

长白山的气候特征及北坡垂直气候带*

杨美华

(东北师范大学地理系)

提 要

长白山是温带大陆季风型高山气候。北坡有明显的垂直气候带、自下而上为山地针阔混交林气候带、山地针叶林气候带、山地岳桦林气候带、高山灌丛气候带、高山荒漠气候带。

长白山是我国著名的休眠火山，位于北纬 $40^{\circ}58'$ — $42^{\circ}6'$ ，东经 $127^{\circ}54'$ — $128^{\circ}8'$ （在吉林省的东南，海拔 2700 余米）。总观山体，1800 米以下为熔岩高原，地势倾斜平缓；以上为火山锥体，山势陡峻。气候随高度有明显的垂直带性分布：自下而上为山地针阔混交林气候带、山地针叶林气候带、山地岳桦林气候带、高山灌丛气候带和高山荒漠气候带^[1-3]。各气候带内依地形、气流、水体和植被的不同又形成了各种各样的小气候。长白山不仅自身气候结构复杂，规律明显，独具风格，其高大山体的机械作用对吉林省中东部的气候及天气系统演变有所影响，同时也使东亚大气环流更加复杂。

笔者于 1978 年 8 月随东北师范大学地理系长白山综合自然考察队进山，在二十天的时间里，除进行实地气候调查、访问及小气候临时定位气象观测外，曾对长白山进行四次攀登，并利用汽车采用通风干湿表进行气温和湿度的垂直流动观测，取得了垂直气候带和小气候方面的一些第一手材料^[4,5]。本文对 18 个气象站、21 个水文站资料（资料年限长短不一，均截止于 1970 年）进行了对比分析。长白山现有的气象观测资料是：2670 米的天池气象站有 20 年的资料；和平林场子弟学校有两年 5—11 月的资料。降水和霜冻等主要依据天池、温泉（1800 米）、和平营子（1126 米）、奶头山（820 米）、二道白河（700 米）、松江（591 米）、明月镇（369 米）等水文站的资料，各站年限 8—15 年不等，为便于对比，均取至 1974 年。海拔高度参照万分之一比例尺的地形图，利用高度表直接测得。

一、长白山气候的一般特征

长白山在中纬度亚洲大陆东岸，隔日本海面向太平洋；在高空正处西风带，终年以偏西风为多，山的顶部全年吹西风。由于亚洲大陆与太平洋气压场的配置，使长白山区风向随季节更替呈有规律的变化：冬、春、秋多吹西风、西北风；夏季主吹东南、西南风，表现了明显的季风性^[6]（见表 1）。

东北西南向的山体构造，成为气候上的自然屏障，致使山地各坡向气温和降水的分

* 本文于 1979 年 10 月 8 日收到，1980 年 3 月 22 日收到修改稿。

表 1 长白山气候的季风特征

地 名	海拔高度 (米)	坡 向	冬半年 主要风 向	夏半年 主要风 向	年最多 风向	12月—2月		6月—8月	
						年降水 (毫米)	占全年 %	年降水 (毫米)	占全年 %
天 池	2670	顶	NW	SW	W	56	3	856	61
长 白	711	南	NW	SE	W	32	4	480	64
松 江	591	北	NW	SE	W	27	3	396	58
抚 松	430	西	W	S	W,S	26	3	476	60
和 龙	443	东北	W	N	W	17	3	348	65

表 2 不同坡向的温度情况

坡 向	地 名	海拔高度 (米)	年平均气温 (°C)	热月气温 °C	冷月气温 °C	年较差 (度)	≥10°C 活动积温	≥0°C 持续日数
顶	天 池	2670	-7.3	七、八月 8.5	一月 -24.0	32.5	117	105
南	长 白	711	2.0	七月 18.2	一月 -17.8	36	1923	196
北	松 江	591	2.2	七月 19.7	一月 -18.8	38.5	2149	202
东 北	明月镇	369	3.5	七月 20.3	-16.4	36.7	2405	213
西 南	临 江	332	4.6	七月 22.1	一月 -18.0	40.1	2813	230

