

网络出版时间:2014-02-28 13:13

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.021

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.021.html>

不同海拔油松和华山松林乔木层生物量与蓄积量的动态变化

杨凤萍¹, 胡兆永¹, 张硕新^{1,2}

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站, 陕西 宁陕 711600)

【摘要】【目的】探索秦岭火地塘林区不同海拔油松和华山松林分生长变化趋势, 为森林经营措施的制定提供理论依据。【方法】通过树木年轮学的方法, 运用已有的生物量和材积回归方程, 反演出 1977—2011 年秦岭火地塘林区不同海拔油松和华山松林乔木层生物量、生产力和蓄积量的动态变化特征。【结果】35 年间不同海拔油松和华山松林乔木层生物量和蓄积量均增长迅速, 且油松的增速一直快于华山松; 油松林的生物量和蓄积量在海拔 1 550~1 650 m 最大, 生物量从 1977 年的 44.40 t/hm² 增长到 2011 年的 214.67 t/hm², 蓄积量从 54.98 m³/hm² 增长到 237.50 m³/hm²; 华山松林的生物量和蓄积量在海拔 1 850~2 000 m 最大, 生物量从 1977 年的 16.74 t/hm² 增长到 2011 年的 182.75 t/hm², 蓄积量从 25.20 m³/hm² 增长到 225.14 m³/hm²; 2 种森林类型的生产力均随林龄的增大波动上升, 在 2001 年左右达到最大值, 随后生产力呈现下降趋势, 同一树种不同海拔生产力波动趋势较一致。【结论】环境差异、人为干扰是造成不同海拔间林分生物量、蓄积量产生差异的主要因素; 生物学特性和林分环境的共同作用导致了不同森林类型生物量和蓄积量的差异; 不同海拔间生产力波动变化的一致性, 在一定程度上反映了树木生长对气候因子的响应。

【关键词】 秦岭火地塘林区; 油松; 华山松; 海拔; 生物量; 蓄积量; 生产力; 树木年轮

【中图分类号】 S718.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)03-0068-09

Dynamic changes in biomass and volume of the tree layer of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests at different altitudes

YANG Feng-ping¹, HU Zhao-yong¹, ZHANG Shuo-xin^{1,2}

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Qinling National Forest Ecosystem Research Station, Ningshan, Shaanxi 711600, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to explore the development patterns of forest stand at Huoditang forest region in the Qinling Mountains and to improve the establishment of forest management measures. 【Method】 Based on the dendrochronological method, dynamic changes in biomass, volume and productivity of the tree layer of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests at different altitudes from 1977 to 2011 were calculated using regression equations at Huoditang forest region in the Qinling Mountains. 【Result】 The amounts of biomass and volume of the tree layer in *P. tabulaeformis* and *P. armandi* forests at all altitudes increased dramatically in the past 35 years. And the increase in *P. tabulaeformis* was faster

〔收稿日期〕 2013-03-25

〔基金项目〕 国家林业局林业公益性行业科研专项(201004036)

〔作者简介〕 杨凤萍(1988—), 女, 四川乐山人, 在读硕士, 主要从事森林生态学研究。E-mail: pinglier88@126.com

〔通信作者〕 张硕新(1959—), 男, 陕西户县人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生理生态和森林生态研究。

E-mail: sxzhang@nwsuaf.edu.cn

than in *P. armandi*. At the altitudinal gradient from 1 550 m to 1 650 m, the amounts of biomass and volume in *P. tabulaeformis* forests remained the highest, increased from 44.40 t/hm² and 54.98 m³/hm² in 1977 to 214.67 t/hm² and 237.50 m³/hm² in 2011, respectively. The highest amounts of biomass and volume of *P. armandi* forests appeared at the height of 1 850 m to 2 000 m, increased from 16.74 t/hm² and 25.20 m³/hm² in 1977 to 182.75 t/hm² and 225.14 m³/hm² in 2011, respectively. The productivity of two forest types increased with stand age and both reached the highest levels around the year 2001. After that, a downward trend was observed. 【Conclusion】 Environmental differences among altitudes and human disturbances were the main factors leading to variations in stand biomass and volume. The differences in biomass and volume variations between the two forest types were due to biological characteristics of tree species and stand environment. Consistent dynamic changes were observed in the productivities of the same tree species along different altitudinal gradients may partly reflect the responses of forest growth to annual variations of climatic factors.

Key words: Huoditang forest region in the Qinling mountains; *Pinus tabulaeformis*; *Pinus armandi*; altitude; biomass; stand volume; productivity; tree ring

森林的生物量和生产量分别约占整个陆地生态系统的 90% 和 70%，其不仅在维护区域生态环境上起着重要作用，而且在全球碳平衡中贡献巨大，维持着约占全球植被碳库 86% 以上的碳库^[1-2]。海拔梯度是影响森林群落和生物多样性的一个重要因素之一，植被沿环境梯度的变化规律是植被生态学研究的一个重要议题。海拔梯度的变化会引起气候因子，尤其是温度因子的改变，从而影响植物的生长、发育以及生理代谢等^[3-4]，进而影响植被干物质和生物量的积累^[5-6]。刘禹等^[7]对兴安落叶松林蓄积量与海拔的关系进行了研究，发现林分蓄积呈现低、高海拔处低，中海拔处高的特点；贾开心等^[8]对西双版纳橡胶林的研究发现，地上生物量与海拔梯度呈负相关；Carolina 等^[9]对亚马逊河流域中部热带雨林的研究发现，地上生物量随海拔的升高而增大；刘贵峰等^[10]对新疆天山云杉林进行了调查，发现其蓄积量随海拔的增加总体上呈单峰型变化。传统的用于监测森林生物量和蓄积量动态变化的方法主要有固定样地法、遥感估算法、涡度协方差通量观测法和空间代替时间法等^[11]。本研究尝试用树木年轮学方法获取不同海拔梯度上森林生物量、蓄积量和生产力的动态特征。该方法被证实获得更详细的年分辨率数据方面具有独特优势^[12]。目前，已有部分学者运用该方法对森林的生物量、蓄积量和生产力进行了估算，如张远东等^[13]研究了川西亚高山林区 3 种恢复森林类型的生物量、蓄积量和生产力的动态变化特征；程瑞梅等^[14]根据河南信阳马尾松生物量与树高、胸径的关系，利用样地调查和年轮宽度推算出过去 30 年中生物量和生产力的变化动态。

