

祁连山北坡中部气候特征及垂直气候带的划分

张 虎, 温娅丽, 马 力, 常宗强, 王金叶

(甘肃张掖祁连山水源林研究所, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 通过对祁连山北坡中部气候特征、森林植被类型和土壤类型的定位观测研究, 对祁连山北坡中部森林生态系统的主要气象要素垂直分布特征进行分析, 应用气候指标和生物学原理, 将祁连山林区按不同海拔高度划分为: 1. 山地荒漠草原气候带; 2. 山地草原气候带; 3. 山地森林草原气候带; 4. 亚高山灌丛草甸气候带; 5. 高山亚冰雪稀疏植被气候带; 进而提出了合理开发祁连山山地气候资源, 以促进当地经济发展。

关键词: 祁连山; 气候特征; 植被类型; 垂直气候带

中图分类号: P462.5

文献标识码: A

祁连山是我国著名的高大山系之一, 位于欧亚大陆中心, 地处青藏、蒙新、黄土三大高原交汇地带, 地理位置 $36^{\circ}30'N \sim 39^{\circ}30'N$, $93^{\circ}30'E \sim 103^{\circ}E$, 东西距离长, 高度悬殊。受大陆性荒漠气候和高山地貌的影响, 气候的垂直差异显著, 使山地气候表现出明显的垂直变化。植被分布呈现出亚洲中部蒙古成分, 北温带成分, 温带亚洲成分以及特有成分, 组成了山地森林、灌丛、草原、草甸等不同的植被类型。

山地与气候之间的关系, 是通过构成山地的地貌、土壤、植被、河流等下垫面因子与气候之间的作用及反作用而表现出来的。山区地形直接制约着各种气象要素的局地变化, 引起垂直方向气候差异, 这种气候差异又影响着山地土壤的发育和植被的生长。植被和土壤既是气候的产物, 又是气候的指示^[1]。

1 试验区概况和研究方法

1.1 试验地概况

试验地设在祁连山寺大隆林区、西水林区, 国家林业局甘肃祁连山水源涵养林生态定位站。寺大隆站位于 $95^{\circ}57'E$, $38^{\circ}27'N$, 西水站位于 $100^{\circ}17'E$, $38^{\circ}34'N$, 属于高寒半干旱气候区, 平均温度 $0.7^{\circ}C$, 年降水量 433.3 mm, 年蒸发量 1 031.8 mm, 年相对湿度 60%, 林木生长期 90d ~ 120d。区内自然条件

复杂, 水热差异较大, 形成了多种具有明显垂直梯度和水平差异的植被类型和土壤类型, 主要建群种为青海云杉林。

1.2 研究方法

1. 从 1973 年开始, 分别在寺大隆林区(2 700 m)、塔尔沟林区(2 320 m)、西水林区(2 570 m)、山脚龙渠种子园(1 680 m)建立气象观测站, 并在寺大隆林区天涝池台(3 400 m)、煤窑沟脑(3 800 m)建立气象哨。

2. 设置百叶箱、安装玻璃温度表(计)、地温表、日照计、辐射表、风速风向仪、蒸发器等仪器设备, 开展林区气象要素的垂直梯度观测。

3. 多次组织山地气候调查收集了祁连山林区内 11 个国家气象台、站近 20a 资料, 进行分析。

4. 根据国家气象局颁布的《地面气象观测规范》要求, 对各测定项目进行观测、订正、查算、统计, 并采用统计学方法, 利用计算机对各因子进行数据分析。

2 划分依据、原则及其指标

2.1 划分依据

山地气候系统是一个多级别多层次的复杂系统^[2]。根据生物生态适应性理论和生态环境相关性理论, 植物类型分布既与气候因子相关, 又与土壤类

收稿日期: 2001-06-07; 改回日期: 2001-07-25。

基金项目: 国家林业局“九五”重点项目《祁连山森林水文生态功能研究》内容之一。

作者简介: 张虎(1963-), 男, 甘肃张掖人, 主要从事森林气候研究。

型相关,气候因子与地形、海拔等地理因子相关,综合考虑各因子和环境因子^[3]。

2.2 划分原则

分析气候带的内容,特点和生物学意义,认为在气候带的划分中,应遵循以下四个原则:

2.2.1 综合性原则

气候带是一有机体,是由生物因子和非生物因子相互适宜,相互依存的综合作用体。

2.2.2 主导性原则

采用热量为主要指标,同时考虑降水量及湿润度,参照坡地自然景观的垂直地带性分布进行坡地垂直气候区划^[4]。在不同的气候带中,各要素所起的作用不同,因此,在划分过程中,因突出主导因素。

2.2.3 实用原则

气候带的划分因有利于指导人们从事生产和各种改造自然的活动。

2.2.4 区域性原则

气候带的划分应突出区域特点,反映本区气候实际情况。

2.3 划分指标

根据祁连山林区实际情况和划分原则,选择降水量、温度、植物类型、土壤类型等作为气候带划分的主要指标。

2.3.1 植物类型

植物类型是气候带划分的主要指标,经调查祁连山植被类型自低海拔到高海拔分别为稀疏荒漠植被(≤2 300 m)、干草原植被(2 300 m~2 500 m)、森林草原植被(2 500 m~3 300 m)、灌丛草甸植被(3 300 m~4 000 m)、冰雪植被(≥4 000 m)^[9]。

2.3.2 土壤类型

土壤类型自低海拔到高海拔依次是山地灰钙土、山地栗钙土、山地灰褐土、灌丛草甸土、寒漠土,发生类型与植被类型相对应。

3 研究结果与分析

3.1 祁连山林区的气候特征

祁连山林区位于中纬度北温带,深居内陆、远离海洋,它又处于青藏、蒙新、黄土三大高原的交汇地带。由于青藏高原对大气环流的特殊影响,使夏季来自太平洋东南季风的湿润气流得以北进西伸,波及本区;冬季受内蒙古干冷空气、西北寒冷气流的影响,致使本区冬季降温幅度大,气温年较差较大(表1)。根据波兰学者焦金斯基公式^[9]

$$K = \frac{1.7A}{\sin\theta} - 20.4$$

式中 K 为大陆度 %; A 是温度年较差 ℃; θ 为纬度。

计算所得的大陆度在 50 ℃左右,月平均日较差出现高于 10 ℃、年平均日较差高于 20 ℃值。多种因素的叠加构成了祁连山林区主要的气候特征,即大陆性高寒半湿润山地气候。表现为冬季长而寒冷干燥,夏季短而温凉湿润,全年降水量主要集中在 5~9 月,气候要素在本区的分布具有由浅山地带向深山地带气温递减、雨量递增的特征(表 2),高山寒冷而阴湿,浅山地带热而干燥。随着山区海拔的升高,各气候要素发生有规律的变化,自下而上呈现明显的山地垂直气候带。

表 1 祁连山林区气温较差与大陆度(1986~1988 年)
Table 1 A degree of continent and temperature in Qilian mountains

地名	海拔 (m)	月平均日较差(℃)												年较差	大陆度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
煤窑沟	3800					10.2	10.0	10.0	10.7	10.1	9.9				
寺大隆	2700	14.6	12.6	13.3	13.7	12.8	11.5	12.8	13.4	13.1	12.4	12.9	13.2	25.1	48.2
塔尔沟	2320	14.7	15.4	15.8	15.1	15.4	12.3	14.0	14.0	14.1	14.3	15.7	14.3	27.1	53.4
龙渠	1680	16.9	15.6	16.2	16.5	16.0	13.6	16.6	15.4	15.7	15.9	16.4	15.1	29.6	60.0

表 2 祁连山林区气温和降水的分布(1988~1998 年)

Table 2 Distribution of air temperature and rainfall of forest areas in Qilian Mountains

地名	纬度	海拔 (m)	年平均 气温 (℃)	最热月气 温(7月) (℃)	最冷月气 温(1月) (℃)	年较 差 (℃)	降水 量 (mm)	5~9月		10~次年4月	
								降水 量	占全 年%	降水 量	占全 年%
龙渠	38°48′	1680	7.4	21.6	-8.0	29.6	182.0	144.9	79.6	37.1	20.4
民乐	38°27′	2271	2.8	15.9	-12.3	28.2	328.1	270.6	82.5	57.5	17.5
肃南	38°50′	2312	3.6	15.9	-10.4	26.3	253.2	218.6	86.3	34.6	13.7
塔尔沟	38°37′	2320	2.4	15.5	-11.6	27.1	299.3	247.3	82.6	52.0	17.4
西水	38°34′	2570	1.3	14.0	-12.4	26.4	255.2	217.6	85.3	37.6	14.7
寺大隆	38°27′	2700	0.7	12.2	-12.9	25.1	433.6	306.9	89.2	46.7	10.8
乌鞘岭	37°12′	3045	-0.2	11.3	-12.2	23.5	411.3				

