

长白山森林植被的生态气候学指标

靳英华, 吴正方

(东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024)

摘 要: 在全球变化和植被与气候关系的研究中侧重与大尺度、宏观的抽象研究, 对小尺度、微观的具体地段植被与气候关系的研究即局地生态气候的研究尚待深入。本文在建立生态气候学指标的基础上, 应用桑斯威特(C. W. Thornthwaite) 的方法对长白山森林植被的空间分布进行了定量分析。计算了长白山不同坡向不同高度的温度效率指数。根据 30 个主要树种的温度效率指数, 确定了长白山不同坡向的各植被垂直带的温度效率指数及分布高度。并利用 ArcGIS8. 1 软件做长白山 1: 1 000 000 的 DEM 图, 得到长白山不同坡向各垂直带植被与温度效率指数的关系图。

关键词: 长白山; 植被垂直分带; 生态气候学指标

中图分类号: S718 文献标识码: A

其计算过程为

$$PE = 1. 6(10T/I)^A (S/360)$$

$$I = \sum(T/5)^{1. 514}$$

$$A = a_1I^3 + a_2I^2 + a_3I + a_4$$

式中 $a_1 = 6. 75 \times 10^{-7}$, $a_2 = - 7. 71 \times 10^{-5}$, $a_3 = 1. 79 \times 10^{-2}$, $a_4 = 4. 92 \times 10^{-1}$ 。PE (cm) 也称为可能蒸散, PE 值决定于月均温 T (°C), 并以月实际日照时数 S (h) 的 1/360 做订正系数; 当 $T \leq 0$ °C 时, PE 设定为 0 cm; I 为热量指数, a 为因地而异的常数, $IM = 100(P/PE - 1)$, P 为年降水量。

桑斯威特的热量指标不是简单的温度指标, 而是由温度决定的可能蒸散能力(PE), 即温度效率指数。它可衡量区域具有的潜在蒸散能力。水分指标也没有简单地使用降水量, 而是用湿润指数(IM) 来估算, 它是降水量和可能蒸散能力的蒸数, 即考虑了区域内水份的盈亏。据此, 对决定植被类型空间分布的两种气候指标进行生态学上的分类。

2. 2 长白山主要树种及主要植被类型的温度效率指数

根据长白山区 29 个气象站的年均温、降水量计算得到长白山区的温度效率指数和湿润指数, 根据

1 长白山的自然概况

长白山位于吉林省东南部的中朝两国交界处, $41^{\circ}23'N \sim 42^{\circ}36'N$, $126^{\circ}55'E \sim 129^{\circ}E$ 。是东北地区松花江、鸭绿江和图们江三大河流的发源地, 是我国著名的休眠火山。长白山山体高大, 基底到顶峰海拔高度相差 2 000 余 m, 最高峰白云峰 2 691 m。中国科学院在山下建的长白山气象站年均温约 2. 8 °C, 而山顶的天池气象站年均温约- 7. 3 °C。山下长白山气象站年均降水量为 600~ 900 mm, 而山顶的天池气象站年均降水量为 1 340 mm, 最多年份达 1 809 mm。降水多集中在夏季, 6~ 9 月降水量占全年的 80%。长白山地区气温低、降水多、蒸发多量小, 气候非常湿润。

2 长白山森林植被的生态气候学分析

2. 1 研究方法

利用桑斯威特的温度效率指数(PE) 和湿润指数(IM) 作为研究的生态气候学指标^[1, 2]。

收稿日期(Received date): 2002- 08- 20; 改回日期(Accepted): 2002- 11- 20。
基金项目(Foundation item): 吉林省科委资助项目(990537)。[Supported by Project of science and technology committee of Jilin(990537)]
作者简介(Biography): 靳英华, (1968-), 女(汉族), 硕士, 吉林省长春市人, 讲师, 主要从事森林生态学研究。[JIN Ying-hua(1968-), lecturer, specialized in ecology of forest.]

