

鄂东南枫香 (*Liquidambar formosana*) 林、马尾松 (*Pinus massoniana*) - 枫香林群落结构及更新

王传华^{1,2}, 魏 斌¹, 李俊清^{1,*}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 三峡大学化学与生命科学学院, 湖北宜昌 443000)

摘要: 长江中下游低山丘陵地区是一个植被曾经受到破坏的生态脆弱区, 枫香林和马尾松枫香林是该地区的重要植被类型, 对于维持该地区的生态安全具有重要意义。对地处鄂东南低山丘陵地区的枫香林和马尾松枫香林的群落结构及其主要乔木的实生更新进行了研究, 结果表明: (1) 该地区枫香林和马尾松枫香林群落的乔木和灌木层物种组成存在差异; (2) 枫香林中的枫香种群不能实现持续地实生更新; 马尾松枫香林的马尾松是一个年龄为 25 ~ 30a 的同生群, 而枫香则为一个增长种群; (3) 对马尾松、枫香、化香、合欢 4 种主要乔木实生幼苗的种间关联、生长发育规律、空间分布格局的分析表明: ①在 4 种幼苗形成的 6 个种对中, 只有马尾松和化香间呈显著的负关联 ($p \leq 0.01$), 其它种对间不存在明确的关联关系。②马尾松、枫香、化香、合欢的幼苗均呈聚集分布, 其中枫香幼苗在高生长过程中趋向于随机分布。③4 种幼苗的高生长速率表现出不同的规律, 其中马尾松和枫香呈“J”型加速增长; 化香和合欢幼苗的高生长速率分别在 d、e 级幼苗出现拐点, 其幼苗高生长为“S”型增长。该地区的植被演替呈现枫香为主的落叶阔叶树种取代马尾松的趋势, 但是枫香林的演替趋势还有待进一步研究。

关键词: 低山丘陵区; 马尾松枫香林; 空间分布格局; 幼苗更新; 演替

文章编号: 1000-0933(2009)09-4681-12 中图分类号: Q142, Q948, S718.5 文献标识码: A

Community structure and seedlings regeneration of Chinese sweet gum (*Liquidambar formosana*) forest and pine (*Pinus massoniana*)-sweet gum mixed forest in southeast hilly region of Hubei Province

WANG Chuan-Hua^{1,2}, WEI Bin¹, LI Jun-Qing^{1,*}

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing 100083, China

2 China Three Gorges University, Yi-Chang 443000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4681 ~ 4692.

Abstract: The south-east hilly region of Hubei Province, located at the middle and lower reaches of Yangtze-river, is an ecologically degraded and frail area that needs to be restored and conserved. Chinese sweet gum (*Liquidambar formosana*) forest and pine (*Pinus massoniana*)-sweet gum mixed forest are two main forest types in this region. To reveal the vegetation restoration mechanism of this region, a study on regeneration and succession was conducted in these two forest types. The results indicated that: (1) the difference of species composition between the two forest types was significant; (2) in pine-sweet gum mixed forest, the pine population was a cohort aged from 25 to 30 years, which could be taken as a maturing population, while the sweet gum population could be viewed as an increasing population. At the same time, sweet gum population in the sweet gum forest could be a decreasing population, because there were no seedlings under their own canopy. (3) seedlings regeneration study of 4 dominant tree species (pine, Chinese sweet gum, Dyetree (*Platycarya strobilacea*) and Wild Siris (*Albizia julibrissin*)) showed that: ① there was no inter-species association in each pair of the

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑资助项目(2006BAD03A16)

收稿日期: 2008-09-07; **修订日期:** 2009-04-10

致谢: 在本文的标本鉴定过程中, 得到湖北省林科院熊德礼和三峡大学生物技术研究中心王玉兵的帮助, 在此表示感谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijq@bjfu.edu.cn.

4 species, except that pine and Dyetree showed a significantly negative association ($p \leq 0.05$); ② the distribution pattern of Chinese sweet gum changed gradually from clump to random pattern with growth, while the other 3 species always showed a clump distribution pattern; ③ the seedlings of the 4 species showed different growth patterns: the main branch growth increment of Dyetree and Wild Siris seedlings decreased earlier than that of pine and Chinese sweet-gum. In conclusion, in the south-east hilly region of Hubei Province, there was a tendency that sweet gum would take the place of pine, while the succession of sweet gum forest was a question for further study.

Key Words: hilly region; pine-sweet gum mixed forest; distribution pattern; seedling regeneration; Succession

鄂东南低山丘陵区是长江中下游低山丘陵区的一部分。该地区各种类型次生林的覆盖率达 35%, 对于维持生态安全和促进区域经济发展具有重要的意义。根据吴征镒和王映明等的研究, 该地区植被在中国植被分类系统和湖北植被区划中处于中亚热带常绿阔叶林、落叶阔叶林地带向北亚热带常绿阔叶林、落叶阔叶林地带过渡地区^[1-3]。该地区原始植被的主要成分以壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、山茶科 (Theaceae)、金缕梅科 (Hamamelidaceae)、榆科 (Ulmaceae) 等科属物种及典型的中亚热带杉树 (Taxodiaceae)、松类 (Pinaceae) 等物种为主。我国亚热带常见的落叶树种如枫香 (*Liquidambar formosana*)、麻栎 (*Quercus acutissima*)、黄檀 (*Dalbergia hupeana*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、枫杨 (*Pterocarya stenoptera*)、野核桃 (*Juglans cathayensis*)、青檀 (*Pteroceltis tatarinowii*)、苦槠木 (*Fraxinus insularis*) 等在海拔 800m 以下的区域起建群作用^[3]。

由于长期人类活动的干扰, 鄂东南低山丘陵区的原生植被几乎消失, 现存的次生植被类型有马尾松林、马尾松枫香林和由枫香、化香、各种落叶栎类及合欢组成的杂灌木林等^[3]。由于马尾松枫香林、枫香林分别是本地区针阔混交林和落叶阔叶林的代表性群落, 而马尾松种群和枫香种群是这两种植被类型的优势种, 因此研究这两种树种的更替规律及其群落的结构特征, 对于理解该地区植被演替趋势具有重要意义。

关于马尾松林的演替趋势, 尤其是马尾松-常绿阔叶林演替趋势的研究, 在南亚热带地区开展得比较深入^[4-10], 然而, 对于北亚热带和暖温带马尾松-落叶阔叶次生林演替规律的研究则较少。一般认为, 马尾松是一个演替的先锋种, 马尾松林是一个不稳定的群落类型, 随后会被一些耐阴的常绿阔叶树种取代, 最终形成接近地带性植被类型的常绿阔叶林^[4-10]。王献溥将广西的马尾松群落划分为 3 个群丛纲 76 个群丛^[11], 其中分布于低山丘陵地区的马尾松群落多为单层、灌木繁茂的马尾松林。北亚热带和暖温带马尾松-落叶阔叶次生林的群落结构则表现出自身特点, 如马尾松次生林结构较为简单, 马尾松种群更新不良, 壳斗科树种灌木化及“枫香林下无枫香”等。这些现象表明, 马尾松-落叶阔叶林的演替规律可能与马尾松-常绿阔叶林存在一些差异。关于枫香林的研究, 目前有少量文献涉及枫香种子成熟、萌发的习性^[12-14]、枫香叶片对荫蔽的形态改变^[15]及种群发育规律^[16]等, 而对枫香种群的更新特点及其在长江中下游低山丘陵区次生植被演替中的作用则研究较少。