3.2 气候要素的垂直分布特征

3.2.1 太阳辐射及日照

随着海拔增高,大气中水汽和尘埃含量减少,大气透明度增加,太阳总辐射量加大。但该区4~12月份山上的云雨比山脚地带显著增多,日照时间显著减

少,山区的月总辐射反不如山脚地带高,因而太阳辐射和日照年总量山上总比山脚少。月总辐射及月日照时数最大值均出现在4月,最小值月总辐射出现在太阳高度角较小而日照又较短的2月(表3)。

表 3 祁连山林区太阳总辐射量及日照时数分布(1986~1988 年)

Table 3 Distribution of the total amount sun rediate and annual days sunlight of the forest areas in Qilian Mountains

项目	地名	海拔 (m)	各 月 气 候 要 素												年合计
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
总辐射量 (千卡/cm ²)	龙渠	1680	8.06	7.92	12.85	14.90	13.09	13.07	14.41	13.05	11.05	9.48	9.61	9.93	137.42
	塔尔沟	2320	8.97	8.76	12.96	14.67	13.13	11.96	12.84	11.88	10.06	9.20	8.95	8.85	132.23
日照时数 (小时)	龙渠	1680	147.3	131.8	204.6	241.1	194.2	205.2	230.1	225.4	195.6	187.7	212.4	179.1	2354.5
	塔尔沟	2320	136.8	127.3	189.3	222.8	193.9	191.6	198.4	190.1	170.7	169.0	168.2	151.4	2109.7

3.2.2 气温

气温随海拔高度变化差异较大,在同一坡面年平均温度与高度之间,大体为直线关系,以同处一地的龙渠(山脚)、花寨(浅山)海拔2140m,寺大隆(中山)海拔2700m,煤窑沟脑(深山)海拔3800m资料分析,结果表明:年平均气温(T_H)与海拔高度(H)之间存在着极密切的线性负相关,回归方程为

$$T_H = 15.5 - 5.369 \times 10^{-3} H$$
$$R = -0.956$$

式中 T_H 为年平均温度; H 为海拔高度; R 表相关系数。

递减率为0.58℃/100m。气温递减率随时间变化并非均一,而是夏季(6~8月)偏小(0.52℃/100m),其它月份较大(0.53℃/100m~0.60℃/100m)(图1),这是因为从秋到春山上易受冷气流影响,降温幅度比谷地要大,而且此刻山上雪日较多,积雪持久不化,谷地雪日较少且易融化,山上雪厚,增温不如谷地大,扩大了上下温差,出现了较大的递减率。

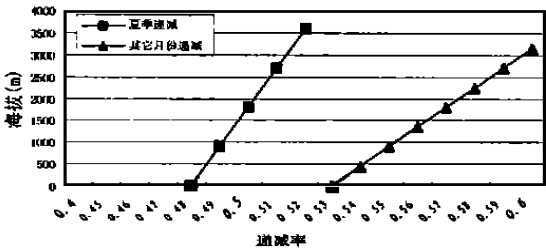


图 1 气温递减变化曲线

Fig. 1 Curves of the temperature change

随着海拔的升高,气温降低,出现了初霜提早,终霜推迟,无霜期减短的特点(表4)。现以候温作为划分四季的标准(候温>22℃为夏季,<10℃为冬季,介于两者之间为春秋季节)分析^[7],表明祁连山北坡随着海拔升高,夏季由长至短到无,冬季由短至长,出现了山脚平原川区地带四季分明,中山地带春

表 4 祁连山林区不同高度初、终霜及无霜日期
(1988~1991 年)

Table 4 The daily of begin and last frost and the period of no-frost period of forest areas in Qilian Mountains at different altitude

