

祁连山北坡水热条件对林草分布的影响

陈昌毓

(甘肃省气象局, 兰州, 730020)

提 要 采用气候学方法, 计算了祁连山北坡不同海拔处的年降水量和乔木林年蒸散量, 据此确定了满足乔木林需水的高度带。分析所得的7月均温 10°C 和 6°C , 可分别作为乔木林和灌木林生长的温度下限指标。据祁连山北坡水热条件的分布特点, 确定了海拔2500—3200米处适宜发展乔木林, 其生长以海拔2700—2900米处为最佳, 海拔3200—3700米处适宜发展灌木林, 其余山区只能生长草类。

关键词 祁连山北坡 水热条件 林草分布 蒸散量

横亘在河西走廊南侧的祁连山脉, 长达1000多公里, 海拔2000—4500米, 大多在3500米以上, 处于 $37^{\circ}15'—39^{\circ}50'N$, $93^{\circ}15'—102^{\circ}50'E$, 甘肃省境内的祁连山北坡面积约8万平方公里。祁连山区降水较丰沛, 区内的57条大小内陆河流可为河西走廊平原区提供出山径流量69.96亿立方米/年^[1], 使在其中形成数十块总面积约为1.93万平方公里的绿洲^[1]。这些绿洲是甘肃省著名商品粮基地及糖油肉和瓜果集中产区, 其每年生产的粮食占全省粮食总产量的30%以上, 提供的商品粮占全省商品粮的70%以上。

据祁连山北坡水热条件的分布特点, 合理规划林草发展区域, 大力保护和发展水源涵养林和草被, 扩大林草覆盖度, 提高当地涵养水源的能力, 为河西走廊绿洲和农田提供较丰富而稳定的灌溉水源, 促使绿洲林草繁茂, 确保其长期稳定, 以利农田高产稳产。

兹就祁连山北坡现有气象(水文)站自建站至1985年的降水和气温观测资料, 分析当地的水热条件及其对林草分布的影响。

一、降水量对林草分布的影响

(一) 降水量的分布

山区任何地点的降水量 P 可分解为由大尺度地理因素、高度因素和局地地形因素等影响的降水量所组成^[2], 即

$$P = P_1(\lambda, \varphi, Z_0) + P_2(Z - Z_0) + P_3(Q, \alpha), \quad (1)$$

式中 λ, φ 分别为该点的经度和纬度; Z_0 为山区地形进行适当平滑后的光滑地形高度; Z 为实际地形高度; Q, α 分别为该点的小地形坡向和坡度。

祁连山北坡气象(水文)站极少, 现有资料难以对局地地形因素影响的降水量 P_3 变化作出分析结果。下面仅对高度因素影响的降水量 P_2 变化和地理因素影响的降水量 P_1 变化

[1] 冯绳武, 1987, 河西走廊的绿洲景观及其气候和水资源, 干旱造林研究, 1, 第66页。

本文收稿日期: 1992-03-16。

作些分析.

以黄羊河、黑河和疏勒河三条内陆河流域,分别代表祁连山北坡东中西各段.三条河流域上各气象(水文)站年降水量与海拔的相关曲线,大致都呈S型,可以分别用一条3次曲线来逼近它们.为计算方便,将S型曲线分为三段,中间一段(海拔:黄羊河流域2400—2700米,黑河流域2600—3100米,疏勒河流域2800—3600米)年降水量随海拔升高而呈线性递减,此段上下两段年降水量随海拔升高而均呈线性递增.三段皆可用线性方程逼近它们.但由于测站甚少,所拟合的线性方程误差较大.因此计算了S型曲线三段年降水量随海拔升高的平均递增(减)率(表1),并算得祁连山北坡各段的年降水量:东段300—650毫米,中段200—450毫米,西段150—300毫米.三段山区的平均年降水量分别为河西走廊平原东部、中部和西部平均年降水量的2.2,3.2和3.6(倍)^[1].

祁连山北坡降水不但较丰沛,而且其变率小.一般以降水量的离差系数 C_v 度量降水的变率.1956—1980年资料计算结果显示, C_v :东段0.15—0.22,中段0.15—0.25,西段0.30—0.40^[3].东中两段的 C_v 比我国南方许多地方的 C_v 还小.这对祁连山北坡林草生长是有利的.