本研究的主要问题是: (1) 该地区的马尾松枫香林和枫香林的群落结构有何差异? 主要乔木树种的种群动态如何? (2) 马尾松枫香林的主要物种更新特点有何差异? 马尾松枫香林的演替趋势如何? 围绕这些问题, 本研究以上述 2 种群落为对象, 从以下 3 个方面研究其结构与更新情况: (1) 研究枫香林群落与马尾松枫香林群落的物种组成, 根据物种在这 2 种群落间重要值的变化划分适宜于马尾松林环境和枫香林环境的生态种组; (2) 进一步研究上述群落建群种 (马尾松和枫香) 的种群年龄或大小级结构, 判断这两个种群的消长趋势; (3) 最后研究马尾松枫香林主要乔木树种的实生更新特点, 进而探明马尾松枫香林的演替趋势, 为该地区的森林经营和管理提供理论支撑。

1 研究地概况

本研究地处大别山余脉的浠水县清泉镇, 为低山丘陵地貌, 年平均气温 16.9℃, 年平均降雨量 1350mm, 70% 的降雨集中在 4~8 月份; 林地土质多为麻骨土、山地黄砂土, 有机质含 0.69%~1.264% 之间, 含 N 量

0.096%, 含 P 量 0.072%, 含 K 量约 1.441%, pH 值 5.5 ~ 6.5^[17]。研究区域为一西南向的山坡 (E115°38', N30°12'), 坡度 25°, 坡顶海拔 220m, 坡底海拔 60 ~ 70m, 坡长度约 2km。

2 研究方法

2.1 群落结构调查

本研究采用典型样地法共设置 10 个样地, 其中, (1) 枫香林: 30m × 50m、20m × 20m 样地各 1 个, 郁闭度为 90%; (2) 马尾松枫香林: 20m × 20m 样地 8 个, 为近年来受干扰较小天然恢复的森林, 郁闭度为 50% (表 1)。为研究方便, 将 10 个样地分别划分成 10m × 10m 样方的作为调查单元。乔木调查项目为: 每个样方 *DBH* > 2cm 的乔木树种名称、数量、胸径和树高。灌木调查通过在每个 10m × 10m 的样方中随机设置 2 个 5m × 5m 的样方, 记录灌木的株 (丛) 数、高度并目测其盖度。由于栎类生长比较矮小, 也极少进入乔木层, 因此将各种落叶栎按灌木调查记录。在每个 10m × 10m 的样方中随机设置 2 个 1m × 1m 的样方, 调查草本的数量、高度并目测其盖度。

表 1 鄂东南低山丘陵区枫香林、马尾松枫香林调查样地情况表

Table 1 Site characteristics of the plots

群落类型 Community type	取样地点 Plot	地理位置 Location	海拔 Altitude (m)	坡向 Orientation	坡度 (°) slope
枫香林	丁石碛镇飞泉寺 (P ₁)	E115°19.478, N 30°24.788	217	西南 south-west	35
Chinese sweet gum forest	清泉镇象鼻嘴村梅子湾 (P ₂)	E115°20.209, N 30°24.850	183	西南 south-west	25
马尾松枫香林	清泉镇象鼻嘴村大麦湾 (P ₃)	E115°20.225, N 30°24.830	150	西南 south-west	25
Pine- Chinese	清泉镇象鼻嘴村黑石湾 (P ₄)	E115°20.218, N 30°24.828	150	西南 south-west	25
sweetgum forest	清泉镇象鼻嘴村梅子湾 (P ₅)	E115°20.210, N 30°24.834	180	西南 south-west	25

2.2 马尾松、枫香种群年龄结构调查

在调查群落结构后, 选择 10m × 10m 的马尾松样方 2 个, 对 *DBH* > 2cm 的所有马尾松和枫香, 用生长锥钻取生长芯判断其年龄。

2.3 马尾松枫香林主要乔木树种实生更新调查

在研究区域的马尾松枫香林内, 从山脚向山顶按垂直等高线的方向设置 8 条样线。在样线上每隔 5m 设置 1 个 2m × 2m 的样方, 合计 249 个调查样方。调查样方内 *DBH* ≤ 2cm 的马尾松、枫香、化香、合欢的实生幼苗, 调查项目包括: (1) 幼苗基径、高度; (2) 查数每棵幼苗的轮生枝或枝 (叶) 痕, 判断其年龄。

2.4 数据分析

2.4.1 群落结构分析

本文通过对群落物种逐层划分生态种组的方法来比较 2 种群落类型物种组成差异。将 2 种类型的群落均划分为 3 层。其中 *DBH* > 2cm 的乔木或萌生枝条计入乔木层, 所有灌木计入灌木层。计算 2 种群落类型乔木层物种的重要值 (*IV*)、灌木层物种的综合优势比 (*SDR₄*), 计算方法参见文献^[18]。最后对各物种的重要值 (*IV*) 或综合优势比 (*SDR₄*) 进行排序, 计算物种在 2 种群落间的位序差, 进而划分生态种组^[19]。

IV 和 *SDR₄* 计算公式为:

$$IV = RDE + RDO + RFE$$

式中, *IV* 为重要值; *RDE* 为相对密度; *RDO* 为相对优势度 (胸高面积); *RFE* 为相对频度。

$$SDR_4 = (C' + F' + H' + D') / 4$$

式中, *SDR₄* 为综合优势比; *C'* 为盖度比; *F'* 频度比; *H'* 高度比, *D'* 密度比。

参照文献^[19]对群落树种生态种组的划分方法, 将混交林乔木树种的重要值位序差 (*ONL*) 小于枫香林斑块重要值位序 (*OL*) 的树种为适应混交林环境的树种。 *ONL - OL* < 0 的差值越小, 表明这类树种适应性越强, 故将 *ONL - OL* ≤ -3 者, 称为正反应的树种。在混交林内的重要值位序大于枫香林斑块重要值位序的树种为对混交林产生负反应的树种。 *ONL - OL* > 0 的差值越大, 表明这类树种对混交林的负反应越明显, 故

将 $ONL - OL \geq 3$ 者,称为对混交林负反应的树种; $|ONL - OL| < 3$ 的树种,称为对混交林反应不明显的树种。

关于灌木生态种组的划分方法^[19],将混交林灌木树种的重要值位序(ONL)小于枫香林斑块重要值位序(OL)的树种为适应混交林环境的灌木树种。 $ONL - OL < 0$ 的差值越小,表明这类灌木树种适应性越强,故将 $ONL - OL < -3$ 者,称为正反应的灌木树种。在混交林内的重要值位序大于枫香林斑块重要值位序的灌木树种为对混交林产生负反应的灌木树种。 $ONL - OL > 0$ 的差值越大,表明这类灌木树种对混交林的负反应越明显,故将 $ONL - OL > 3$ 者,称为对混交林负反应的灌木树种; $3 \geq |ONL - OL|$ 的灌木树种称为对混交林称为对混交林反应不明显的灌木树种。

