

哀牢山(西南季风山地)焚风效应的农业意义*

张克映 马友鑫 刘玉洪 李佑荣

(中国科学院昆明生态研究所, 昆明, 650223)

提 要 根据哀牢山北段向风(西南)坡与背风(东北)坡共8个测站资料和农业资料, 讨论了西南季风翻越哀牢山后的焚风效应——气温增加和水湿减少. 这对作物、果树发育有促进作用, 对农业有增产效益. 当地的农业布局应考虑到焚风效应.

关键词 哀牢山 焚风效应 农业 作物 果树

哀牢山北起点苍山, 南至中越边境, 呈 NNW-SSE 走向, 斜贯云南中部, 长 500 余公里, 山岭海拔一般 2000—3000 米, 无大隘口. 山岭走向与西南季风相垂直, 也是东北季风(干冷空气)入滇南侵的天然屏障. 哀牢山既是滇西纵谷区与滇东高原区的地理界线, 又是云南冬季西暖东寒的气候界线.

在哀牢山北段(24°26'—24°38'N, 100°52'—101°08'E)按照下列四个原则: 1. 向风(西南)坡(简称向风坡)、背风(东北)坡(简称背风坡)对应地貌状况大体一致; 2. 避开峡谷、洼地、陡坡、丛林地和水体等局地因子干扰; 3. 测站水平布局与山岭走向相垂直; 4. 各站的海拔散布力求疏密相宜, 并须有村落依托, 两坡各设 4 个站(其中 1 个测站设于谷底, 表 1).

表 1 哀牢山北段测站的地貌与位置

Table 1 Landform and location of measuring stations in North Ailao Mountain

坡 向	向 风 坡				分水岭	背 风 坡			
	景 东	大水井	方家箐	徐家坝		朵 苴	大 庙	刘家村	小村河
站 名									
地貌状况	谷地	向西坡地	台地	向西缓坡		向东梯地	缓丘	向东缓坡	谷地
东 经	100°52'	100°59'	100°59'	101°01'	101°02'	101°06'	101°06'	101°08'	101°06'
北 纬	24°26'	24°27'	24°31'	24°32'	24°33'	24°35'	24°36'	24°37'	24°38'
海拔(米)	1162	1480	1830	2450	2883	1960	1740	1270	950
南北偏距(公里)	-11.8	-4.5	-3.5	-1.8	0.0	+5.0	+6.3	+8.7	+9.7
比 高(米)	318	350	620	150	640	220	470	320	
邻站间									
水平距离(公里)	9.9	5.0	6.9	1.7	8.5	1.1	4.0	4.6	
坡 度(%)	3.2	7.0	9.0	9.1	7.5	19.9	11.8	7.0	

“-”表示偏南; “+”表示偏北.

向风坡观测始于 1982 年 4 月, 背风坡观测始于 1985 年 11 月, 两坡皆观测至 1987 年 3 月, 所用资料均以相关统计订正至 1982—1986 年的同期资料.

* 国家自然科学基金资助项目[项目号, 85(科)028]

本文收稿日期, 1992-09-19.

作物和果树物候期及产量资料是以各测站为观测基点,并结合对其附近各村落进行路线考察和调查而获得。

一、焚风效应与温效特征

西南季风翻过哀牢山后,常在向风坡按湿绝热梯度 $0.6^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 爬升降温而凝云致雨,在背风坡按干绝热梯度 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 下沉增温而呈现焚风,其效应值与地形雨过程关系至为密切^[1]。这就使背风坡比向风坡在同一海拔处水湿减少和光温增加;当地干季还由于水热转化效应而产生“焚风后效”或间接焚风效应,结果呈现如下状况。