表1 各河流域内不同海拔处年降水量
平均递增(减)率

Table 1 Mean increments or decrements of annual precipitation from different altitudes of various river basins in the northern slope of Qilian Mountainous Region

流 域		黄羊河	黑 河	疏勒河
下 段	海 拔(米)	1800—2400	1800—2600	1800—2800
	增加值(毫米)	150	186	137
	递增率(毫米/百米)	25.0	23.3	13.7
中 段	海 拔(米)	2400—2700	2600—3100	2800—3600
	减少值(毫米)	67	88	78
	递减率(毫米/百米)	22.3	17.6	9.8
上 段	海 拔(米)	2700—4000	3100—4000	3600—4500
	增加值(毫米)	317	140	96
	递增率(毫米/百米)	24.4	15.6	10.6

表2 一些地点的乔木林年蒸散量 E
Table 2 Annual evapotranspiration E (mm) of arbors from some locations in the northern slope of Qilian Mountainous Region

项 目		$T(^{\circ}C)$	$E(毫米)$	$H(米)$	资料年代(年)
东 段	杂木寺	5.7	394	2010	1959—1978
	古浪	4.9	378	2072	1959—1985
	皇娘娘台	1.8	316	2790	1959—1978
	松山	1.3	306	2727	1955—1985
	乌鞘岭	-0.2	276	3045	1951—1985
中 段	民乐	2.8	336	2271	1958—1985
	肃南	3.6	352	2312	1961—1985
	大马营	0.2	284	2601	1957—1980
	寺大隆	0.6	292	2650	—
	祁连山	0.5	290	3023	1961—1970

期蒸散量; \bar{T} 为年均温(°C).

用式(2)所算得的祁连山北坡东中两段有气象资料地点的乔木林年蒸散量(西段无林,且又缺乏气象资料,故未作计算)列于表2.

在东段海拔1530—3050米(含河西走廊东部的武威和永昌)处、中段海拔1480—3025

(二)降水能满足乔木林耗水要求的高度带

在祁连山北坡,用 W. 柯本经验公式

$$E = 20(\bar{T} + 14) \quad (2)$$

所算得的可能蒸发量,来表征乔木林正常生长的年蒸散耗水量,这较接近实况^[4].式中的 E 为乔木林年蒸散量(毫米),因当地冬季温度低,土壤和水体冻结,林木处于休眠状态,蒸散量甚少,所以 E 实际上可代表乔木林生长

$$1) C_v = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} / \bar{R}, \text{ 式中 } R_i \text{ 为第 } i \text{ 年的降水量; } \bar{R} \text{ 为平均年降水量, } n \text{ 为年数(下同).}$$

米(含河西走廊中部的张掖和酒泉)处的光滑山坡范围内(以下的拟合计算相同), E 随海拔 H 升高而递减, 两者呈良好的直线相关, 拟合方程式为

$$\text{东段: } \hat{E} = 587.6 - 0.1011H, \quad (3)$$

$$n=7, r(\text{单相关系数}) = -0.9896, |r| > r_{0.001};$$

$$\text{中段: } \hat{E} = 566.2 - 0.0991H, \quad (4)$$

$$n=7, r = -0.9654, |r| > r_{0.001}.$$

由式(3,4)可见, 东中两段乔木林年蒸散量垂直递减率分别为10.1和9.9(毫米/百米). 据此就能算得祁连山北坡东中两段不同海拔处的乔木林年蒸散量.

灌木林年(或生长期)蒸散量为乔木林年(或生长期)蒸散量的 $1/3-2/3^{[1]}$, 在此按乔木林年蒸散量的 $2/3$ 来加以计算. 草类生长期内蒸散量一般比灌木林生长期内蒸散量又要少些.

由计算祁连山北坡东中两段不同海拔处的乔木林耗水满足率(年降水量与乔木林年蒸散量之比值)得知, 海拔 ≥ 2500 米处的水分条件能满足乔木林耗水要求(耗水满足率 ≥ 1.0), 海拔 < 2500 米处的水分条件不能满足乔木林耗水要求(耗水满足率 < 1.0), 仅能满足草类和少量旱生灌木耗水要求. 与阳坡相比, 阴坡和半阴坡的水分条件较好, 满足乔木林耗水要求的高度一般就较低.