2.4.2 马尾松、枫香种群年龄结构及主要乔木的幼树、小乔木种群结构分析

(1) 马尾松、枫香种群年龄或大小级确定方法:对于 $DBH < 2\text{cm}$ 的马尾松、枫香幼苗的统计方法见 2.4.3 (1) 幼苗高度级划分方法。对于 $DBH \geq 2\text{cm}$ 马尾松,选择通过髓心或略有偏斜的树芯来判断树龄;对于部分幼树,也采用查数轮生枝法作为补充。对于 $DBH \geq 2\text{cm}$ 的枫香,由于利用生长样芯不能准确判断树龄,改以径级大小划分径级步长为 4cm ,绘制柱状图分析马尾松和枫香的种群年龄结构。

(2) 幼树、小乔木大小级确定方法:将样地内 $DBH > 2\text{cm}$ 且 H (树高) $\leq 10\text{m}$ 的所有乔木植株定义为幼树和小乔木;以 1m (树高) 为步长统计各高度级的数量,并绘制柱状图分析幼树和小乔木的种群结构。

2.4.3 主要乔木树种更新特点

(1) 幼苗高度级划分

由于草本层的高度一般在 $10 \sim 30\text{cm}$,灌木层的高度在 80 到 200cm 之间,在参考了文献^[16]划分枫香种群径级方法的基础上,确定了乔木树种幼苗 ($DBH \leq 2\text{cm}$) 的分级标准:a 级幼苗 (苗高 $H \leq 10\text{cm}$)、b 级幼苗 ($10\text{cm} < \text{苗高 } H \leq 30\text{cm}$)、c 级幼苗 ($30\text{cm} < \text{苗高 } H \leq 80\text{cm}$)、e 级幼苗 ($80\text{cm} < \text{苗高 } H \leq 150\text{cm}$)、f 级幼苗 ($150\text{cm} < \text{苗高 } H \leq 200\text{cm}$)、g 级幼苗 ($200\text{cm} < \text{苗高 } H$ 且 $DBH \leq 2\text{cm}$)。

在对马尾松、枫香种群进行年龄结构分析时,则将幼苗的 a、b 阶段合并为 I 级幼苗 ($H \leq 30\text{cm}$),将 c ~ g 阶段的幼苗合并为 II 级幼苗 ($H > 30$ 且 $DBH \leq 2\text{cm}$) 2 个阶段 (表 4、图 1)。

(2) 幼苗更新分析

① 幼苗的空间分布格局分析 计算扩散系数 C 并对其进行 t 检验来判断幼苗的空间分布型,同时计算二项分布指数 K ,聚块性指数 m^*/m 进行辅助判断。

各项指数计算公式为:

$C = s^2/m$,其中, C 为扩散系数, m 为所有样方的平均密度; s^2 为各样方密度的方差;

$t = (C - 1) \sqrt{2/(N - 1)}$,其中 C 为扩散系数, N 为所有样方数目;

$K = m^2/(s^2 - m)$;其中 K 为二项分布指数;

$m^*/m = (1 + 1/K)$,其中: m^*/m 为聚块性指数, K 为二项分布指数。

② 幼苗生长速率差异分析 以 2007 年、2006 年幼苗主茎高生长量作为因变量,以树种和幼苗高度级为自变量,应用 SPSS13.0,在方差齐性检验的基础上进行 2 因子的 ANOVA 分析并进行多重比较。

③ 各级幼苗的种间关联分析 采用关联系数法^[20]判断种间关系,并用 χ^2 法对 V 进行显著性检验。

关联系数计算公式为: $V = (ad - bc) / \sqrt{[(a + b)(a + c)(c + d)(b + d)]}$,其中, a 为两种都出现的样方数, b 、 c 为仅出现一个种的样方数, d 为两个种均不出现的样方数。

3 结果

3.1 枫香林、马尾松枫香林乔木层物种组成

2 种群落类型的主要乔木树种重要值见表 2。在枫香林中,枫香的重要值达到 211.98,同其它物种相比占有绝对优势地位;在马尾松枫香林中,马尾松的重要值为 192.8,枫香为 59.38,其它物种的重要值均不超过 10,因此在马尾松枫香林中,马尾松、枫香是优势种。枫香林冠层中没有出现马尾松,林下也没有马尾松幼苗。

表 2 鄂东南低山丘陵区枫香林、马尾松枫香林主要乔木树种重要值位序差

Table 2 Difference for the IV order of the main tree species between pine and sweet gum forest in the secondary forest of the southeast hilly region, Hubei province

主要树种 Tree species	重要值 IV		重要值位序差 Difference of IV order
	枫香林 Chinese sweet gum forest	马尾松枫香林 Pine- Sweet gum forest	
紫花冬青 <i>Llex purpurea</i>	22. 5	1. 13	6
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	53. 14	5. 32	6
樟树 <i>Cinnamonum camphora</i>	0	1. 40	3
柿 <i>Diospyros kaki</i>	4. 93	2. 43	2
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	211. 98	59. 38	1
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0	1. 37	0
合欢 <i>Albizzia julibrissin</i>	3. 58	9. 08	-2
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0	9. 65	-2
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	3. 89	192. 83	-4

根据各物种重要值位序差,将乔木层出现的 10 个种划分为 3 个生态组:(1)对混交林环境正反应的树种,只有马尾松 1 个种;(2)对混交林环境反应不明显的树种,包括樟树、柿、枫香、黄檀、合欢、化香 6 个树种;(3)对混交林环境呈负反应的树种,包括紫花冬青和白檀 2 个树种。

3.2 枫香林、马尾松枫香林灌木层物种组成差异

样地内主要灌木共有 28 种,各物种的重要值及群落间的位序差见表 3。在枫香林中,第一优势种为荚

表 3 鄂东南低山丘陵区枫香林、马尾松枫香林主要灌木树种综合优势比位序差

Table 3 Difference for the SDR₄ order of the shrubs between pine and sweet gum forest in the secondary forest of southeast hilly region, Hubei Province

主要灌木树种 Shrub species	综合优势比 SDR ₄		综合优势比位序差 Difference of SDR ₄ order
	枫香林 Chinese sweet gum forest	马尾松枫香林 Pine-Sweet gum forest	
小叶栎 <i>Quercus chenii</i>	139. 6304	0	23
圆果拨莢 <i>Smilax china</i>	139. 0257	6. 620503	20
野樱桃 <i>Prunus discadenia</i>	115. 8556	0	18
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	104. 9464	0. 158479	15
野花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	79. 39033	0	11
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	352. 1849	103. 3349	9
蔷薇 <i>Rosa</i> spp.	107. 824	63. 72696	6
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	167. 2686	118. 9767	5
枸骨 <i>Llex comuta</i>	15. 16929	0. 158479	5
柘树 <i>Maclura tricuspidata</i>	111. 7708	79. 10361	3
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	88. 57387	70. 29983	2
卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	68. 24077	23. 12869	2
小叶胡枝子 <i>Lespedeza bicolon</i>	0	8. 258134	2
截叶铁扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i>	0	16. 43299	1
披针叶胡颓子 <i>Elaeagnus lanceolata</i>	76. 07782	62. 5438	0
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	0	19. 79536	0
豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	82. 8949	76. 74473	-1
青灰叶下珠 <i>Phyllanthus glaucus</i>	130. 3559	159. 089	-2
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	121. 1184	153. 7099	-2
乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	0	36. 92475	-2
六月雪 <i>Serissa serissoides</i>	0	52. 18202	-3
大叶栎 <i>Quercus</i> spp.	135. 2652	383. 3333	-4
华山矾 <i>Symplocos chinensis</i>	98. 39667	113. 6048	-4
绿叶胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	78. 60674	103. 8984	-7
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	0	74. 61309	-7
美丽胡枝子 <i>Lespedeza Formosa</i> (Vog)	0	91. 97408	-10
乌莓 <i>Herba Cayratia</i>	0	136. 3035	-15
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	41. 99245	191. 7556	-16

