

杉木观光木混交林群落的能量生态^{*}

杨玉盛^{1,2} ** 陈光水¹ 林瑞余¹ 蔡丽平¹ 陈银秀¹

(¹福建农林大学林学院 南平 353001; ²厦门大学生物学博士后流动站 福建厦门 361005)

摘要 对杉木观光木混交林群落能量的研究结果表明:混交林中观光木地上部分灰分含量以皮最高,而杉木则以叶最高,两者 GCV(干重热值)和 AFCV(去灰分热值)均以叶为最高;观光木、杉木地下各部分的灰分含量均随径级的减小而增加,GCV 均以粗根最高,细根最低;观光木的平均灰分含量高于杉木,但 GCV 和 AFCV 均低于杉木;从乔木层、灌木层到草本层,灰分含量依次增加,GCV 和 AFCV 则依次降低.混交林群落的能量现存量、年净增量、归还量和净固定量分别是纯林的 1.26 倍、1.15 倍、1.02 倍和 1.09 倍,其中以乔木层的占大部分,林下植被虽然能量现存量仅占群落的很小一部分,而其能量年净增量、归还量和净固定量却占有一定比重.混交林群落的太阳能转化率为 1.57%,而纯林为 1.44%.表明杉观混交林是一种能量生产力较高和维持地力能力较强的杉阔混交类型.同时,混交林的能量累积比大于纯林,能量流动速率则低于纯林;乔木层的能量累积比高于林下植被,能量流动速率则低于林下植被.从能量的角度看,构建合理的群落结构必须选择高能量累积比的乔木层树种,同时须促进能量流动速率快的林下植被的发育以维持和提高地力.表 4 参 22

关键词 杉木; 观光木; 混交林; 灰分含量; 热值; 能量

CLC Q948.15

ENERGY FOR MIXED FOREST OF CUNNINGHAMIA LANCEOLATA AND TSOONGIODENDRON ODORUM

YANG Yusheng^{1,2} **, CHEN Guangshui¹, LIN Ruiyu¹, CAI Liping¹ & CHEN Yinxiu¹

(¹ Forestry College, Fujian Agricultural and Forestry University, Nanping 353001, China)

(² Post-doctoral Station of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Based on the measurement of biomass and productivity, the caloric value of plant samples, the standing crop of energy, net energy production and energy conversing efficiency of mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum* were determined. Among the aboveground fractions, ash content was highest in barks of *Tsoongiodendron odorum* and in leaves of *Cunninghamia lanceolata*, and GCV and AFCV were both highest in leaves of the two species. For underground fractions, ash content increased with the increase of root diameter size, and GCV was highest in coarse roots and lowest in fine roots. The mean ash content was higher, and the mean of GCV and AFCV of *Tsoongiodendron odorum* were lower than those of *Cunninghamia lanceolata*. The mean ash content increased in an order from tree layer, shrub layer to herb layer, while those of GCV and AFCV decreased. The standing crop, net accumulation, production and returning of energy of mixed forest were 1.26, 1.15, 1.09 and 1.02 times as much as that of pure forest, respectively. The undergrowth played an important role in energy process, though it accounted for only a slight proportion in community. The energy conversing efficiency was 1.57% for mixed forest and 1.44% for pure forest. The ratio of energy accumulation was higher, and the rate of energy flow was lower in mixed forest than in pure forest. The tree layer had a higher ratio of energy accumulation and a lower rate of energy flow than undergrowth did. In view of energy efficiency, trees with high-accumulated rate of energy should be introduced and growth of undergrowth should be promoted in a managed forest community. Tab 4, Ref 22

收稿日期: 2001-05-22 接受日期: 2001-06-13

* 中国博士后科研基金、福建省科委重大基础研究项目(2000-F-04)及高等学校骨干教师资助计划资助

** 通讯联系人 (Corresponding author) Tel: 0599-8504990; Email: ffcyys@public.npptt.fj.cn

Key words *Cunninghamia lanceolata*; *Tsoongiodendron odorum*; mixed forest; ash content; caloric value; energy