地 点	海拔(m)	初日(日/月)	终日(日/月)	无霜期(d)
龙 渠	1680	4/10	21/4	166
塔尔沟	2320	25/9	10/5	138
寺大隆	2700	5/9	18/5	110

表 5 祁连山林区不同高度各界限温度的积温

Table 5 Accumulate temperature of forest areas in Qilian Mountains at different altitude

地 点	≥0℃				≥10℃			
	初日 (日/月)	终日 (日/月)	间隔天数 (天)	积温 (℃)	初日 (日/月)	终日 (日/月)	间隔天数 (天)	积温 (℃)
寺大隆	28/3	23/10	209	1640.5	28/5	2/9	98	957.8
塔尔沟	26/3	1/11	220	2133.6	19/5	12/9	116	1620.4
花 寨	17/3	16/10	213	2466.0	17/5	13/9	118	1837.0
龙 渠	24/2	2/12	281	3323.0	15/4	7/10	175	2247.4

3.2.4 地温

祁连山林区地温变化受多种因子的影响,深山地带全年地温高于气温,而山脚平原川区(海拔 1 680 m)和浅山区(海拔 2 320 m)1 月地温低于气

秋并联,高山长冬无夏。

3.2.3 积温

积温分布仍是随海拔高度的增加而减少,且界限温度的间隔日数减短,初日推迟,终日提早(表 5)。积温的垂直递减情况是海拔每增高 100 m,≥0℃积温平均减少 149.3℃,≥10℃积温平均减少 168.8℃,间隔日期平均减少 7 d 左右。

温,其它月份地温均高于气温(表 6)。这是因为森林植被调节气候,减少温差所致。随着气温升高,地温急剧升高,差值增大,其主要原因是太阳直接辐射强度增加,地面吸热较多,增温较快。

表 6 祁连山林区不同高度上地温、气温及其差值

Table 6 Soil and air temperature at different altitude in Qilian Mountains forest areas

地点	海拔 (m)	1 月			4 月			7 月			10 月		
		地温 ℃	气温 ℃	差值 ℃	地温 ℃	气温 ℃	差值 ℃	地温 ℃	气温 ℃	差值 ℃	地温 ℃	气温 ℃	差值 ℃
龙渠	1680	-9.3	-7.2	-2.1	11.6	7.9	3.7	25.5	21.8	3.7	8.7	7.0	1.7
塔尔沟	2320	-13.7	-12.0	-1.7	6.2	2.1	4.1	21.2	16.2	5.0	4.7	2.4	2.3
西 水	2570	-13.2	-12.4	-0.8	5.0	1.7	3.3	17.4	14.0	3.4	2.5	1.3	1.2
寺大隆	2700	-12.3	-12.5	0.2	7.1	2.9	4.2	13.3	11.7	1.6	3.2	2.0	1.2

3.2.5 降水、蒸发与湿度

祁连山林区是河西走廊降水较多的区域,年降水量一般在 400 mm 左右,寺大隆林区可多到 539.7 mm(1983 年)。降水变率在 0.60 左右。降水主要集中在 5~9 月,占年总量的 89.7%。随着海拔升高雨日增加,降水量增多。降水量总的变化特征是海拔每升高 100 m,降水量增加 4.3%。当海拔超过 3 600 m 时,由于接近山顶,风速加大,降水量多为固态,降水量出现下降趋势^[6]。

随着海拔升高,亦出现了蒸发量减少,相对湿度增加,绝对湿度下降的趋势(表 7)。

表 7 祁连山林区不同高度上的降水、蒸发和湿度值
(1985~1988 年)

Table 7 Amount of rainfall, evaporation and humidity of different altitude in Qilian Mountains forest areas

地名	海拔 (m)	降水量 (mm)	降水日数 (d)	蒸发量 (mm)	相对湿度 (%)	绝对湿度 (%)
龙渠	1680	182.0	75	1575.5	51	6.2
寺大隆	2700	433.6	114	1081.7	60	5.7

3.3 祁连山林区的垂直气候带

祁连山林区地形复杂,气候差异较大,根据温度、降水等主要气候指标,并参照生物指示指标,将

表8 祁连山北坡(中部)气候垂直带谱

Table 8 Vertical climatic zones in the Northern slope of Qilian Mountains (Middle parts)