迷,其综合优势比(SDR_4)为 352.18,其它优势物种依次为山胡椒、小叶栎、圆果菝葜、短柄枹栎、青灰叶下珠和牡荊;在马尾松枫香林中,第一优势种为落叶栎类植物,其它优势物种依次为杜鹃、青灰叶下珠、牡荊、山胡椒、华山矾和绿叶胡颓子。

据此,将 28 种灌木划分为 3 个生态种组:(1)对混交林环境正反应的灌木树种,包括短柄枹栎、盐肤木、绿叶胡颓子、美丽胡枝子、乌菰莓、杜鹃、华山矾 7 个种;(2)对混交林环境反应不明显的灌木树种,包括柘树、卫矛、小叶胡枝子、截叶铁扫帚、披针叶胡颓子、黄连木、豆腐柴、青灰叶下珠、牡荊、乌饭树、六月雪、木姜子 12 个种;(3)对混交林环境负反应树种,包括小叶栎、菝葜、野樱桃、油茶、野花椒、莢迷、枸骨、蔷薇、山胡椒 9 个种(表 1)。枫香林、马尾松枫香林灌木层的优势物种的变化较大。随着群落环境的改变,短柄枹栎由混交林的第一优势种变为枫香林灌木层中的一个相对次要种,而莢迷则由枫香林第一优势种降为混交林的次要种。

3.3 枫香、马尾松种群的年龄结构

枫香林、马尾松枫香林的枫香种群径级结构差异见表 4:(1)在枫香林中没有发现 I 级实生幼苗;II ~ IV 级幼苗、幼树比例为 37.96%,皆为萌生;V ~ VII 级立木比例为 62.04%。枫香种群径级结构呈现倒金字塔型(图 1)。(2)在马尾松枫香林中,枫香种群 I 级幼苗占 57.63%,II ~ IV 级幼苗、幼树比例为 39.88%,V 级以上的立木只占到种群的 2.49%;马尾松枫香林的枫香种群径级结构呈金字塔形(图 1)。

表 4 鄂东南低山丘陵区马尾松、枫香种群大小级结构

Table 4 The age or DBH structure of pine and *Liquidambar formosana* population in the south-east hilly region of Hubei Province

标准 Standord	枫香林 Chinese sweet gum forest		马尾松枫香林 Pine- Sweet gum forest				
	枫香 Chinese sweet gum		枫香 Chinese sweet gum		马尾松 Pine		
	数量 Number	密度	数量 Number	密度	标准 Standord	数量 Number	密度
		(株·hm ⁻²) Density		(株·hm ⁻²) Density			(株·hm ⁻²) Density
I 级	0	0	555	1734	I 级	4	13
II 级	9 *	56 *	238	744	II 级	118	369
III 级	21 *	131 *	107	334		965	3015
IV 级	11 *	69 *	39	122			
V 级	19	119	20	63	III 级		
VI 级	16	100	3	9			
VII 级	32	200	1	3			
合计 Total	108	675	963	3009	963	1087	3397

① * 为萌生起源,未作标记表示实生起源;②由于马尾松为一个同生群,故将 III、IV、V、VI 合并统计 ①Data marked by “*” is sprouts, no “*” is seedlings; ②because the pine population was a cohort, so the pine trees of III、IV、V、VI、VII were incorporated into a class

马尾松种群年龄结构为一个年龄介于 25 ~ 30a 之间的同生群。为了叙述方便,本文仍然对其进行了径级划分。样地内 I 级幼苗极少;II 级幼苗占种群的 10.49%,该级别幼苗死亡率为 3.4%;III ~ VII 级幼树占种群的 88.75%。迷,其综合优势比(SDR_4)为 352.18,其它优势物种依次为山胡椒、小叶栎、圆果菝葜、短柄枹栎、青灰叶下珠和牡荊;在马尾松枫香林中,第一优势种为落叶栎类植物,其它优势物种依次为杜鹃、青灰叶下珠、牡荊、山胡椒、华山矾和绿叶胡颓子。

据此,将 28 种灌木划分为 3 个生态种组:(1)对混交林环境正反应的灌木树种,包括短柄枹栎、盐肤木、绿叶胡颓子、美丽胡枝子、乌菰莓、杜鹃、华山矾 7 个种;(2)对混交林环境反应不明显的灌木树种,包括柘树、卫矛、小叶胡枝子、截叶铁扫帚、披针叶胡颓子、黄连木、豆腐柴、青灰叶下珠、牡荊、乌饭树、六月雪、木姜子 12 个种;(3)对混交林环境负反应树种,包括小叶栎、菝葜、野樱桃、油茶、野花椒、莢迷、枸骨、蔷薇、山胡椒 9 个种(表 1)。枫香林、马尾松枫香林灌木层的优势物种的变化较大。随着群落环境的改变,短柄枹栎由混交林的第一优势种变为枫香林灌木层中的一个相对次要种,而莢迷则由枫香林第一优势种降为混交林的次要种。

3.3 枫香、马尾松种群的年龄结构

枫香林、马尾松枫香林的枫香种群径级结构差异见表 4:(1)在枫香林中没有发现 I 级实生幼苗;II ~ IV 级幼苗、幼树比例为 37.96%,皆为萌生;V ~ VII 级立木比例为 62.04%。枫香种群径级结构呈现倒金字塔型

(图1)。(2)在马尾松枫香林中,枫香种群 I 级幼苗占 57.63%, II ~ IV 级幼苗、幼树比例为 39.88%, V 级以上的立木只占到种群的 2.49%;马尾松枫香林的枫香种群径级结构呈金字塔形(图1)。

马尾松种群年龄结构为一个年龄介于 25 ~ 30a 之间的同生群。为了叙述方便,本文仍然对其进行了径级划分。样地内 I 级幼苗极少;II 级幼苗占种群的 10.49%,该级别幼苗死亡率为 3.4%;III ~ VII 级幼树占种群的 88.75%。