布有所不同。如西南侧的临江 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温为 2813 度，而在东北侧的明月镇为 2405 度。节气相差半月以上（见表 2）。由于长白山走向与海岸一致，在迎风坡雨量丰沛。如通化一带年降水量可达 900—1000 毫米，成为吉林省的多雨区，而背风侧则降水较少，如和龙仅有 532 毫米，为典型的雨影区域。各坡向的降水状况见表 3，（图 1）。

表 3 不同坡向的降水情况

坡 向	地 名	海拔高度(米)	年降水量(毫米)	向 背 风
顶	天 池	2670	1407	畅 通
北	松 江	700	676	偏背风坡
	敦 化	524	636	
东 北	和 龙	443	532	背 风 坡
	延 吉	177	515	
西 南	漫 江	820	899	迎 风 坡
	临 江	333	883	
南	长 白	711	747	偏迎风坡

长白山的障壁作用阻挡了暖湿空气深入内部。除顶峰因地势高受下垫面的影响小、大陆度为 48% 有类海洋性山地气候外，其余地方大陆度均在 50% 以上。

长白山的天气多变，晴朗的天空在数小时内即可发生剧烈的变化。山顶雾日平均每年为 267 天，大约占年总日数的六分之五。雷暴日数有 30 多天。冬季漫长可达 8 个月，全年只有四个月在零度以上，春秋也很短促。

长白山的主要气候特征是具有季风色彩的温带大陆型高山气候。冬长、寒而燥；夏短、凉而湿。全年多云雾，自下而上有明显的山地垂直气候带。

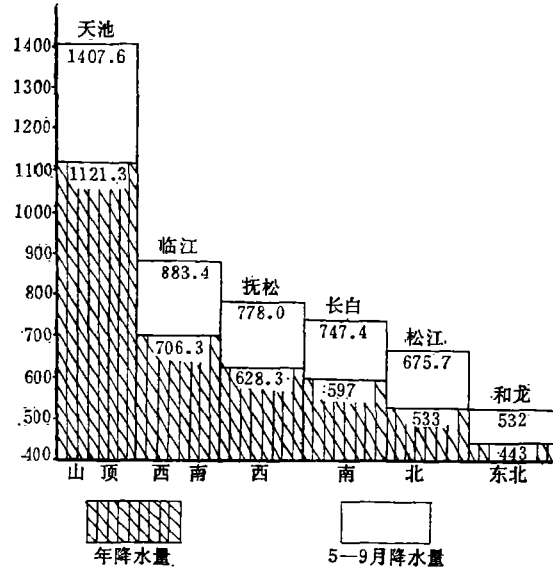


图 1 长白山不同坡向的降水分布

二、长白山北坡气象要素的垂直分布^[7,8]

1. 光照

长白山上部因雾大阴天多，太阳辐射总量和日照总时数一般都比山下为少。太阳辐射总量最大值出现在 5 月，最小值出现在 12 月。日照时数最大值也出现在 5 月，最小值在天池，为雨雾连绵的 7 月，松江则出现在太阳高度角最小的 12 月。它们的垂直变化均为线性（见表 4）。

表 4 太阳总辐射量及日照时数的垂直分布

项 目 地 名	太阳总辐射量 (千卡/厘米 ² ·年)			日 照 时 数 (小 时)		
	最大值 月	最小值 月	年总量	最大值 月	最小值 月	年总时数
天 池	14.15 5 月	5.3 12 月	121.5	230 5 月	124 7 月	2295
松 江	14.65 5 月	5.0 12 月	125.0	246 5 月	162 12 月	2434
经验公式 ¹⁾	$Q = 125.8 - 0.00158H$ 式中: Q 为太阳总辐射量 H 为海拔高度 (米)			$h = 2445 - 0.0555H$ 式中: h 为日照时数 H 为海拔高度 (米)		

