

西天目山针叶树直径生长与 气候变化的关系

夏冰 贺善安 邓飞 兰涛

(江苏省植物研究所, 南京 210014)
中国科学院

摘要 利用树木年轮分析方法研究了西天目山的三种主要针叶树: 柳杉、金钱松和黄山松在林分范围内的直径生长与气候因子的关系。用逐步回归分析建立生长指数与13个气候因子的回归方程, 然后将生长曲线加入回归方程获得估计胸高处直径生长量的模型。结果表明, 显著影响柳杉直径生长指数的因素为前期生长和夏季气温; 影响金钱松生长指数达显著水平的有前期生长和夏、秋两季降水量; 显著影响黄山松生长指数的因素有前期生长、夏季气温和秋季降水量。如果未来气温比目前分别升高1℃、2℃和3℃, 柳杉的直径生长量将增加3.2%、6.3%和11.1%; 金钱松的将增加3.7%、5.6%和7.4%; 黄山松的将增加3.5%、7.1%和11.8%。文中对影响直径生长的其他因素也进行了讨论。

关键词 直径生长率; 树木年轮分析; 气候变化; 生长预测

Relationship between climate change and diameter growth of conifer trees in western Tianmu Mountain, Zhejiang Xia Bing, He Shan-An, Den Fei and Lan Tao (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1995, 4(4): 1~9

Relationship between diameter growth of three local main coniferous species, *Cryptomeria fortunei* (Cf), *Pseudolarix amabilis* (Pa) and *Pinus taiwanensis* (Pt), and climate factors were studied in the scale of a stand by using tree ring analysis. The regression equations were established between growth indices and 13 climate factors by step regression analysis, and then they were converted into the estimated models of diameter growth rate at breast height by combining with the growth curves. The effects of future climate change on the diameter growth were predicted by the models. The results showed that the growth indices of Cf were influenced significantly by the previous growth and summer temperature; the indices of Pa were influenced mainly by the prior growth, summer and autumn precipitation; for Pt's indices, prior growth, summer temperature and autumn precipitation had important influence on them. If future temperature rises above 1℃, 2℃, 3℃ respectively, the increased percents of the diameter growth rate of the species are expected to be 3.2%, 6.3% and 11.1% for Cf, and 3.7%, 5.6% and 7.4% for Pa and 3.5%, 7.1% and 11.8% for Pt. The other factors influencing diameter growth were discussed also.

Key words diameter growth rate; tree ring analysis; climate change; growth prediction

1. 引言

在我国利用植被与气候的关系研究未来气候变化对区域性植被分布及第一性生产力的影响已做过较深入的研究,张新时、李霞等利用 Holdridge 系统预测了一定气候条件下,中国植被和青藏高原植被的变化情况^[1,3,15,16]。另一方面,对于较小空间尺度条件下气候变化对一个林分或一个群落的生产量影响的研究尚显不足^[5]。

树木年轮宽度实际上就是树木直径的年生长量,它与胸高直径(DBH)一样可用于定量描述树木的生长情况。目前,我国各林区都建立了主要用材树种的一元和二元材积计算方程或材积表,只要给出平均胸高断面积,就可比较容易地推算出一个林分的总材积^[7](可视为总生产量)。而通过胸高处的树木年轮宽度资料可以推算出某一树种在一定立地条件下的平均胸高断面积。因此,如果能建立某一树种的年轮宽度(或称为树木的直径生长量)与气候因素的经验型回归方程,就可预测未来一定气候条件下树木直径生长量的变化,进而就可利用已有的该树种一元材积表或胸高断面积与林地总材积的经验方程,推算未来该树种总生长量的变化情况。