桑斯威特划分气候型指标体系, 长白山区属中温的潮湿型生态气候型, 适合森林植被的生长。不同树种的出现与热量条件有关, 水分指标不是限制因子。在山地气候学中常用方程

$$T = T_{0+} + B_1LAT + B_2LOG + B_3ELT$$

来计算气温的变化。式中 LTA 为地理纬度, LOG 为地理经度, ELT 为海拔。

根据长白山区 29 个气象站的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温资料, 用多元回归方法建立长白山区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与地理纬

度、地理经度、海拔的关系方程式^[3]

$$T \geq 10^{\circ}\text{C} = 17790.560 - 128.316LAT - 72.870LOG - 1.353ELT$$

东北地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与 PE 的方程式为^[4]

$$PE = 30.80032 + 0.01083T \geq 10^{\circ}\text{C}$$

根据徐文铎^[5~10]和吴正方^[4]采用半峰宽(PWH)的计算法确定的 30 个主要树种的 WI (温暖指数) 计算得到 30 个主要树种的 PE (表 1) 和主要植被类型的 PE (表 2)。

表 1 主要树种的温度效率指数分布状况
Table 1 The distribution of the PE index of the main species

编号	树 种	全范围	最适范围	编号	树 种	全范围	最适范围
1	偃松(<i>Pinus pumila</i>)	35~ 50	37~ 48	16	水曲柳(<i>Fraxinus</i>)	45~ 63	50~ 59
2	岳桦(<i>Betula ermanii</i>)	37~ 47	39~ 44	17	春榆(<i>Ulmus japonica</i>)	45~ 61	49~ 56
3	樟子松(<i>Pinus sylvestris</i> Var. <i>mongolica</i>)	39~ 56	43~ 51	18	白桦(<i>Betula platyphylla</i>)	45~ 67	48~ 56
4	兴安落叶松(<i>Larix dahurica</i>)	38~ 58	42~ 53	19	黑桦(<i>Betula davurica</i>)	45~ 69	50~ 61
5	红皮云杉(<i>Picea koraiensis</i>)	38~ 61	43~ 56	20	核桃楸(<i>Juglans mandshurica</i>)	45~ 64	50~ 60
6	鱼鳞云杉(<i>Picea jazoensis</i>)	38~ 61	45~ 56	21	沙松(<i>Abies holophylla</i>)	46~ 66	50~ 60
7	臭冷杉(<i>Abies nephrolepis</i>)	39~ 61	43~ 56	22	枫桦(<i>Betula costata</i>)	47~ 66	49~ 57
8	花楷子(<i>Acer ukurunduense</i>)	40~ 62	46~ 56	23	黄菠罗(<i>Phellodendron amurense</i>)	47~ 61	51~ 57
9	长白落叶松(<i>Pinus densiflora</i>)	41~ 56	45~ 54	24	鹅耳枥(<i>carpinus cordata</i>)	48~ 70	51~ 63
10	青楷槭(<i>Acer tegmentosum</i>)	43~ 62	46~ 56	25	拧筋槭(<i>Acer mandshuricaum</i>)	48~ 66	50~ 61
11	蒙古栎(<i>Quercus mongolica</i>)	45~ 70	50~ 62	26	白牛槭(<i>Acer mandshuricaum</i>)	48~ 66	50~ 60
12	紫椴(<i>Tilia amurensis</i>)	43~ 70	50~ 58	27	花曲柳(<i>Fraxinus myncophylla</i>)	48~ 61	49~ 59
13	色木槭(<i>Acer mono</i>)	44~ 66	50~ 57	28	赤松(<i>Pinus desiflora</i>)	61~ 70	62~ 66
14	糠椴(<i>Tilia mandshurica</i>)	44~ 61	49~ 57	29	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	51~ 70	62~ 68
15	红松(<i>Pinus koraiensis</i>)	45~ 64	50~ 59	30	槲栎(<i>Quercus aliena</i>)	51~ 70	63~ 68

表 2 主要植被类型的温度效率指数
Table 2 The PE index of the main vegetation types

编号	主要植被类型	温度效率指数范围
1	岳桦林	36. 7~ 38. 9
2	混有云、冷杉的红松林	38. 9~ 49. 8
3	混有枫桦、水曲柳的红松林	49. 8~ 58. 6
4	混有沙松、鹅耳枥的红松林	> 58. 6