¹⁾ 采用左大康等计算方法，中国地区太阳总辐射的空间分布特征，气象学报，第 33 卷一期。

2. 气温

长白山是吉林省气温最低的区域,其热量状况山上和山下差别很大。明月镇热月平均气温高达 20.3°C ,而天池只有 8.5°C ,极端最高气温才 19.2°C 。根据 1978 年 8 月 18 日(曇天)、21 日(阴天)、22 日(晴天)、23 日(晴天)所进行的四次观测资料,采用线性方程 $y=a+bx$ 、指数方程 $T=ae^{bx}$ 、对数方程 $T=a+b\ln x$ 和幂函数方程 $T=ax^n$ 计算表明:以指数方程气温与高程相关最佳,统计结果和调查访问以及自然地理景观特征相符。回归方程见表 5。

表 5 不同天气条件下气温垂直变化的经验公式

天气状况	相关程度	经验公式	效 验
曇 天	$\gamma=0.889$	$T=24.148e^{-0.00042H}$	误差 2.9—0.1
阴 天	$\gamma^{**}=0.954$	$T=22.989e^{-0.00033H}$	绝对误差 0.2—0.1
晴 天	$\gamma=-0.924$	$T=24.377e^{-0.00021H}$	绝对误差 0.7—0.2
阴晴平均	$\gamma=-0.964$	$T=23.561e^{-0.00027H}$	绝对误差 0.5—0.6

表中 γ 为高程与气温的相关系数; γ^{**} 为显著相关信度; γ 均 $>\alpha=0.001 >0.765$

气温随高度的变化并非成理想直线下降,而是曲折迂迴趋向性的下降(图 2)。垂直减温率晴天小,为 $0.37^{\circ}\text{C}/\text{百米}$,阴天为 $0.56^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 。由 700—1300 米之间减温率大,平均为 $0.62^{\circ}\text{C}/\text{百米}$; 1400—1800 米因沟谷相间又有温泉影响为逆温区,比 1400 米处高 0.4°C — 0.7°C ; 1800—2700 米平均为 $0.47^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 。在季节变化上,冬季(一月)减温率小,平均为 $0.30^{\circ}\text{C}/\text{百米}$,夏季(七月)减温率大,约为 $0.56^{\circ}\text{C}/\text{百米}$,年平均为 $0.49^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 。

热量资源的分布亦随高度的增加而减少, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温在天池为 118° ,在松江为 2149° ,积温随高度的变化规律为一直线,相关系数为 -0.999 (图 3)。

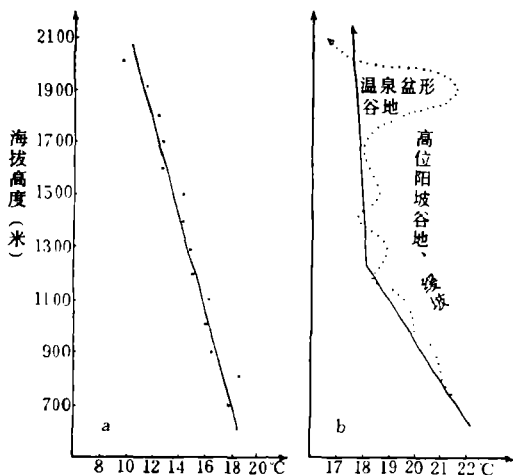


图 2 长白山北坡气温垂直变化
(a 8 月 21 日上午 8 时(阴天), b 8 月 23 日上午 8 时(晴天))

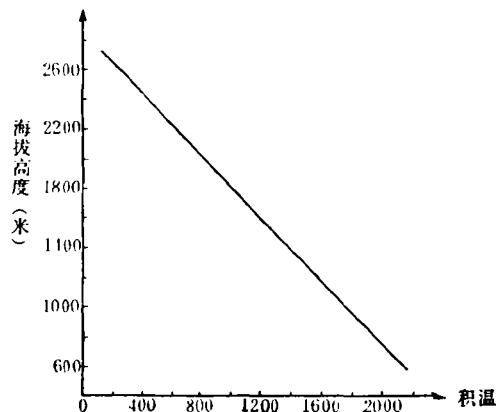


图 3 长白山北坡 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温垂直变化
($T=2752.3-0.988H$)