根据 Graybill 提出的树木年轮宽度的分解方程^[10],内外因素对树木年轮宽度的影响可用下式表示:

$$Y_t = W_t + B_t + D_t + E_t \quad (1)$$

系数 t 是连续的年代,变量 Y_t 是 t 年时的直径生长量, W_t 代表 t 年时的气候因素对当年树木直径生长的影响,变量 B_t 是随树木年龄增加而变化的树木直径生长曲线,变量 D_t 是 t 年时发生的各种干扰,如树木之间的竞争、火灾、病虫害等对树木直径生长的影响, E_t 代表其他因素引起的随机生长。在树木年轮气候学的研究中,为了消除 B_t 的影响,通常是先对各个芯样的年轮宽度系列分别模拟其直线或指数生长曲线,再将对应年代的年轮宽度与相应的生长曲线值相除,以获得年轮指数,对于存在干扰的年轮宽度系列,则采用多项式和样条函数等方法模拟生长中的趋势性变化,并将实测年轮宽度与对应的模拟值相除以消去 $(B_t + D_t)$ 的影响^[2,9]。Visser 和 Molenaar 提出可用平均滑动自回归(ARIMA)描述和预测树木直径的生长趋势^[12,13], Zahner 等通过建立年轮与气候及林分密度相联系的模型来判断美国西南部松树生长衰退的原因^[14], Adams 等采用三次样条函数对云杉(*Picea asperata* Mast.)和冷杉(*Abies fabri* (Mast.) Craib)年轮宽度系列进行低频滤波(即提取趋势项),以判断这些树木生长的趋势性变化^[8]。夏冰等则在建立生长释放(growth release)标准的基础上,通过对年轮宽度系列的加权滑动平均提取树木生长过程中的趋势性波动信息^[6]。上述表明,(1)式的 Y_t 可以分解为两部分:一为低频部分,即树木生长趋势项;二为高频部分,即树木生长波动项(也称树木年轮指数)。低频项主要受树龄、树木间竞争和各种干扰的影响,高频项主要受树木自身生长滞后效应和外界环境波动(如气候因素的变化)的影响。具体研究中可根据不同的研究目的,选择合适的取样和处理方法。

本研究拟建立西天目山主要针叶树生长波动项与气候因素的回归模型及直径生长量与趋势项和波动项的分解式并预测未来一定气候条件下这些树种的直径生长量变化。

2. 研 究 方 法

2.1 调查概况和取样

1991年5月,我们对浙江西天目山老殿南坡附近(北纬 $30^{\circ}21'$,东经 $119^{\circ}25'$,海拔近1 000 m)的三种主要针叶树(柳杉 *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk, 金钱松 *Pseudolarix amabilis* (Nelson) Rehd. 和黄山松 *Pinus taowensis* Hayata)用生长锥在胸高处钻取芯样,每株树钻2个芯样,共取得19株柳杉、19株金钱松和18株黄山松的有效芯样。取样柳杉的平均树高约34 m,胸高直径109~174 cm之间,树体高大茂密,冠层下几乎无柳杉幼树和幼苗,而多见天目木姜子(*Litsea auriculata* Chien & Cheng)、交让木(*Daphniphyllum macropodum* Miq.)、豺皮樟(*Litsea coreana* var. *sinensis* Allen)等,高度多在10 m以下。取样金钱松平均树高38 m左右,胸高直径在58~105 cm之间。金钱松与柳杉一起构成了西天目山植被的高层林冠。取样的黄山松平均树高约16 m,平均胸径19.5~32.9 cm,其下无更新幼树,多见绵栎(*Lithocarpus henryi* Rehd. et Wils.)、枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis gracilis* (Rehd. et Wild.) Cheng et T. Hong)等阔叶树。在取样过程中,由于金钱松和柳杉胸径过大,生长锥无法达到髓芯,所取芯样均为有限芯样,只有黄山松为完整芯样。

取回的芯样在实验室经砂纸打磨至光滑,置于解剖镜下观察分析,通过交叉定年^[2]剔除伪年轮的影响,确定出各个年轮形成的准确年代,其中黄山松芯样中未发现伪年轮。定年后的芯样用年轮宽度测量仪对各个年轮宽度进行量测(精度为0.01 mm),略去取样当年(1991年)的年轮,获得的年轮系列长度范围分别是:柳杉201年~330年;金钱松195年~371年;黄山松100年~145年。

