

沱江流域两种人工针叶林群落结构比较

陈文年^{1,2}, 卿东红¹, 张轩波^{1,2}

(1. 内江师范学院 生命科学学院, 四川 内江 641112; 2. 四川省高等学校
特色农业资源研究与利用重点实验室, 四川 内江 641112)

摘要: 采用样方调查法比较了沱江流域两种人工针叶林群落的结构。结果表明, 湿地松林中湿地松幼苗幼树很少; 马尾松林中有较多的马尾松幼苗幼树。马尾松种群多度比湿地松种群大 38%, 而湿地松种群的平均高度、平均冠幅比马尾松种群分别大 32.7% 和 22.2%。从高度结构及径级结构来看, 马尾松种群在各个级别上都有分布; 而在湿地松种群中, 没有 I 级和 II 级的幼苗和小树, 种群中以大树为主, 呈现出更新不良。马尾松在各个树高级别上都形成一定的盖度, 但湿地松在 1 m 以下不形成盖度, 反映出湿地松缺乏幼苗幼树, 这与树高及径级研究中得出的结果是一致的。乔木层地上生物产量是湿地松林大于马尾松林; 而灌木层地上生物产量却是马尾松林大于湿地松林; 草本层地上生物产量则在两种林分中则无明显差异。湿地松林灌木层和草本层的物种多样性都比马尾松林低一些, 这与湿地松林乔木层盖度较大, 对林下灌草层的阴蔽作用有关。从快速绿化及用材的角度来看, 湿地松更适合于当地大面积的推广种植。

关键词: 湿地松; 马尾松; 群落结构; 物种多样性; 种群更新

中图分类号: S718.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)03-0357-07

Comparison of community structure between two artificial coniferous forests in the Tuojiang River Valley

CHEN Wen-Nian^{1,2}, QING Dong-Hong¹, ZHANG Xuan-Bo^{1,2}

(1. College of Life Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China; 2. Key Laboratory of Regional Characteristic Agricultural Resources, Neijiang 641112, China)

Abstract: By using plot sample method, community structure of two artificial forests were studied in a low mountain area of the Tuojiang River Valley. The results showed that there were less *Pinus elliottii* seedlings and saplings in *P. elliottii* community compared with *P. massoniana* community. Individuals of *P. massoniana* were 38% more than those of *P. elliottii*. However, average height and average diameter of tree crown of *P. elliottii* were 32.7% and 22.2% bigger than that of *P. massoniana*, respectively. Judged from height and DBH (diameter at breast height) structure, individuals of *P. massoniana* distributed through all classes. On the contrary, *P. elliottii* population had no individuals of class I and II, and was dominated by the biggest trees, suggesting that it was difficult for the population to regenerate in the future. *P. massoniana* at each height class could form certain coverage, but *P. elliottii* individuals under 1 m could not form any coverage, indicating that *P. elliottii* population was short of seedlings and saplings, which was consistent with the conclusion drawn from height and DBH study. Aboveground biomass yield of tree lay-

收稿日期: 2010-10-29 修回日期: 2011-01-23

基金项目: 四川省教育厅科研基金(10ZC006); 内江师范学院自然科学重点项目(03NJZ-03); 内江师范学院博士科研基金[Supported by Natural Science Foundation of Provincial Education Department of Sichuan (10ZC006); Key Natural Science Project of Neijiang Normal University(03NJZ-03); Scientific Research Foundation for Doctors in Neijiang Normal University]

作者简介: 陈文年(1968-), 男, 四川成都人, 博士, 副教授, 从事植物生态方面研究, (E-mail)linhke@126.com.

er in *P. elliottii* stand was bigger than that in *P. massoniana* stand, while biomass of shrub layer in *P. elliottii* stand was smaller than that in *P. massoniana* stand. As to biomass of herb layer, the two stands had no significant difference. Species diversity in both shrub layer and herb layer in *P. massoniana* community was higher than that in *P. elliottii* community, which was closely related to big coverage of tree layer in *P. elliottii* community, because big coverage of tree layer could exert a strong negative influence on plants under tree layer. Considering fast afforestation and production of wood, it is more suitable for *P. elliottii* to be grown widely.

