

南亚热带不同树种人工林生物量及其分配格局

郑路^{1,2*}, 蔡道雄^{1,2}, 卢立华^{1,2}, 明安刚^{1,2}, 于浩龙^{1,2}, 李忠国¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 2. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西 凭祥 532600)

摘要:通过收获法和建立的单木相对生长方程研究了南亚热带5种树种人工林乔、灌、草不同组分的生物量及其分配。结果表明:在立地条件相似,林龄和经营管理措施相同的情况下,不同树种人工林生物量有较大差异,表现为米老排林($404.95 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 火力楠林($376.61 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 马尾松林($239.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 红椎林($231.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 铁力木林($181.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。林分生物量空间分布格局以乔木层为主,占总生物量的87.71%~97.86%;其次为地表凋落物层,占1.96%~10.90%;灌木层和草本层最低,仅占0.02%~1.09%。林分乔木层各器官的生物量分配格局总体呈树干生物量所占比例最大,根或枝所占比例次之,再其次是干皮,叶生物量最低。林下灌木层、草本层和地表凋落物层生物量在不同林分间的差异均较大,其中,灌木层生物量以红椎林和马尾松林较高,火力楠林和米老排林较低,铁力木林最低;草本层和地表凋落物层表现出相似的规律,即马尾松林最高,红椎林其次,米老排林、火力楠林和铁力木林较低。

关键词:南亚热带;人工林;生物量;空间分布

中图分类号:S718.55

文献标识码:A

Biomass Allocation of Different Species Plantations in Subtropical Area of China

ZHENG Lu^{1,2}, CAI Dao-xiong^{1,2}, LU Li-hua^{1,2}, MING An-gang^{1,2}, YU Hao-long^{1,2}, LI Zhong-guo¹

(1. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China;

2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: The allocation patterns of biomass in five plantations were studied by harvesting method and established allometric equations in subtropical area of south China. The results showed that the biomass of different species plantations were quite different in the same circumstances such as similar site conditions, age and management measures, showing that *Mytilaria laosensis* stand ($404.95 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > *Michelia macclurei* stand ($376.61 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > *Pinus massoniana* stand ($239.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > *Castanopsis hystrix* stand ($231.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > *Mesua ferrea* stand ($181.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$). The biomass spatial pattern dominated by tree layer, which accounted for 87.71% - 97.86%, followed by the litter layer, accounting for 1.96% - 10.90%, shrub and herb layers were the minimum, accounting for only 0.02% - 1.09%. The organ biomass pattern of tree layer showed that proportion of stem biomass was the largest, followed by the root's or branch's, and then followed by the bark's, the lowest was the leaf's overall. The biomasses of shrub layer, herb layer, and floor litter among different stands were quite different. *C. hystrix* stand and *P. massoniana* stand had higher biomass of shrub layer, *Mytilaria laosensis* stand and *Michelia macclurei* stand were lower, *Mesua ferrea* stand was the lowest. The biomasses of herb layer and floor litter showed a similar law, that of *P. massoniana* stand was the highest, *C. hystrix* secondly, *Mytilaria laosensis* stand, *Michelia*

收稿日期:2013-09-04

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104006)

作者简介:郑路(1968—),男,博士,主要从事森林生态方面的研究。E-mail: zhengluli@163.com

* 通讯作者。E-mail: zhengluli@163.com

macclurei stand and *Mesua ferrea* stand were lower.

Key words: south subtropical area; plantation; biomass; spatial distribution.