2.2 数据处理和分析

首先对各个芯样的年轮宽度系列提取趋势项(相当于 $B_i + D_i$)和波动项(相当于 W_i)。

记某一树种第*i*个芯样*t*年时的年轮宽度为 Y_{it} ($i=1,2,3,\dots,k$; $t=1,2,3,\dots,N$; k 为该树种取到的芯样数; N 为该芯样的时间长度,各芯样 N 不同),为了提取年轮宽度系列中直径生长趋势(即年轮宽度系列中的低频变化部分)和直径生长波动(即年轮宽度系列中的高频变化部分)的信息,在计算机显示器上依次对各取样树种的各个芯样(即对 $i=1,2,3,\dots,k$)以年为时间单位对年轮宽度作散点连线图,并根据该散点图选择不同阶数的多项式模拟其年轮宽度变化趋势,获得的多项式模拟曲线值视为该芯样的直径生长变化趋势项,记为 BD_{it} ($i=1,2,3,\dots,k$; $t=1,2,3,\dots,N$),该芯样的直径生长波动系数记为 W_{it} ($i=1,2,3,\dots,k$; $t=1,2,3,\dots,N$),则可得该芯样的生长波动指数(以下简称为生长指数)为:

$$W_{it} = \frac{Y_{it}}{BD_{it}} \quad (2)$$

提取树木直径生长的波动实际上就是消除树龄和树木间竞争等干扰因素对实测年轮宽度项的趋势性影响, W_{it} 就相当于树木年轮气候学中的年轮指数^[9]。在获得各树种各芯样的 W_{it} 后,为了计算各树种的平均 BD_{it} 和平均 W_{it} ,根据各树种芯样的时间系列长度,截取该树种芯样中年代相同的时间长度,可得到某一树种在取样地的平均生长趋势 BD_{it} 、平均生长指数 W_{it} 和平均生长量:

$$BD_t = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^k BD_{it} \right) \quad (3)$$

$$W_t = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^k W_{it} \right) \quad (4)$$

$$Y_t = W_t \cdot BD_t \quad (5)$$

其中: $t=1, 2, 3, \dots, n$, n 为该树种经截取相同年代后的时间长度。本研究中, 截取的柳杉芯样时间长度 n 为201年(即1790~1990年), 金钱松的 n 为195年(1796~1990年), 黄山松的 n 为100年(1891~1990年)。在此基础上再截取各树种1956~1990年(35年)的平均生长趋势和平均生长指数及前1年(1957~1989年)的生长指数与气候资料一起建立经验型回归模型, 以此来预测某一树种的平均生长量。所用气候资料为国家气象局提供的浙江西天目山仙人顶观测站1956~1990年(共35年)的观测资料, 选用的气候因子有: 冬季(12月, 1月, 2月)、春季(3月, 4月, 5月)、夏季(6月, 7月, 8月)、秋季(9月, 10月, 11月)各季的平均气温和降水量以及年平均气温、年降水量, 2月份、3月份最低气温。另外, 在波动项中, 由于存在显著1阶自相关, 故在自变量中加入树木1年前期生长量。逐步回归开始前的树木平均直径生长指数与各自变量的回归模型为:

$$W_i = [PG \cdot \beta_1 + WINT \cdot \beta_2 + SPRT \cdot \beta_3 + SUMT \cdot \beta_4 + AUTT \cdot \beta_5 + WINP \cdot \beta_6 + SPRP \cdot \beta_7 + SUMP \cdot \beta_8 + ANNT \cdot \beta_9 + ANNP \cdot \beta_{10} + 2ABT \cdot \beta_{11} + 3ABT \cdot \beta_{12}] + E \quad (6)$$

式中 W_i 为某树种的历年平均直径生长指数($i=1, 2, 3$, 分别代表柳杉、金钱松和黄山松); PG 为该树种前1年的平均生长指数; $WINT$, $SPRT$, $SUMT$ 和 $AUTT$ 分别为冬、春、夏、秋各季的历年平均气温($^{\circ}C$); $WINP$, $SPRP$, $SUMP$ 和 $AUTP$ 分别为冬、春、夏、秋各季的历年降水量(mm); $2ABT$ 和 $3ABT$ 分别为历年2月、3月极端最低气温($^{\circ}C$); $ANNT$ 和 $ANNP$ 分别为历年年平均气温($^{\circ}C$)和年平均降水量(mm); E 为误差项; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{12}$ 分别为相应变量的回归系数。