2 3 长白山植被垂直带与温度效率指数的关系

2.3.1 长白山不同坡向温度效率指数垂直变化率

地方气候是指在一个气候区域内^[11]由于地方地形的异质性造成的气候特异性的表现。与局部的小地形变化形成的小气候相比, 地方气候的空间尺度要大得多。但它仍然是地带性气候的地方性分异表现, 属于同一大气环流影响和控制下, 由地方地形造成的气候差异。地方气候是地形土壤发育和地方植被组成、结构、生产力及其空间分布格局的基础, 仅掌握大气候背景特征无法满足这一专题研究需要, 尤其是对多山地区更是如此。由于山地气象台

站较少, 现有的气象站资料难以反映山地气候特征及其空间梯度变化, 常使研究工作比较粗糙, 在一定程度上限制了生态学基本问题的深入研究。长白山地处中纬, 靠近亚洲大陆东部沿海, 隔日本海, 面向太平洋。华夏向的山体构造及山体走向与海岸一致阻挡了冬季盛行的西北气流和夏季盛行的西南气流, 作为自然屏障使不同坡向的温度、降水有很大的不同。在各垂直带内由于所处坡向不同, 气温和降水的变率也不同, 这就使不同坡向相同的植被垂直带的高度不同, 因此不同坡向垂直带的温度效率指数与湿润指数的变率也就不同, 所以有必要计算不同坡向的各垂直带的温度效率指数与湿润指数。

计算长白山不同坡向(北坡、东北坡、东坡、西坡、西南坡和南坡)温度效率指数及其变化梯度, 在长白山六个不同坡向选基本站: 松江(北坡 42. 533°N、128. 25°E)、和龙(东坡 42. 517°N、128. 967°E)、明月(东北坡 43. 1°N、128. 9°E)、临江(西南坡 41. 717°N、126. 917°E)、长白(南坡 41. 35°N、128. 167°E)、东

岗(西坡 42. 1°N、127. 566°E)。用区域的通用方程
$$T \geq 10^{\circ}\text{C} = 17790.560 - 128.316LAT - 72.870 LOG - 1.353 ELT$$
求出各基本站(0 海拔)的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温值,再用
 $PE = 30.80032 + 0.01083T \geq 10^{\circ}\text{C}$ 求出不同坡向基

本站(0 海拔) 的温度效率指数(表 3)。将松江、和龙、明月、临江、长白、东岗各基点(0 海拔) 的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温转换成温度效率指数。根据 6 个站点的实际温度效率指数与其海拔高度用最小二乘法求出不同坡向温度效率指数的垂直变化率(表 4)。

表 3 各测站温度转换为温度效率指数表
Table 3 The PE index tranformed from the temperature($\geq 10^{\circ}\text{C}$) of sites

站点	松江	明月	和龙	长白	临江	东岗
海拔高度(m)	591.4	369	442.9	1016.7	332.5	774.2
0m 海拔 PE	63.153	61.852	62.61	64.862	65.339	64.294
实际 PE	53.811	56.881	58.376	51.807	61.003	54.529

表 4 不同坡向温度效率指数的垂直变化率
Talbe 4 The vertical variable rate of the PE index on the different slope direction

坡向	北坡	东北坡	东坡	南坡	西南坡	西坡
PE 垂直变化率	1.58	1.347	0.956	1.284	1.304	1.261

根据得到的温度效率指数的垂直变化率可知: 位于迎风坡的西南坡、南坡, 西坡温度效率指数的垂直变化率较小; 而位于背风坡的东北坡、北坡温度效率指数的垂直变化率大, 临海的东坡温度效率指数的垂直变化率最小。这一结论与定性分析的实际情况完全符合。