森林生物量是量度森林结构和功能变化的重要指标^[1-3],并为生态系统的碳汇和碳素循环研究提供关键数据,在碳循环、全球气候变化研究中起重要作用^[4-6]。我国森林生物量的测定开始于20世纪70年代末80年代初^[7-8],之后,各地对我国主要森林类型的生物量都有测定^[9-11],这些研究大大推进了我国森林生物量及相关的生态系统生态学 and 全球变化研究的开展^[12-13]。我国是世界上人工林保存面积最大的国家,南方人工林已成为该区域森林的重要组成部分,有的地方甚至成为森林的主体^[14-15],重视对人工林生态系统生物量 and 生产力的研究意义重大。

位于广西凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心的人工林群落,在南亚热带区域人工林中具有广泛的代表性。近年来,有学者对该地区的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、米老排(*Mytilaria laosensis* Lecomte)等人工林生物量开展了研究^[16-17],也有学者对纯林和混交林生物量及生产力进行了研究^[18],但缺少多树种人工林生物量的比较研究,对于不同树种人工林生物量有何差异尚不清楚。笔者在中国林业科学研究院热带林业实验中心选取相近立地条件下同一年栽种,并且经营管理措施相同的5个树种人工林开展生物量及其分配格局的比较研究,以揭示我国南亚热带人工林物质生产规律,为进一步研究南亚热带人工林能量转化、物质循环及准确评估南亚热带人工林碳汇潜力提供基本数据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于中国林业科学研究院热带林业实验中心夏石那造大山(21°57'47"N,106°59'30"E),海拔350 m,年均气温21.5℃,≥10℃积温7 500℃,年降水量1 220~1 380 mm,年蒸发量1 370~1 390 mm,干湿季节明显,雨季(4-9月)降水占年总降水量的85%左右,旱季(10月至翌年3月)降水仅占年降水量的15%左右,土壤为花岗岩母质发育的赤红壤。于1984年2月,在同一坡面营造了米老排林、火力楠(*Michelia macclurei* Dandy)林、红椎(*Castanopsis hystrix* Miq.)林,在对坡营造铁力木(*Mesua fer-*

rea L.)林,在山脊营造马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林。定植时米老排、马尾松的苗龄为1 a,其它为2 a,造林株行距为1.67 m×1.67 m。栽植前3年人工铲草抚育,郁闭成林后自然生长。米老排和铁力木林下植物稀少且分布不均,灌木主要有大沙叶(*Pavetta hongkongensis* Brem.)、海金沙(*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.)、三桠苦(*Evodia lepta* (Spreng.) Merr.)和琴叶榕(*Ficus pandurata* Hance)等,草本主要有扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum* L. Sp.)、鞭叶铁线蕨(*Adiantum caudatum* Linn.)等;红椎林的林下天然更新红椎幼苗较多,平均株高1.2 m,灌木主要有三桠苦等,草本主要有扇叶铁线蕨和半边旗(*Pteris semipinnata* L. Sp.)等;火力楠林的林下灌木主要有酸藤子(*Embelia laeta* (Linn.) Mez)和九节(*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.)等,草本主要有鞭叶铁线蕨、山姜(*Alpinia japonica* (Thunb.) Miq.)和粽叶芦(*Thysanolaena maxima* (Roxb.) Kuntze)等;马尾松林因较稀疏,故林下植被较多,灌木主要有大沙叶、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.)等,草本主要有铁芒萁(*Dicranopteris linearis* (Burm.) Underw.)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.)和弓果黍(*Cyrtococcum patens* (Linn.) A. Camus)等。林分概况见表1。

表1 林分基本情况

森林类型	坡向	坡度/ (°)	平均树高/ m	平均胸径/ cm	林分密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度
米老排林	东南	35	18.7±4.12	20.2±5.44	1 492	0.9
红椎林	东	30	19.1±3.85	25.4±7.51	525	0.8
火力楠林	东	30	19.4±6.08	18.1±6.56	1 167	0.8
铁力木林	西	30	14.0±1.24	16.4±2.70	842	0.9
马尾松林	北	15	16.6±2.45	19.1±4.27	1 142	0.7

1.2 研究方法

样地设置及取样:2011年10月,选择米老排、红椎、火力楠、铁力木和马尾松5种人工纯林,每树种按上、中、下3个坡位设20 m×20 m乔木调查样方3块,以胸径5 cm为起测径级,每木检尺测树高和胸径(树高用瑞典生产的Vertex IV树木超声波测高、测距仪测量)。在每个乔木样方对角位置设2个5 m×5 m灌木样方,按叶、枝、根分器官收获样方内所有灌木,实验室称鲜质量,65℃烘干计算灌木层