秦岭横亘于中国中部，是长江和黄河两大水系的分水岭，被认为是中国气候划分上的一条重要分界线^[15]，其植被不仅在水平地带上具有独特的过渡性特征，同时在海拔梯度上也呈现出明晰的垂直带谱。此前的研究主要集中于秦岭植物群落生物多样性和生理形态对海拔梯度的响应方面，如唐志饶等^[16]分析了秦岭牛背梁植物物种多样性沿海拔梯度的分布格局，表明其植被群落具有明显的海拔梯度格局；张晓飞^[17]研究了秦岭 2 种栎属植物在不同海拔梯度上的叶片形状结构、化学成分和生理生态学特征；康乐等^[18]对秦岭南坡松栎混交林森林结构沿海拔梯度的变化规律及其原因进行了探讨。但是对该区域不同海拔的生物量、生产力和蓄积量的长期动态变化研究较少。秦岭为油松和华山松分布的交汇区^[19-20]，华山松林和油松林是秦岭林区的主要森林类型，其蓄积量约占秦岭林区针叶树种总蓄积量的 80%，在空间分布上具有明显的垂直地带性^[21-22]。本研究以秦岭火地塘林区油松、华山松林为对象，设置不同的海拔梯度，以树木年轮学为基础，反演出不同海拔乔木层生物量、生产力和蓄积量的长期动态变化情况，探索该林区 2 种森林类型林分的生长变化趋势，以期为其经营措施的制定提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于秦岭南坡中段陕西省宁陕县境内的西北农林科技大学火地塘教学试验林场。该区海拔 1 450~2 470 m，面积 22.25 km²，年均温 8~10℃，年降雨量 900~1 200 mm，年无霜期 199 d。区内为

花岗岩和片麻岩石质山地,平均坡度 35°左右。土壤主要为山地棕色森林土,土层厚度 50 cm 左右。林区内森林植被类型主要是 20 世纪 60—70 年代森林全面主伐后形成的天然次生林,林龄 40 年左右。主要成林树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、华山松(*Pinus armandi*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)。林区森林覆被率高达 93.8%。

2 材料与方法

2.1 样地设置与采样

根据秦岭火地塘林区油松林和华山松林的分布情况,在不同海拔梯度设置样地。油松、华山松林均设置 3 个海拔梯度,其中油松林每个梯度相差 100 m,华山松林每个梯度相差 150 m。在每个海拔梯

度内分别布置 3 个面积为 20 m×20 m,且坡度、坡向、物种组成及土壤等环境条件基本一致的样地。为了避免由于树木死亡引起的误差,选择没有明显倒木及病虫害的样地^[23]。在进行样地调查时,测量胸径和树高,同时记录样地名称、调查时间、坡度、坡向、经纬度、海拔等(表 1)。选取钻芯树木时,根据样地调查数据,以 4 cm 为一个径级分组,每个径级选取 1~3 株钻芯树木。在胸径处,沿平行于山坡等高线方向钻取树芯,钻芯只到树干髓心处即可。现场测量新鲜树芯的长度后装于自制的纸管中并标记。将树芯带回实验室从纸管中倒出,自然风干后,再次测量树芯长度,确定其缩水率。经测定,油松和华山松树芯的缩水率分别为 2.1%和 0.9%。树芯风干引起的干缩较小,因此,在计算生物量时对此忽略不计。

表 1 秦岭火地塘林区油松、华山松林样地的基本信息

Table 1 Basic information of sample plots in *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

森林类型 Forest type	样地数 Number of plots	海拔/m Elevation	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Aspect	主要伴生树种 Accompanying Tree Species	郁闭度 Canopy density	平均胸径/cm Mean DBH	林龄/a Stand age	样芯总数 Number of cores
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	3	≥1 450~<1 550 m	27~33	211~261	华山松 <i>P. armandi</i> , 锐 齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.75~0.80	22.3~26.1	40~45	196
	3	≥1 550~<1 650 m	16~35	220~223		0.75~0.80	21.4~25.8	37~45	
	3	≥1 650~<1 750 m	30~36	211~225		0.40~0.50	23.7~25.6	36~44	
华山松 <i>P. armandi</i>	3	≥1 550~<1 700 m	26~32	198~243	油松 <i>P. tabulaeformis</i> , 红桦 <i>Betula albo-sinen- sis</i> , 锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.65~0.80	21.6~24.4	36~40	210
	3	≥1 700~<1 850 m	24~32	173~185		0.75~0.80	22.1~23.5	38~40	
	3	≥1 850~<2 000 m	29~32	120~155		0.60~0.75	20.6~23.2	38~41	

将树芯用白乳胶固定在样本木槽上,用砂纸(由粗到细)打磨抛光,直至表面光滑平整,年轮清晰可见,并用示意图法交叉定年^[24]。用 WinDEN-DROTM 年轮分析系统扫描样芯,并基于扫描图像进行轮宽测量,精确到 0.01 mm。

2.2 生物量、生产力和蓄积量的计算

根据样地调查结果,得到样地内主要乔木树种 2012 年的树高和胸径数据。借鉴张远东等^[13]、程瑞梅等^[14]的方法,根据下式求得单木历年的胸径。

$$D_n = D_{2012} - (W_{2012} + W_{2011} + \cdots + W_{n+2} + W_{n+1})。$$

表 2 秦岭火地塘林区油松、华山松林乔木树种各种器官生物量、材积和树高的回归模型

Table 2 Regression equations for biomass, volume and tree height of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