Key words: *Pinus elliottii*; *Pinus massoniana*; community structure; species diversity; regeneration of population

沱江流域位于四川盆地,其原生植被(亚热带常绿阔叶林)几乎不复存在,取而代之的是各种人工或次生针叶林,这些次生针叶林具有较大经济价值(莫江明等,2004;邱辉等,2004);同时还是沱江流域的重要生态屏障,对整个沱江流域的生态平衡起着重大调节作用(四川植被协作组,1980;吴勇等,2006)。但沱江流域的森林覆盖率仅 5.4%(费世民等,2002),威远县稍高一点,也只有 13.13%(威远县志编纂委员会,1993)。因此,如何尽快地提高人工林的覆盖面积,从而更好地发挥其经济和生态作用显得十分必要。在该区的人工林中,马尾松林和湿地松林就是其中的两种重要的代表类型。

目前,对两种针叶林的研究有的是将针叶林的结果与针阔叶混交林进行比较,如张太平等(1999)认为,湿地松林群落结构较为简单,灌、草层的物种多样性比同龄的针阔叶混交林要低一些;湿地松纯林中湿地松的高度及生物量都比混交林中的湿地松小一些(刘永金等,1991);湿地松混交林的林分结构也比纯林更合理(陈继祥,2007)。有的是将针叶林的结果与当地阔叶林进行比较,如罗韧等(1990)认为,在马尾松林的林冠下植入阔叶树后,可以使林内空气湿度提高,使林分水湿条件得到改善,从而增强林木的抗逆性;其灌木种类与当地地带性的次生阔叶林中的灌木种类很不相同(曹洪麟等,1998)。有的是就一种单独的林分进行考察和分析,如减轻人为干扰强度,可使马尾松林分的高度级及径级结构趋于完整,使物种多样性增加(罗德光,2005);马尾松林立木密度对其平均胸径、树高及物种数目有较大的影响(陈学群等,1994;童丽丽,2009)。在同一区域对两种常见人工针叶林同时进行的对比研究只有少量报道,而且仅限于林分的生物量方面(田大伦等,2004)。本文以沱江流域低山区的两种人工针叶林为研究对象,对其群落特征的各个方面进行深入剖析,揭示湿地松与马尾松在生长方面的差异,探讨两物种对群落稳定性的影响,为当地人工针叶林类型的选择和快速营造提供理论依据。

1 方法

1.1 研究区域概况

本研究地点位于四川省沱江流域中段的葫芦口水库丘陵区,在行政区划上隶属于四川省内江市威远县山王镇(29°37' E, 104°36' N)。该区属于四川盆地内的低山区,植被以人工针叶林为主,平均海拔 710 m,年平均气温 20.6 °C,年均降雨量 951 mm,其中的 60.4%发生在夏季,年蒸发量 854.5 mm,最热月(7月)均温 26.9 °C,最冷月(1月)均温 7.4 °C。土壤以黄壤为主,呈微酸性。在该研究点存在两种不同的人工针叶林类型,即人工马尾松林和人工湿地松林。这两种针叶林为当地林业部门于 1984 年和 1985 年人工种植,林龄大约 25 a,种植密度相同。种植前,由于长期的砍伐和樵采等破坏,样地所在区域已由亚热带常绿阔叶林退化为荒山灌草丛;种植后,当地实行了封山措施,干扰较少。

1.2 样地设置

选择坡度和坡向大致相同的人工马尾松林和人工湿地松林,在两种人工针叶林中分别随机设置 3 个 30 m×30 m 的样地,样地之间的距离从 80~300 m 不等,用以调查乔木种群的株高、胸径、株数、冠幅、盖度等特征。在每个样地中随机设置 3 个 5 m×5 m 的样方,用以调查灌木的种数、株(丛)数、高度及盖度;在每个 5 m×5 m 的样方中再随机设置 1 个 1 m×1 m 的小样方用以调查草本层的种数、株(丛)数及盖度。另外,在每个 30 m×30 m 的样地内按对角线法设置 3 个 2 m×2 m 的样方用以测量灌木层和草本层的地上生物产量。

1.3 高度结构及径级结构的划分

1.3.1 高度结构的划分 乔木种群高度结构划分为 8 级:Ⅰ级:0~3 m;Ⅱ级:3~6 m;Ⅲ级:6~9 m;Ⅳ级:9~12 m;Ⅴ级:12~15 m;Ⅵ级:15~18 m;Ⅶ级:18~21 m(上限排除法)。

1.3.2 径级结构的划分 乔木种群的径级结构划分

为 12 级: I 级: 0~2 cm; II 级: 2~4 cm; III 级: 4~6 cm; IV 级: 6~8 cm; V 级: 8~10 cm; VI 级: 10~12 cm; VII 级: 12~14 cm; VIII 级: 14~16 cm; IX 级: 16~18 cm; X 级: 18~20 cm; XI 级: 20~22 cm(上限排除法)。