以(6)式为基础, 按各变量对 W_i 影响的显著性大小(F 值的剔除标准控制在 $\alpha \leq 0.10$) 采用逐步剔除变量的回归方法分别求各树种平均生长指数估计值的回归方程。(6)式的逐步回归样本数为35(即年代长度为35年)。某树种 t 年时的平均直径生长量估计值 $\hat{Y}_t$ ($mm/年$) 为:

$$\hat{Y} = BD_t \cdot \hat{W}_t \quad (t=1, 2, \dots, 34) \quad (7)$$

BD_t 为该树种平均生长趋势项在 t 年时的生长量; $\hat{W}_t$ 为根据(6)式获得的逐步回归方程(见后面研究结果)推算 t 年时树木直径生长指数估计值。

根据所得的三个树种的 $\hat{Y}_t$ ($t=1, 2, \dots, 35$) 计算方程(见后面的(9)、(10)、(11)式)先分别计算各树种在1956~1990年(共34年)的气候条件下的总平均生长量 $\hat{Y}$:

$$\hat{Y} = \frac{1}{35} \left(\sum_{i=1}^{35} \hat{Y}_i \right) \quad (8)$$

然后根据(7)、(8)式分别计算在未来特定气候条件下各树种的总平均生长量变化情况(与1956~1990年各树种总平均生长量相比较而言)。

3. 研究结果

3.1 回归模型

在(6)式基础上采用逐步回归方法获得的柳杉、金钱松和黄山松平均生长指数与气候因素

及1年前期生长量的回归模型见表1。根据表1和(7)式可写出各树种平均生长量估计方程,分别为:

$$\hat{CY} = CBD \cdot (0.47009 \cdot CPG - 0.000315 \cdot SPRP + 0.036897 \text{ SUMT}) \quad (9)$$

$$\hat{PY} = PBD \cdot (0.735039 \cdot PPG + 0.025948 \cdot SPRT + 0.000276 \text{ SUMP} - 0.0003 \text{ AUTP}) \quad (10)$$

$$\hat{HY} = HBD \cdot (0.798445 \cdot HPG + 0.037654 \cdot \text{SUMT} - 0.00042 \cdot \text{AUTP} + 0.011187 \cdot 2\text{ABT} + 0.019613 \cdot 3\text{ABT}) \quad (11)$$

式中 $\hat{CY}$ 、 $\hat{PY}$ 、 $\hat{HY}$ 分别是柳杉、金钱松和黄山松平均直径生长量(mm/yr)的估计值。CBD、PBD和HBD分别是柳杉、金钱松和黄山松的平均生长趋势(mm/yr)。CPG、PPG和HPG分别是柳杉、金钱松和黄山松前1年的生长指数。

表1 3种针叶树直径生长指数与气候因子的回归模型*

Tab 1 Regression models for indices of diameter growth and climate factors in three conifer trees species

回归模型 Regression model	因变量 Dependent variable	相关系数 R-squared	自变量 Variables in model	回归系数 Coefficient	t-值 t-value	显著水平 Sig. level
(6)	W1	0.9873	CPG	0.47009	3.634	0.001**
			SPRP	-0.000315	-1.876	0.069
			SUMT	0.036897	4.330	0.000**
(6)	W2	0.9910	PPG	0.735039	7.778	0.000**
			SPRT	0.025948	1.962	0.059
			SUMP	0.000276	2.690	0.011*
			AUTP	-0.0003	-2.254	0.031*
(6)	W3	0.9892	HPG	0.798445	8.046	0.000**
			SUMT	0.037654	3.632	0.001**
			AUTP	-0.00042	-2.579	0.015*
			2ABT	0.011187	1.753	0.089
			3ABT	0.019613	2.018	0.052

* (6): $W_1 = [\beta_0 + \beta_1 \cdot \text{WINT} + \beta_2 \cdot \text{SPRT} + \beta_3 \cdot \text{SUMT} + \beta_4 \cdot \text{AUTP} + \beta_5 \cdot \text{WINP} + \beta_6 \cdot \text{SPRP} + \beta_7 \cdot \text{SUMP} + \beta_8 \cdot \text{ANNT} + \beta_9 \cdot \text{ANNP} + \beta_{10} + 2\text{ABT} \cdot \beta_{11} + 3\text{ABT} \cdot \beta_{12}] + E$

W1: Growth index of *C. fortunei*; W2: Growth index of *P. amabilis*; W3: Growth index of *P. taiwanensis*.