垂直气候名称	海拔(m)	指 标			土壤	植被
		≥10℃积温	降水量(mm)	无霜期(d)		
山地荒漠草原	1700—2100	1905—2410	160—230	> 150	低山黄褐土 山地栗钙土	耐干热、旱生半 灌木
山地草原	2100—2500	1060—1905	230—330	120—150	山地栗钙土 山地灰褐土	旱生稀疏灌木
山地森林草原	2500—3400	500—1060	330—530	70—120	山地灰褐土 灌丛草甸土	森林灌木草原
亚高山灌丛草甸	3400—3900	< 500	< 400	< 70	高山草甸土 寒漠土	灌丛草原
亚冰雪稀疏植被	> 3900			全霜	寒漠土 裸石冰雪	耐寒湿生草本植 物、草甸、草原

祁连山林区划分为五个垂直气候带(表8)。

3.3.1 山地荒漠草原气候带

该带位于海拔1 700 m~2 100 m的低山地带,地势较平坦,土壤为低山黄褐土、山地栗钙土。气候特点是夏热冬冷,气候干燥,年平均气温5.0℃~7.5℃,最热月7月为19.0℃~23.0℃,最冷月1月为-5.0℃~-8.5℃,≥10℃积温为1 905℃~2 410℃,无霜期> 150d,年降水量160 mm~230 mm,相对湿度为51%左右,本带热量资源丰富。

3.3.2 山地草原气候带

该带位于海拔2 100 m~2 500 m。阳坡海拔2 100 m~2 500 m,为山地荒漠草原、阴坡2 100 m~2 400 m,为山地(典型)草原,植被稀疏,主要植被有甘青锦鸡儿(*Caragana tagutica*)、克氏针茅(*Stipakry Lovii*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、芨芨草(*Achnatherum spenlens*)等。土壤为山地灰褐土和山地栗钙土。气候特点是冬冷夏凉,气候湿润,年平均气温2.0℃~5.0℃,最热月7月为14.0℃~19.0℃,最冷月1月为-8.5℃~-11.0℃,≥10℃积温为1 060℃~1 905℃,无霜期120d~150d以上,年降水量230~330 mm,相对湿度为56%左右。

3.3.3 山地森林草原气候带

阳坡海拔2 500 m~3 400 m,阴坡2 400 m~3 300 m,是祁连山森林主要分布带。主要森林树种为青海云杉(*Picea crassliolia*),其次为祁连圆柏(*Sibina przewalskii*),零星分布有红桦(*Betula alba sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、青杨(*P. Cathagana*)和白榆(*Ulmus pumila*)等,灌木主要有箭叶锦鸡儿(*Caragana jubuta*),金露梅(*Dasiphora fruticosa*)、吉拉柳(*Salix gilashanica*)等。土壤主要有

山地灰褐土和灌丛草甸土。气候特点是冬长寒冷,多云雾,年平均气温-1.5℃~2.0℃,最热月7月为6.0℃~14.0℃,最冷月1月为-11.0℃~-15.0℃,≥10℃积温为500℃~1060℃,无霜期90d~120d左右,年降水量330 mm~540 mm,相对湿度为60%左右。

3.3.4 亚高山灌丛草甸气候带

阳坡分布在海拔3 400m~3 900 m,阴坡3 300 m~3 800 m,该带下限散生有青海云杉和祁连圆柏,阴坡为落叶灌丛,主要种类有箭叶锦鸡儿、吉拉柳、忍冬(*Lanicerasp*)、高山绣线菊(*Spiraeagla*)等,阳坡主要为金露梅等灌丛及蒿类(*Artemisia spp*)、紫花针茅(*Stipa purpurca*)等,主要土壤为亚高山灌丛草甸土和高山草甸土。气候特点是长年严寒,年平均气温-1.5℃以下,最热月在6.0℃以下,最冷月在-15℃以下,≥10℃积温< 500℃,全年几乎有霜出现,年降水量< 400 mm,风力较大,是本区气候的一大特点。