1.4 物种多样性的计算方法

群落的物种多样性采用物种丰富度指数(S)、Shannon 指数(H')、Simpson 指数(D)(马克平等, 1995)进行计算。

1.5 生物量的测定

1.5.1 乔木层生物量的测定 用平均标准木法(王舒凤等, 2001)测定两乔木种群的地上生物产量。在各 30 m×30 m 的调查样地内选择平均标准木 3 株, 要求所选标准木胸径及树高与所在林分平均值误差不超过 5%。用分层切割法(田大伦等, 2004)测定各器官的鲜重。同时, 各器官中取出部分样品称鲜质量后带回室内, 在 80 °C 恒温下烘干至恒质量, 求出各自的含水率, 再分别计算标准木各器官生物量。

1.5.2 灌木层及草本层生物量的测定 采用收割法测定灌木层及草本层的地上生物产量, 其中灌木层包括 3 m 以下的幼树(幼苗)及灌木(王健敏等, 2010)。在每个 2 m×2 m 的样方中收割并测定灌、草层地上部分的鲜质量, 取样带回实验室测定其含水率, 计算出干质量。

2 结果和分析

2.1 群落外貌特征比较

两群落都呈现出深绿色, 乔木层都只有一种。湿地松群落林冠较为整齐, 群落层次明显, 群落层次更简单, 其灌木层中的植物种类较少, 灌木层中湿地松幼树很少, 没有层间植物, 郁闭度达 0.85。马尾松群落林冠显得不整齐, 乔木高度不及湿地松的高度, 灌木层种类相对较多, 灌木层中有较多的马尾松幼苗幼树, 层间植物有菝葜(*Smilax yuii*)和海金沙(*Lygodium japonicum*), 郁闭度 0.65 左右。

2.2 多度、平均高度以及冠幅的比较

两种针叶林中的建群种(马尾松和湿地松)的多度有明显不同。马尾松多度(以三个样地中的总株数表示)要大得多, 和湿地松相比增加了 38%。另一方面, 湿地松乔木层个体的平均高度要大一些, 和马尾松乔木层个体相比增加了 16.6%; 湿地松乔木

层个体的平均冠幅也要大一些, 和马尾松相比, 增加了 25%(表 1)。

表 1 两种针叶树密度、平均高度及冠幅比较
Table 1 Comparison of density, average height and average diameter of crown between the two coniferous trees

树种 Trees	多度 (株数) No. of individuals	乔木层平均 高度(m) Average height of tree layer	乔木层平均 冠幅(m) Average diameter of tree crown
马尾松 <i>P. massoniana</i>	371	13.62	3.41
湿地松 <i>P. elliotii</i>	267	15.88	4.25

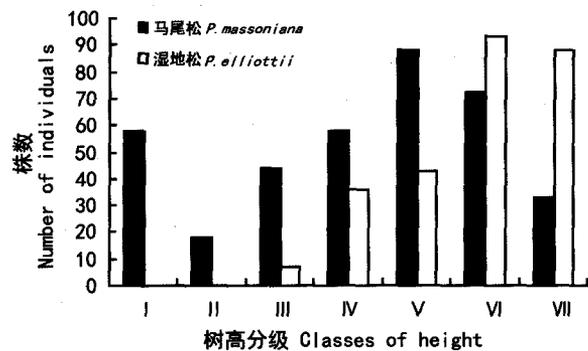


图 1 马尾松和湿地松树高结构比较

Fig. 1 Comparison of height structure between *P. massoniana* population and *P. elliotii* population

从表 1 看出, 在相同的条件下, 湿地松的树高生长要快一些, 冠幅大一些, 但湿地松种群密度低一些。湿地松生长快, 主要跟其本身的生物学特性有关, 随着生长的加快, 冠幅加大, 植物对资源的需求增加, 个体间对资源的竞争加剧, 自疏现象更强烈。因此, 和马尾松比较起来, 密度降低了。