2.3.2 温度效率指数与长白山不同坡向植被垂直带的界定

根据不财皮向温度效率指数的垂直变化率, 剔除经纬度对温度效率指数的影响, 建立不同坡向温度效率指数与高度的关系式

北 坡: $PE = 63.153 - 0.0158h$

东北坡: $PE = 61.852 - 0.01347h$

东 坡: $PE = 62.61 - 0.00956h$

南 坡: $PE = 64.862 - 0.01284h$

西南坡: $PE = 65.339 - 0.01304h$

西 坡: $PE = 64.294 - 0.01261h$

根据不同坡向温度效率指数与高度的方程式, 计算不同坡向每升高 200m 地形面的温度效率指数(表 5)。

应用 ArcGIS8.1 软件做长白山(41°52′ N~ 42°06′ N, 127°52′ E~ 128°12′ E) 1: 1,000,000 的数字高程 DEM。首先, 利用长白山地区的数字地形模型(DEM) 生成研究区的坡向图(图 1), 然后, 根据各坡

表 5 长白山不同坡向不同高度的温度效率指数
Table 5 the PE index on the different slope direction and the different altitude of the Changbai Mountain

高度(m)	北坡	东北坡	东坡	南坡	西南坡	西坡
600	53.673	53.77	56.874	57.158	57.515	56.728
800	50.513	51.076	54.962	54.59	54.907	54.206
1000	47.353	48.382	53.05	52.022	52.299	51.684
1200	44.193	45.688	51.138	49.454	49.691	49.162
1400	41.033	42.994	49.226	46.886	47.083	46.64
1600	37.873	40.3	47.314	44.318	44.475	44.118
1800	34.713	37.606	45.402	41.75	41.867	41.596
2000	31.553	34.912	43.49	39.182	39.259	39.074
2200	28.393	32.218	41.578	36.614	36.651	36.552
2400	25.233	29.524	39.666	34.046	34.043	34.03
2600	22.073	26.83	37.754	31.478	31.435	31.508

向的温度效率指数与高度关系式,对相关图层进行地图代数运算,获得不同坡向的温度效率指数图(图2)。最后,根据主要植被类型温度效率指数生成长白山不同坡向植被垂直带与温度效率指数关系图(图3)。根据不同坡向、不同高度的温度效率九,确定其与主要树种分布之间的量化关系,可统一各坡向植被垂直带的界限和植被类型。

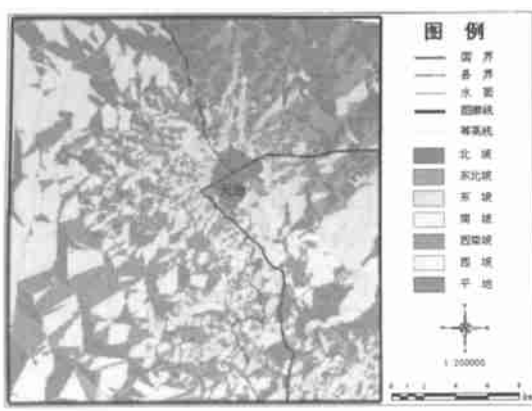


图1 长白山地坡向图

Fig. 1 The slope direction of the Changbai Mountain

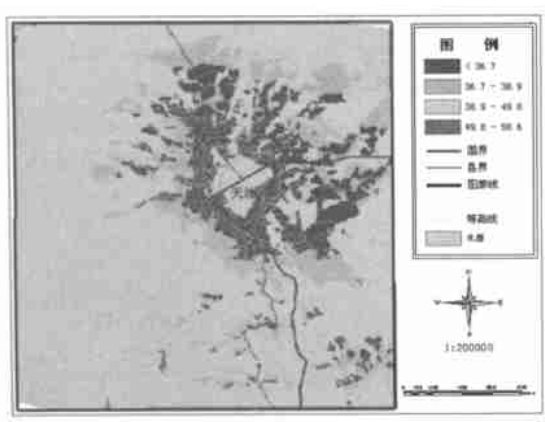


图2 长白山各坡向温度效率指数分布图

Fig. 2 The distribution of PE index in different slope direction of the Changbai Mountain