树种 Tree Species	生物量、材积、树高回归方程 Regression equation of biomass and tree height		参考文献 Reference
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	$\ln W_S = 1.040\ 86 \ln (D^2 H) - 4.631\ 43$	$\ln W_{BA} = 0.773\ 96 \ln (D^2 H) - 4.693\ 48$	[25]
	$\ln W_B = 2.577\ 33 \ln D - 4.080\ 26$	$\ln W_L = 2.574\ 95 \ln D - 5.117\ 12$	
	$\ln W_R = 2.286\ 92 \ln D - 4.141\ 98$	$\ln V_S = 0.991\ 38 \ln (D^2 H) - 10.202\ 11$	
	$\ln V_{BA} = 0.799\ 47 \ln (D^2 H) - 10.632\ 77$	$\frac{1}{H} = \frac{0.829\ 60}{D^{1.403\ 30}} + 0.076\ 92$	

续表 2 Continued table 2			
树种 Tree Species		生物量、材积、树高回归方程 Regression equation of biomass and tree height	参考文献 Reference
华山松 <i>P. armandi</i>	$\ln W_S=1.023\ 63\ \ln (D^2 H)-4.499\ 70$	$\ln W_{BA}=0.884\ 17\ \ln (D^2 H)-5.384\ 72$	[25]
	$\ln W_B=2.575\ 51\ \ln D-4.084\ 52$	$\ln W_L=2.756\ 87\ \ln D-5.758\ 91$	
	$\ln W_R=0.971\ 20\ \ln (D^2 H)-5.263\ 01$	$\ln V_S=0.956\ 97\ \ln (D^2 H)-9.957\ 83$	
	$\ln V_{BA}=0.787\ 72\ \ln (D^2 H)-10.483\ 52$	$\frac{1}{H}=\frac{1.345\ 37}{D^{1.708\ 00}}+0.071\ 43$	
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	$\ln W_S=0.992\ 53\ \ln (D^2 H)-3.788\ 18$	$\ln W_{BA}=0.756\ 32\ \ln (D^2 H)-3.924\ 50$	[25-26]
	$\ln W_B=3.499\ 34\ \ln D-6.507\ 26$	$\ln W_L=2.293\ 44\ \ln D-4.885\ 81$	
	$\ln W_R=2.764\ 35\ \ln D-4.208\ 17$	$\ln V_S=0.968\ 84\ \ln (D^2 H)-10.073\ 52$	
	$\ln V_{BA}=0.655\ 31\ \ln (D^2 H)-9.431\ 91$	$\frac{1}{H}=\frac{8.019\ 21}{D^{2.592\ 22}}+0.052\ 63$	
红桦 <i>Betula</i> <i>alba-sinensis</i>	$\ln W_S=0.910\ 35\ \ln (D^2 H)-3.793\ 26$	$\ln W_{BA}=0.810\ 21\ \ln (D^2 H)-4.277\ 50$	[25]
	$\ln W_B=3.359\ 34\ \ln D-5.935\ 11$	$\ln W_L=2.390\ 07\ \ln D-5.569\ 30$	
	$\ln W_R=2.688\ 79\ \ln (D^2 H)-4.336\ 07$	$\ln V_S=0.958\ 52\ \ln (D^2 H)-9.996\ 33$	
	$\ln V_{BA}=0.796\ 35\ \ln (D^2 H)-10.432\ 85$	$\frac{1}{H}=\frac{4.988\ 42}{D^{2.430\ 72}}+0.060\ 61$	

注: D . 胸径; H . 树高; W_S . 干生物量; W_{BA} . 皮生物量; W_B . 枝生物量; W_L . 叶生物量; W_R . 根生物量; V_S . 干材积; V_{BA} . 皮材积。
Note: D . DBH; H . Tree height; W_S . Trunk biomass; W_{BA} . Bark biomass; W_B . Branch biomass; W_L . Leaf biomass; W_R . Root biomass; V_S . Trunk volume; V_{BA} . Bark volume.

3 结果与分析

3.1 秦岭火地塘林区油松和华山松林乔木树种胸径的年变化

由图 1 可知,油松、华山松林平均胸径分别由 1977 年的 10.77 和 5.66 cm 增长到 2011 年的 26.95 和 20.84 cm,年均生长率为 0.46 和 0.43 cm/a。油松林平均胸径一直大于华山松林,两者差异极显著($P<0.01$)。2 种林分胸径变化曲线均为非直线增长,且曲线的切线斜率逐渐变小,未出现较大的起伏波动,说明在这一时期内,其胸径增长速度随着时间的推移逐渐减慢。

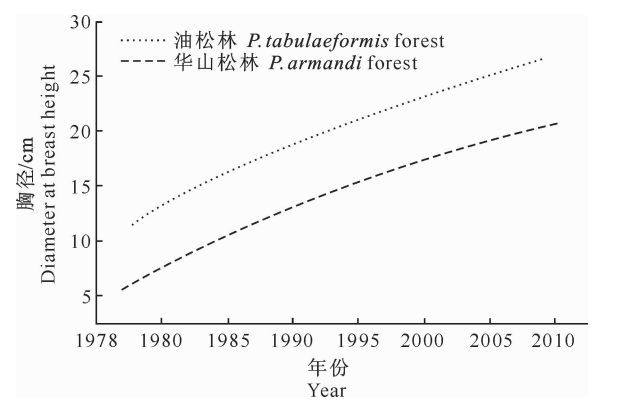


图 1 秦岭火地塘林区油松和华山松林 1977 到 2011 年的胸径变化
Fig.1 DBH variations of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests from 1977 to 2011 at Huoditang region in the Qinling Mountains