CLC Q948.15

亚热带杉木人工林连栽地力衰退现象十分普遍^[1~4],因而在维持地力的基础上最大限度地提高人工林的生物生产量,具有极为重要的意义。为此,在南方林区结合营林生产开展了杉阔混交试验研究,其中与杉木混交的主要阔叶树种有火力楠(*Michelia macclurei*),酸枣(*Phoebe bournei*),樟树(*Sassafras tsumu*),楠木(*Cinnamomum camphora*),樟树(*Choerospondias axillaris*),细柄阿丁枫(*Altingia gracilipes*),中华杜英(*Elaeocarpus decipiens*),木荷(*Schima superba*),乳源木莲(*Manglietia yuyuanensis*),深山含笑(*Michelia maudiae*),观光木(*Tsoongiodendron odorum*),泡桐(*Paulownia fortunei*)等^[5,6]。目前国内研究者对杉阔混交林的生物量、生产力和土壤肥力研究的较多^[6]。Jordan (1971) 等较早的研究表明,应用能量概念研究植物群落更能反映出群落对自然资源(特别是太阳能)的利用情况^[7]。国内林鹏、林光辉等较早地将干物质测定和热值测定相结合系统地研究了红树林的群落性质^[8~10];对于陆地森林群落能量的研究较少,只见刘世荣等对落叶松^[11],林鹏、林益明、李振基、何东进等对中亚热带甜槠、黄山松、毛竹群落^[12~15],侯庸等(1997)对南亚热带常绿林^[16]的研究报道,且在已报道资料中,未包含枯死细根的能量归还,导致群落年能量净固定量的结果偏小。本文在对福建三明 27 a 生杉木观光木混交林及杉木纯林群落生物量和生产力研究的基础上,对群落的能量现存量、能量归还(包括凋落物、枯死细根和林下植被)及能量净固定量等进行了为期 2 a 的研究,试图从能量的角度探讨合理的群落结构构建,为实现杉木林可持续经营提供理论依据。

1 试验地概况

试验地位于福建三明福建林学院莘口教学林场小湖工区((N) 26°11'30", (E) 117°26'00"),属中亚热带季风型气候,年均气温 19.1℃,年均降水量 1 749 mm,年均蒸发量 1 585.0 mm,年均相对湿度为 81%,无霜期 300 d 左右,土壤是由砂页岩发育的红壤。1973 年用实生苗造林,初植密度 n 3 000 hm^{-2} ,混交林为行间混交(杉木与观光木比例为 3U)。杉木纯林现保留密度 n 1 100 hm^{-2} ,平均树高和平均胸径分别为 19.3 m 和 23.6 cm,郁闭度为 0.80,林下植被盖度 95%;混交林中杉木和观光木现保留密度 n 分别为 907 hm^{-2} 和 450 hm^{-2} (混交比例调整为 2U),其

中杉木 \bar{H} 和 \bar{D} 分别为 20.88 m 和 25.1 cm,观光木 \bar{H} 和 \bar{D} 分别为 17.81 m 和 17.0 cm,郁闭度为 0.95,林下植被盖度 80%。

2 研究方法

研究时间为 1999 年 1 月至 2001 年 1 月。分别在杉观混交林和杉木纯林中设置 20 m × 20 m 标准地各 3 块,对每块标准地内林木进行每木检尺,根据林分 \bar{H} 和 \bar{D} ,选取平均木,混交林每块标准地选择平均木 2 株,纯林则选择 1 株,共砍伐平均木 9 株,进行以下研究:乔木层地上部分生物量按 Monsi 分层切割法测定,根系生物量测定则采用全挖法(测定 $d > 0.2$ cm 根系)和土芯法(测定 $d < 0.2$ cm 细根)结合,乔木层各器官生物量净增量采用相对生长法进行推算^[17]。 $d < 0.2$ cm 细根的年归还量、净增量、净生产力根据定期土钻取样数据(每 2 个月取 1 次,土柱 d 为 6.8 cm, 100 cm,每次每个林分取土柱 30 个),按 McClougherty *et al.* (1982) 提出的极差公式计算^[18]。灌木和草本层生物量采用样方收获法测定,其生物量净生长量的测定采用灌木和草本层的生物量现存量分别除以其平均年龄而得,本文中灌叶、草茎叶、草根的平均年龄按 2 a 计,灌枝、灌根的平均年龄按 8 a 计^[17]。在每个林分内分别随机布设 15 个 0.5 m × 1 m 的收集架,每个月定期收集凋落物以测定年凋落物量。