长白山的霜期, 山上和山下也很悬殊。700 米以下的地方, 无霜期都在 120 天以上, 天池平均为 57 天, 1967 年最短仅有 13 天。其它绝大部分地区, 夏季不仅短而且也很凉爽。

3. 降水与湿度

长白山是东北降水最多的区域, 年雨量均在 700 毫米以上; 天池为 1407 毫米, 最多可达 1809 毫米, 最少为 882 毫米、年降水变差系数为 0.16。降水主要集中在夏季, 6—9 月降水量占全年的 70%。冬季降水少, 如天池 1, 2 月平均月降水量都只有十几毫米。降水量和降水的垂直增量, 都随高度的增加而加大 (图 4, 表 6), 和迎风的西南坡相比, 其垂直递增率大于西南坡。如临江海拔高度为 333 米, 年雨量为 883 毫米, 到海拔 820 米处的漫江, 年雨量为 878 毫米, 两地相差 487 米降水量只差 5 毫米, 降水增量为 1 毫米/百米。长白山北坡从 591 米处的松江到 700 米的二道白河, 高差 109 米, 降水增量为 19 毫米。峰端在最大降水带内、降水量的垂直变化呈抛物线型, 回归方程如下

$$p = 580.98 e^{0.000318H}$$

式中, p 为某高度年降水量 (毫米); H 为海拔高度; e 为自然对数的底。

长白山降水垂直增量的空间分布与我国其它山脉不同。如四川峨眉山的降水增量是下大、中小、上减。1000 米以下是 57 毫米/百米, 1000—2000 米增量渐减至 12 毫米/百米, 2300 米以上开始递减, 最大降水带位于 2000—2300 米¹⁾。在季节变化上长白山的降水增量也与其它山不同, 如武夷山最大降水增量不是出现在夏季, 而是出现在 4 月, 最小月不是冬季而是 10 月 (见表 6)。

表 6 各山的降水垂直增量情况

山 名	站 名	海拔高度 (米)	年降水量 (毫米)	最大月降水增量 (毫米)	最小月降水增量 (毫米)	年平均增量 (毫米)
长 白 山	天 池	2076	1407	7 月 10.8	1 月 0.3	35.2
峨 眉 山	峨 眉 山	3047	1960	7 月 3.1	1 月 0.1	14.1
武 夷 山	黄 岗 山	2100	3376	4 月 11.8	10 月 1.3	88.4
天 山	乌 恰	2160	1631	7 月 1.4	1 月 0.09	12.0
五 台 山	五 台 山	2896	966	7 月 3.1	1 月 0.4	24.2

由于长白山的冬季漫长, 故降水有 8 个月以上的时间是以固体形式降落。积雪深度随高度的增加而加厚 (见表 7), 冻土深度随积雪厚度的增加而减少。如天池到温泉全年无冻土, 二道白河土冻 1 米, 松江沙地深达二米。