3.2 海拔对秦岭火地塘林区油松、华山松林生物量、生产力和蓄积量的影响

3.2.1 油松林 由图 2-A 可知,油松林不同海拔的生物量均逐年增加。 $\geq 1\ 550\sim<1\ 650\text{ m}$ 海拔的生物量从 1977 年的 44.40 t/hm^2 一直增长到 2011 年的 214.67 t/hm^2 ,且一直大于另外 2 个海拔梯度。 $\geq 1\ 450\sim<1\ 550\text{ m}$ 和 $\geq 1\ 650\sim<1\ 750\text{ m}$ 海拔的生物量,分别从 1977 年的 24.71 和 17.20 t/hm^2 增长到 2011 年的 145.60 和 189.10 t/hm^2 。在 1983 年以前, $\geq 1\ 450\sim<1\ 550\text{ m}$ 海拔的生物量大于 $\geq 1\ 650\sim<1\ 750\text{ m}$ 海拔,但是由于后者的增长率较快,使得之后后者的生物量一直大于前者,且差值不断增大。

图 2-B 显示,不同海拔油松林的生产力随时间推移呈波动性变化。 $\geq 1\ 450\sim<1\ 550\text{ m}$ 海拔的生产力在 1977—1999 年较为稳定,1999 年后有大幅度增长,到 2002 年出现最高值 $5.16\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,然后开始波动下降; $\geq 1\ 550\sim<1\ 650\text{ m}$ 海拔的生产力在 1979 年出现第 1 个波峰,然后波动变化,在 2001 年达到最大值 $6.16\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,之后缓慢下降; $\geq 1\ 650\sim<1\ 750\text{ m}$ 海拔的生产力在 1977—1987 年增长迅速,从 $3.56\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 上升到 $5.21\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,然后波动变化,并于 2001 年上升到最大值 $6.54\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,而后不断下降。

各海拔油松林的蓄积量均随树龄的增大而增大(图 2-C),其中 $\geq 1\ 550\sim<1\ 650\text{ m}$ 海拔的蓄积量一直都大于另 2 个海拔梯度,从 1977 年的 54.98

m^3/hm^2 增长到 2011 年的 $237.50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。通过对三者增长曲线的拟合,发现均呈直线增长,且线性相关系数较高,3 个海拔梯度从低到高依次为 0.999 2, 0.999 2 和 0.999 7,其中 $\geq 1\ 650 \sim < 1\ 750 \text{ m}$ 海拔梯度的斜率高于另 2 个海拔梯度,即该梯度蓄积量

的平均增长速度要快于另 2 个梯度。1982 年之前, $\geq 1\ 450 \sim < 1\ 550 \text{ m}$ 海拔梯度的蓄积量大于 $\geq 1\ 650 \sim < 1\ 750 \text{ m}$ 海拔梯度,1982 年之后,后者的蓄积量超过前者,且差值逐渐增大。

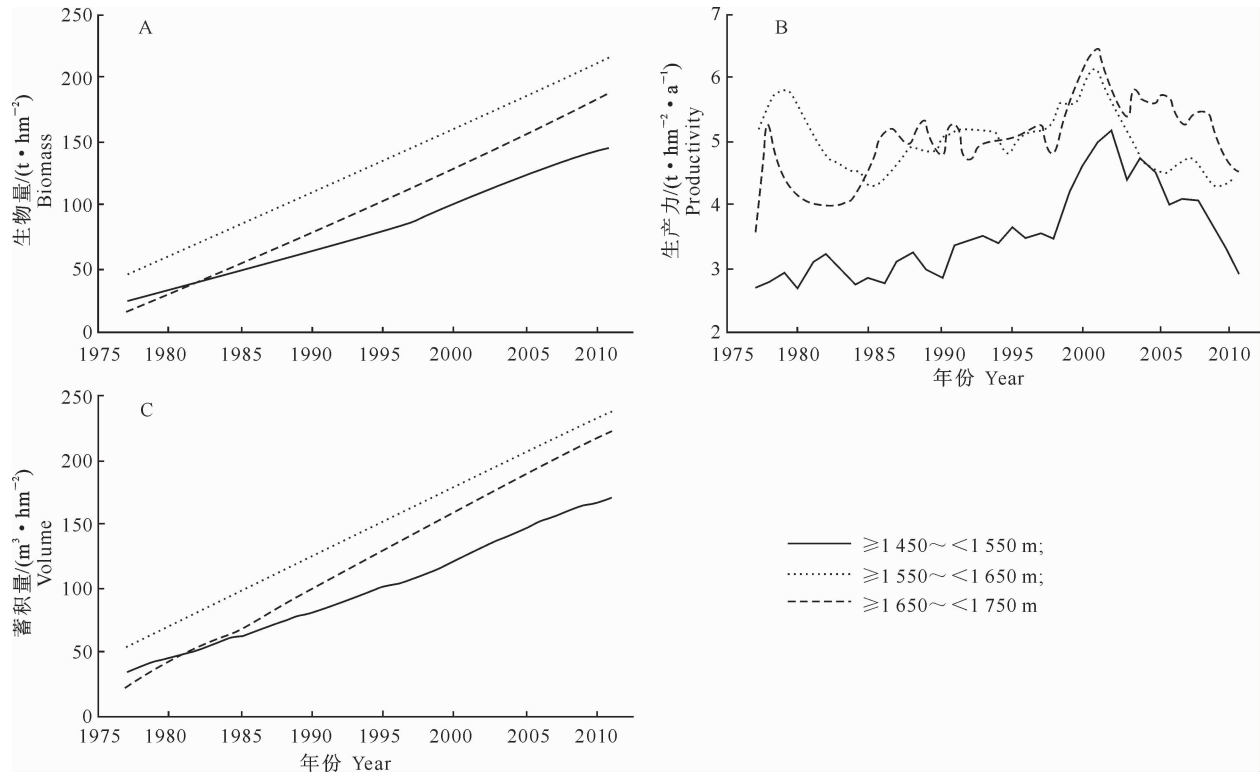


图 2 秦岭火地塘林区不同海拔油松林 1977 到 2011 年生物量、生产力和蓄积量的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes in biomass, productivity and volume of *Pinus tabulaeformis* forests from 1997 to 2011 at different altitudes at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