在样地附近从表层土(0~20 cm)中随机收集目的树种(细分成 3 个径级)和林下植被的活根与死根的混合样品,自然风干后称取 5 g 样品装入 18 cm × 18 cm、孔径为 0.2 mm 的尼龙网袋中,每袋样品均换算为干重,埋入近地表 10 cm 处,放置样地中部,每个径级共 100 袋,以后每隔一定时间从各点中随机抽取各径级样品各 6 袋,用于失重和热值测定。

以上各种植株样品(包括细根、凋落物季节动态)经烘干、磨碎,一部分用于测定含水量,另一部分则用于灰化法测定灰分含量,用 HWR-15 恒温式微机量热计测定其干重热值^[12],表中各热值的平均值均为加权平均值。

3 结果与分析

3.1 群落各组分的灰分及热值

观光木地上部分各器官的灰分含量以皮最高,叶居其次,而杉木(包括混交林和纯林的)地上部分各器

官的灰分含量则以叶最高,皮居其次,观光木和杉木干的灰分含量最低(表1),这表明灰分含量的高低与各器官的生理活动性大小有关^[12];杉木枯枝的灰分含量低于活枝,但观光木枯枝的灰分含量却高于活枝(表1),表明杉木枝条在衰老死亡过程中出现了部分灰分元素的转移,而观光木枝条衰老过程中灰分却相对积累。从表1可见,观光木、杉木地上部分各组分的干重热值(Gross caloric value (GCV))和去灰分热值(Ash-free caloric value (AFCV))均以叶为最高,但前者以皮为最低,而后者则以干为最低。从地上部分的各器官平均值看,观光木的灰分含量高于杉木,但其GCV和AFCV低于杉木。

分析结果表明(表1),地下各组分的灰分含量从根桩起随着根直径的减小而增加,表明根系灰分含量大小与根系的吸收能力高低及木质化程度大小有关,吸收能力越强,木质化程度越低,则灰分含量越高。观光木与杉木地下各组分的GCV均以粗根最高,而以细根最低,但AFCV的顺序则与GCV差异较大,观光木的AFCV以细根最高,杉木则以中根或小根最高,两者均以根桩最低。可见,由于灰分含量的影响,GCV与AFCV差异很大,因而在进行比较时,都应换算为AFCV,以消除灰分含量的影响。从总的来看,根系的AFCV有随根直径减小而增大的趋势,这与其他研究者的结论较一致^[12~13]。从平均值看(表1),观光木地下部分的灰分含量高于杉木,但GCV和AFCV均低于杉木;从地上部分和地下部分的平均值相比较看,地下部分的灰分含量、GCV和AFCV均高于地上部分;从树种平均值看,观光木的灰分含量高于杉木,但GCV和AFCV均比杉木低,表明生成单位重量的生物量的能量耗费观光木比杉木少。

灌木层的灰分含量高低均为叶>根>枝,但其GCV却表现为叶>枝>根;草本层的灰分含量和AFCV均为茎叶高于根系(表1)。从平均值看,混交林灌木层和草本层的灰分含量均高于纯林,但其GCV和AFCV均低于纯林,这可能与混交林林分郁闭度比纯林的大,林内光照强度弱,林下植被中热值含量均较低等有关。从乔木层、灌木层和草本层的各层次灰分平均含量依次增大(表1),与各层次的灰分富集能力增加有关;而GCV和AFCV则依次降低,这与乔木层光照充足,其形成单位生物量所消耗的能量较多,而草本层所受光照不足,尽量降低生产单位生物量的能量耗费有关。表明群落中各层次由于长期适应结果在能量固定策略上存在明显的差异,这种结果与落叶松人工林和甜槠林群落相似^[11,12]。凋落物层的灰分含量和AFCV