从图中可以清楚地看出: ①混有沙松、鹅耳枥的红松林温度效率指数 > 58.6 。海拔 600 m 以下的山地, 次生的植被—蒙古栎林取代了混有沙松、鹅耳枥的红松林。但在阴坡和中等温度的地方还散生有沙松。②混有枫桦、水曲柳的红松林温度效率指数为 49.8~ 58.6, 自北而南分布高度由 600 m 逐渐升至 1 340 m。③云杉、冷杉林的温度效率指数为 38.9~ 49.8, 从北到南分布高度由 845 m 逐渐升到 2 020 m。按温度效率指数云杉、冷杉林可以分布在

更高的位置, 但受土壤条件与风速的限制, 地势再高, 云杉、冷杉林已不能生长。④岳桦矮曲林温度效率指数为 36.7~ 38.9, 自北而南分布高度的下限为 1 540~ 2 000 m, 上限可达 1 670~ 2 200 m。按温度效率指数估算, 岳桦矮曲林在北坡分布的高度为 1 540~ 1 670 m。岳桦矮曲林不是地带性植被, 而是演替过程中的先锋树种, 逐渐将被云杉、冷杉林取代。在东坡及西、南、西南坡的温度效率指数较高, 岳桦矮曲林可以分布在更高的位置上, 但因火山喷发时间短, 2 100 m 以上的地表均是全新统灰白色的碱性浮岩, 冬季白雪覆盖, 夏季基岩裸露, 岳桦矮曲林无法生长。特别是东坡, 因火山周期发毁灭了大部分原有森林, 形成大面积的次生裸地, 只有喜光的先锋树种——长白落叶松得以生长成林, 直抵现在的森林上限 1 800 m。

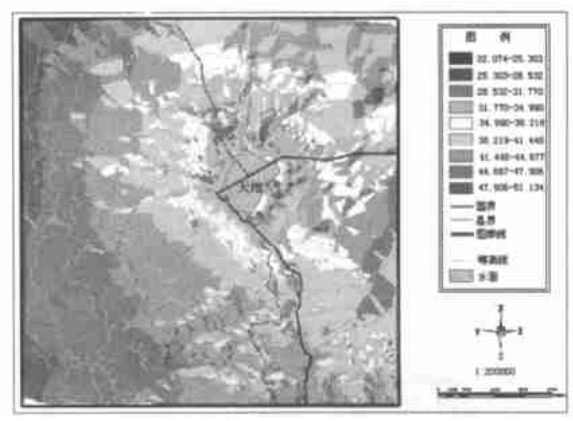


图3 长白山各坡向垂直植被带与温度效率指数关系图

Fig. 3 The interaction between the PE index and vertical vegetationes in different slope direction of the Changbai Mountain

3 结论

1. 长白山山体高大, 地势复杂, 气候随海拔高度的变化有明显的垂直带性分异。各垂直带由于所处坡向不同, 温度效率指数与湿润指数的变率不同, 由此导致不同坡向同一类型植被带分布高度不同。
2. 长白山林带上限问题, 徐文锋先生认为在 Wt 为 15℃ 的 2 100 m 处, 长白山北坡的岳桦林还不是林带上限。笔者认为北坡的温度效率指数低于岳桦林的生长范围, 但东坡及西、南、西南坡的温度效率指数则可允许岳桦林的生长。
3. 长白山是祖国边陲的绿色屏障, 它具有丰富的生态、经济、公益效益。加强长白山森林植被的生态气候学研究, 对区域恢复与重建、改善生态环境具

有重要的现实意义, 并且为全球气候变化的植被响应研究提供本底资料, 桑斯威特的指标生态气候学具有很好的实用价值。

参考文献(References):