二、热量对林草分布的影响

(一) 热 量 的 分 布

祁连山北坡纬度相差小, 东中两段的地形和下垫面性质基本相同, 热量的分布主要随海拔不同而变化. 东中两段日均温 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 ΣT_0 , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 ΣT_{10} 与光滑山坡海拔 H 的关系, 可用直线回归方程表示

$$\text{东段: } \hat{\Sigma T}_0 = 5570.1 - 1.3803H, \quad (5)$$

$$n=7, r_0 = -0.9862, |r_0| > r_{0.001};$$

$$\hat{\Sigma T}_{10} = 5540.6 - 1.6962H, \quad (6)$$

$$n=7, r_{10} = -0.9921, |r_{10}| > r_{0.001};$$

$$\text{中段: } \hat{\Sigma T}_0 = 6274.7 - 1.8241H, \quad (7)$$

$$n=7, r_0 = -0.9587, |r_0| > r_{0.001};$$

$$\hat{\Sigma T}_{10} = 5304.7 - 1.6104H, \quad (8)$$

$$n=7, r_{10} = -0.9993, |r_{10}| > r_{0.001}.$$

由式(5—8)可见, 东段 ΣT_0 和 ΣT_{10} 的垂直递减率分别为138.0和169.6($^\circ\text{C}/\text{百米}$), 中段分别为182.4和161.0($^\circ\text{C}/\text{百米}$). 经计算得到, 东中两段海拔 ≥ 2100 米处的 $\Sigma T_0 < 2700^\circ\text{C}$, $\Sigma T_{10} < 2000^\circ\text{C}$. 以此对照全国和甘肃省的气候区划热量指标^[5], 祁连山北坡属高原气候区. 因此当地只能生长耐寒的林木树种和草类.

(二) 林木生长与气温的关系

祁连山水源林研究所曾在祁连山北坡中段黑河上游的寺大隆林区(气象站海拔约为2650米),于1974—1978年观测了华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii* 幼树(6—10年)的树高生长量(20株平均). 华北落叶松五年平均单株树高生长量累积过程是时间的函数,两者的关系呈S型曲线(图1),拟合方程为

$$\hat{h} = 12.49 / (1 + e^{6.3601 - 0.1121t}), \quad (9)$$

$n=12, R(\text{复相关系数})=0.9989, R \gg 4P.E.R(\text{或然误差}),$

式中 t 为距开始观测日05-19的天数(日); h 为 t 天内的树高连续生长累积量(厘米/株); e 为自然对数的底.

将式(9)对时间求一阶导数,可得树高生长率[厘米/(株·日)]

$$CGR = dh/dt = 1.4e^{6.3601 - 0.1121t} / (1 + e^{6.3601 - 0.1121t})^2. \quad (10)$$

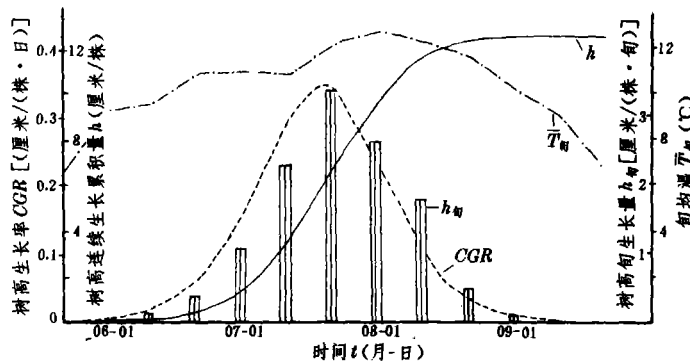


图1 华北落叶松树高连续生长累积量与气温的变化曲线(1974—1978年平均,寺大隆)

Fig. 1 Accumulated amount of successive growth height h (cm/plant) about *Larix principis-rupprechtii* and temperature $T(^{\circ}\text{C})$ variation in the middle part on the northern slope of Qilian Mountainous Region (during 1974—1978, at Sidalong)

寺大隆林区处于水分条件能满足乔木林耗水要求的高度带内,树高生长量与降水量的相关性不显著,主要受制于热量条件.

由图1可见,华北落叶松平均生长期约100天,生长显著期在7月上旬—8月上旬(约40天),生长高峰期为7月中旬.对照同期气温后可知,旬均温 $\bar{T}_{10} \leq 10^{\circ}\text{C}$ 者,华北落叶松生长欠明显; $\bar{T}_{10} > 10^{\circ}\text{C}$ 者,华北落叶松生长较明显.树高旬生长量 h_{10} 与 \bar{T}_{10} 的散点图(略)表明,两者直线相关甚佳,拟合方程为

$$\hat{h}_{10} = -7.0375 + 0.7507\bar{T}_{10}, \quad (11)$$

$n=11, r=0.7857, r > r_{0.01}.$

式(11)表明, $\bar{T}_{10} > 10^{\circ}\text{C}$ 者,每增加 1°C ,华北落叶松 h_{10} 增加0.75厘米; \bar{T}_{10} 大约降至 9.4°C 者,树木即行停止生长.