CPG: Prior growth of *C. fortunei*; SPRP: Precipitation of spring; SUMT: Mean temperature of summer; PPG: Prior growth of *P. amabilis*; SPRT: Mean temperature of spring; SUMP: Precipitation of summer; AUTP: Precipitation of autumn; HPG: Prior growth of *P. taiwanensis*; 2ABT: Minimum temperature in February; 3ABT: Minimum temperature in March.

根据表1显著影响柳杉直径生长的主要因素是夏季平均气温 SUMT($\alpha=0.000$)和前1年生长指数 CPG($\alpha=0.001$),即夏季平均气温高有利于柳杉的生长,而春季降水多则不利于柳杉的生长;显著影响金钱松直径生长的主要因素是前1年生长指数 PPG($\alpha=0.000$)及夏季和秋季降水量($\alpha=0.011$ 和 0.031),说明夏季降水量多,春季气温高有利于金钱松的生长,而秋季降水多则不利于金钱松的生长;显著影响黄山松直径生长的主要因素有前1年生长指数($\alpha=0.000$),夏季平均气温($\alpha=0.001$),秋季降水量($\alpha=0.015$),若夏季平均气温高,有利于黄山松生长,秋季降水量多不利于黄山松生长。

图1为各树种1956~1990年($n=35$,由(5)式算出)历年实测得的平均直径生长量与估计的平均直径生长量(由(9)、(10)、(11)式算出)的比较,两者间的标准误差分别为:柳杉 0.071 mm;金钱松 0.056 mm;黄山松 0.091 mm,表明两者吻合较好,且所得回归方程(9)、

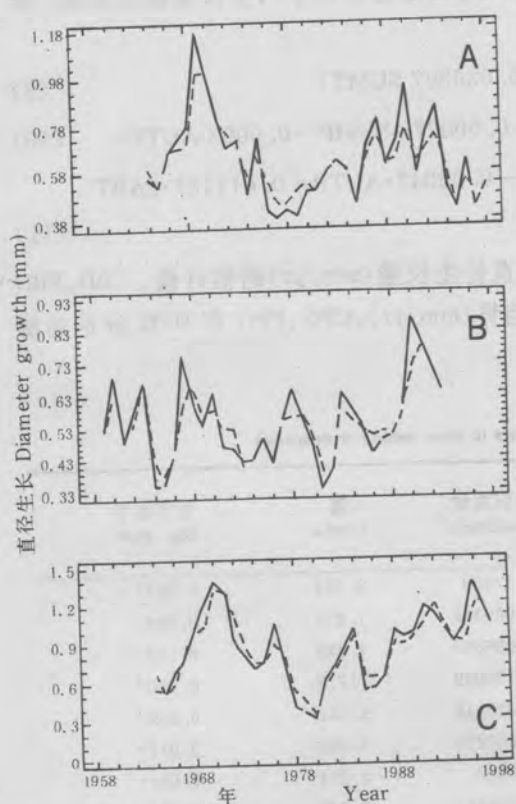


图1 3种针叶树的平均直径生长

Fig 1 The diameter growth of three conifer tree species

A: *C. fortunei*; B: *P. amabilis*; C: *P. taiwanensis*

— Growth rates

----- Estimated rates by regression models

线示柳杉在目前气候条件下由(9)式计算出的生长量,其总平均生长量为0.63 mm/yr(见表2),虚线示在夏季气温增加3℃、春季降水量减少10%的条件下,由(9)式计算的历年平均直径生长量,其总平均生长量为0.71 mm/yr,生长增加12.7%(见表2)。

本研究中设定的未来气候变化条件为各季的平均气温比目前分别升高1℃,2℃和3℃,各季的降水量分别保持不变、增加10%或减少10%等若干组合(见表2)。在这样的气候变化条件下,预测的3种针叶树胸高直径生长量的变化表明,未来气温的升高,将不同程度地