(一) 焚风效应平均特征

以背向风两坡之间的光温水湿差值表示焚风效应随海拔不同的变化(图 1)。

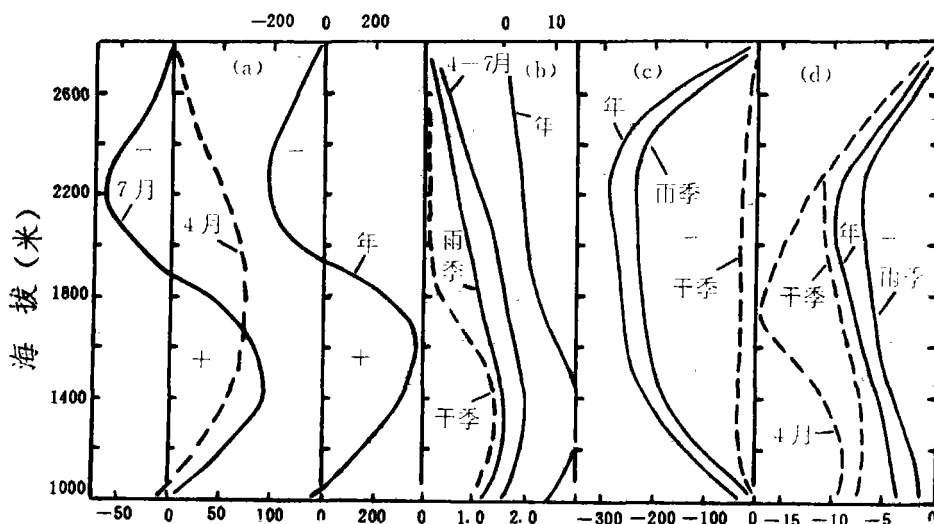


图 1 哀牢山背风坡焚风效应随海拔不同的变化(“+”表示站址,“-”表示观测点)

Fig. 1 Altitudinal variation in the foehn effect on the leeward slope of Ailao Mountain

a. 太阳总辐射(兆焦/米²); b. 温度(°C); c. 降水量(毫米); d. 相对湿度(%)

1. 光效 全年和 7 月太阳总辐射变化趋势一致,坡地中下部增加约 400 兆焦/(平方米·年)和 100 兆焦/(平方米·月),坡地中上部和谷底(或山麓)则减弱。干季(如 4 月)全坡均有增强(图 1-a)。

2. 温效 全坡年均增温 0.9°C , 山麓增温达 1.5°C 。这相当同一地形面南移纬度 2° — 3° 的增温量,其中雨季增温(平均 1.0°C , 最大 1.4°C)大于干季增温(平均 0.7°C , 最大 1.2°C),而在喜温作物种植带的上部增温达 0.5 — 0.8°C ,在作物旺盛生长期的 4—7 月增温最为显著,达 1.0 — 2.0°C (图 1-b)。

3. 水湿效应 背风坡降水量减少约 220(雨季)—260 毫米(年);年均相对湿度下降 7%,其中干季减湿量(9%)约为雨季减湿量(5%)的 2 倍;春旱 4 月降湿更为显著,坡地中

部达 17%(图 1-c,d)。

由上可见,焚风效应在背风坡中下部至山麓带最为显著,向上向下均递减。这由平行对峙的西邻无量山过山气流(焚风)影响哀牢山向风坡谷地(即无量山背风谷地)所致。此对当地农业有特殊意义。

(二)最冷月温效与累积温效

1. 最冷月温效 由于向风坡干季(如 1 月)逆温显著,致使海拔 1800 米以上(或以下)背风坡最低温效和月均温效皆显著降低(或升高),温度日较差则相反(表 2)。这既使果树开花期延迟,也利于低纬(南亚热带)山地基带喜凉作物越冬,顺利完成春化阶段,提高作物产量。

表 2 背风坡 1 月温效(°C)

Table 2 Temperature effects (°C) of January on the leeward slope

海拔(米)	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300
月均温效	1.0	1.3	1.2	0.4	-0.3	-0.2	-0.1
最高温效	-1.3	-0.8	-0.3	0.4	0.3	0.0	0.0
最低温效	0.7	1.3	1.6	0.0	-1.5	-1.1	-0.8
日较差	-2.0	-2.1	-1.9	0.4	1.8	1.1	0.8

2. 累积温效 $\Delta\Sigma t$ 与累积日效 $\Delta\Sigma N$ $\geq 15, \geq 18, \geq 20$ 和 $\geq 22(^{\circ}\text{C})$ 的 $\Delta\Sigma t$ 和 $\Delta\Sigma N$ 两者上限高度:背风坡[海拔 2530, 2200, 1970 和 1680(米)]比向风坡[海拔 2480, 2100, 1750 和 1440(米)]高出 50—240 米。背向风两坡同一海拔处以积温差值和持续期差值分别表示累积温效 $\Delta\Sigma t$ 和累积日效 $\Delta\Sigma N$ (图 2)。 ≥ 10 和 $\geq 15(^{\circ}\text{C})$ 的 $\Delta\Sigma t$ 随海拔上升而略