3.4 马尾松枫香林的幼树、小乔木动态

对小乔木进行高度级分析的结果见表 5 和图 2。其中马尾松的幼树、小乔木密度为 $1963 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,在 1 ~ 8 级的分布数量逐级增加,呈倒金字塔型(图2);枫香的幼树、小乔木密度为 $525 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,在 1 ~ 8 级的分布数量逐级减少,呈金字塔型(图2);化香的幼树、小乔木密度为 $88 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,在 1 ~ 8 级的分布数量逐级减少(图2),很少有植株能达到 10m 以上;合欢小乔木的密度为 $38 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,幼苗稀少。而以短柄枹为主的落叶栎、小叶栎、白檀、黄檀、柿、樟、紫花冬青等小乔木密度较低,且均难以到达 10m 的高度。马尾松在小乔木层也表现出衰退趋势,而枫香则表现出增长趋势,其它物种则处于从属地位。

3.5 马尾松枫香林主要乔木树种实生更新特点

3.5.1 马尾松、枫香、化香、合欢的幼苗库

马尾松幼苗($DBH < 2\text{cm}$)密度为 $382 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,枫香幼苗($DBH < 2\text{cm}$)的密度为 $2500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,化香幼苗($DBH < 2\text{cm}$)的密度为 $1675 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,合欢($DBH < 2\text{cm}$)的密度为 $350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表4)。表明:马尾松、合欢幼苗较少,更新不良;枫香、化香幼苗相对较多,在混交林中实现了持续更新。

3.5.2 马尾松、枫香、化香、合欢幼苗的种间关联分析

4 种实生幼苗的种间关分析见表 6。在 6 个种对中,只有马尾松和化香之间呈显著的负关联关系($P < 0.01$),其它种对之间关联关系不显著。

3.5.3 马尾松、枫香、化香、合欢幼苗的高生长

马尾松、枫香、化香、合欢实生幼苗 2006、2007 年主径的高生长分析结果见表 7 和图 3。

(1)马尾松 a ~ f 级幼苗的年平均生长速率分别为 4.84、5.65、10.47、17.11、22.7、33.57 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$,其中 a、b 级之间,e、f 级间差异不显著,其余各高度级间差异显著($p \leq 0.05$),其高生长曲线呈“J”型加速生长趋势;(2)枫香 a—f 级幼苗的年平均生长速率分别为 3.41、4.18、10.65、17.07、30.36、45.21 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$,其中 a、b 级之间,d、e 级间差异不显著,其余各高度级间差异显著($p \leq 0.05$),其高生长曲线亦呈现“J”型加速生长趋势;(3)化

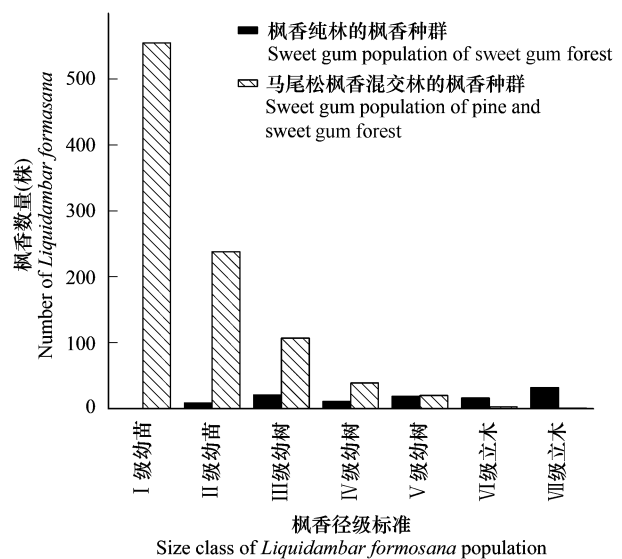


图1 鄂东南低山丘陵区枫香林和马尾松枫香林的枫香种群径级结构

Fig. 1 Difference of DBH structure of *Liquidambar formosana* population between sweet gum forest and pine-sweet gum forest in the southeast hilly region of Hubei Province

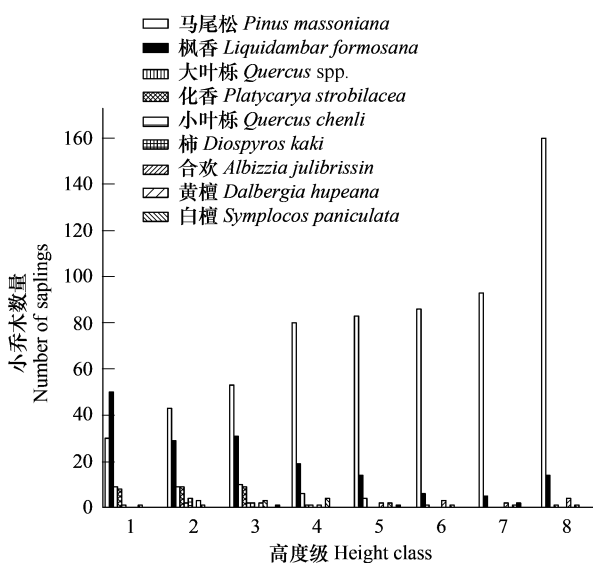


图2 鄂东南低山丘陵区主要小乔木的高度级结构

Fig. 2 Population structure of the main tree saplings of south-east hilly regions of Hubei Province

表 5 鄂东南低山丘陵区主要小乔木的高度级结构

Table 5 The height structure of the tree saplings of south-east hilly region, Hubei province

树高 Height	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	大叶栎 <i>Quercus</i> spp.	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	小叶栎 <i>Quercus chenli</i>	柿 <i>Diospyros kaki</i>
2m≤H≤3m	30	50	9	8	1	0
3m<H≤4m	43	29	9	9	2	4
4m<H≤5m	53	31	10	9	2	2
5m<H≤6m	80	19	6	1	1	0
6m<H≤7m	83	14	4	0	0	0
7m<H≤8m	86	6	1	0	0	0
8m<H≤9m	93	5	0	0	0	0
9m<H≤10m	160	14	0	1	0	0
合计 Total	628	168	39	28	6	6

树高 Height	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	紫花冬青 <i>Llex purpurea</i>
2m≤H≤3m	0	0	1	0	0
3m<H≤4m	0	3	1	0	0
4m<H≤5m	0	2	3	0	1
5m<H≤6m	1	0	4	0	0
6m<H≤7m	2	0	2	0	0
7m<H≤8m	3	0	1	0	0
8m<H≤9m	2	0	1	2	0
9m<H≤10m	4	0	1	0	0
合计 Total	12	5	14	2	1

表 6 鄂东南低山丘陵区马尾松、枫香、化香、合欢幼苗种间关联分析

Table 6 The association coefficient among 4 tree seedlings in the south-east hilly region of Hubei province

物种 Specie	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	-	-0.115	-0.1829 **	0.0094
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>		-	-0.081	-0.052
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>			-	0
合欢 <i>Albizia julibrissin</i>				-

** 表示关联程度达到极显著水平 ($P < 0.01$) ** represented that association between two species is significant at 1% level

香 a~f 级幼苗的年平均生长速率分别为 6.25、5.13、10.28、17.5、27.51、28.6 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中 d、e 之间, e、f 级间差异不显著, 其余各高度级间差异显著 ($p \leq 0.05$), 其高生长曲线呈“S 型”; 增长速率在 V 级幼苗出现拐点; (4) 合欢 a~f 级幼苗的年平均生长速率分别为 5.25、2.63、10.42、22.67、23.81、27 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中, a、b、c 之间, d、e、f 之间差异不显著, 其余各高度级间差异显著 ($p \leq 0.05$), 其高生长曲线呈“S 型”; 增长速率在 d 级幼苗出现拐点(图 3)。合欢生长速率的拐点出现得最早, 化香其次, 马尾松和枫香则呈现加速生长的趋势。