(10)、(11)式可分别用来描述柳杉、金钱松和黄山松的直径生长与1年前期生长及入选的各气候变量之间的关系,因此就可根据这3个统计方程式来推测未来特定气候条件下各树种的直径生长量变化情况。

3.2 直径生长量预测

根据ICPP第1工作组的预测,在目前各种温室气体排放情况保持不变的条件下,到2025年全球平均气温有可能比目前增高1℃,到下世纪末,全球平均气温将比目前增高3℃^[11]。鉴于气温的增加是取几十年以上的平均值,故本研究中我们假定,未来气温的增加值(如平均比目前增加1℃)可视为回归模型中历年(1956~1990)各季气温变量也增加相应的值(如历年各季平均气温也增加1℃),为讨论方便,(1)式中2、3月份的绝对最低气温视为不变。由于未来气温升高导致降水量变化(如增加或减少一定的量)视为回归模型中各季节历年(1956~1990年)降水量也增加或减少相应的量。目前各树种的平均直径生长量系由(9)、(10)、(11)式计算的历年(1956~1990年)平均直径生长量参照(8)式取总平均而得;预测的各树种平均直径生长量是把未来特定气候变量代入(9)、(10)、(11)式得出各树种历年平均直径生长量,再参照(8)式分别取总平均值。例如,图2中实

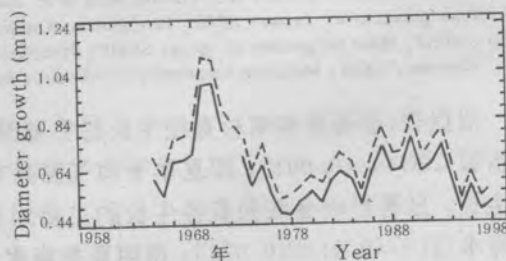


图2 柳杉直径生长量预测

Fig 2 The predicted diameter growth of *Cryptomeria fortunei*

— Diameter growth under present climate

----- Predicted growth under future climate change, rising above 3℃ with temperature, reducing 10% of precipitation

促进西天目山这3种针叶树的直径生长。如果未来气温升高 1°C , 2°C 和 3°C , 降水量不变, 预测的柳杉胸高直径生长量将分别增加3.2%, 6.3%和11.1%, 金钱松将分别增加3.7%, 5.6%和7.4%, 黄山松将分别增加3.5%, 7.1%和11.8%。如果在气温增加的同时, 伴随着降水量的改变, 则对这3种针叶树直径生长量的影响有所不同。春季和秋季降水的增多将减弱由气温升高引起的对这3种针叶树直径生长的促进作用, 而夏季降水的增加则会增强气温升高对金钱松生长的促进作用(详见表2)

表2 未来气候条件与胸高直径生长量预测

Tab 2 Future climate conditions and prediction of average diameter growth rate of trees at breast height

树种 Species	目前平均 生长量 Present average growth rate (mm/yr)	春季气温 变化 Change of SPRT ($^{\circ}\text{C}$)	夏季气温 变化 Change of SUMT ($^{\circ}\text{C}$)	春季降水 变化 Change of SPRP (%)	夏季降水 变化 Change of SUMP (%)	秋季降水 变化 Change of AUTP (%)	预测的平均 生长量 Predicted average growth rate (mm/yr)	生长增加 百分率 Percent of increase growth (%)
<i>Cryptomeria fortunei</i>	0.63		+1				0.65	3.2
			+1	+10			0.64	1.6
			+1	-10			0.66	4.8
			+2				0.67	6.3
			+2	+10			0.66	4.8
			+2	-10			0.68	7.9
			+3				0.70	11.1
			+3	+10			0.69	9.5
<i>Pseudotsuga amabilis</i>	0.54		+3	-10			0.71	12.7
		+1					0.56	3.7
		+1			+10	+10	0.56	3.7
		+1			-10	-10	0.55	1.9
		+1			+10	-10	0.57	5.7
		+1			-10	+10	0.54	0
		+2					0.57	5.6
		+2			+10	+10	0.57	5.6
		+2			-10	-10	0.57	5.6
		+2			+10	-10	0.58	7.4
		+2			-10	+10	0.55	1.9
		+3					0.58	7.4
		+3			+10	+10	0.59	9.3
<i>Pinus taiwanensis</i>	0.85				-10	-10	0.58	7.4
					+10	-10	0.60	11.1
					-10	+10	0.57	5.6
			+1				0.88	3.5
			+1			+10	0.87	2.4
			+1			-10	0.90	5.9
			+2				0.91	7.1
			+2			+10	0.90	5.9
			+2			-10	0.93	9.4
			+3				0.95	11.8
			+3			+10	0.93	9.4
			+3			-10	0.96	12.9