寺大隆林区乔木林生长期间,最热的7月均温接近 12°C , 6, 8两月均温均 $> 10^{\circ}\text{C}$. 这时祁连山北坡乔木林在水分条件满足其耗水要求的情况下,仅于旬均温、月均温均 $> 10^{\circ}\text{C}$ 期间,生长才较明显.因此年内7月均温 10°C , 可作为祁连山北坡乔木林生长的温度下限指

标.

祁连山北坡7月均温 \bar{T}_7 与海拔 H 之间的关系有

$$\text{东段: } \hat{\bar{T}}_7 = 31.7 - 0.0066H, \quad (12)$$

$$n=7, r=-0.9835, |r| > r_{0.001};$$

$$\text{中段: } \hat{\bar{T}}_7 = 31.4 - 0.0068H, \quad (13)$$

$$n=7, r=-0.9847, |r| > r_{0.001}.$$

表3 植被垂直带与7月均温 \bar{T}_7 的对照

Table 3 Vertical vegetation belt in contrast with mean July temperature \bar{T}_7 (°C) in the northern slope of Qilian Mountainous Region

植被垂直带 ¹⁾	海 拔(米) ¹⁾	\bar{T}_7 (°C)	
		东 段	中 段
荒漠草原带	2000—2300	18.5—16.5	17.8—15.8
草原带	2300—(2500)2600	16.5—(15.2)14.5	15.8—(14.4)13.7
森林草原带	(2500)2600—(3100)3200(3300)	(15.2)14.5—10.6(9.9)	(14.4)13.7—(10.3)9.6
灌丛草原带	(3100)3200(3300)—3700(3850)	10.6(9.9)—(6.3)	(10.3)9.6—6.2
草甸草原带	3700(3850)—4100(4200)	(6.3)—4.6(4.0)	6.2—3.5
冰雪带	>4100(4200)	<4.6(4.0)	<3.5

1)根据张掖和武威两地区的林业区划整理.

祁连山北坡东中两段植被垂直带与式(12,13)计算值对照(表3)后可见,东段乔木林林线上限为海拔3200或3300(米),中段则为3100或3200(米),大致都相当于 $\bar{T}_7 = 10^\circ\text{C}$ 的分布高度.由此表明,上面所述的祁连山北坡乔木林生长的温度下限指标与实况基本相吻合.中东两段灌木林生长上限分别达海拔3700和3850(米),大体相当于 $\bar{T}_7 = 6^\circ\text{C}$ 的分布高度.因此年内 $\bar{T}_7 = 6^\circ\text{C}$ 大致可作为祁连山北坡灌木林生长的温度下限指标.

(三)乔木林生长的最佳高度带

1974年寺大隆林区的观测结果显示,五年生华北落叶松在海拔2700—2800米处的树高年生长量为6.87—7.51厘米,而海拔3000米处仅有3.31厘米(图2).

1978年在同一林区对相同树种(树龄8—10年)的观测结果表明,海拔2700,2780,2800,2850和2880(米)各处树高年生长量达12.4—22.1厘米,而海拔3000,3100和3200

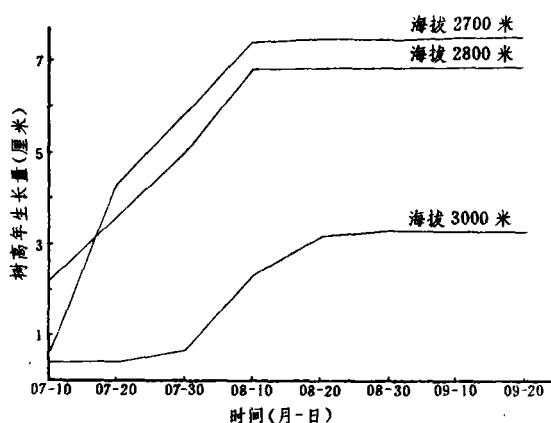


图2 中段不同海拔处华北落叶松树高年生长量曲线 (1974年,寺大隆,据傅辉恩等人资料绘制)

Fig. 2 Annual growth amount (cm) of height about *Larix principis-rupprechtii* at different altitudes in the middle part on the northern slope of Qilian Mountainous Region (1974, at Sidalong)

