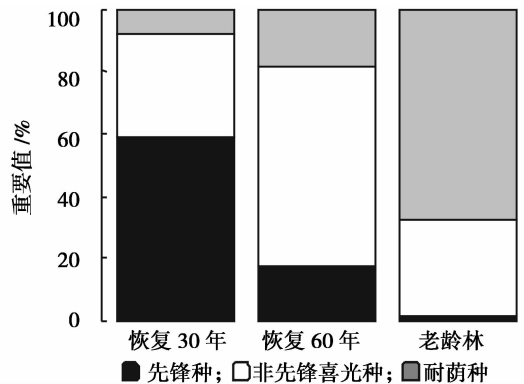


图3 不同恢复时间次生林和老龄林中3个功能群幼苗的重要值

数量和原始林相同,然而物种组成与原始林相差甚远。虽然低强度的刀耕火种具有较快的恢复速度,但本研究结果表明,霸王岭林区的刀耕火种弃耕地幼苗恢复速度和低地雨林老龄林中还存在较大的差异,恢复 30 年和 60 年的群落在幼苗的科、属、种特征上与老龄林存在较大差异。种源距离和小气候可能是导致次生林恢复速度慢的主要原因。30 年和 60 年的次生林与老龄林距离远,种源难于到达,因此限制了物种积累。在次生林中,旱季高温和土壤水分含量少不仅影响了种子萌发,还增加了幼苗建立的难度,因此次生林中幼苗物种累积速度较为缓慢。

研究发现,随着恢复时间的增加,尽管霸王岭林区的刀耕火种弃耕地幼苗恢复速度和低地雨林老龄林中存在较大的差异,但物种组成很明显地向老龄林接近。刀耕火种弃耕地恢复 60 年的群落幼苗种类既有 30 年群落中的先锋喜光物种,又有老龄林中的耐荫物种,说明 60 年样地处在演替早期向老龄林恢复的过渡时期。幼苗个体多度随恢复时间的增加而升高,最高值出现在演替中期(60 年),随后又呈现下降趋势,这一现象符合中度干扰假说。出现这种趋势的原因可能与干扰后恢复群落中环境条件及物种的更新特性有关,随着次生林恢复,林内土壤、空气温湿度、光照等环境特点为种子萌发、幼苗定居提供了有利条件,然而到了老龄林,冠层郁闭度增加,林内成年树个体密度增大,抑制了幼苗更新。

另外,个体多度随高度级在各个恢复时期的幼苗层中均表现出第 I 高度级幼苗个体多度较多的特征,其原因可能与种子扩散和种子特性有关^[26]。通常幼苗建立一段时间后,环境对幼苗的限制或促进作用才能显现出来。因此,一些幼苗不能适应群落环境而逐渐死亡,导致第 I 高度级幼苗在数量上比其他高度级幼苗多。这一结果说明,霸王岭林区不同恢复阶段的幼苗层死亡最高峰出现在第 I 高度级幼苗阶段,其存活曲线接近凹型,这也证实了种群存活曲线等相关的研究结果^[27-28]。

3.2 功能群恢复动态

有关研究表明:演替早期的先锋物种能快速占据领地,一般具有生长速度快、寿命低和耐贫瘠的特点,演替后期物种则具有耐阴性强和种子生物量相对较大的特点^[29]。随着刀耕火种弃耕地恢复时间的增加,耐荫种幼苗补充比例在恢复群落中逐渐增加。海南岛低地雨林建群种—龙脑香科植物青梅在

恢复 30 年和 60 年群落中均未发现幼苗分布,而在老龄林中,青梅幼苗则占绝对优势(重要值达 10.05%)。青梅作为低地雨林的表征种类,它的恢复决定了受干扰后群落的恢复程度。青梅的恢复有 2 个决定性的因素:一是原林分受干扰的面积大小和强度以及受干扰林分与原始林的距离;二是青梅种子的存活时间较短,种子成熟后大约在 2~3 个月内就会丧失发芽能力^[30]。本研究中,次生林恢复样地距离以青梅为优势种的老龄林较远,青梅种源难以到达,加之干扰强度大而使土壤中的所有潜在种子库均丧失殆尽,导致无法更新;同时,由于刀耕火种弃耕地土壤和环境条件的改变,弃耕地高温低湿的地表环境也导致耐荫种建立的困难。

不同功能群随演替时间的替换规律决定了次生演替的方向。在热带林群落恢复初期,喜光的短寿命先锋种占据绝对优势;随着恢复的进行,林冠层由喜光的非先锋物种所控制;随着林冠层的进一步郁闭,在群落中建立起来的耐荫种逐渐代替了喜光种。本研究也证实,先锋种重要值随恢复时间的增加逐渐减少,而耐荫种重要值随恢复时间的增加逐渐增大,这可能由不同功能群的更新特性引起的。在刀耕火种弃耕地恢复初期,由于有较优越的光照条件和较小的竞争环境,群落中有较多的个体数量和较大的密度,此时,占据群落生境的主要是一些喜光的先锋树种幼苗^[22]。在老龄林中,由于郁闭度增大,植株间资源竞争增强,群落中的幼苗则主要是一些竞争能力强而相对耐荫的种类^[31]。

本文对不同恢复时期次生林的幼苗层和功能群恢复动态的研究表明:霸王岭林区的刀耕火种弃耕地幼苗恢复速度与低地雨林老龄林的还存在较大差异,但随着恢复时间的推进,弃耕地幼苗层的物种组成不断向老龄林接近;随着刀耕火种弃耕地恢复时间的增加,不同功能群重要值表现出明显的规律性,先锋种重要值随恢复时间的增加逐渐减少,而耐荫种重要值随恢复时间的增加逐渐增大。