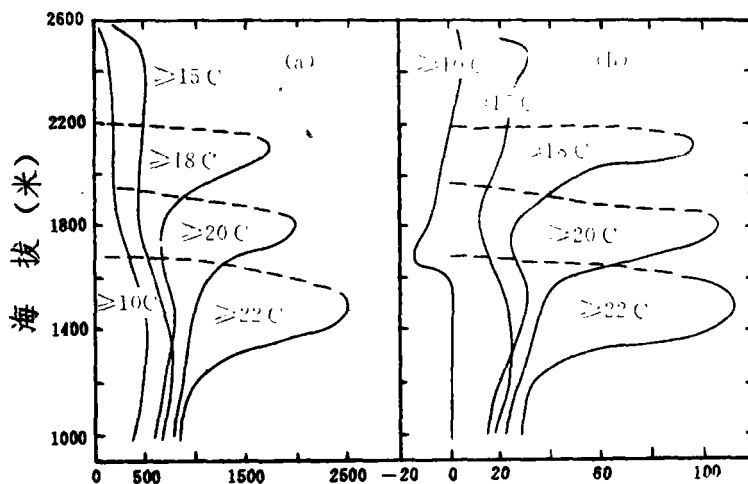


图 2 背风坡 $\geq 10, \geq 15, \geq 18, \geq 20$ 和 $\geq 22(^{\circ}\text{C})$ 累积温效和累积日效随海拔不同的变化

Fig. 2 Altitudinal variation in both accumulated temperature effect $\Delta\Sigma t$ and accumulated day effect $\Delta\Sigma N$ with $\geq 10, \geq 15, \geq 18, \geq 20$ and $\geq 22(^{\circ}\text{C})$ on the leeward slope

a. 累积温效 $\Delta\Sigma t(^{\circ}\text{C})$; b. 累积日效 $\Delta\Sigma N(\text{天})$

有递减; $\geq 18, \geq 20$ 和 $\geq 22(^{\circ}\text{C})$ 的 $\Delta\Sigma t$ 则随海拔上升而剧增,并在各自界限温度的向风坡上限高度处达极值,后向背风坡上限高度处锐减以至消失。 $\Delta\Sigma N$ 与 $\Delta\Sigma t$ 的变化相似,只是 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的 $\Delta\Sigma N$ 在坡地中上部略现负值(在海拔 1700 米处最大,达 15 天)。此为向风坡逆温上层的温暖带所致。在背风坡, $\geq 22^{\circ}\text{C}$ 的 $\Delta\Sigma t$ 达 800—2500 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 22^{\circ}\text{C}$ 是高原、山地的“珍贵高温”资源。由外地引种喜温作物入滇,常因“珍贵高温”不足而减产或失败。

二、焚风对农业物候期的影响

(一) 果树物候期

桃 *Prunus persica*、梨 *Pyrus* 和核桃 *Juglans regia* 分布上限高度:背风坡(海拔 2100 米左右)高出向风坡约 100 米. 在同一海拔处,与向风坡的逆温上层温暖带相比,背风坡果树开花期延迟,但因光温增加,果熟期提早. 如桃,海拔 1300—2000 米背风坡成熟于 6 月下旬—7 月中旬,而向风坡相应于 7 月中旬—8 月中旬,背风坡比向风坡提早 20—30 天;开花—果熟间隔期:背风坡(140—155 天)比向风坡(155—185 天)缩短 15—30 天. 梨和核桃的这两个期则缩短 10—30 天. 在果树分布范围内,开花—果熟间隔期,在背风坡的缩短(或向风坡的延长)日数随海拔上升而递增. 这与背风坡 $\Delta\Sigma t$ 和 $\Delta\Sigma N$ 的变化一致.

(二) 作物物候期

与背风坡相比,向风坡水湿条件较佳,作物播种(或移栽)期有所提早. 在雨季后期两坡俱湿,冬小麦 *Triticum* spp. 播种期就基本一致. 同一作物播种(或移栽)期随海拔不同的变化:1. 或受制于温度(即临界高温或临界低温),如临界高温变低使水稻 *Oryza sativa* 移栽期向高处延迟,临界低温变高使冬小麦播种期向高处提早;2. 或受制于水湿条件,如森林自然保护区附近(海拔 > 2200 米)因有森林涵养水源,水湿丰沛,故玉米 *Zea mays* 播种期在背向风坡上部要比山麓提早约 30 天. 作物成熟期与果熟期一样,也是背风坡比向风坡提早:马铃薯 *Solanum tuberosum* 有 10—30 天,冬小麦约 10 天,水稻有 20—30 天(海拔 1600—1800 米),玉米为 10—20 天(海拔 1600—1800 米). 但若背风坡播种期过迟,则成熟期也会比向风坡延迟,如海拔 1300 和 1500(米)以下的玉米、水稻即是.