长白山的湿度较大, 阴天时相对湿度都在 85% 以上, 垂直变化小; 晴天因受下垫面影响, 垂直变化较大 (图 5)。

相对湿度与高程的关系服从对数规律 (图 6)。

1) 参照川西高原降水量垂直变化的初步分析, 四川省气象局, 1974 年 9 月 (油印稿)。

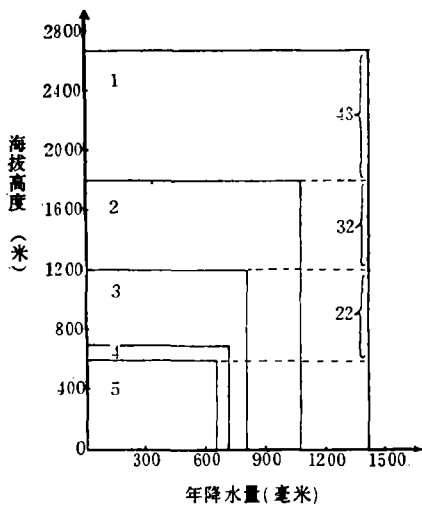


图 4 长白山北坡年降水量垂直变化
(1—天池, 年降水量 1407 毫米; 2—温泉, 年降水量 1029 毫米; 3—和平营子, 年降水量 818 毫米; 4—二道白河, 年降水量 718 毫米; 5—松江, 年降水量 676 毫米。图中数字 43, 32, 22 分别为垂直增量(毫米/百米))

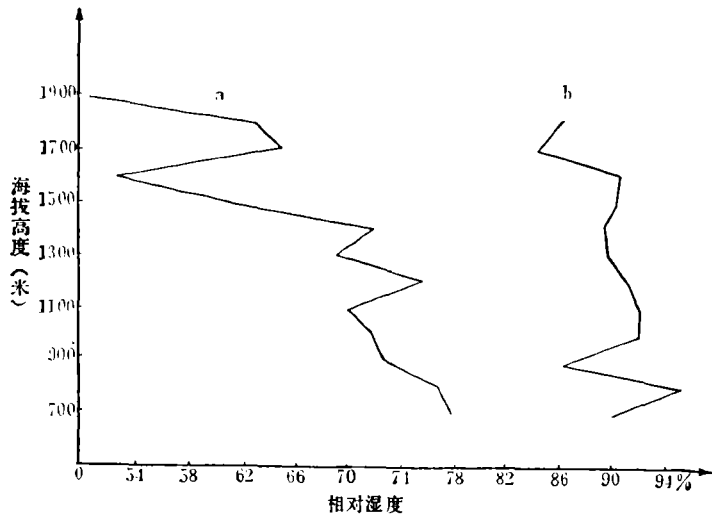


图 5 长白山北坡不同天气相对湿度的垂直变化(上午八时观测)
(图中, a 为 8 月 23 日(晴天); b 为 8 月 21 日(阴天))

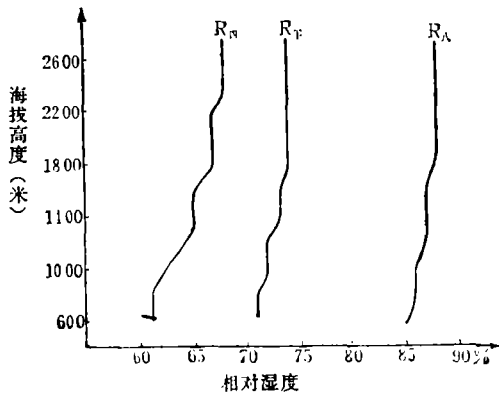


图 6 长白山北坡年、四月(最小)、八月(最大)平均相对湿度的垂直变化
(R 表示相对湿度(%); H 表示海拔高度(米); $R_{四} = 0.203 + 0.061 \ln H$; $R_{年} = 0.523 + 0.028 \ln H$; $R_{八} = 0.721 + 0.021 \ln H$)

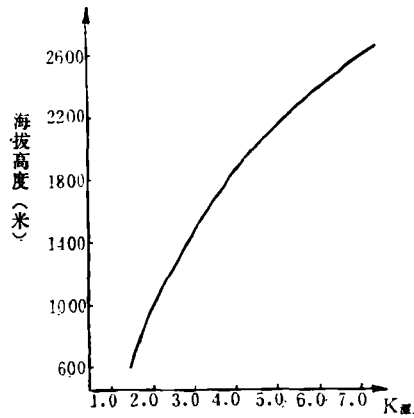


图 7 长白山北坡湿润系数¹⁾($K_{湿}$)的垂直分布
($K_{湿} = -0.08348 e^{0.00075H}$, $\gamma = 0.999$, $\alpha = 0.01$, $a = -0.08348$, $b = 0.00075$)