3.2.2 华山松林 由图 3-A 可知,不同海拔华山松林的生物量均逐年增长,其中 $\geq 1\ 850 \sim < 2\ 000 \text{ m}$ 海拔梯度的生物量一直最大,从 1977 年的 $16.74 \text{ t}/\text{hm}^2$ 增长到 2011 年的 $182.75 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。在 1999 年后, $\geq 1\ 850 \sim < 2\ 000 \text{ m}$ 海拔梯度的生物量增长率有小幅增加,使其与另 2 个梯度的差值逐渐加大。 $\geq 1\ 550 \sim < 1\ 700 \text{ m}$ 海拔梯度的生物量从 1977 年的 $9.02 \text{ t}/\text{hm}^2$ 增大到 2011 年的 $131.33 \text{ t}/\text{hm}^2$,且大于 $\geq 1\ 700 \sim < 1\ 850 \text{ m}$ 海拔梯度,但两者差值先增大后减小。

随着时间推移,不同海拔华山松林生产力均呈波动性变化(图 3-B)。 $\geq 1\ 550 \sim < 1\ 700 \text{ m}$ 海拔梯度华山松林生产力从 1977 年的 $2.41 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 上升到 2001 年的 $4.22 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,之后波动下降; $\geq 1\ 700 \sim < 1\ 850 \text{ m}$ 海拔梯度的生产力从开始的 $1.94 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 持续上升到 2008 年的 $5.20 \text{ t}/$

$(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,之后缓慢下降; $\geq 1\ 850 \sim < 2\ 000 \text{ m}$ 海拔梯度的生产力在前 21 年间增长缓慢,之后大幅升高至 2008 年的最大值 $7.56 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,随后开始下降。

图 3-C 表明,各海拔华山松林蓄积量随林龄的增长而增大。 $\geq 1\ 850 \sim < 2\ 000 \text{ m}$ 海拔梯度的蓄积量从 1977 年的 $25.20 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 增长到 2011 年的 $225.14 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,且一直大于另 2 个海拔梯度。 $\geq 1\ 550 \sim < 1\ 700 \text{ m}$ 海拔梯度和 $\geq 1\ 700 \sim < 1\ 850 \text{ m}$ 海拔梯度的蓄积量分别由 1977 年的 13.44 和 $10.72 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 增长到 2011 年的 166.15 和 $148.18 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,前者蓄积量一直大于后者,二者差值先增大后变小。

3.2.3 不同海拔林分生产力的相关性 对油松、华山松林各自 3 个海拔梯度的生产力进行两两间相关性分析,结果(表 3)显示,华山松林 3 个海拔的生产

力两两间均达到显著相关水平,而油松林除 $\geq 1\,550\sim<1\,650\text{ m}$ 与 $\geq 1\,650\sim<1\,750\text{ m}$ 2个海拔梯度间生产力未达到显著相关水平外,其余海拔

梯度间生产力均达到了显著相关水平。说明不同海拔间,相同树种的生长趋势大致相同。

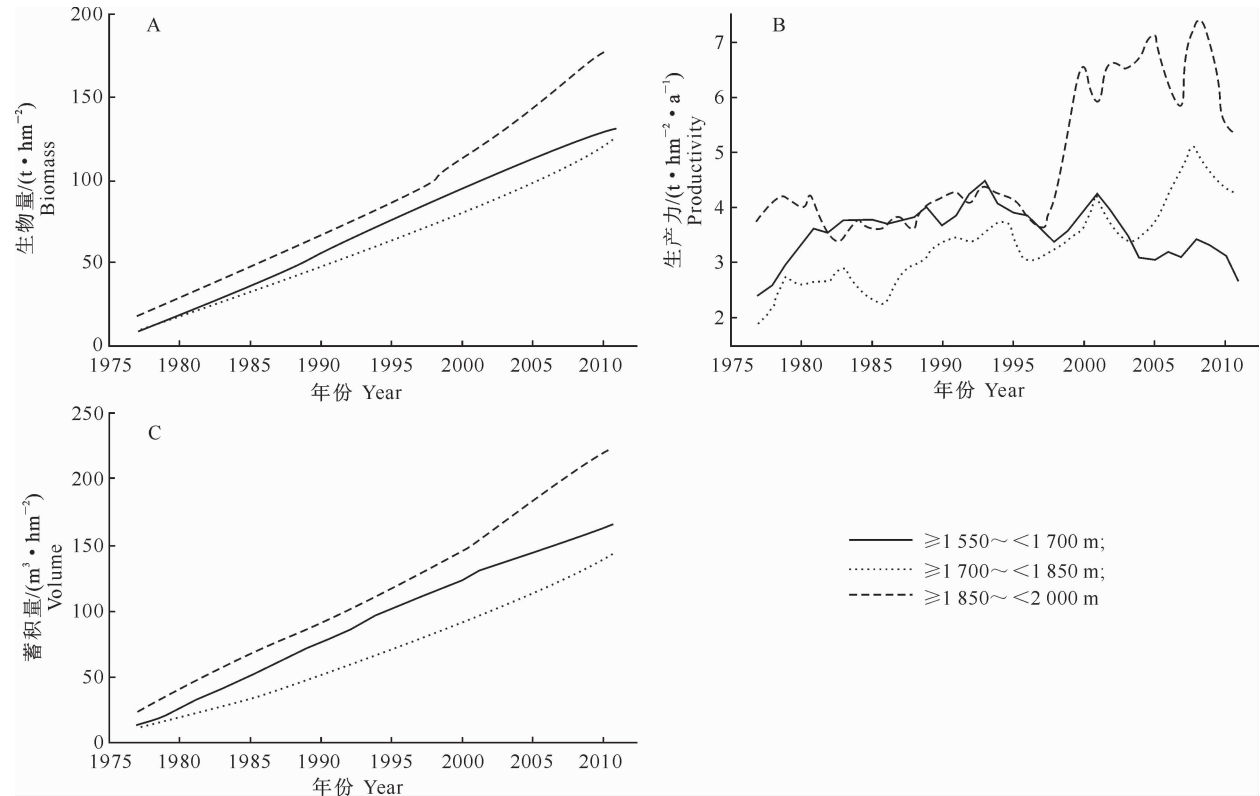


图3 秦岭火地塘林区不同海拔华山林1977到2011年生物量、生产力和蓄积量的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes in biomass,productivity and volume of *Pinus armandi* forests from 1997 to 2011 at different altitudes at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