均比群落各层次高,这可能与凋落物在分解过程灰分的积累及易分解物质的分解(通常热值含量较低)而难分解物质(粗蛋白、粗纤维等,通常热值含量较高)的相对积累有关^[12]。从群落灰分平均含量来看,与纯林群落相比,混交林群落灰分元素的含量较高,而热值较低,这对提高群落的防火能力有较大意义。

3.2 群落能量现存量

群落的能量现存量是指特定时间内群落中各部分所蓄有的总能量,它等于各部分干物质生产量与其热值的乘积之和^[12]。混交林群落的总能量现存量达515.171 MJ m⁻²,是纯林群落的1.26倍,表明混交林群落能量积累量比纯林的大(表2)。在群落的能量现存量组成中,混交林中乔木层、灌木层、草本层分别占98.76%,0.76%和0.48%;而纯林的则分别占群落总能量现存量的97.63%,1.16%和1.21%,表明乔木层的能量现存量占群落的绝大部分,而灌木层和草本层则仅占很小的一部分,这与武夷山中亚热带甜槠群落、黑石顶亚热带常绿林的能量现存量分配相似^[12,16]。说明乔木层的生物量积累最大,而且反映出乔木层是生态系统的最重要功能层次。

乔木层的观光木地上部分的能量现存量是地下部分的4.50倍,而杉木的地上部分则是地下部分的5.20倍(表2),说明杉木地上/地下部分能量现存量比值比观光木的大,杉木需投入更多的能量到地上部分以取得在竞争光照中的优势。从叶的能量现存量所占比例看,观光木和杉木叶的能量现存量分别占各自树种总能量现存量的2.52%和2.87%,说明与杉木相比,观光木投入到光合组织的能量比例较小;而观光木细根能量现存量占树种总能量现存量的比例为1.48%,混交林中杉木为1.85%,纯林杉木为1.83%,可见杉木投入较大比例的能量用于构建其吸收水分和养分的组分,这表明在该立地条件下,杉木竞争能力比观光木的强。

纯林的灌木层和草本层的能量现存量均高于混交林,这与其林下光照条件比混交林较好有关(表2)。灌木层叶能量现存量占该层总能量现存量的比例,混交林和纯林分别为23.52%和15.38%;草本层叶能量现存量占该层总能量现存量的比例,混交林和纯林分别为43.99%和46.34%(表2),远大于乔木层中叶能量现存量所占比例(混交林和纯林分别为2.8%和2.2%)。这与林内光照不足,林下植被需节省用于产生结构组织的能量而投入更大比例的能量用以形成光合组织(叶)有关。

表 1 混交林和纯林群落各器官灰分含量与热值

Table 1 The ash content and caloric value of each fraction in mixed forest and pure forest

层次 Layer	组分 Fraction	混交林 Mixed forest						纯林 Pure forest		
		<i>T. odorum</i>			<i>C. lanceolata</i>			<i>C. lanceolata</i>		
		灰分 Ash content (w / %)	GCV (μ / kJ g^{-1})	AFCV (μ / kJ g^{-1})	灰分 Ash content (w / %)	GCV (μ / kJ g^{-1})	AFCV (μ / kJ g^{-1})	灰分 Ash content (w / %)	GCV (μ / kJ g^{-1})	AFCV (μ / kJ g^{-1})
乔木层 Tree layer	叶 Leaf	8.494	20.26	22.14	5.629	21.79	23.09	5.103	21.47	22.62
	活枝 Living branch	2.328	19.81	20.28	2.102	20.45	20.89	1.971	20.54	20.95
	枯枝 Dead branch	2.774	19.73	20.29	1.286	20.58	20.85	1.169	20.82	21.07
	干 Stem wood	0.78	19.94	20.10	0.526	20.27	20.38	0.329	20.29	20.36
	皮 Stem bark	12.92	17.14	19.68	2.992	20.68	21.32	2.355	20.31	20.8
	地上平均 Average of aboveground fractions	2.408	19.66	20.145	1.066	20.381	20.601	0.824	20.346	20.515
	根桩 Stumps	2.209	19.59	20.03	0.673	20.61	20.75	0.994	20.48	20.63
	粗根 Coarse root	3.700	19.70	20.46	1.135	20.66	20.90	1.232	20.83	21.09
	大根 Big root	4.783	19.51	20.49	2.695	20.51	21.08	2.446	20.13	20.69
	中根 Middle root	7.513	19.04	20.59	3.058	20.56	21.21	2.867	20.64	21.25
	小根 Small root	9.035	19.06	20.95	4.380	20.25	21.18	4.168	20.42	21.31
	细根 Fine root	12.515	18.93	21.63	7.114	19.64	21.15	7.252	19.66	21.19
	地下平均 Average of belowground fractions	3.962	19.529	20.335	1.820	20.496	20.876	2.013	20.469	20.890
	树种平均 Average of a species	2.692	19.636	20.179	1.187	20.400	20.645	1.019	20.366	20.576
	树种平均 Average of tree layer			1.505	20.238	20.547		1.019	20.366	20.576
灌木层 Shrub layer	叶 Leaf			12.771	17.92	20.54		6.283	19.88	21.21
	枝 Branch			2.616	19.31	19.83		1.84	20.04	20.42
	平均 Average			7.795	18.877	20.473		2.904	19.916	20.512
草本层 Herb layer	茎叶 Leaf and culm			15.58	16.79	19.89		11.14	18.03	20.29
	根 Root			10.563	17.54	19.61		9.25	17.996	19.83
	平均 Average			12.823	17.204	19.735		10.125	18.011	20.040
群落 Community	平均 Average			1.803	20.200	20.571		1.231	20.341	20.595