3.5.4 4 种乔木树种实生幼苗的空间分布格局

马尾松、枫香、化香、合欢实生幼苗空间分布格局分析结果见表 8。马尾松幼苗总体呈聚集分布, 各级别幼苗的分布格局略有变化; 其中 a、b、d、f 级幼苗呈极显著的聚集分布, 而 e 级幼苗则呈随机分布。枫香幼苗

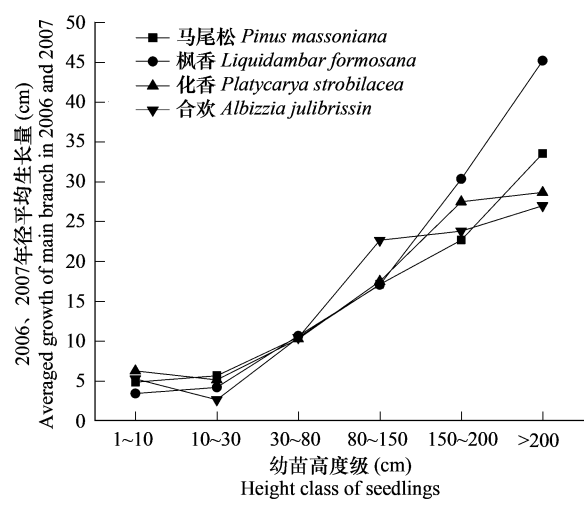


图 3 鄂东南低山丘陵区马尾松、枫香、化香、合欢幼苗最近 2 年主茎生长速率

Fig. 3 The growth difference among 4 tree seedlings in the south-east hilly region of Hubei Province

总体呈聚集分布,其中 a、b、c 级幼苗呈显著的聚集分布,而 d、e、f 幼苗呈随机分布。化香和合欢幼苗总体呈聚集分布,各高度级幼苗分布格局有变化但没有明显的规律可循。

表 7 鄂东南低山丘陵区马尾松、枫香、化香、合欢幼苗近 2a 主径生长量

Table 7 The growth difference among 4 tree seedlings in the south-east hilly region of Hubei Province

高度级 Size class	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>		枫香 <i>Liquidambar formosana</i>		化香 <i>Platycarya strobilacea</i>		合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	
	平均生长量	标准差	平均生长量	标准差	平均生长量	标准差	平均生长量	标准差
	Mean	Std. devia	Mean	Std. devia	Mean	Std. devia	Mean	Std. devia
a(1~10cm)	4.84a	1.03	3.41a	0.34	6.25a	1.4	5.25a	0.75
b(10~30cm)	5.65a	0.46	4.18a	0.34	5.13a	0.77	2.63a	0.45
c(30~80cm)	10.47b	0.42	10.65b	1.13	10.28b	1.151	10.42a	2.25
d(80~150cm)	17.11c	0.63	17.07c	1.47	17.5c	1.29	22.67b	5.36
e(150~200cm)	22.7d	1.18	30.36d	3.89	27.51cd	3.23	23.81b	6.84
f(200cm 以上)	33.57d	1.82	45.21d	6.24	28.67d	2.78	27b	3

显著性检验水平为 0.05 the significant test is at 5% level

表 8 鄂东南低山丘陵区马尾松、枫香、化香、合欢幼苗的空间分布格局

Table 8 Distribution pattern of 4 tree seedlings in the south-east hilly region, Hubei province

	密度 Densities(m)	方差 Square	<i>C</i>	<i>t</i>	<i>m</i> * / <i>m</i>	<i>K</i>	分布型 Distribution pattern
4 种幼苗总分布格局 Distribution pattern of 4 species							
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.11b	3.99	3.63	29.29 **	3.39	0.42	聚集 Clump
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	0.98a	2.15	2.46	16.20 **	2.66	0.60	聚集 Clump
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.67a	1.63	2.45	16.16 **	3.18	0.46	聚集 Clump
合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	0.14b	0.41	2.89	21.02 **	14.43	0.07	聚集 Clump
各级马尾松幼苗分布格局 Distribution pattern of 6 height levels of pine seedlings							
a(1~10cm)	0.01	0.13	1.82	9.17 **	12.40	0.09	聚集 Clump
b(10~30cm)	0.02	0.25	1.75	8.37 **	6.20	0.19	聚集 Clump
c(30~80cm)	0.03	0.96	2.50	16.70 **	4.89	0.26	聚集 Clump
d(80~150cm)	0.02	0.38	1.31	3.45 **	2.06	0.95	聚集 Clump
e(150~200cm)	0.02	0.09	0.88	1.31	(0.13)	(0.89)	随机 Random
f(200cm 以上)	0.01	0.11	1.46	5.08 **	6.97	0.17	聚集 Clump
各级枫香幼苗分布格局 Distribution pattern of 6 height levels of Chinese sweetgum seedlings							
a(1~10cm)	0.39	0.35	2.82	20.29 **	15.64	0.07	聚集 Clump
b(10~30cm)	0.28	0.33	1.36	4.04 **	2.51	0.66	聚集 Clump
c(30~80cm)	0.13	0.34	1.50	5.53 **	3.17	0.46	聚集 Clump
d(80~150cm)	0.09	0.17	1.05	0.61	1.34	2.93	随机 Random
e(150~200cm)	0.05	0.06	1.06	0.63	2.08	0.93	随机 Random
f(200cm 以上)	0.04	0.07	1.05	0.60	1.79	1.27	随机 Random
各级化香幼苗分布格局 Distribution pattern of 6 height levels of Dyetree seedlings							
a(1~10cm)	0.02	0.02	0.99	0.13	0.25	(1.33)	随机 Random
b(10~30cm)	0.09	0.11	1.17	1.93	2.88	0.53	随机 Random
c(30~80cm)	0.19	0.28	1.50	5.55 **	3.64	0.38	聚集 Clump
d(80~150cm)	0.22	0.36	1.64	7.14 **	3.96	0.34	聚集 Clump
e(150~200cm)	0.06	0.07	1.07	0.72	2.01	0.99	随机 Random
f(200cm 以上)	0.09	0.10	1.10	1.12	2.14	0.88	随机 Random
各级合欢幼苗分布格局 Distribution pattern of 5 height levels of Wild Siris seedlings							
a(1~10cm)	0.02	0.02	1.49	5.46 **	31.50	0.03	聚集 Clump
b(10~30cm)	0.01	0.01	0.99	0.09	0.33	(1.49)	随机 Random
c(30~80cm)	0.05	0.09	1.79	8.82 **	17.44	0.06	聚集 Clump
d(80~150cm)	0.04	0.06	1.32	3.62 **	8.35	0.14	聚集 Clump
e(150~200cm)	0.02	0.02	0.98	0.21	(0.16)	(0.86)	随机 Random