表3 秦岭火地塘林区油松和华山松林不同海拔间生产力的相关性分析

Table 3 Correlation between the biomass of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests at different altitudes at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

海拔/m Altitude	油松 <i>P. tabulaeformis</i>			海拔/m Altitude	华山松 <i>P. armandi</i>		
	$\geq 1\,450\sim<1\,550\text{ m}$	$\geq 1\,550\sim<1\,650\text{ m}$	$\geq 1\,650\sim<1\,750\text{ m}$		$\geq 1\,550\sim<1\,700\text{ m}$	$\geq 1\,700\sim<1\,850\text{ m}$	$\geq 1\,850\sim<2\,000\text{ m}$
$\geq 1\,450\sim<1\,550$	1			$\geq 1\,550\sim<1\,700$	1		
$\geq 1\,550\sim<1\,650$	0.362*	1		$\geq 1\,700\sim<1\,850$	0.498**	1	
$\geq 1\,650\sim<1\,750$	0.508**	0.281	1	$\geq 1\,850\sim<2\,000$	0.335*	0.760**	1

注(Note): * $P<0.01$; * $P<0.05$ 。

3.3 秦岭火地塘林区油松林、华山松林生物量和蓄积量的对比

由图4可知,油松林的生物量和蓄积量在各年份均大于华山松林。在1977—2011年,油松、华山松林的生物量分别从最初的28.77和11.59 t/hm²增长到最终的183.12和146.64 t/hm²;蓄积量从最初的37.92和16.45 m³/hm²增长到最终的210.18和179.82 m³/hm²。对两者进行拟合,发现油松、华山松林的生物量和蓄积量均呈二项式曲线增长,且相关系数较高。

4 讨论

随着海拔的变化,火地塘的森林植被不仅类型不同,而且结构及生物量都随之变化。刘华等^[15]、陈存根等^[25]的研究结果表明,秦岭火地塘林区油松林和华山松林的最适海拔分别为1 560~1 640 m和1 850~1 900 m。本研究表明,在1977—2011年,该林区的油松、华山松林分别在海拔梯度1 550~1 650 m和1 850~2 000 m时的生物量和蓄积量最大,这与前人研究结果相吻合。1996年,

油松林和华山松林在最适海拔梯度上的生物量分别为 139.14 和 92.11 t/hm²,与陈存根等^[25]的研究结果 135.15 和 97.50 t/hm² 接近。

油松林中,高于和低于最适海拔的生物量和蓄积量均小于最适海拔梯度。其中较高海拔的生物量和蓄积量刚开始小于低海拔,但是由于高海拔地区的生长速率大于低海拔,所以最终高海拔地区的生物量和蓄积量大于低海拔地区。分布于较低海拔地区的油松林,坡度一般较小,土层厚,有利于林木生长,因而其生产力较高。但是,由于后期低海拔地区

受人为破坏严重,致使生产力降低,使得最大现实生产力向高海拔地区转移^[25]。陈存根等^[25]认为,在低于最适海拔的地区,华山松林的生物量和蓄积量逐渐下降,这与本研究结果不同。但除最适海拔外的 2 个海拔间生物量和蓄积量差距不大,且随着林龄增长两者差距逐渐减小。林分密度也是影响森林生物量和蓄积量的重要因素^[13]。本研究利用年轮法反演林分的生物量及蓄积量,无法估算林分密度在森林发育过程中的变化,从而造成结果可能有差异。

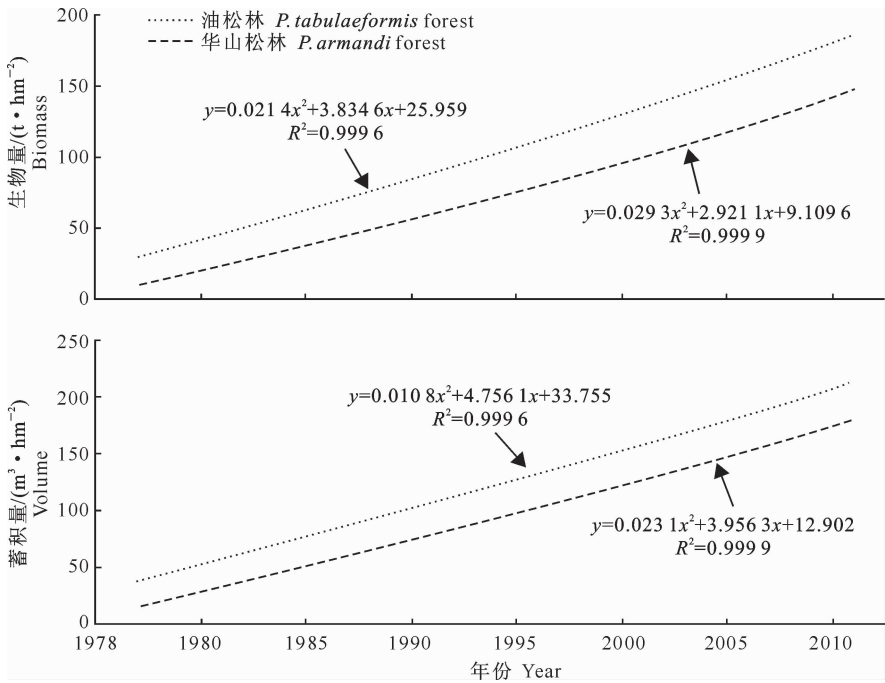


图 4 秦岭火地塘林区油松林和华山林乔木层 1977 到 2011 年生物量、蓄积量的变化动态

Fig. 4 Dynamic changes in biomass and volume of tree layers of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forests from 1977 to 2011 at Huoditang forest region in the Qinling Mountains