同一海拔处的作物生(长发)育期日数也是背风坡比向风坡减少得多:水稻有 15—45 天,玉米为 5—30 天,冬小麦在 15 天左右,马铃薯约 36 天. 作物生育期日数梯度值:背风坡比向风坡明显减少(表 3).

表 3 作物的物候期梯度(天/百米)

Table 3 Phenological period gradient(d/hm) of main crops

物候期	坡向	水稻	玉米	冬小麦	马铃薯
播种期或移栽期	背风坡	+2.7	-4.0	-2.1	+3.8
	向风坡	+8.5	-4.6	-2.1	+2.8
成熟期	背风坡	+6.9	-1.5	+3.7	+9.1
	向风坡	+13.1	+4.4	+3.5	+5.1
生育期	背风坡	+5.6	+2.9	+5.6	+4.4
	向风坡	+8.6	+4.7	+6.0	+4.6

“+”表示物候期随海拔递增而延迟;“-”表示物候期随海拔递增而提前.

三、焚风对作物产量的影响

(一) 主要作物产量的分布(图 3)

1. 喜温作物 水稻产量由谷底向坡地的递减率〔公斤/(公顷·百米)〕:背风坡(874.5)小于向风坡(1021.5),这与上述水稻生育期日数梯度的变化一致. 再向高处水稻产量锐减,在水稻种植上限高度(海拔 2000—1950 米)处产量(3000—1500 公斤/公顷)仅及谷底产量(8700—7500 公斤/公顷)的 1/3—1/5. 玉米在坡地中部(海拔 1500—1700 米)处相对高产(4500—6000 公斤/公顷),此上下产量均低. 谷底的玉米因高湿闷热而徒长,

产量陡降;坡地上部(海拔>1700 米)的玉米因 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 高温日数不足,有碍籽实灌浆,加之风害严重等而减产。

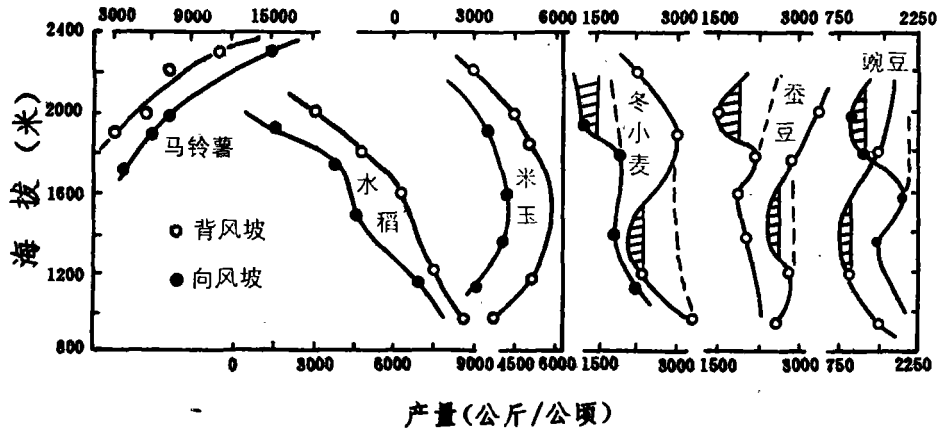


图3 主要作物产量随海拔不同的分布

Fig. 3 Distribution of main crop yield (kg/ha) with altitude

斜线部分示喜凉作物低产带和倒春寒期间的48小时最大降温带;虚线示无倒春寒年份的产量趋势

2. 喜凉作物 春季是其的开花授粉和籽实灌浆期,此时喜凉作物对低温极为敏感,因而喜凉作物产量的分布与春季偏北干冷空气入侵(倒春寒)所引起的降温量的分布密切相关.对比结果可知,背风坡偏下部(海拔1200—1600 米)和向风坡偏上部(海拔1800—2200 米)既是倒春寒期间48小时最大降温带,又是喜凉作物低产带.如1986年3月倒春寒严重,背向风两坡48小时降温量达 $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$,喜凉作物普遍减产,核桃等严重落果;在无倒春寒年份,两坡的喜凉作物低产带就不会出现.因此在背风坡下部和向风坡中上部,喜凉作物年际产量多变.冬小麦产量和蚕豆 *Vicia faba* 产量:背风坡[2250—3750 和