1) 湿润系数采用 H.H. 伊凡诺夫公式计算

$$K_{湿} = \frac{\sum P}{\sum E} = \frac{\sum P}{\sum 0.0018(t+25)^2(100-a)}$$

(式中, $K_{湿}$ 为湿润系数; $\sum P$ 为年降水量; $\sum E$ 为月平均蒸发量总和; t 为月平均气温; a 为月平均相对湿度)

表 7 长白山北坡积雪深度与冻土深度

地 名	积 雪 深 度 (公分)	冻 土 深 度 (公分)
天 池	200—400	无冻土
温 泉	120—150	无冻土
和 平 营 子	80—100	20
二 道 白 河	50—70	100
松 江	30—50	100—120 (沙地 200)

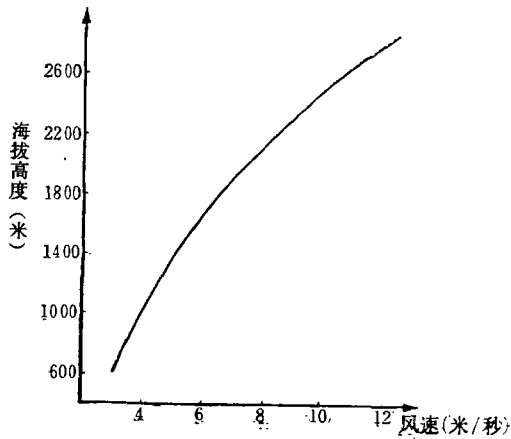


图 8 长白山北坡年平均风速垂直分布
($S=2.058 e^{0.00084H}$)

长白山湿润系数较好的反应了各垂直气候带的温湿组合，它与地理景观界限大体一致(图 7)。在吉林省的具体条件下湿润系数 ≥ 1.0 为湿润气候。

4. 风

长白山因受温带大陆季风的控制，寒冷季节多吹西偏北风，温暖季节多吹东南和西南风。风速大小和高度成正比(图 8)。山顶风速最大，全年除 8, 10 二个月外，都有 40 米/秒的大风。平均风速在天池为 11.7 米/秒，松江为 2.4 米/秒。各地风速最大时多发生在春秋季节与西北风相伴的情况下。有时因地形影响，常使风速发生较大的变化。如在 2200 米附近有一山口，叫黑风口，风力强，经年持久，它成了长白山上部的一个强风区。

如在 2200 米附近有一山口，叫黑风口，风力强，经年持久，它成了长白山上部的一个强风区。

三、山地垂直气候带

依据温度、降水和湿润状况以及风的特征等主要气候指标，参照生物指示指标，将长白山北坡划分五个垂直气候带^[9,10](图 9)。

下边将各垂直气候带的特征简要描述如下^[1,9]：

1. 山地针阔混交林气候带

下垫面状况：位于海拔 600—1100 米是长白山的下部，坡面较缓。代表树种针叶树为红松(*Pinus koraiensis*)、沙松(*Abies noliopylla*)等；阔叶树主要有枫桦(*Betula costata*)、香杨(*Populus koraiensis*)等。土壤为山地棕色森林土。

气候特点：本气候带是山地垂直气候带的下层，冬长寒，夏温暖，年平均气温 3°C 左右，冷月(一月) -15—-17°C，七月(热月) 17—19°C。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 $> 1500^\circ$ ，无霜期为 100—120 天。太阳辐射为 124—125 千卡/厘米²/年，年降水量 700—800 毫米。6—9 月降水 < 600 毫米，湿润系数 < 2 。年平均相对湿度 71—72%，年平均风速 < 3.9 米/秒，雾日为 38—90 天，由于本带热量资源比较丰富，可种早熟玉米、大豆、马铃薯、向日葵及各种蔬菜。