表2 混交林和纯林群落能量现存量
Table 2 The standing crop of energy of mixed forest and pure forest (Q_A / MJ m⁻²)

层次 Layer	组分 Fraction	混交林 Mixed forest			纯林 Pure forest
		<i>T. odorum</i>	<i>C. lanceolata</i>	小计 Subtotal	<i>C. lanceolata</i>
乔木层 Tree layer	叶 Leaf	2.626	11.625	14.251	8.760
	活枝 Living branch	11.660	20.162	31.822	20.517
	枯枝 Dead branch	0.728	8.923	9.651	5.686
	干 Stem wood	63.126	261.815	324.941	254.775
	皮 Stem bark	7.170	36.777	43.947	42.696
	地上部分小计 Subtotal of aboveground fractions	85.31	339.302	424.612	65.698
	根桩 Stump	9.858	34.103	43.961	32.305
	粗根 Coarse root	5.061	16.569	21.63	18.395
	大根 Big root	1.551	3.505	5.056	3.058
	中根 Middle root	0.777	2.856	3.633	2.788
	小根 Small root	0.166	0.701	0.867	1.858
	细根 Fine root	1.538	7.487	9.025	7.294
	地下部分小计 Subtotal of belowground fractions	18.951	65.221	84.172	65.698
	乔木层小计 Subtotal of tree layer	104.261	404.523	508.784	398.132
灌木层 Shrub layer	叶 Leaf	0.925	0.925	0.925	0.726
	枝 Branch	1.914	1.914	1.914	2.002
	根 Root	1.093	1.093	1.093	1.992
	小计 Subtotal	3.932	3.932	3.932	4.72
草本层 Herb layer	茎叶 Leaf and culm	1.080	1.080	1.080	2.295
	根 Root	1.375	1.375	1.375	2.658
	小计 Subtotal	2.455	2.455	2.455	4.953
群落 Community	合计 Total	515.171	515.171	515.171	407.805

3.3 群落能量归还量

森林群落的能量归还主要是通过乔木层和林下植被的凋落物和枯死细根进行,是由凋落物和枯死细根年干物质归还量与相应的干重热值的乘积之和计算而得.这部分能量对推动土壤中的生态过程有着重要的意义.然而目前有关群落能量研究中的能量归还量均只包括乔木层凋落物的能量归还量,而忽略了乔木层细根以及林下植被(包括凋落物和枯死根)的能量归还量^[8-9,11-16].本研究表明,混交林群落的能量年归还量达 16.249 MJ m⁻² a⁻¹,是纯林的 1.02 倍,其中混交林乔木层和林下植被的能量年归还量分别占 90.50%和9.50%,而纯林的则分别为 86.42%和 13.58%(表 3),说明乔木层的年能量归还量占绝对优势,但林下植被的亦占有较大的比重.混交林中乔木层的凋落物和细根的能量归还量分别占群落总能量归还量的 69.19%和 21.31%,细根的能量归还量是凋落物的 30.80%;纯林中乔木层的则分别占 68.03%和 18.39%,细根能量归还量是凋落物的 27.03%,说明

凋落物是乔木层能量归还量的主体,但细根的能量归还量亦占有相当大的比重.