- [1] Zhang Xinshi, The potential evapotranspiration(PE) index for vegetation and vegetation- climatic classification[1] - An introduction of main methods and PEP program. *Acta Phytocool Geobot Sin*, 1989a, **13**(1): 1~ 9. [张新时. 植被的 PE(可能蒸散) 指标与植被——气候分类(一): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, **13**(1): 1~ 9.]
- [2] Zhang Xinshi, The potential evapotranspiration(PE) index for vegetation and vegetation- climatic classification[2] - An introduction of main methods and PEP program. *Acta Phytocool Geobot Sin*, 1989a, **13**(4): 297~ 207. [张新时. 植被的 PE(可能蒸散) 指标与植被——气候分类(二): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, **13**(4): 297~ 207.]
- [3] Ma Shuqing. The estimating method of thermal resources and the arrangement of crop variety in the changbai mountainous region. *Mountain Research* 1990. **8**(3): 154~ 160. [马树庆等. 长白山热量资源推算与农作物品种布局[J]. 山地研究, 1990, **8**(3): 154~ 160.]
- [4] Wu Zhengfang. Degree paper: Research on correlation of vegetation - climate and impacts of global climate change, 1995. 5. [吴正方. 博士论文. 东北地区植被——气候关系及全球气候变化影响研究[D], 1999. 5.]
- [5] Xu Wenduo Primary study on Relations between Vegetation Vertical Distribution and temperature index of changbai mountains. *Research of forest ecosystem*. 1981, (2): 88~ 95. [徐文铎, 林长青. 长白山植被垂直分布与气温指数的关系初步研究. 森林生态系统研究[J], 1981, (2): 88~ 95.]
- [6] Xu Wenduo Kira's temperature indices and their application in the study of vegetation[J]. *journal of ecology*, 1985, **4**(3): 35~ 39. [徐文铎, 吉良的热量指数及其在中国植被中的应用[J]. 生态学报, 1985, **4**(3): 35~ 39.]
- [7] Xu Wenduo. The relation between distribution of zonal vegetation types in Northeast China and climate. *Acta phytocool Geobot sin*, 1986, (4): 254~ 262. [徐文铎. 中国东北主要植被类型的分布与气候的关系[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1986, (4): 254~ 262.]
- [8] Xu Wenduo Primary study on relation of the main vegetation types in Northeast China and quantity of heat, *Jorunal of Northeast forest Academy*. 1982, (4): 1~ 10. [徐文铎. 东北主要树种的分布与热量关系的初步研究[J]. 东北林学院学报, 1982, (4): 1~ 10.]
- [9] Xu Wenduo. Primary study on relationship between hydrological and thermal indices and distribution of main species in Northeast China. *Acta Botanica Sinica*. 1983, (3): ~ 264~ 273. [徐文铎. 东北地带性植被建群种及常见种的分布与水热条件关系的初步研究[J]. 植物学报, 1983, (3): 264~ 273.]
- [10] Xu Wenduo. Zonal climax vegetation types in Northeast China and their predicted discriminant model. *Chinese Journal of applied ecology*. 1992, **3**(3): 215~ 222. [徐文铎, 常禹. 中国东北地带性顶极植被类型及其预测判别模型——动态地植物学说的继承与发展(I)[J]. 应用生态学报, 1992, **3**(3): 215~ 222.]
- [11] Xiao Yang. A study on the relationship between the local climate-geographic Gradient and the Bio- climatic Indices in Guandi Mountains. *journal of Shanxi Agricultural university*. 1998. **18**(1): 89~ 94. [肖扬等. 关帝山地方气候梯度及其与植被空间分布的研究[J]. 山西农业大学学报, 1998, **18**(1): 5~ 9.]

Eco-climatic Study on Forest Vegetation in Changbaishan

JIN Ying-hua and WU Zheng-fang

(College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Jilin, Changchun 130024 China)

Abstract: The research of the relationship between global change and vegetation is now emphasized particularly on the larger scaled, macroscopical and abstract study. But the smaller scaled, microcosmic and specific study needs more work. In this paper we analyze the forest vegetation in Changbai mountain quantitatively by using the eco-climate factor's of Thornthwaite. And computed PE at different altitude and slope zone in the Changbaishan. And based on PE index of thirty main forest species, discussed the index PE and height in vertical vegetation zones at different altitude and slope zone of Changbaishan. And from the database of 1: 200 000 getting from ArcGIS 8.1, we create the figure of relationship between the index of temprature efficiency and the distributing altitude of vertical vegetation zones on the different slope of Changbai Mountain.

Key words: Mt. Changbaishan; vertical vegetation zones; eco-climatic index