火地塘油松林的生物量和蓄积量一直大于华山松林,且差异极显著($P<0.01$)。2 种森林类型的分布范围是造成这种差异的主要原因。秦岭火地塘地区的油松主要分布在 1 800 m 以下的低海拔地带,华山松在整个林区均有分布,但其适生海拔较高^[21]。海拔高度不同,光、热、水、气等因子的综合效应各异,在一定程度上造成了两者生物量和蓄积量的差异;另外,油松的耐瘠薄能力优于华山松,能适应较恶劣的自然环境,这也是油松林生物量与蓄积量大于华山松林的原因之一。由于本研究方法的缺陷,无法反演出林分密度的变化,所以不能准确得出林分密度这一因子对 2 种不同森林类型的影响。但费世民等^[22]在研究秦岭水灾迹地油松和华山松更新种群数量特征时发现,经过 17 年的恢复,总体

上油松的种群密度高于华山松,这是由于油松种子的生产能力高于华山松,且油松具有较大的高生长和侧生长速率。因而可以推测,秦岭火地塘林区在进行皆伐后,自然更新的油松林相较于华山松林有较大的生物量和蓄积量。

由于乔木层在整个林分的生物量中占很大比例,所以其生产力在一定程度上能够代表整个林分的生产力^[28-29]。本研究中,油松林不同海拔梯度生产力均在 2001 年前后达到最大值,华山松林也有较为相似的趋势。本研究结果显示,油松林、华山松林不同海拔间生产力两两显著相关,说明树种的生物学特性在一定程度上影响其生长发育,虽然处于不同海拔,但是相同树种的生长也是遵循大致相同的发展趋势,即在生长初期,林木生产力增长迅速,随

着林木的增大,到林冠密闭叶面积达到最高值时,生产力达到最大值,随后生产力随着年龄的增长而逐渐下降。此外,不同海拔生产力的动态变化可能受相同气象因子的限制。程瑞梅等^[14]研究表明,北亚热带的马尾松净生产力与气候因子的关系较为密切,其年际变化主要是气候因素引起的,受当年生长季长短和生长季土壤水可用性的限制。而在秦岭火地塘地区,降雨量较为充沛,生长季光照时间充足,但四季温度变化较为明显,温度可能是影响油松林和华山松林生产力的主要因子。

5 结 论

1977—2011 年的 35 年间,秦岭火地塘林区油松林、华山松林不同海拔生物量、蓄积量增长迅速,生产力均随林龄的增大波动上升,在 2001 年左右达到最大值,随后,生产力呈现下降趋势。其中,油松林的生物量和蓄积量在海拔 1 550~1 650 m 时最大,华山松林在海拔 1 850~2 000 m 时最大。环境差异、人为干扰是造成不同海拔间林分生物量、蓄积量产生差异的主要因素;生物学特性和林分环境的共同作用,影响了不同森林类型的生物量和蓄积量;不同海拔间林分生产力变化的波动一致性,在一定程度上反映了树木生长对相同气候因子的响应。基于树木年轮方法反演林分生长长期变化特征具有一定的可行性,为掌握火地塘林区森林演替规律和预测未来气候变化条件下的森林生长趋势提供了参考。

[参考文献]

[1] Woodwell G M, Whittaker R H, Reiners W A, et al. The biota and the world carbon budget [J]. Science, 1978, 199: 141-146.

[2] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献 [J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.

Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forest and its contribution to global carbon balance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733-740. (in Chinese)

[3] Kao W Y, Chen W H. A comparative study of *Miscanthus floridulus* and *Miscanthus transmorrisonensis*: Photosynthetic gas exchange, leaf characteristics and growth in controlled environments [J]. Annals of Botany, 1998, 81: 295-299.

[4] Li B, Suzuki J I, Hara T. Latitudinal variation in plant size and relative growth rate in *Arabidopsis thaliana* [J]. Oecologia, 1998, 115: 293-301.

[5] Ericsson T. Growth and shoot:Root ration of seedlings in relation to nutrient availability [J]. Plant and Soil, 1995, 62: 205-214.

[6] Whittaker R H. Forest dimension and production in the Great

Smoky Mountains [J]. Ecology, 1966, 47: 103-121.

[7] 刘 禹, 齐永峰, 王文帆, 等. 兴安落叶松蓄积量与海拔的关系研究 [J]. 林业科技, 2011, 36(4): 32-34.

Liu Y, Qi Y F, Wang W F, et al. Relationship research of *Larix gmelini* volume and altitude [J]. Forestry Science and Technology, 2011, 36(4): 32-34. (in Chinese)

[8] 贾开心, 郑 征, 张一平. 西双版纳橡胶林生物量随海拔梯度的变化 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1028-1032.

Jia K X, Zheng Z, Zhang Y P. Changes of rubber plantation aboveground biomass along elevation in Xishuangbanna [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9): 1028-1032. (in Chinese)

[9] Carolina V E, William E M, Nazare A R, et al. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: Effects of soil and topography [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 234: 85-96.

[10] 刘贵峰, 臧润国, 张新平, 等. 不同经度天山云杉林分因子随海拔梯度的变化 [J]. 林业科学, 2009, 45(8): 9-13.