本研究中混交林和纯林乔木层凋落物能量归还量分别达 11.243 和 10.837 MJ m⁻² a⁻¹,高于同一气候带武夷山的甜槠(7.680 MJ m⁻² a⁻¹)^[12]、黄山松(6.760 MJ m⁻² a⁻¹)^[13]、毛竹群落(4.600 MJ m⁻² a⁻¹)^[14],但低于海莲(24.451 MJ m⁻² a⁻¹)、秋茄(18.368 MJ m⁻² a⁻¹)两种红树林群落^[9].

3.4 群落的能量净固定量

群落的年能量净固定量是指群落的能量年净增量与能量年归还量之和^[12].混交林群落能量的年净增量是纯林的 1.15 倍,表明在本研究条件下混交林积累能量的能力比纯林的大.在群落年能量净增量组成中,混交林乔木层、灌木层、草本层分别占 89.12%、4.41%和 6.47%;而纯林乔木层、灌木层和草本层则分别占 79.74%、5.24%和 15.02%,与混交林的相比,草本层所占能量净增量的比例有明显提高.

表 3 混交林和纯林群落能量年净固定量 (ANEP)
Table 3 The annual net energy production (ANEP) of mixed forest and pure forest

群落 Community	层次 Layer	年净增量 Annual net increment of energy ($Q_{At}/MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$)	年归还量 Annual energy return ($Q_{Ar}/MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$)			ANEP ($Q_{At}/MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$)	能量累积比 Ratio of energy accumulation	能量流动 速率 Rate of energy flow (%)	太阳能转 化率 Energy converting efficiency (%)
			凋落物 Litterfall	细根 Fine root	小计 Subtotal				
混交林 Mixed forst	乔木层 Tree layer								
	<i>C. lanceolata</i>	11.638 (61.23)	9.070 (55.82)	2.818 (17.34)	11.888 (73.16)	23.526 (66.73)	17.19	5.82	
	<i>T. odorum</i>	5.302 (27.89)	2.173 (13.37)	0.644 (3.67)	2.817 (17.34)	8.119 (23.03)	12.84	7.79	
	小计 Subtotal	16.94 (89.12)	11.243 (69.19)	3.462 (21.31)	14.705 (90.50)	31.645 (89.76)	16.08	6.22	
	林下植被层 Undergrowth	2.068 (10.88)	1.004 (6.18)	0.540 (3.32)	1.544 (9.50)	3.612 (10.24)	1.77	56.50	
	总计 Total	19.008 (100)	12.247 (75.37)	4.002 (24.63)	16.249 (100)	35.257 (100)	14.61	6.84	1.57
纯林 Pure forest	乔木层 Tree layer	13.156 (79.74)	10.837 (68.03)	2.929 (18.39)	13.766 (86.42)	26.922 (83.02)	14.79	6.76	
	林下植被层 Undergrowth	3.343 (20.26)	1.513 (9.49)	0.651 (4.09)	2.164 (13.58)	5.507 (16.98)	1.76	56.82	
	总计 Total	16.499 (100)	12.35 (77.53)	3.58 (22.47)	15.93 (100)	32.429 (100)	12.58	7.95	1.44

注 Note: 括号中数字为百分率 The figures in the brackets are percentages.

混交林群落的年能量净固定量是纯林的 1.09 倍,可见混交林有利于提高群落的总能量净固定量.混交林的杉木、观光木及林下植被层的年能量净固定量分别占总净固定量的 66.73%, 23.03% 和 10.24%,纯林的乔木层和林下植被层的年能量净固定量分别占 83.02% 和 16.98%,可见林下植被层通过“光反应腔”效应^[11],充分利用群落内的透射辐射能量,提高群落的光能利用率,在群落的年能量净固定量中占有一定的比重.