生物量。在每个乔木样方沿对角线等距离设3个1 m × 1 m 草本样方,分地上、地下部分收获样方内所有草本,实验室称鲜质量,65 °C 烘干计算草本层生物量。在草本样方内按未分解、半分解和完全分解3层分别收获地表凋落物样,实验室称鲜质量,65 °C 烘干计算凋落物现存量。

乔木生物量计算方法:结合样地调查和建立的单木相对生长方程来计算不同树种的生物量,其中,米老排、红椎、火力楠和马尾松单木相对生长方程采用已发表的文献资料和硕博士学位论文^[17-21]。根据铁力木林乔木样方每木检尺结果,选取径阶标准木10株,伐倒后用分层切割法将样树分成干、干皮、枝、叶和根5个组分,收获法测定铁力木各组分生物量,以此建立铁力木单木相对生长方程:

$$\begin{aligned} W_s &= 0.0465 (D^2H) 0.9192 \quad R^2 = 0.9792 \\ W_{ba} &= 0.0322 (D^2H) 0.6949 \quad R^2 = 0.9144 \\ W_{br} &= 0.0042 D 3.4565 \quad R^2 = 0.9780 \\ W_l &= 0.0013 D 3.2245 \quad R^2 = 0.9378 \\ W_r &= 0.0344 D 2.4009 \quad R^2 = 0.9485 \end{aligned}$$

表2 不同树种人工林乔木层生物量

林分类型	树干	干皮	枝	叶	根	合计	根冠比
	(t · hm ⁻²)						
米老排	257.03(65.49%)	21.07(5.37%)	30.88(7.87%)	5.80(1.48%)	77.71(19.80%)	392.50(100%)	0.25
火力楠	185.30(49.50%)	23.85(6.37%)	45.91(12.66%)	17.97(5.26%)	95.50(26.21%)	368.54(100%)	0.35
红椎	126.17(59.93%)	13.34(6.37%)	36.57(16.42%)	7.45(3.29%)	28.48(13.98%)	212.00(100%)	0.16
铁力木	74.69(40.16%)	8.05(4.18%)	59.45(36.38%)	9.47(5.70%)	23.93(13.57%)	175.58(100%)	0.16
马尾松	101.67(58.74%)	22.61(12.80%)	14.34(8.75%)	4.30(2.65%)	28.85(17.06%)	171.77(100%)	0.20

2.2 林下植被生物量

表3表明:不同林分间林下灌木层生物量差异很大,其中,红椎林和马尾松林的较高,均在1 t · hm⁻²以上,火力楠林和米老排林的较低,铁力木林的最低,不到0.1 t · hm⁻²,最高的红椎林灌木层生物量是铁力木林的32倍。灌木层不同器官生物量分配格局,除马尾松林外,均以根所占比例最大(43.22% ~ 65.41%),其次为枝(27.79% ~ 41.90%),叶所占比例最低(5.35% ~ 14.88%);马尾松林灌木层不同器官生物量空间分配为枝(44.28%) > 根(38.42%) > 叶(17.30%)。灌木层地下、地上生物量之比马尾松林最低,铁力木林最高。

表3还表明:不同林分间林下草本层生物量同样表现出巨大差异,马尾松林最高,超过2 t · hm⁻²,红椎林和火力楠林较低,米老排林和铁力木林最低,均不到0.1 t · hm⁻²,最高的马尾松林草本层生物量是铁力木林的25倍。除马尾松林外,草本层地下生

式中:Ws、Wba、Wbr、Wl和Wr分别为树干、干皮、枝、叶和根的生物量。

2 结果与分析

2.1 乔木层生物量

由表2可看出:在相似的立地条件下,林龄不同的不同树种人工林乔木层生物量差异很大,米老排林和火力楠林的较高,红椎林的次之,铁力木林和马尾松林的较低,其中,米老排林比红椎林、铁力木林和马尾松林的分别高85.14%、123.54%和128.50%。林分乔木层各器官的生物量分配格局总体呈现出树干生物量所占比例最大(40.16% ~ 65.49%),根或枝所占比例次之(7.87% ~ 36.38%),再其次是干皮(4.18% ~ 12.80%),叶生物量最低(1.48% ~ 5.70%);但具体到某一树种又略有差异,如多数树种根生物量高于枝,但红椎和铁力木的枝生物量高于根;马尾松的干皮生物量较大,高于枝;铁力木的叶生物量高于干皮,体现出共性中又有个性。地下与地上生物量的比值为0.16 ~ 0.35。