参考文献:

- [1] MacKinnon K. Parks, people, and policies: conflicting agendas for forests in southeast Asia[M] // Bermingham E, Dick C, Moritz C. Tropical Rainforests: Past, Present, and Future, University of Chicago Press: Chicago, 2005: 558-582
- [2] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199: 1302-1310
- [3] Whitmore T C. An Introduction to Tropical Rain Forests, Seconded

- [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998
- [4] Skoglund J. The role of seed banks in vegetation dynamics and restoration of dry tropical ecosystems[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1992, 3: 357–360
- [5] Quesada M, Sanchez-Azofeifa G A, Alvarez-Añorve M, *et al.* Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(6): 1014–1024
- [6] Carrière S M, Letourmy P, McKey D B. Effects of remnant trees in fallows on diversity and structure of forest regrowth in a slash-and-burn agricultural system in southern Cameroon[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, 18(3): 375–396
- [7] Lawrence D, Suma V, Mogeja J P. Change in species composition with repeated shifting cultivation; limited role of soil nutrients[J]. *Ecological Applications*, 2005, 15(6): 1952–1967
- [8] Swamy V, Terborgh J, Dexter K G, *et al.* Are all seeds equal? Spatially explicit comparisons of seed fall and sapling recruitment in a tropical forest[J]. *Ecology Letters*, 2011, 14(2): 195–201
- [9] Teegalapalli K, Hiremath A J, Jathanna D. Patterns of seed rain and seedling regeneration in abandoned agricultural clearings in a seasonally dry tropical forest in India[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2010, 26(1): 25–33
- [10] Connell J H, Green P T. Seedling dynamics over thirty-two years in a tropical rain forest tree[J]. *Ecology*, 2000, 81(2): 568–584
- [11] Comita L S, Hubbell S P. Local neighborhood and species' shade tolerance influence survival in a diverse seedling bank[J]. *Ecology*, 2009, 90(2): 328–334
- [12] 丁 易, 臧润国. 海南岛霸王岭热带低地雨林植被恢复动态[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(5): 577–586
- [13] 杨小波, 吴庆书. 海南岛热带地区弃荒农田次生植被恢复特点[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 477–482
- [14] 许 涵, 李意德, 骆土寿, 等. 尖峰岭热带山地雨林不同更新林的群落特征[J]. *林业科学*, 2009, 45(1): 14–20
- [15] 丁 易, 臧润国. 海南岛热带低地雨林刀耕火种弃耕地恢复过程中落叶树种的变化[J]. *生物多样性*, 2008, 16(2): 103–109
- [16] Ding Y, Zang R G. Community characteristics of early recovery vegetation on abandoned lands of shifting cultivation in Bawangling of Hainan Island, south China[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(5): 530–538
- [17] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001
- [18] 臧润国, 丁 易, 张志东, 等. 海南岛热带天然林主要功能群保护与恢复的生态学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [19] 邓福英, 臧润国. 海南岛热带山地雨林天然次生林的功能群划分[J]. *生态学报*, 2007, 27(8): 3240–3249
- [20] Bongers F, Poorter L, Hawthorne W D, *et al.* The intermediate disturbance hypothesis applies to tropical forests, but disturbance contributes little to tree diversity[J]. *Ecology Letters*, 2009, 12(8): 798–805
- [21] 中国科学院生物多样性委员会. 中国生物物种名录:2011版[M]. 北京: 物种2000中国结点, 2011
- [22] Capers R S, Chazdon R L, Brenes A R, *et al.* Successional dynamics of woody seedling communities in wet tropical secondary forests[J]. *Journal of Ecology*, 2005, 93(6): 1071–1084
- [23] Chai S L, Tanner E V J. 150-year legacy of land use on tree species composition in old-secondary forests of Jamaica[J]. *Journal of Ecology*, 2011, 99(1): 113–121
- [24] 邓守彦, 刘万德, 郭忠玲, 等. 不同恢复时期红松阔叶林群落结构与多样性特征[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 493–499
- [25] Pascarella J, Aide T, Serrano M, *et al.* Land use history and forest regeneration in the Cayey Mountains, Puerto Rico [J]. *Ecosystems*, 2000, 3: 217–228
- [26] Aarssen L W, Schamp B S, Pither J. Why are there so many small plants? Implications for species coexistence [J]. *Journal of Ecology*, 2006, 94(3): 569–580
- [27] Hättenschwiler S, Smith W K. Seedling occurrence in alpine tree-line conifers: A case study from the central Rocky Mountains, USA [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20(3): 219–224
- [28] 何亚平, 费世民, 蒋俊明, 等. 不同龄级划分方法对种群存活分析的影响—以水灾迹地油松和华山松种群生存分析为例[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 448–455
- [29] Reich P B, Buschena C, Tjoelker M G, *et al.* Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under contrasting N supply: a test of functional group differences[J]. *New Phytologist*, 2003, 157(3): 617–631
- [30] 刘文明, 宋学之. 失水对青皮种子劣变的影响[J]. *林业科学研究*, 1993, 6(2): 162–166
- [31] 陶建平, 臧润国. 海南霸王岭热带山地雨林林隙幼苗层动态规律研究[J]. *林业科学*, 2004, 40(3): 33–38