2.3 高度结构比较

把树高每 3 m 分成一级, 然后统计每一级中的株数, 得到树高~株数分布图(图 1)。从图 1 看出, 马尾松和湿地松的树高结构有显著不同。马尾松植株在各个数量级上都有分布, 其中 V 级(15~18 m)所占的比例最多, 占了总株数的 23.7%; I 级(0~3 m), IV 级(6~8 cm)和 VI 级(10~12 cm)也较多, 分别占总株数的 15.6%、15.6%和 19.4%。V 级~VII 级的大树(即 12 m 以上的个体)所占比例为 52%。在湿地松种群中, 没有 I 级和 II 级的幼苗和小树, VI 级和 VII 级所占比例很大, 占总株数的 67.8%。可见, 湿地松种群中, 大树占了大多数, 缺乏幼苗和幼树, 种群呈现出更新不良之势; 而马尾松种群中, 有

相当数量的幼苗和幼树。此外,马尾松 I 级幼苗较多,但进入 II 级后个体数突然变少,只占总个体数的 5%,这可能与 I 级幼苗死亡率较高有关, I 级幼苗个体矮小,有些甚至低于草本植物,在与周围植物的竞争中不占任何优势,再加上自疏作用,因此一部分个体就被淘汰了。

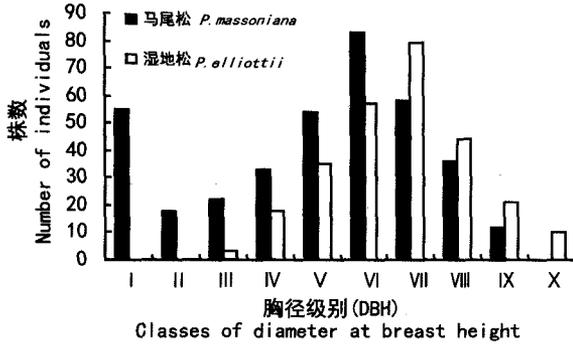


图 2 马尾松和湿地松径级结构比较
Fig. 2 Comparison of DBH between *P. massoniana* population and *P. elliotii* population

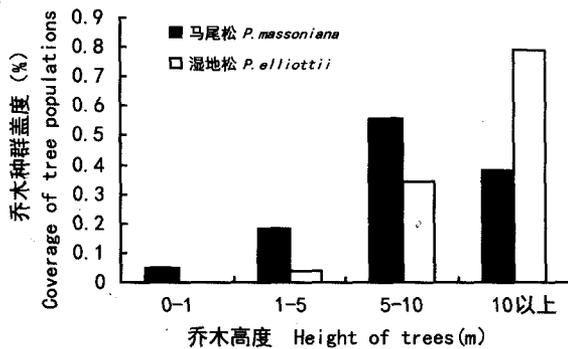


图 3 马尾松与湿地松种群的盖度结构比较
Fig. 3 Comparison of trees coverage between *P. massoniana* population and *P. elliotii* population

2.4 径级结构比较

胸径按 2 cm 分成一级,然后统计每一级中的株数,得到胸径-株数相关图(图 2)。从图 2 看出,马尾松和湿地松径级结构明显不同。马尾松株数最多的径级是 VI 级(10~12 cm),占总株数的 22%,VI 级及 VI 级以上树木共有 189 株,占总株数的 51%。马尾松的 III 级(4~6 cm)及 III 级以下的幼苗幼树共 95 株,占总数的 26%。在湿地松种群中,株数最多的径级是 VII 级(12~14 cm),占了将近 29.6%,VI 级及以上树木共有 211 株,占总株数的 79%。湿地松的 III 级(4~6 cm)及 III 级以下的幼苗幼树只有 3 株,占总数的 1.1%。总的看来,湿地松的胸径比马尾松

大,在其种群中,明显缺少幼苗和幼树;马尾松 I 级幼苗到 II 级的幼苗的死亡率也较高,这些和树高的研究中得出的结果是一致的。

2.5 盖度结构比较

统计样方中乔木树种各个体的盖度和高度,得到盖度-高度分布图(图 3)。从图 3 可以看出,马尾松在不同的树高高高度上都有一定盖度,以 5~10 m 高度上的盖度最大,达 56%,10 m 以上次之,达 38%,1~5 m 的幼树盖度达到 20%,1 m 以下的幼苗盖度达 4%。湿地松种群在 1 m 以下没有盖度,在 1~5 m 高度上盖度也很小,只有 4%,10 m 以上的盖度最大,达 79%。显然,湿地松种群的盖度主要是由 10 m 以上的大树形成,而马尾松种群的盖度则是由 5 m 以上的中树及大树共同构成。