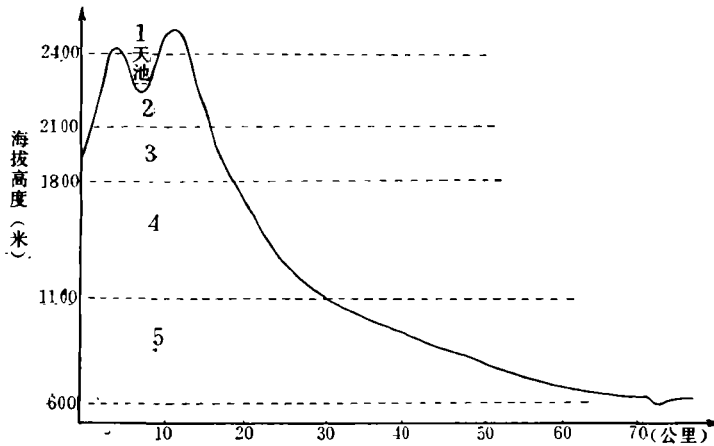


图 9 长白山北坡垂直气候带示意图

(1——高山灌漠气候带; 2——高山灌丛气候带; 3——山地岳桦林气候带; 4——山地针叶林气候带; 5——山地针阔混交林气候带)

2. 山地针叶林气候带

下垫面状况: 位于海拔 1100—1800 米, 为山麓斜坡。主要树种有鱼鳞松 (*Picea je-roensis*) 和臭松 (*Abies nephrolepis*) 等。地面阴冷潮湿, 生长各种地衣藓类。土壤为山地棕色泰加林土。

气候特点: 阴湿冷凉为本带主要特征, 年降水量为 800—1000 毫米。由于林高树密, 尽管每年有 123—124 千卡/厘米²·年辐射能到达, 在浓密的云杉冷杉林中有 95% 以上被林冠阻截, 直接到达地面的不足 5%。林内气流静稳, 蒸发量小。年平均相对湿度为 73%, 干月(4 月)为 64—65%, 湿月(8 月)为 87%。随季节变化湿度界限也有不同, 干月下限为 1100 米, 上限为 1600 米; 湿月下限为 1000 米, 上限为 1800 米, 使两端即 1000—1200 米及 1600—1800 米各有一个明显的过渡带, 表现在植物方面下带夹有少量阔叶树, 上带夹有少量高山阔叶树, 郁闭度减小, 气流加强。湿润系数为 2.0—3.7。≥10°C 活动积温为 1000—1500°, 无霜期为 80—100 天。由于生育期短, 除小块园田外没有栽培作物。

3. 山地岳桦林气候带

下垫面状况: 位于 1800—2100 米, 山势陡峭。主要植被为岳桦—杜鹃林 (*Rhododendron Aureum*), 岳桦—越桔林 (*Vaccinium vitisidaea*)。土壤为山地泥炭化生草灰化森林土。

气候特点: 冷而多强风是本带气候的主要特征。一月平均气温为 -19°— -20°C, 七月平均气温为 10—14°C, ≥10°C 活动积温 1000°—500°, 局部窝风向阳的小气候区可达 1200°。年降水量 1000—1100 毫米。相对湿度 74%, 湿润系数 3.8—4.7。林稀通风透光好。太阳总辐射量为 123—122.5 千卡/厘米²·年。年平均风速 6—8 米/秒, ≥8 级大风日数可达 200 天以上。由于经常吹强劲的西风, 树木旗状明显, 枝干矮小, 弯曲扭拔。

4. 高山灌丛气候带

下垫面状况：位于海拔 2100—2400 米，属火山锥体上部，孤峰挺拔。主要植被为笃斯越桔 (*Vaccinium uliginosum*) 地衣群丛、包叶杜鹃 (*Rhodo dendron*) 地衣群丛、牛皮杜鹃 (*Rhodo denuron redows-kianum*) 地衣群丛等。土壤为石质山地苔原土。