(米)处仅为4.6—11.0厘米;树龄同为8年,海拔2780米处的树高年生长量分别为3000和3200(米)处树高年生长量的1.6和2.7(倍)¹⁾。

由上可见,祁连山北坡乔木林生长以海拔2700—2900米坡段为最佳。

祁连山北坡东中两段不同海拔处乔木林生长状况的上述差异,主要由热量差异引起的。海拔2500—2900米处 $\bar{T}_7 = 15.2 - 12.6^\circ\text{C}$, 明显 $> 10^\circ\text{C}$, 乔木林生长期较长, 生长较快, 树体长得较高大; 海拔2900—3200米处 \bar{T}_7 略 $>$ (或 $=$) 10°C , 乔木林生长期较短, 生长较慢, 树体长得较矮小。还须指出, 海拔2500—2600米处 \bar{T}_7 虽然在森林草原带内是最高的, 但由于毗邻草原带(见表3), 受水分条件的限制, 该处乔木林树体就比海拔2700—2900米处的乔木林树体长得矮小一些。

三、垂直气候植被带及其保护

(一) 祁连山北坡东中两段

1. 海拔2000—2500米处 这就平均而言, $\bar{T} = 2.4 - 4.9^\circ\text{C}$, $\bar{T}_7 = 14.8 - 18.2^\circ\text{C}$, ΣT_0 和 ΣT_{10} 分别为1920—2720和1290—2120($^\circ\text{C}$), 年降水量 = 260—360毫米, 乔木林的 $E = 330 - 400$ 毫米。这里的热量条件可满足乔灌木林生长要求, 但水分条件不能满足生长需要。其间海拔2000—2300米的气候植被带为干旱荒漠草原带, 土类为灰钙土; 海拔2300—2500米为半干旱草原带, 土类为栗钙土。

对该处的坡地应妥善保护现有的旱生禾本科和莎草科草本植被, 同时需采取拦蓄坡地径流的措施(挖鱼鳞坑、水平沟等), 营造以耐旱的鲜黄小檗 *Berberis diaphana*、甘肃锦鸡儿 *Caragana kausuensis*、毛条 *C. korshinskii*、肋果酸刺 *Hippophae neuacarpa* 等灌木为主的水土保持林, 并进行封山育林, 严禁樵采; 沟谷内水热条件配合较好, 可发展青杨 *Populus cathayana*、小叶杨 *P. sinonii*、二白杨 *P. gansuensis* 和白榆 *Ulmus pumila* 等乔木林。

2. 海拔2500—3200米处 $\bar{T} = -1.2 - 2.4^\circ\text{C}$, $\bar{T}_7 = 10.1 - 14.8^\circ\text{C}$, ΣT_0 和 ΣT_{10} 分别为800—1920和130—1290($^\circ\text{C}$), 年降水量 = 340—400毫米, 乔木林的 $E = 250 - 330$ 毫米。这里的水热条件适宜灌木林生长, 气候植被带属半湿润森林草原带, 土类为灰褐色森林土、黑钙土和栗钙土。

阴坡和半阴坡适宜生长青海云杉 *Picea crassifolia* 林, 林下可生长山柳 *Salix characta*、甘肃锦鸡儿 *Caragana tangutica*、金腊梅 *Dasiphora fruticosa*、葱皮忍冬 *Lonicera ferdinandii* 和银腊梅 *Dasiphora davurica* 等灌木; 阳坡和半阳坡适宜生长祁连山圆柏 *Sabina przewalskii* 疏林, 林下可生长稀疏的金腊梅、银腊梅、鬼箭锦鸡儿 *Caragana jubata*、葱皮忍冬、刺玫蔷薇 *Rosa davurica* 和高山绣线菊 *Spiraea alpina* 等灌木。这是带内径流形成区主要的水源涵养林类型。沟谷内能生长小片青杨、小叶杨和白榆等乔木林。东段冷龙岭以东海拔2400—2700米处, 因受东南季风影响较显著, 降水量较多, 温度较高, 生长着山杨 *Populus davidiana* 林, 其中偶见白桦 *Betula platyphylla* 混生; 或呈油松 *Pinus tabulaeformis* 和山杨针阔混交林分。