物量均高于地上生物量。草本层生物量根冠比与灌木层表现出同样的规律,马尾松林最低,铁力木林最高。

2.3 地表凋落物现存量

图1表明:地表凋落物现存量马尾松林的最高,达26.16 t · hm⁻²,其次为红椎林和米老排林,分别为16.06、12.15 t · hm⁻²,火力楠林和铁力木林最低,分别为7.40、5.32 t · hm⁻²。马尾松林和红椎林以完全分解凋落物所占比例最大(分别为56.85%和42.20%),其次为未分解凋落物(分别为27.12%和33.42%),半分解凋落物所占比例最低(分别为16.03%和24.39%)。米老排林为半分解凋落物现存量(39.92%) > 完全分解(35.21%) > 未分解(24.87%)。火力楠林和铁力木林因凋落物分解较快,完全分解层已与土壤融为一体,故只有未分解和半分解凋落物,其中,火力楠林未分解凋落物现存量大于半分解,而铁力木林的正相反。

表3 不同树种人工林灌木层和草本层生物量

林分类型	灌木层				合计	根冠比	草本层			根冠比
	枝	叶	根	(t · hm ⁻²)			地上	地下	(t · hm ⁻²)	
米老排	0.077(35.04%)	0.012(5.35%)	0.130(59.61%)	0.219(100%)	1.48	0.029(34.52%)	0.055(65.48%)	0.084(100%)	1.92	
火力楠	0.224(39.64%)	0.034(6.00%)	0.308(54.36%)	0.566(100%)	1.19	0.035(33.65%)	0.069(66.35%)	0.104(100%)	2.00	
红椎	1.056(41.90%)	0.375(14.88%)	1.090(43.22%)	2.521(100%)	0.76	0.169(39.49%)	0.259(60.51%)	0.428(100%)	1.53	
铁力木	0.022(27.79%)	0.005(6.80%)	0.052(65.41%)	0.080(100%)	1.89	0.022(27.50%)	0.059(72.50%)	0.080(100%)	2.73	
马尾松	0.579(44.28%)	0.226(17.30%)	0.502(38.42%)	1.307(100%)	0.62	1.091(53.82%)	0.936(46.18%)	2.027(100%)	0.86	

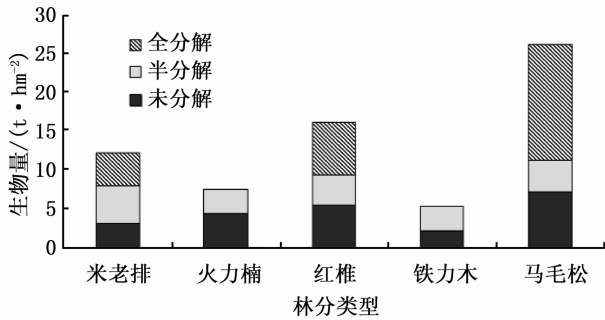


图1 不同树种人工林地凋落物现存量

2.4 林分生物量及其分配格局

林分生物量由乔木层、灌木层、草本层和地表凋落物层组成。从图2可看出,在立地条件相似,林龄和经营管理措施相同的情况下,不同树种人工林生物量有较大差异,表现为米老排林(404.95 t · hm⁻²) > 火力楠林(376.61 t · hm⁻²) > 马尾松林(239.94 t · hm⁻²) > 红椎林(231.01 t · hm⁻²) > 铁力木林(181.06 t · hm⁻²),最高的米老排林生物量比最低的铁力木林生物量高123.66%。5种人工林生物量的空间分布格局基本一致,以乔木层为主,占总生物量的87.71%~97.86%,其次为地表凋落物层,占1.96%~10.90%,灌木层和草本层最低,仅占0.02%~1.09%。