2.6 群落主要物种组成上的区别

湿地松林和马尾松林灌木层和草本层的物种组成如表 2 所示。湿地松林灌木层的物种组成包括 6 种,隶属于 5 科 6 属;马尾松林灌木层的物种组成包括 10 种,隶属于 7 科 10 属。可见,两种针叶林灌木层的物种组成很不相同,共有物种只有 2 种,即短柱柃(*E. brevistyla*)和映山红(*R. simsii*)。草本层的物种数目较多,其中湿地松林有 45 种,隶属于 19 科 24 属;马尾松林 61 种,隶属于 27 科 41 属。重要值较大的前 8 种列于表 2。两群落的草本层中重要值较大的前 8 种植物中有两种是相同的,即蕨(*P. aquilinum*)和里白(*H. glauca*)。

2.7 群落物种多样性比较

由于两种针叶林的乔木层都只有一个树种,因此,这里只比较灌木层和草本层的物种多样性。从表 3 和表 4 看出,和湿地松林相比,马尾松林的物种多样性要高一些,不管灌木层和草本层都是如此,三个物种多样性指数所表现的结果也一致。其原因可能与湿地松林中,乔木层植株的冠幅较大、乔木层盖度较大,对林下的灌木和草本造成很大的荫蔽作用,致使很多林下的灌木和草本处于光补偿点之下,相当一部分就被淘汰了,于是灌木层及草本层的物种多样性就低。而马尾松林由于林冠层中高大乔木的盖度相对较低,对林下灌草层的影响相对较小,于是表现出了和湿地松林相反的效果。

2.8 群落生物量的比较

2.8.1 乔木层的生物量 马尾松地上各器官的生物产量都比湿地松的小,地上总生物产量也比湿地松小。其中,树干小 30.56%,树枝小 30.48%,树皮小

表 2 湿地松林和马尾松林灌木层及草本层的主要物种组成

Table 2 Species composition of shrub layer and herb layer in *P. massoniana* stand and *P. elliotii* stand

层次 Layers	物种 Species	湿地松林 <i>P. elliotii</i> stand	马尾松林 <i>P. massoniana</i> stand
灌木层 Shrub layer	乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	—	—
	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	—	—
	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	—	—
	映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	—	—
	胡颓子 <i>Elaeagnus henryi</i>	—	—
	短枝六道木 <i>Abelia engleriana</i>	—	—
	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	—	—
	野牡丹 <i>Melastoma cadidum</i>	—	—
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	—	—
	朝天罐 <i>Osbeckia opipara</i>	—	—
	血桐 <i>Macaranga tanarius</i>	—	—
	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	—	—
	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	—	—
	山毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	—	—
草本层 Herb layer	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	—	—
	仙茅 <i>Curculigo orchioides</i>	—	—
	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	—	—
	爵床 <i>Rostellularia procumbens</i>	—	—
	金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	—	—
	过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	—	—
	地耳草 <i>Hypericum japonicum</i>	—	—
	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	—	—
	芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i>	—	—
	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	—	—
	假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i>	—	—
	白花前胡 <i>Peucedanum praeruptorum</i>	—	—
	艳山姜 <i>Alpinia zerumbet</i>	—	—
	牡蒿 <i>Artemisia japonica</i>	—	—

注：—表示该物种在林分中存在。

Note: —denotes that a species was present in a stand.

12.9%，树叶小 27.8%，地上总生物产量小 29.3%

(表 5)。从两乔木树种来看，地上总生物产量中都是以树干所占的比例最大。

2.8.2 灌草层生物量 由表 6 看出，马尾松灌木层的地上生物产量明显地比湿地松高 130%；而草本层的地上生物产量则无明显的差异。

3 讨论

和当地的土生树种马尾松相比，湿地松种群明显缺乏幼苗和幼树，其林分结构简单，生物多样性指数低，乔木种群基本上都处于同一龄级上，呈现出严重更新不良。曹洪麟等(1998)在其它地方的研究也得出了类似的结论。其原因可能与湿地松本身的习性有关。湿地松属于强阳性喜光树种(四川植物志编辑委员, 1983)，其幼苗在荫蔽条件下不易成活(陈文友等, 1996)，当湿地松成林后郁闭度大大增加，其林下荫闭的环境对其幼苗的生长极为不利。但是，从本研究来看，湿地松比当地的土生树种马尾松生长快，其地上生物产量比马尾松大，因此，作为当地的速生造林树种及用材林树种是合适的。尽管湿地松林的灌木层中其幼苗和幼树较少，但在野外调查中发现，乌桕和油桐两种阔叶树种占有明显的优势，虽然目前这两种阔叶树种大多还属于灌木层，但其居于灌木层的顶层，不久就会进入乔木层，且其幼苗及幼树较多。由于湿地松幼苗幼树更新不足，一旦乌桕和油桐进入乔木层，湿地松林将可能演化成针阔叶混交林，再往后甚至会演化为以乌桕和油桐为建群种的常绿阔叶林。因此，湿地松林目前的状态是正处于向针阔叶混交林转变的演替系列之中，这反映了其先锋树种性质。湿地松混交林比湿地松纯