该处森林多呈带状或斑块状分布。如果经营管理不当, 森林就有被灌丛草原或草原取

1) 傅辉恩等, 1974, 祁连山西部高山林区林木引种初报(油印稿)。

代的可能,因此应积极更新造林、种灌种草,因林因地采取科学抚育措施,提高森林覆盖率和水源涵养能力。

3. 海拔3200—3700米处 $\bar{T} = -3.7 \sim -1.2^{\circ}\text{C}$, $\bar{T}_7 = 6.5 \sim 10.1^{\circ}\text{C}$, $\Sigma T_0 = 270 \sim 800^{\circ}\text{C}$, 年降水量 = 400—470毫米, 乔木林的 $E = 210 \sim 250$ 毫米。这里为湿润灌丛草原带, 土类为草甸土。带内的阴坡、半阴坡生境湿润, 适生杜鹃 *Rhododendron przewalskii* 灌木林和山柳灌木林。这是该处径流形成区主要的水源涵养林类型。阳坡、半阳坡及沟谷内适生金腊梅灌丛。

由测定得知,该处灌丛林地根系总重量平均达23.102吨/公顷,根系总长度为1533.2公里/公顷¹⁾,这对防止片蚀和涵养水源起有重要作用。保护好灌木林,就能更好地改善乔木林的生境。

4. 海拔3700—4200米处 $\bar{T} = -5.7 \sim -3.7^{\circ}\text{C}$, $\Sigma T_0 < 270^{\circ}\text{C}$, 年降水量 = 470—560毫米。该处仅能生长耐寒湿生的草本植物,呈高山草甸草原景观。再往上是冰雪带。保护和发展高山草甸草原,合理开发利用高山冰雪资源,也是保护祁连山生态环境所必需的。

(二)祁连山北坡西段

该段年降水量比东中两段年降水量少得多,不具备乔灌木生长所需的水分条件,且气候严寒,风多而大,自下而上呈山地荒漠、荒漠草原和草原景观,仅在沟谷滩地上零星分布着灌木。这里应当加强封山育草,改良草场,划区轮牧,适度放牧。

综上所述,祁连山北坡海拔2500—3700米处,是对河西走廊平原区开发利用有着重要影响的关键地段,应当大力保护和发展其水源涵养林和草被。

参 考 文 献

- [1] 陈昌毓,1991,甘肃河西走廊实际水资源及其对林木适生程度的影响,地理学报,46(1),第36页。
- [2] 汤懋苍,1985,祁连山区降水的地理分布特征,地理学报,40(4),第323页。
- [3] 汤懋苍,1984,祁连山区的气候变化,高原气象,3(4),第30页。
- [4] 陈昌毓,1985,从水分平衡看河西走廊东部植树造林适生程度,气象,11(12),第20—21页。
- [5] 中央气象局,1979,中华人民共和国气候图集,北京:地图出版社,第222—223页。

1)曲永宁等,1982,东祁连山西段云杉水源涵养林营林技术调查研究(铅印稿)。

HYDRO-THERMAL CONDITION AND ITS INFLUENCE ON THE DISTRIBUTION OF TREES AND GRASSES IN THE NORTHERN SLOPE OF QILIAN MOUNTAINOUS REGION

Chen Changyu

(Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou, 730020)

Abstract

The Qilian Mountainous Region, Situated at $37^{\circ}15'—39^{\circ}50'N$ and $93^{\circ}15'—102^{\circ}50'E$, is more than 1,000km long from west to east. Its altitude is at 2,000—4,500m, but mostly over 3,500m. It covers an area of 80,000km² in Gansu Province. It belongs to the plateau climate region.

Its annual precipitation is at 150—650mm, decreasing from east to west. The annual evapotranspiration of arbor is at 250—400mm. The precipitation that can meet the water need of arbor growth is at altitude of 2,500—3,200m.

In the region, where July mean temperature is $\geq 10^{\circ}C$ and $\geq 6^{\circ}C$ and hydrological condition is favourable, arbor and shrub can grow respectively. The others can only grow grass vegetation or radically not.

In the region, the altitude is at 2,500—3,200m, with good hydro-thermal condition. The growing period of arbor is 100d. The remarkable growing period of arbor is from the first ten days of July to the first ten days of August. The peak growing period of arbor is in the second ten days of July. The altitude of 2,700—2,900m is the best growing belt for arbor.

Picea crassifolia and *Sabina przewalskii* forests are the main forests for preserving water source in the runoff area at altitude of 2,500—3,200m. But *Rhododendron przewalskii* and *Salix characta* shrubs are the main forests for preserving water source in the runoff area at altitude of 3,200—3,700m. It is very important to protect and develop forests greatly in the northern slope of Qilian Mountainous Region for keeping ecological balance.

Key words northern slope of Qilian Mountainous Region, hydro-thermal condition, distribution of trees and grasses, evapotranspiration