由表 4 可见,本研究中的混交林、纯林群落年能量净固定量仅低于热带海莲、秋茄红树林群落^[8]和中亚热带毛竹群落^[14],以及热带雨林(混交林除外)^[19],说明中亚热带杉木观光木混交林和杉木纯林具有较高的能量固定能力,是具有较高生产力的森林生态系统.

一般用群落年净固定能量 (ANEP) 占当年太阳光有效辐射能 (PhAR) 的比率来推算群落太阳能转化效率 (ECE),即 $ECE\% = ANEP\% / PhAR \times 100\%$ ^[12].据测定,该地的当年太阳辐射量 (SRE) 为 $4\ 789.8\ MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$,则太阳的光合有效辐射 ($PhAR = SRE \times 0.47$) 为 $2\ 251.2\ MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$ ^[12].经计算,27 至 28 a 间混交林群落的太阳能转化率为 1.57%,而纯林的为 1.44%,可见构建合理的群落结构可以有效地提高太阳能的利用效率.混交林和纯林的太阳能转化率的值均低于红树林群落 (2.01% ~ 3.01%)^[8],落叶松人工林 (2.30%)^[11]和热带人工林 (2.35% ~ 5.07%)^[20],

但高于中亚热带的甜槠林 (1.30%)^[12],松林 (1.0% ~ 1.3%)^[21]及栎林 (0.73%)^[22].说明中亚热带杉木纯林和杉木混交林群落具有较高的能量转化率.

表 4 不同植物群落能量净固定量比较

Table 4 Comparison of net energy production of different plant communities ($Q_{At}/MJ\ m^{-2}\ a^{-1}$)

群落类型 Community type	ANEP	[Ref]
海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>	65.927	[8]
毛竹 <i>Phyllostachys heterocycla</i>	55.911	[14]
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	43.706	[8]
杉木观光混交林 Mixed forest of Chinese fir and <i>T. odorum</i>	35.257	本文 This paper
热带雨林 Tropical rain forest	34.276	[19]
杉木纯林 Pure forest of Chinese fir	32.429	本文 This paper
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	26.856	[12]
落叶松人工林 Larch plantation	26.435	[11]
雨绿林 Rain-green forest	26.334	[19]
夏绿林 Summer-green forest	19.228	[19]
疏林地 Woodland	11.704	[19]
荒漠灌丛 Desert shrub	1.254	[19]

为了比较不同植物乃至群落的能量累积效率和周转速率的差异,作者提出能量累积比和能量流动速率的概念,能量累积比即群落或植物的能量现存量与年能量净固定量的比值,其值越大反映群落或植物能量累积的效率越高;能量流动速率是能量累积比的倒数,其值越大,反映群落或植物的能量流动速率越快.从表 3 可见,混交林中杉木的能量累积比比纯林杉木的大,说明杉木混交对提高其中杉木的能量积累有利,同时,混交林中杉木的能量累积比也比观光木的

高,说明针叶树的能量累积效率比阔叶树高,这可能是世界范围内,针叶树更多为人们选为人工林树种原因之一.林下植被的能量累积比则最低,而能量流动速率却比乔木层快得多(表3),说明林下植被层起着“能量泵”的作用,为土壤亚生态系统持续地提供能量输入,这在一定意义上对维持和提高地力较为有利.由此可见,增加能量积累和维持较高的能量流动速率是对立统一的.从能量的角度而言,建立一个合理的群落结构必须满足以下条件:(1)选择不同的能量利用策略的树种.在林冠上层必须选择生长速度快,能量累积比高的树种,而混交树种则应选择能量利用率高的、干重热值较低的树种,以提高群落的总能量积累量.(2)建立多层次的群落结构.必须适当降低群落乔木层的盖度,促进林下植被层的发育,提高群落的能量流动速率,以维持和提高林地地力.