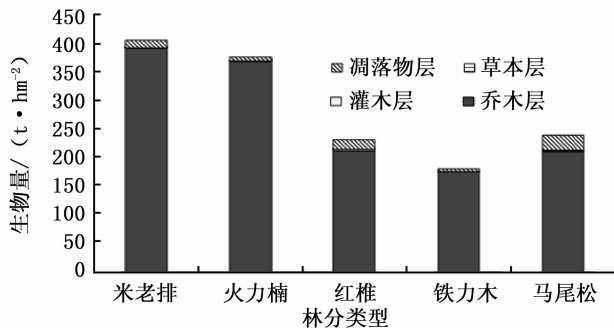


图2 不同树种人工林林分生物量

3 结论与讨论

已有研究表明:人工林生物量与其地理位置、气

候、林龄和立地条件等因素密切相关^[22-25]。本研究结果进一步表明,尽管林龄相同,立地条件相近,经营管理措施相同,但由于树种不同,仍使人工林生物量表现出极大差异,其中,最高的米老排林生物量是最低铁力木林的2.24倍。产生这种差异的主要原因是由于乔木层是林分生物量的主体,一般占总生物量的85%以上,林分生物量主要由乔木层主导,而不同乔木树种形态特征、生态习性和生长特性各异,使树木生长有快有慢,林分自疏有强有弱,如表1中红椎林的平均树高和平均胸径比铁力木林高36.43%和54.88%,米老排林的保留密度是铁力木林的1.77倍。因此,造成乔木层生物量差异较大,从而使林分生物量产生较大差异,且随着生长时间的延长,这种差异愈明显。

植物生物量分配受生物因子(物种、植株大小、年龄等)和环境因子(光照、水分和养分等)影响^[26-27]。植物生物量分配格局的差异是植物生理和生态因素共同作用的结果^[28]。本研究显示,乔木生物量分配格局主要由树种形态特征所决定,如米老排为常绿高大乔木,树干通直圆满,故主干生物量所占比例较大(65.49%);铁力木为常绿大乔木,树冠圆锥形,冠大荫浓,故枝和叶生物量所占比例相对其它树种高(36.38%和5.70%);根冠比为0.16~0.35,表明乔木生物量主要集中在地上部分。灌木和草本生物量分配主要受环境因子的影响,特别是林下光环境的影响。由表1、3可看出,灌木和草本的地下、地上生物量比值随着林下光照强度的减弱而增大,如马尾松林(郁闭度0.7)灌木层的根冠比为0.62,铁力木林(郁闭度0.9)灌木层的根冠比为1.89。由乔木、灌木到草本,地下、地上生物量比值快速增大,对于林下草本的生物量更多的分配在地下部分。