表 3 两人工针叶林群落灌木层与草本层物种多样性比较

Table 3 Comparison of shrub layer and herb layer species diversity between the two artificial coniferous forests

群落类型 Types of stands	灌木层 Shrub layer			草本层 Herb layer		
	物种丰富度(S)	Shannon 指数	Simpson 指数	物种丰富度(S)	Shannon 指数	Simpson 指数
马尾松林 <i>P. massoniana</i> stand	10	3.82	0.66	61	4.26	0.94
湿地松林 <i>P. elliotii</i> stand	6	2.71	0.58	45	3.31	0.82

表 5 湿地松林和马尾松林乔木层的地上生物产量比较 (t · hm⁻²)

Table 5 Comparison of aboveground biomass yield of tree layer between two stands

树种 Tree species	树干 Trunk	树枝 Branch	树皮 Bark	树叶 Needle	地上总生物产量 Total
马尾松 <i>P. massoniana</i>	70.62	8.11	7.18	5.54	91.45
湿地松 <i>P. elliotii</i>	101.71	11.66	8.25	7.68	129.31

林的林分结构更合理(李大盆,2004;陈继祥,2007),而亚热带常绿阔叶林又是当地地带性的植被类型,如从快速绿化及生态维护的角度来看,可增加一些抚育措施如间伐等,以促进该针叶林过渡到针阔叶混交林,并进一步转变为常绿阔叶林。另一方面,湿地松林本身不仅有防止水土流失、改良土壤物理性质、净化空气等重要的生态效益(杨承栋等,1999;谭家得等,2009;陈培栋,2003);而且由于其乔木种群地上生物产量相对较大(表5),是木材、薪柴的重要来源,也是松脂的重要来源(中国木本植物种子编辑委员会,2001;刘春芳等,2004)。如果从用材及经济的角度来看,可以适时地除去林下其它常绿乔木树种的幼苗和幼树,并且加强湿地松的人工育苗措施,适时补栽幼苗和幼树,这对防止人工湿地松林朝着常绿阔叶林方向演替可以起到积极的作用。

表6 湿地松林和马尾松林灌木层的地上生物产量比较 ($t \cdot hm^{-2}$)

Table 6 Comparison of aboveground biomass yield of shrub and herb layer between two stands

树种 Tree species	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
马尾松 <i>P. massoniana</i>	5.34	2.03
湿地松 <i>P. elliotii</i>	2.32	1.81

另外,湿地松林分泌的烯类物质较多,可以杀灭空气中的多种细菌(陈培栋,2003),因此在城市街道旁或空地中如果大量种植作为速生树种,不仅可以快速绿化城市,而且可以起到净化城市空气的目的。

在本研究中,马尾松种群有较多的幼苗和幼树,相对于湿地松而言,种群结构较为合理,但这并不意味着马尾松种群就是增长型种群,从图1和图2看出,其种群甚至连稳定型都算不上,实际上也是一个衰退型种群,只是其衰退的趋势没有湿地松那么明显而已。其它地方的研究表明,马尾松群落在发展的过程中,马尾松种群会趋于衰退,其消亡的趋势明显,马尾松针叶林会向着针阔叶混交林方向演替(方炜等,1995;杨清培等,2001)。显然这些结果与本文是一致的。这表明,马尾松林和湿地松林一样,也是向地带性植被演替过程中的一个过渡阶段。可见,两种针叶都会向混交林和常绿阔叶林方向演替,但湿地松林的群落结构决定了其更具有演替的趋势,而且具有更大的地上生物产量。因此,无论从快速绿化和经济林的角度来看,湿地松林都是沱江流域更值得推广的一种针叶林类型。

参考文献:

- 四川植被协作组. 1980. 四川植被[M]. 成都:四川人民出版社:136-149
- 威远县志编纂委员会. 1993. 威远县志[M]. 成都:巴蜀书社:87-91
- 四川植物志编辑委员会. 1983. 四川植物志(第2卷)[M]. 成都:四川人民出版社:100-128
- 中国木本植物种子编辑委员会. 2001. 中国木本植物种子[M]. 北京:中国林业出版社:43-66
- Cao HL(曹洪麟),Ren H(任海),Peng SL(彭少麟). 1998. The community structure and energy characteristics of *Pinus elliotii* artificial forest in Heshan(鹤山湿地松人工林的群落结构与能量特征)[J]. *Guihaia*(广西植物),18(1):24-28
- Chen PD(陈培栋). 2003. *Pinus elliotii* plantation—Good places for ecological tour and health protection(湿地松林—生态保健旅游的好场所)[J]. *Fore China*(中国林业),4(A):34
- Chen WY(陈文友),Zhang XG(张习耕),Chen Z(陈志). 1996. Comparison of growth experiments among *Pinus elliotii*, *P. taeda* and *P. massoniana*(湿地松,火炬松与马尾松生长对比试验)[J]. *J Sic Fore Sci Tech*(四川林业科技),17(2):48-55
- Chen JX(陈继祥). 2007. Studies of stand structures and biomass of *Crytomeria fortunei* and *Michelia macclurei* mixed forest and *C. fortunei* and *Pinus elliotii* mixed forest(柳杉与火力楠、湿地松混交林分结构和生物量的研究)[J]. *Subtrop Soil Water Conservation*(亚热带水土保持),19(2):10-12
- Chen XQ(陈学群),Zhu PY(朱配演). 1994. Studies on the production structures and present stocking of 30-year-old *Pinus massoniana* stands with various densities(不同密度30年生马尾松林分生产结构与现存量的研究)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech*(福建林业科技),21(2):19-23
- Fang W(方炜),Peng SL(彭少麟). 1995. Changes of tree species in the succession process of *Pinus massoniana* community in Dinghushan, Guangdong, P. R. China(鼎湖山马尾松群落演替过程物种变化之研究)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报),3(4):30-37
- Fei SM(费世民),Yang YP(杨玉坡). 2002. On the position and effect of Sichuan forestry in the construction of the ecological Protective Screen for the Upper Reaches of the Changjiang River(论四川林业在“长江上游生态屏障”建设中的地位与作用)[J]. *J Sichuan Fore Sci Tech*(四川林业科技),23(1):27-35
- Li DC(李大盆). 2004. Studies of stand structures and biomass of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest and *F. hodginsii* and *Pinus elliotii* mixed forest(福建柏与杉木、湿地松混交林分结构和生物量的研究)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech*(福建林业科技),31(4):51-53
- Liu CF(刘春芳),Chen XL(陈锡联). 2004. Effect of resin tapping on *Pinus elliotii* forest growth and economic benefit(采脂对湿地松林分生长和经济效益的影响)[J]. *J Zhejiang Fore Sci Tech*(浙江林业科技),24(3):24-26
- Liu YJ(刘永金),Tan SM(谭绍满). 1991. Microclimatic characteristics and their relationship with forest structure for two community types of slash pine(两种湿地松群落的小气候特点及其与林分结构的关系)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),10(3):5-9
- Luo DG(罗德光). 2005. Effects of different strength of man