3.3.5 高山亚冰雪稀疏植被气候带

分布于阳坡3 800 m以上,阴坡3 900 m以上至山顶,多为裸露险锋石岩或雪线,主要生长稀疏垫状植被,土壤为高山草甸土和高山寒漠土,呈现石质荒漠景象。

4 祁连山北坡气候资源的保护、开发与利用

1. 浅山区和平原广大区域光、热资源丰富,积温高,气温日较差大,无霜期长,太阳辐射强,在灌溉水源有保障的情况下发展种植业条件优越,适宜种

春小麦、油菜、胡麻、洋芋、豆类和青稞等主要经济作物,同时该区是理想的天然牧场,在合理利用天然牧场的同时还需要大力发展人工草场,以减轻天然草场的负担。山坡地应加强现有旱生禾本科、莎草科草本植被的保护,退耕还林,营造以耐寒的小檗、柠条、毛条、酸刺等灌木为主的水土保护林,封山育林,其沟谷地区水热条件配合较好,可以发展青杨、小叶杨、二白杨和白榆等乔木。

2. 中山区是水源涵养、水土保持的主要地带,该区降水充沛,光热资源丰富,有利于植被的生长发育,必须加强管理,以防止生态环境的恶化。以有利于生物多样性保护、有利于提高水源涵养能力、有利于社会、经济、生态三大效益提高为出发点,以保护为根本,以发展为目标。

3. 积极开发山地旅游资源,促进当地经济发展。祁连山北坡中、低山区夏季温凉,空气湿润,气候宜人,是旅游避暑的胜地。随着人们生活水平的日益提高,旅游度假正逐渐成为消费热点,因此开发山区旅游资源,既可以丰富人们的生活,又能促进改变当地经济的发展。

参考文献:

- [1] 顾卫, 李宁. 中国温带干旱、半干旱区山地气候垂直带谱研究[J]. 干旱区资源与环境, 1994, 8(3): 1~11.
- [2] 毛政旦. 山地气候区划的几个问题[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1988, 6(2): 100~103.
- [3] 陈桂琛, 彭敏, 黄荣福等. 祁连山地区植被特征及其分布规律[J]. 植物学报, 1994, 36(1): 63~72.
- [4] 周霞, 陈东景. 天山南坡气候垂直变化特征[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1998, 16(1): 47~52.
- [5] 陈昌毓. 祁连山北坡的气候与植被分布[A]. 见: 甘肃祁连山国家级自然保护区建设发展研讨会专集[C], 甘肃省林业厅, 1989: 70~80.
- [6] 朱炳海, 王鹏飞, 束家鑫. 气象学词典[Z]. 上海: 上海辞书出版社, 1985: 40.
- [7] 王阳临. 白龙江林区垂直气候带的划分. 白龙江, 洮河林区综合考察论文集[C]. 上海: 上海科技出版社, 1990: 159~166.
- [8] 车克钧, 张虎, 贺红元, 等. 祁连山大气降水特征的研究[J]. 甘肃林业科技, 1993, 18(1): 17~21.
- [9] 董立民, 刘淑明, 辛继红. 秦岭火地塘林场气候要素随海拔高度的变化[J]. 水土保持通报, 1995, 15(3): 16~19.
- [10] 文传甲. 横断山地区垂直气候带划分标准和气候要素值获取方法的初步探讨[A]. 见: 山地气候文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984: 46~48.

The Climate Features and Regionalization of Vertical Climatic Zones in the Northern Slope of Qilian Mountains

ZHANG Hu, WEN Ya-li, MA Li, CHANG Zong-qiang and WANG Jin-ye

(Institute of water resource conservation forest in Qilian Mountains, Zhangye 734000 China)

Abstract: This paper based on the location station studies of the climate features, forest vegetation types and soil types in the Northern slope of Qilian Mountains, and analysis of the vertical distribution of the main climatic elements in the Northern slope of Qilian Mountains. Also used climatic indicators and biological theory, and according to the different altitude divides the mountains into five vertical climatic zones. They are: 1. mountain desert grassland climatic zones; 2. mountain grassland climatic zones; 3. mountain forestry grassland climatic zones; 4. sub-alpine shrub-meadow climatic zones; 5. alpine subsnow-ice rare vegetation climatic zones. The aim of the thesis offeres scientific basis for research for mountainy climate in Qilian Mountains and development of local economy.

Key words: Qilian mountains; climate features; vegetation types; vertical climatic zones