Liu G F, Zang R G, Zhang X P, et al. Stand factors of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* along the altitudinal gradient in different longitudes [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(8): 9-13. (in Chinese)

[11] Metsaranta J M, Lieffers V J. Using dendrochronology to obtain annual data for modeling stand development: A supplement to permanent sample plots [J]. Forestry, 2009, 82(2): 163-173.

[12] Brienen R J W, Zuidema P A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 226(1/2/3): 256-267.

[13] 张远东, 刘彦春, 刘世荣, 等. 基于年轮分析的不同恢复途径下森林乔木层生物量和蓄积量的动态变化 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(2): 117-125.

Liu Y D, Liu Y C, Liu S R, et al. Dynamics of stand biomass and volume of the tree layer in forests with different restoration approaches based on tree-ring analysis [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(2): 117-125. (in Chinese)

[14] 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.

Cheng R M, Feng X H, Xiao W F, et al. Response of net productivity of Masson Pine plantation to climate change in north subtropical region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(8): 2086-2095. (in Chinese)

[15] 刘 华, 雷瑞德, 侯 琳, 等. 秦岭火地塘林区主要森林类型的碳储量和碳密度 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 133-140.

Liu H, Lei R D, Hou L, et al. Research on carbon storage and carbon density of main forest types at Huoditang forestry region in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2009, 37(3): 133-140. (in Chinese)

[16] 唐志饶, 柯金虎. 秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局

- [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 108-114.
- Tang Z R, Ke J H. Altitudinal patterns of plant species diversity in Mt. Niubeiliang, Qinling Mountains [J]. Biodiversity Science, 2004, 12(1): 108-114. (in Chinese)
- [17] 张鹏飞. 秦岭两种栎属植物叶性状及其关系沿海拔梯度的变化 [D]. 西安: 西北大学, 2012.
- Zhang X F. Leaf traits and relationships variation in two *Quercus* species along an altitudinal gradient in the Qinling Mountains [D]. Xi'an: Northwest University, 2012. (in Chinese)
- [18] 康 乐, 李卫忠, 张晓芳. 秦岭南坡松栎混交林乔木层生物量沿海拔梯度的变化 [J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(5): 75-79.
- Kang L, Li W Z, Zhang X F. Changes of arbor layer aboveground biomass of *Pinus* spp. and *Quercus* spp. mixed forest along altitudinal gradient on the southern slope of the Qinling Mountains, northwestern China [J]. Journal of Beijing Forest University, 2012, 34(5): 75-79. (in Chinese)
- [19] 兰国玉, 雷瑞德, 安 峰, 等. 秦岭中段华山松群落动态初步研究 [J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 48-52.
- Lan G Y, Lei R D, An F, et al. Study on community dynamics of *Pinus armandi* in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2005, 20(3): 48-52. (in Chinese)
- [20] 雷瑞德, 彭 鸿, 党坤良. 火地塘林区油松林的群落类型及结构特征的研究 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 65-70.
- Lei R D, Peng H, Dang K L. Community-types and structure of *Pinus tabulaeformis* forest at Huoditang forest region [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1996, 11(Suppl.): 65-70. (in Chinese)
- [21] 刘 华, 侯 琳, 雷瑞德. 秦岭火地塘林区油松和华山松林的空间分布格局及碳储量与碳密度研究 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 5-7.
- Liu H, Hou L, Lei R D. Carbon storage and carbon density of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* forest at Huoditang forest region in the Qinling Mountains [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 5-7. (in Chinese)
- [22] 费世民, 何亚平, 陈秀明, 等. 秦岭水灾迹地油松和华山松更新种群数量特征 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 95-105.
- Fei S M, He Y P, Chen X M, et al. Quantitative features of populations of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandi* regenerated following water damage in the Qinling Mountains, China [J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(1): 95-105. (in Chinese)
- [23] Cyrille R, Antoine N, Joël G, et al. Stimulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climatic change and CO₂ increase using a statistical model [J]. Global and Planetary Change, 2000, 4(26): 405-421.
- [24] 吴祥定. 树木年轮与气候变化 [J]. 北京: 气象出版社, 1990.
- Wu X D. Tree rings and climate change [J]. Beijing: China Meteorological Press, 1990. (in Chinese)
- [25] 陈存根, 彭 鸿. 秦岭火地塘林区主要森林类型的现存量和生产力 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 102.
- Chen C G, Peng H. Standing crops and productivity of the major forest-types at the Huoditang forest region of the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1996, 11(Suppl.): 102. (in Chinese)
- [26] 陈存根, 龚立群, 彭 鸿, 等. 秦岭锐齿栎林的生物量 and 生产力 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 103-114.
- Chen C G, Gong L Q, Peng H, et al. Biomass and productivity of the sharptooth oak forests in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1996, 11(Suppl.): 103-114. (in Chinese)
- [27] 邵全琴, 杨海军, 刘纪远, 等. 基于树木年轮信息的江西千烟洲人工林碳蓄积量分析 [J]. 地理学报, 2009, 64(1): 69-83.
- Shao Q Q, Yang H J, Liu J Y, et al. Dynamic analysis on carbon accumulation of a plantation in Qianyanzhou based on tree ring data [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(1): 69-83. (in Chinese)
- [28] 程堂仁, 冯 菁, 马钦彦, 等. 甘肃小陇山森林植被碳库及其分配特征 [J]. 生态学报, 2008, 28(1): 34-36.
- Cheng T R, Feng J, Ma Q Y, et al. Carbon pool and allocation of forest vegetations in Xiaolong Mountain, Gansu province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 34-36. (in Chinese)
- [29] 刘彦春, 张远东, 刘世荣, 等. 川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 [J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5810-5820.
- Liu Y C, Zhang Y D, Liu S R, et al. Changes of tree layer aboveground biomass, ANPP to altitudinal gradient in the subalpine secondary mixed forest of Western Sichuan, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5810-5820. (in Chinese)