4 种幼苗密度显著性检验水平为 0.05, * * 表示 *t* 检验达极显著水平($p < 0.01$) The difference of seedling densities of 4 species was significant at 0.05, * * represents that *t* test was significant at 0.01 level

4 讨论与结论

4.1 枫香林和马尾松枫香林群落结构特点及其演替阶段

枫香林和马尾松枫香林群落结构差异体现在垂直结构和物种组成 2 个方面。首先是两个群落间的垂直结构存在明显差异。枫香林乔木层的郁闭度比混交林要大,而混交林的灌木层较发达,草本层则差异不明显。低山丘陵地区马尾松林具有发达的灌木层,这与马尾松林较小的郁闭度有关,也对群落物种的林下更新具有重要的影响。其次是群落各层的主要物种组成存在较大差异。在枫香林中,枫香为林冠优势树种,其它物种很难到达林冠层,而在混交林中,进入林冠的物种包括枫香和马尾松、化香数个物种;枫香林灌木层的优势物种为荚迷、山胡椒、小叶栎、青灰叶下珠等,而混交林的优势种为灌木化的落叶栎类。与亚热带低山丘陵地区的马尾松群落^[11]相比,本地区的马尾松枫香林具有与之相似的结构,但在物种组成上有差别。

天然次生林的组成、结构在演替中不断变化^[21]。由于次生天然林结构的不稳定性,对现存各类马尾松天然次生林组成结构的研究只是在历史形成和发展过程中的一种相对静态描述。这一点在马尾松枫香林中得到证实。研究该地区植被的干扰史,可以确定马尾松林曾经在 20 世纪 50 ~ 70 年代受到严重破坏,胸径 $\geq 5\text{cm}$ 的马尾松成树被砍伐殆尽,70 年代末生产关系发生变化后砍伐压力减轻,马尾松林得到了较好地恢复,形成了一个种群年龄为 25 ~ 30a 的同生群(cohort)。同时,由于在野外调查观察到马尾松种群的 III ~ V 树木的死亡率分别为 2.1%、0.4%、2.0%,说明马尾松种群还处于自疏过程之中,这些都说明马尾松混交林是一个处于进展演替中的群落。

4.2 主要乔木树种的更新特点

马尾松枫香林主要树种更新情况在以下 4 个方面存在差异:(1)幼苗库大小不同:枫香 > 化香 > 合欢 $\approx$ 马尾松;(2)幼苗高生长规律不同:马尾松、枫香幼苗高生长速率呈“J”型增长,而化香、合欢则呈“S”型增长,化香、合欢幼苗的生长速率拐点比马尾松、枫香幼苗出现得早。同时,马尾松、枫香幼苗大龄幼苗的绝对生长速率比化香、合欢大。据文献研究^[22],不同 light guilds 的物种之间表现出不同的生长趋势:阳性树种在荫蔽条件下的生长速率比耐阴性树种高,但 2 者之间不显著。从以上 2 点差异分析,枫香、化香、合欢、马尾松幼苗在马尾松、枫香混交其中的更新潜力呈依次下降趋势,可能预示了枫香有可能取代马尾松,这与马尾松常绿阔叶林中马尾松被常绿阔叶树种取代的演替趋势是一致的。(3)马尾松、枫香、化香、合欢幼苗的空间分布格局随年龄变化的趋势不同。虽然马尾松、枫香、化香、合欢幼苗的空间分布格局总体上都呈聚集分布,但是枫香幼苗的分布格局随幼苗年龄增加由聚集转变为随机分布,这种改变可能是由于环境的阻力作用导致部分幼苗死亡的结果,这可以从高度 a、b、c 幼苗数量(0.59 株/样方)远多于 d 级幼苗(0.28 株/样方)得到印证。其它 3 个物种幼苗的空间分布格局随幼苗年龄的变化没有明显的规律可循。(4)马尾松、枫香、化香、合欢的种间关联中,只有马尾松和化香呈显著的负关联,这可能是由于马尾松的更新多发生在阳光充足、干旱、瘠薄的微环境中^[23],与化香更新的环境可能存在差异。同时,另外的 5 个种对之间没有显著的关联关系,这个结果可能并不代表种对的真实关联,因为幼苗太小,互相之间影响不明显。

该地区主要乔木树种的更新差异可以从种子特性方面得到部分解释。演替早期种的种子一般具有数量大、体积小、质量轻、借助风力传播的特性^[24]。马尾松、枫香、化香的种子具有演替早期种的特性^[12, 23],相对而言,合欢的种子则具有演替后期种的特征^[25]。

4.3 马尾松枫香林的演替趋势

演替是植物群落动态的一个最重要的特征,而森林群落的更新是由原种群或相同性质的种群的新个体所更替的动态变化过程^[26]。通过更新差异来研究森林群落的演替是一种常用的研究方法^[26]。通过研究马尾松枫香林和枫香林的结构、物种组成及更新情况,可以看出鄂东南地区的马尾松枫香林、枫香林演替存在以下特点:(1)现存马尾松枫香林为人类强力干扰后更新的结果,目前处于演替系列的早期阶段,其马尾松种群则处于趋向成熟的阶段。(2)马尾松林中的枫香种群为一个增长种群;(3)马尾松林 4 种主要乔木树种中(马尾松、枫香、化香、合欢),枫香的更新潜力最好;(4)枫香在枫香林下不能实现持续更新。

References:

- [1] He S Y, Zhang X S. The principal, unit and system of Chinese vegetation regionalization. In: Wu Z Y, Wang X P, Liu F X, *et al.* eds. Chinese Vegetation. Beijing: Science Press, 1979. 749 — 759.
- [2] Wang Y M. On the vegetation regionalization of Hubei province (A). Journal of Wuhan Botanical Research, 1985, 3(1): 61 — 73.
- [3] Wang Y M. On the vegetation regionalization of Hubei province (B). Journal of Wuhan Botanical Research, 1985, 3(2): 165 — 176.
- [4] Ding S Y, Song Y C. Declining Causes of Pine Massoniana in the processes of succession of evergreen broad-leaved forest. Acta Botanica Sinica, 1998, 40 (8): 755 — 760.
- [5] Wang B S, Peng S L. Analysis on the communities of Dinghushan V. Linear system of community succession. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1985, (4): 75 — 80.
- [6] Yang Q P, Li M G, Li R W. Studies on the dynamic succession of *Pinus massoniana* Community in Heishiding Natural Reserve. Guihaia, 21(4): 295 — 299.
- [7] Zhou H C, Peng S L, Ren H, *et al.* The structure of *Pinus massoniana* community on Nan'ao Island, Guangdong. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 1998, 6(3): 203 — 208.
- [8] Wang B Y, Yu S X, Wang Y F. Fractal analysis of the dynamics of population patterns during vegetation succession. Journal of Plant Ecology, 2006, 30 (6): 924 — 930.
- [9] Fang W, Peng S L. Changes of tree species in the succession process of *Pinus massoniana* community in Dinghushan, Guangdong, P. R. C. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 1995, 3(4): 30 — 37.
- [10] Xiong L M, Zhong Z C. The synchronously-established succession model prediction of forest community on Mount Jinyun of Sichuan, China. Acta Ecologica Sinica, 1991, 11(3): 49 — 53.
- [11] Wang X P, Jiang G M. Study on classification, distribution and succession of *Pinus massoniana* community in Guangxi. Bull. Etin of Botanical Research, 2002, 22(2): 151 — 155.
- [12] Chen F M, Gao H D, Shi J S. The biology study progress of *Liquidambar formosana* seed. Seed, 2001, (1): 33 — 34.
- [13] Gao H D, Chen F M, Shi J S. A study on maturation of *Liquidambar formosana* seeds. Journal of Nanjing Forestry University, 2000, 24(3): 26 — 28.
- [14] Liu J, Liu H P, Cen K K, *et al.* The research progress on the seed character of *Liquidambar formosana*. Jour of Fujian Forestry Sci and Tech, 2007, 34(2): 190 — 192, 201.
- [15] Wang R, Guo Z H. Responses of seedling leaf anatomical structure of *Liquidambar formosana*, a deciduous broadleaf tree, to different light regimes. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26 (11): 1719 — 1724.
- [16] Yang X B, Wen H B, Wu Q S, *et al.* Study on the development regularity of the dominant species (*Liquidambar formosana*) of the secondary forest in the central mountain areas in Hainan island. Natural science journal of Hainan University, 2000, 18(1): 54 — 58.
- [17] Xi-Shui county annals Edit Committee. Xi-Shui county annals. Beijing: China Culture-history Press, 1996. 1 — 8.
- [18] Wang Y F, Zhang X S, Xie Z Q, *et al.* Observation and analysis of plant communities. In: Dong M, Wang Y F, Kong F Z, *et al.* eds. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Bio-communities. Beijing: China Standard Press, 1996. 13 — 23.
- [19] Xiong X G, Xiong G M, Xie Z Q. The Regeneration of Tree Species in the Mixed Evergreen-deciduous Broad-leaved Forests in the Shennongjia Mountains, Hubei Province. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 2001 — 2005.
- [20] Lou A R. Community Ecology. In: Sun R Y, Li Q F, Niu C J. Basic Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2002. 146.
- [21] Chen D K. Introduction. In: Chen D K, Zhou X F, Zhu N. Natural Secondary Forest — Structure, Function, Dynamics and Management. Shenyang: North-east Forestry University Press, 1994. 1 — 32.
- [22] Colin A, Chapman, Kaoru Kitajima, Amy E Zanne, *et al.* A 10-year evaluation of the functional basis for regeneration habitat preference of trees in an African evergreen forest. Forest Ecology and Management, 2008, 255 (2008): 3790 — 3796.
- [23] Luo Z S, Wen Z W. The status and prospects in research of secondary masson pine forest. Guizhou Forestry Science and Technology, 2004, 32(3): 48 — 55.
- [24] Li Q K, MA K P. Advances in plant succession eco-physiology. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26: 9 — 19.
- [25] Guo X M, Xu X Y, Meng X D, *et al.* Bourgeon characteristics of hardseed of *Albizia julibrissin* Durazz and its testa micro-morphology and structure. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2006, 27(3): 13 — 18.
- [26] Xiong W Y, Luo L C. Review on forest succession study. Progress of Ecology, 1989, 6(4): 229 — 235.

参考文献:

- [1] 何绍颀,张新时. 中国植被区划的原则、单位和系统. 见:吴征镒、王献溥、刘仿勋,等编, 中国植被. 北京:科学出版社, 1979. 749 ~ 759.
- [2] 王映明. 湖北植被区划(上). 武汉植物学研究, 1985, 3(1): 61 ~ 73.
- [3] 王映明. 湖北植被区划(下). 武汉植物学研究, 1985, 3(2): 165 ~ 176.
- [4] 丁圣彦,宋永昌. 常绿阔叶林演替过程中马尾松消退的原因. 植物学报, 1998, 40(8): p 755 ~ 760.
- [5] 王伯荪,彭少麟. 鼎湖山森林群落分析——群落演替的线性系统与预测. 中山大学学报, 1985, (4): 75 ~ 80.
- [6] 杨清培,李鸣光,李仁伟. 广东黑石顶自然保护区马尾松群落演替过程中的材积和生物量动态. 广西植物, 2001, 21(4): 295 ~ 299.
- [7] 周厚诚,彭少麟,任海,等. 广东南奥岛马尾松林的群落结构. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(3): 203 ~ 208.
- [8] 王本洋,余世孝,王永繁. 植被演替过程中种群格局动态的分形分析. 植物生态学报, 2006, 30(6): 924 ~ 93.
- [9] 方炜,彭少麟. 鼎湖山马尾松群落演替过程物种变化之研究. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(4): 30 ~ 37.
- [10] 熊利民,钟章成. 四川缙云山森林群落的同期发生演替及其模型预测. 生态学报, 1991, 11(3): 49 ~ 53.
- [11] 王献溥,蒋高明. 广西马尾松林分类、分布和演替的研究. 植物研究, 2002, 22(2): 151 ~ 155.
- [12] 陈凤毛,高捍东,施季森. 枫香种子生物学特性的研究进展. 种子, 2001, (113): 33 ~ 34.
- [13] 高捍东,陈凤毛,施季森. 枫香种子成熟期的研究. 南京林业大学学报, 2000, 24(3): 26 ~ 28.
- [14] 刘就,刘和平,陈考科,等. 枫香种子性状研究进展. 福建林业科技, 2007, 34(2): 190 ~ 192, 201.
- [15] 王荣,郭志华. 不同光环境下枫香幼苗的叶片解剖结构. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1719 ~ 1724.
- [16] 杨小波,文洪波,吴庆书,等. 海南中部山区次生林优势种枫香发育规律研究. 海南大学学报自然科学版, 2000, 18(1): 54 ~ 58.
- [17] 湖北省浠水县志编纂委员会. 浠水县志. 北京:中国文史出版社, 1992. 1 ~ 8.
- [18] 王义凤,张新时,谢宗强,等. 植物群落调查与观测. 见:董鸣,王义凤,孔繁志,等编. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京:中国标准出版社, 1996. 13 ~ 23.
- [19] 熊小刚,熊高明,谢宗强. 神农架地区常绿落叶阔叶混交林树种更新研究. 生态学报, 2002, 22(11): 2001 ~ 2005.
- [20] 娄安如. 群落生态学. 见:孙儒泳,李庆芬,牛翠娟,等编. 基础生态学. 北京:高等教育出版社, 2002. 146.
- [21] 陈大珂. 导论. 见:陈大珂,周晓峰,祝宁,等. 天然次生林——结构、功能、动态与经营. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994. 20 ~ 50. 1 ~ 32.
- [22] 骆宗诗,温佐吾. 马尾松次生林研究现状和展望. 贵州林业科技, 2004, 32(3): 47 ~ 55.
- [23] 李庆康,马克平. 植物群落演替过程中植物生理生态学特性及其主要环境因子的变化. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 9 ~ 19.
- [24] 郭学民,徐兴友,孟宪东,等. 合欢种子硬实与萌发特性及种皮微形态与结构特征的研究. 内蒙古农业大学学报, 2006, 27(3): 13 ~ 18.
- [25] 熊文愈,骆林川. 植物群落演替研究概述. 生态学进展, 1989, 6(4): 229 ~ 235.