参考文献

- Yu XT(俞新妥). *Silviculture of Chinese fir*. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1996
- Sheng WT(盛炜彤). *Research on soil degradation in Chinese fir plantations*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992
- Yang YS(杨玉盛), He ZM(何宗明), Yu XT(俞新妥). Changes of soil biological activities after the replacement of broadleaved forest by Chinese fir forest. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报). 1997, 3(4): 313 ~ 318
- Yang YS(杨玉盛), Yu XT(俞新妥), Qiu RH(邱仁辉), Fu RS(傅瑞树), Chen GS(陈光水). Variation of rhizospheric soil fertility under different Chinese fir rotations. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报). 1999, 5(3): 254 ~ 258
- Yu XT(俞新妥). *Principle and technology on planting mixed forests*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1989
- Feng ZW(冯宗炜), Chen CY(陈楚莹), Zhang JW(张家武), Zeng SY(曾士余), Luo RS(罗人深), Chen WZ(陈文钊). A coniferous broad-leaved mixed forest with higher productivity and ecological harmony in subtropics—study on mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei*. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报). 1988, 12(3): 165 ~ 180
- Jordan DF. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *J Ecol*. 1971, 59: 425 ~ 433
- Lin GH(林光辉), Lin P(林鹏). Studies on energy in two mangrove communities, *Bruguiera sexangula* and *Kandelia candel*, in China. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报). 1988, 12(1): 31 ~ 39
- Lin P(林鹏), Lin GH(林光辉). Studies on energy flow through litterfall of tow mangrove communities, *Bruguiera sexangula* and *Kandelia candel*, in China. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报). 1990, 12(4): 523 ~ 528
- Lin P(林鹏), Lin GH(林光辉). Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报). 1991, 15(2): 114 ~ 120
- Liu SR(刘世荣), Wang WZ(王文章), Wang MQ(王明启). Energy characteristics of larch plantation during formation of net primary production. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报). 1992, 16(3): 209 ~ 219
- Lin YM(林益明), Lin P(林鹏), Li Z(李振基), Yang ZW(杨志伟), Liu CD(刘初钊), He JY(何建源). Study on energy of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains. *Acta Bot Sin* (植物学报). 1996, 38(12): 989 ~ 994
- Lin P(林鹏), Lin YM(林益明), Chen XS(陈显顺), Li Z(李振基), Yang ZW(杨志伟). Study on energy of *Pinus Taiwanensis* community in Wuyishan Mountain. In: Lin P(林鹏) ed. *Wuyishan research series, forest ecosystems (I)*. Xiamen: Xiamen University Press, 1998. 117 ~ 122
- Li Z(李振基), Liu CD(刘初钊), Lin P(林鹏), He JY(何建源), Lin YM(林益明), Yang Z(杨子江), Hu HY(胡宏友). Study on the energy producing efficiency of Moso bamboo community in Wuyishan Mountains. In: Lin P(林鹏) ed. *Wuyishan research series, forest ecosystems (I)*. Xiamen: Xiamen University Press, 1998. 158 ~ 164
- He DJ(何东进), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承桢). Study on energy estimation models for various parts of *Phyllostachys heterocycla* cv *pubescens* forest. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报). 2000, 6(5): 412 ~ 418
- Hou Y(侯庸), Wang BS(王伯荪), Zhang HD(张宏达), Li MG(李鸣光). Study on the standing crop of energy in south subtropical evergreen broad-leaved forest in Heishiding Nature Reserve, Guangdong. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni* (中山大学学报). 1997, 36(1): 74 ~ 78
- Feng ZW(冯宗炜), Wang XK(王效科), Wu G(吴刚). *Biomass and productivity in forest ecosystem of China*. Beijing: Science Press, 1999
- McLaugherty CA, Aber JD. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*. 1982, 63: 1481 ~ 1490
- Lieth H, Whittaker RH. *Primary productivity of the biosphere*. New York: Springer-Verlag, 1985. 190 ~ 201
- Deng RW(邓瑞文), Chen TX(陈天杏), Feng YM(冯咏梅). The studies on the utilization ratio of sun light energy in the tropical artificial forests. *Acta Ecol Sin* (生态学报). 1985, 5(3): 231 ~ 240
- Ovington JD. The accumulation of energy in forest plantation in Berlin. *J Ecol*. 1960, 48: 639 ~ 646
- Rerners WA. Structure and energetic of three *Minnesota* forests. *Ecol Monogr*. 1971, 42: 71 ~ 94