气候特点：寒而多大风，日照充足，紫外线强。年平均太阳辐射总量 122.5—122 千卡/厘米²·年。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 500° — 300° 。年降水量 1100—1300 毫米，6—9 月降水 800—900 毫米。湿润系数 4.8—5.9，年平均相对湿度 74%。2200 米附近的黑风口，全年各月都可以出现 40 米/秒的大风，平时风力都在 8 级以上，行人至此，行走吃力。雾日有 200—250 天。

5. 高山荒漠气候带

下垫面状况：位于海拔 2400 米以上，是火山锥体的顶部。主要植被有仙女木群落 (*Dryas Tschonoskii*)、高山罂粟 (*Papaver Pseudoradicatum*)、长白虎耳草 (*Saxifraga laciniata*) 等。小撮分布，大部被火山白色浮石所盖，呈现石质荒漠景象。

气候特点：本带是长白山最冷的气候带，以寒冷多雾、降水多、风速大为主要特征。一月平均气温 $< -20^{\circ}\text{C}$ ，七月为 8° — 10°C 。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $< 200^{\circ}$ ，天池气象站处仅有 117°C ，持续日数仅有 10 天，无霜期不足 60 天。日照时数 2500—3000 小时，太阳总辐射量为 122—121 千卡/厘米²年，最小太阳辐射量出现在 12 月仅有 5.3 千卡，量大是 5 月为 14.15 千卡。年降水量最多平均有 1407 毫米，冬季雨量占全年的 10%。雾日也居首位为 267 天。每年 ≥ 8 级大风日数可达 280 天，最多能有 300 天以上。风力最强，在风压作用下，二十几分钟即可将雪压成冰。全年有 10 个月可以出现 40 米/秒的大风。年平均相对湿度 74%，8 月最大平均在 85% 以上，4 月最小大于 68%。大陆度 48% 接近海洋性。最热月为七、八两月平均气温为 8.5°C 。天气多变，飘云就降雨，雨雾不分。窝风凹地雪厚可达 6 米，平均积雪深度约为二米左右。

本文在写作过程中，曾蒙景贵和同志提出宝贵意见，并有杨秉廉、阮贤舜、肖荣寰同志协助进行垂直小气候流动观测及资料蒐集工作，图件由孙丽华同志清绘，在此向他们表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 黄锡畴、刘德生、李祯，长白山北侧自然景观带，地理学报，1959 年 6 期。
- [2] 村山趾造，满州の森林と其自然的构成，奉天大阪屋书店，昭和 17 年 8 月。
- [3] 米仓二郎，满州支那(长白山地)，白杨社，昭和 18 年。
- [4] 贝第，山岳地理，科学出版社，1958 年。
- [5] 山の气象研究会编，山の气象，第一集，恒星社 1963 年。
- [6] 杨美华、景贵和、刘兴士，吉林省气候区划，1960 年全国地理学术会议论文集，科学出版社。
- [7] Ruclolf Geiger，近地气候，世界书局，1960 年。
- [8] 吉野正敏，小气候，地人书店，1961 年。
- [9] 郎惠卿、李祯，长白山植物地理，地理知识，1959 年 12 期。
- [10] Б·П·阿里索夫，气候学教程第一册，高等教育出版社，1958 年。

THE CLIMATIC FEATURES OF CHANGBAISHAN AND ITS VERTICAL CLIMATIC ZONE ON THE NORTHERN SLOP

Yiang Mei-hua

(Department of Geography, Jilin Normal University)

Abstract

The climate of Changbaishan is Alpine Climate of monsoon types in the temperate zonal continent.

Apparently vertical climatic zone on northern slope of Changbaishan, in the order from the lower position to the upper, may be divided into the climatic zone of mountainous mixed forest of needle-leaved and broad leaved; The climatic zone of mountainous needle-leaved forest; the climatic zone of Alpine bush-wood and the climatic zone of Alpine desert.