- made disturbs on *Pinus massoniana* stand structure and species diversity(不同强度人为干扰对马尾松林分结构及物种多样性的影响)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech* (福建林业科技), **32**(4):90-94
- Luo R(罗韧), Lan KH(兰康候). 1990. Effects of structural changes of *Pinus massoniana* stands on microclimatic(马尾松林分结构变化对森林小气候的影响)[J]. *J Chongqing Fore Sci Tech* (重庆林业科技), **23**(2):25-29
- Ma KP(马克平), Huang JH(黄建辉), Yu SL(于顺利), et al. 1995. Plant community diversity in Dongling Mountain. Beijing, China; II. species richness, evenness and species diversities (北京东灵山地区植物群落多样性的研究: II 丰富度, 均匀度和物种多样性)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **15**(3):268-277
- Mo JM(莫江明), Peng SL(彭少麟), Brown S, et al. 2004. Response of biomass production to human impacts in a pine forest in subtropical China(鼎湖山马尾松林群落生物量生产对人为干扰的响应)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(2):193-200
- Qiu H(邱辉), Yu MK(虞木奎). 2004. Study on the techniques of tending and thinning of *Pinus elliottii* and its harvesting(湿地松抚育间伐技术及林分收获)[J]. *J Nanjing Fore Univ; Nat Sci Edi*(南京林业大学学报·自然科学版), **28**(5):19-21
- Tan JD(谭家得), Xue L(薛立), Zheng WG(郑卫国), et al. 2009. Characteristics of surface runoff and potassium export in a *Pinus elliottii* stand(湿地松林的地表径流及钾流失特征)[J]. *J South China Agric Univ*(华南农业大学学报), **30**(4):57-60
- Tian DL(田大伦), Xiang WH(项文化), Yan WD(闫文德). 2004. Comparison of biomass dynamic and nutrient cycling between *Pinus massoniana* plantation and *P. elliottii* plantation (马尾松与湿地松人工林生物量动态及养分循环特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(10):2207-2210
- Tong LL(童丽丽), Xu XG(许晓岗), Guan QW(关庆伟), et al. 2009. Effects of thinning on the community structure of *Pinus massoniana* plantation in Wuxiang Temple Forest Park, Lishui County(间伐强度对丽水无想寺森林公园马尾松林群落结构的影响)[J]. *J Jinling Institute Tech* (金陵科技学院学报), **25**(1):70-73
- Wang JM(王健敏), Liu J(刘娟), Chen XM(陈晓鸣), et al. 2010. Comparison of community structures and species diversity in natural forests and forest plantation of *Pinus yunnanensis* (云南松天然林及人工林群落结构和物种多样性比较)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), **23**(4):515-522
- Wang SF(王舒凤), Zheng YS(郑郁善), Chen X(陈雄), et al. 2001. Biomass of mixed forest of *Casuarina equisetifolia* and *Pinus elliottii*(木麻黄湿地松混交林生物量研究)[J]. *J Fujian Coll Fore* (福建林学院学报), **21**(2):153-156
- Wu Y(吴勇), Su ZX(苏智先), Fang JY(方精云). 2006. Vertical pattern of biodiversity in forest community in the source of Tuojiang River(沱江源森林群落生物多样性垂直格局研究)[J]. *Res Environ Yangtze Basin*(长江流域资源与环境), **15**(4):447-452
- Yang CD(杨承栋), Xia LF(夏良放). 1999. Change of soil properties under slash pine in Dagangshan, Jiangxi Province(江西省大岗山湿地松林土壤性质的变化)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), **12**(4):392-397
- Yang QP(杨清培), Li MG(李鸣光), Li RW(李仁伟). 2001. Studies on the dynamic succession of *Pinus massoniana* community in Heishiding Natural Reserve(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)[J]. *Guihaia*(广西植物), **21**(4):295-299
- Zhang TP(张太平), Ren H(任海), Peng SL(彭少麟). 1999. *Pinus elliottii* Engelm(湿地松的生态生物学特征)[J]. *Ecol Sci*(生态科学), **18**(2):8-12

(上接第 376 页 Continue from page 376)

- Xiao JX, Peng SA. 2007. Study on changes in concentrations of four endogenous hormones in different fruit positions during citrus fruit growth and development[J]. *Guihaia*, **27**(5):775-779
- Yuan YJ, Li C, Hu ZD, et al. 2002a. A double oxidative burst for taxol production in suspension cultures of *Taxus chinensis* var. *mairei* induced by oligosaccharide from *Fusarium oxysporum*[J]. *Enzyme Microbial Tech*, **30**:774-778
- Yuan YJ, Li C, Wu JC, et al. 2002b. A model for signal transduction in suspension cultures of *Taxus chinensis* var. *mairei* induced by an oligosaccharide from *Fusarium oxysporum*[J]. *Biotechnology Letters*, **24**:407-412
- Yuan YJ, Li C, Hu ZD, et al. 2002c. Fungal elicitor-induced cell apoptosis in suspension cultures of *Taxus chinensis* var. *mairei* for Taxol production[J]. *Process Biochemistry*, **38**:193-198
- Zhang P, Sun HY, Shen HL, et al. 2009. Effects of temperature on substance transformation and endogenous hormone content of *Fraxinus mandshurica* seeds during germination[J]. *J Northeast Fore Univ*, **37**(7):5-7
- Zhang J, Han BW, Wu Q, et al. 1991. Plant hormone-based enzyme-linked immunosorbent assay[J]. *J Beijing Agric Univ*, **17**:139-148