4. 讨 论

(1) IPCC 工作小组预测的未来气温的增加, 表现为一条逐渐增大的平滑曲线, 其平均增加的速度为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ yr}^{[1]}$, 因此该曲线上某一年对应的气温增加值可以理解为是有记录年代以来的平均气温与预测的未来某一年平均气温的比较。有观测记录以来历年的温度情况表现为具有一定变化趋势的波动曲线; 预测的未来历年温度变化情况则为具有增加趋势(与目前温度变化趋势比较而言)的波动曲线。本研究在设定未来气候条件时, 把预测的可能增加的温度值加到有观测记录以来的历年气温资料中, 这样一方面在总体上符合预测的温度增加条件, 另一方面使设定的气温变化情况表现为一波动曲线, 从而可充分利用现有气候观测资料来比较未来气候的变化情况。

(2) 从所得的柳杉、金钱松和黄山松的回归模型中可以看出, 前 1 年的生长对当年的生长具有显著的正影响, 而这一因素在本研究做预测时未予考虑, 这是因为本研究中未对这些树种依各年龄阶段及不同垂直高度进行调查和取样, 而树龄和树木在林分中的高度对树木的直径生长趋势有明显影响, 包括前 1 年的生长波动情况。本研究使用的年轮资料均取自这些树木的成熟阶段及相同的林冠位置。另外, 通过对年轮宽度系列提取平均趋势项和波动项, 在模型中可以部分地考虑到森林干扰和树木之间竞争的影响, 但在模型中未考虑由树木生长加快所导致的树木相互间的竞争。这一问题有待今后通过建立一定立地类型条件下各树种的胸高断面面积的比例变化关系来解决。

(3) 从研究结果看, 影响柳杉和黄山松的最主要气候因素是夏季气温(均达极显著水平), 它的未来变化对这两个树种生长的影响程度相近。影响金钱松生长的最主要气候因素是夏季和秋季降水量(均达显著水平), 所以, 未来气候的变化对树木生长的影响, 除考虑气温的变化外, 由气温变化引起的降水量的改变也应引起重视, 目前多采用的降水量增加或减少 10% 的处理似显不足。在应用本研究结果时, 除应考虑上述因素外还应参考相应植被的演替情况, 如西天目山的黄山松多与其他常绿或落叶阔叶树混生并且正在被其他阔叶树取代^[4, 6], 未来气温的增加, 有可能会促进阔叶树的生长, 加速黄山松林向阔叶林的演化过程, 从而使气候因素变化对其生长的影响减少。

参 考 文 献

- 1 李 霞, 张新时, 杨奠安. 1994: 应用 Holdridge 植被-气候分类系统进行中国植被对全球变化响应的研究, 国家自然科学基金委员会生命科学部和中国科学院上海文献情报中心编, 上海科学技术出版社, 上海. 1~16 页.
- 2 吴祥定等. 1990: 树木年轮与气候, 气象出版社, 北京.
- 3 张新时, 刘春迎. 1994: 全球变化条件下的青藏高原植被变化图景预测, 国家自然科学基金委员会生命科学部和中国科学院上海文献情报中心编, 上海科学技术出版社, 上海.
- 4 《浙江森林》编辑委员会. 1993: 浙江森林, 中国林业出版社, 北京. 116~127 页.
- 5 周广胜, 李迪强. 1994: 对全球变化反应的陆地生态系统研究, 全球变化与生态系统, 中国国家自然科学基金会生命科学部和中国科学院上海情报中心编, 上海科学技术出版社, 上海. 36~48 页.
- 6 夏 冰, 兰 涛, 贺善安等. 1995: 植物资源与环境 4(3): 15~20.