林分生物量分配格局比较发现,乔木层占林分生物量较大时,其林下灌木层和草本层的生物量则较小,即乔木层和林下其它层间在生物量上有一种

互补效应。这是因为乔木层生物量比例的提高,反映了该森林的郁闭度大,林下光照弱,不利于下木层植被的生长发育,即下木层生物量受乔木层控制。对于人工林,乔木层生物量所占比例常大于天然林^[29],林下灌木和草本生物量所占比例偏低,不利于人工林的健康稳定和可持续发展。如何合理进行人工林结构调控,使乔、灌、草生物量达到合适比例,是人工林经营需要进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] 冯宗炜,王效科,吴 刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京:科学出版社,1999
- [2] Anderson N, Jones J G, Page-Dumroese D, *et al.* A comparison of producer gas, biochar, and activated carbon from two distributed scale thermochemical conversion systems used to process forest biomass[J]. *Energies*, 2013, 6(1):164-183
- [3] Qiu S, Bell R W, Hobbs R J, *et al.* Estimating nutrient budgets for prescribed thinning in a regrowth eucalyptus forest in south-west Australia[J]. *Forestry*, 2012, 85(1):51-61
- [4] Aherne J, Posch M, Forsius M, *et al.* Impacts of forest biomass removal on soil nutrient status under climate change: a catchment-based modelling study for Finland[J]. *Biogeochemistry*, 2012, 107(1):471-488
- [5] Coomes D A, Holdaway R J, Kobe R K, *et al.* A general integrative framework for modelling woody biomass production and carbon sequestration rates in forests[J]. *Journal of Ecology*, 2012, 100(1):42-64
- [6] Zhang C, Ju W, Chen J M, *et al.* China's forest biomass carbon sink based on seven inventories from 1973 to 2008[J]. *Climatic Change*, 2013, 118(3-4):933-948
- [7] 陈炳浩,陈楚莹. 沙地红皮云杉森林群落生物量和生产力的初步研究[J]. *林业科学*, 1980, 16(4):269-278
- [8] 冯宗炜,陈楚莹,张家武,等. 湖南会同地区马尾松林生物量的测定[J]. *林业科学*, 1982, 18(2):127-134
- [9] 李意德,曾庆波,吴仲民,等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(4):293-300
- [10] 任 海,彭少麟,向言词. 鹤山马占相思人工林的生物量和净初级生产力[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(1):18-21
- [11] 王洪岩,王文杰,邱 岭,等. 兴安落叶松林生物量,地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异[J]. *生态学报*, 2012, 32(3):833-843
- [12] 赵 敏. 中国主要森林生态系统碳储量和碳收支评估[D]. 北京:中国科学院植物研究所,2004
- [13] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. *中国科学: D 辑*, 2007, 37(6):804-812
- [14] 刘 庆,尹华军,程新颖,等. 中国人工林生态系统的可持续更新问题与对策[J]. *世界林业研究*, 2010, 23(1):71-75
- [15] 马泽清,王辉民,王绍强,等. 雨雪冰冻灾害对中亚热带人工林的影响——以江西省千烟洲为例[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2):204-212
- [16] 康 冰,刘世荣,蔡道雄,等. 南亚热带杉木生态系统生物量和碳素积累及其空间分布特征[J]. *林业科学*, 2009, 45(8):147-153
- [17] 明安刚,贾宏炎,陶 怡,等. 桂西南28年生米老排人工林生物量及其分配特征[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(5):1050-1056
- [18] 覃 林,何友均,李智勇,等. 南亚热带红椎马尾松纯林及其混交林生物量和生产力分配格局[J]. *林业科学*, 2011, 47(12):17-21
- [19] 赵 凯. 福建柏火力楠人工纯林及其混交林碳储量的研究[D]. 福州:福建农林大学,2010
- [20] 齐之尧,马家禧,李顺明. 火力楠人工林生物量、生产力的研究[J]. *生态学杂志*, 1985, 4(2):17-30
- [21] 张治军. 广西造林再造林固碳成本效益研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2009
- [22] 唐罗忠,刘志龙,虞木奎,等. 两种立地条件下麻栎人工林地上部分养分的积累和分配[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(6):661-670
- [23] 程瑞梅,封晓辉,肖文发,等. 北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应[J]. *生态学报*, 2011, 31(8):2086-2095
- [24] 宋曰钦,翟明普,贾黎明. 不同树龄三倍体毛白杨生物量分布规律[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(1):1-3
- [25] 刘延惠,王彦辉,于澎涛,等. 六盘山主要植被类型的生物量及其分配[J]. *林业科学研究*, 2011, 24(4):443-452
- [26] Enquist B J, Niklas K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants[J]. *Science*, 2002, 295(5559):1517-1520
- [27] 马维玲,石培礼,李文华,等. 青藏高原高寒草甸植株性状和生物量分配的海拔梯度变异[J]. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(6):533-543
- [28] McCarthy M C, Enquist B J. Consistency between an allometric approach and optimal partitioning theory in global patterns of plant biomass allocation[J]. *Functional Ecology*, 2007, 21(4):713-720
- [29] 方江平. 西藏南伊沟林芝云杉林生物量与生产力研究[J]. *林业科学研究*, 2012, 25(5):582-589