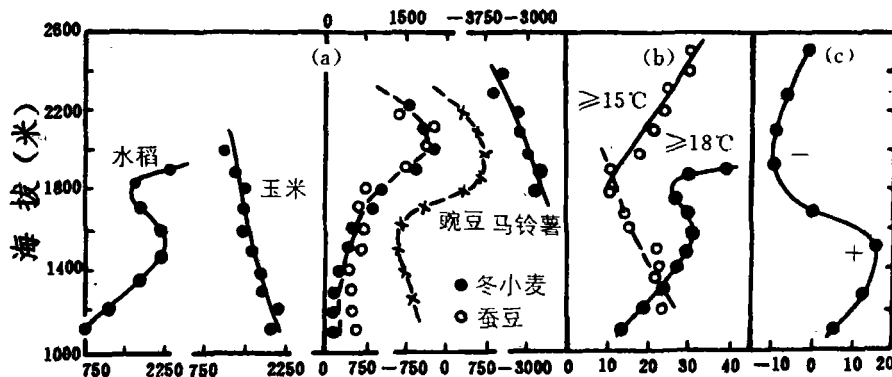


图4 背风坡的增产效益 Δy 、累积日效 $\Delta\Sigma N$ 与冬半年最低温效 ΔT_{\min} 随海拔不同的变化

Fig. 4 Altitudinal variation in both increasing yield benefit Δy (kg/ha) and accumulated day effect $\Delta\Sigma N$ (d) and minimum temperature effect in winter half year ΔT_{\min} ($^{\circ}\text{C}$) on leeward slope

a. Δy (公斤/公顷); b. $\Delta\Sigma N$ (天); c. ΔT_{\min} ($^{\circ}\text{C}$)

2550—3300(公斤/公顷)]比向风坡[1500—2250 和约 1500(公斤/公顷)]要高,豌豆 *Pisum sativum* 产量则低(900—1800 公斤/公顷). 总之背风坡比向风坡增产效益显著.

以背向风两坡之产量差值作为背风坡的增产效益 Δy , 其与温度效应(包括累积日效 $\Delta \Sigma N$ 和冬半年最低温效 ΔT_{\min})随海拔不同的变化相似(图 4): 1) 水稻的 Δy 与 $\geq 18^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$ 两者变化一致; 喜凉作物的 Δy 与冬半年最低温效 ΔT_{\min} 呈反向变化一致. 在某些作物种植范围内, 作物的 Δy 随海拔上升而递增. 2) 玉米的 Δy 和马铃薯的 $-\Delta y$ 分别与 $\geq 15^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$ 呈正负相关, 这反映出两者的生物学热特性差异显著.

焚风产生的作物 Δy 与 $\Delta \Sigma N$ 或 ΔT_{\min} 之间的相关均达显著水平或极显著水平(表 4). 如 $\geq 15^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$ 和 18°C 的 $\Delta \Sigma N$ 每增加 1 天, 喜温作物水稻和玉米的 Δy 达 42.0 和 76.5(公斤/公顷). 喜凉作物在越冬期内需要一

表 4 相关系数 r 与产量变率 $\Delta y/\Delta \Sigma N$ 或 $\Delta y/\Delta T_{\min}$

Table 4 Correlation coefficient r and yield variability $\Delta y/\Delta \Sigma N$ or $\Delta y/\Delta T_{\min}$

主要作物	$\Delta \Sigma N$ 或 ΔT_{\min}	r	$\Delta y/\Delta \Sigma N$ 或 $\Delta y/\Delta T_{\min}$
水 稻	$\geq 18^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$	0.97 ¹⁾	$\Delta y/\Delta \Sigma N = 75.90$
玉 米	$\geq 15^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$	0.75 ²⁾	$\Delta y/\Delta \Sigma N = 41.70$
马铃薯	$\geq 15^\circ\text{C}$ 的 $\Delta \Sigma N$	-0.89 ²⁾	$\Delta y/\Delta \Sigma N = 37.50$
冬小麦	ΔT_{\min}	-0.94 ¹⁾	$\Delta y/\Delta T_{\min} = 666.45$
蚕 豆	ΔT_{\min}	-0.88 ²⁾	$\Delta y/\Delta T_{\min} = 525.30$
豌 豆	ΔT_{\min}	-0.95 ¹⁾	$\Delta y/\Delta T_{\min} = 633.45$

1), 2) 分别达到 0.01 和 0.001 显著水平.

定的低温; 使之顺利度过春化阶段而得以增产. 考察、调查结果表明, 背风坡中上部成为喜凉作物增产效益最显著带(增产 750—1500 公斤/公顷), 而谷底的喜凉作物增产效益降低, 甚至会减产, 如豌豆. 这说明最低温度对喜凉作物的增产意义重大.

由上可见, 在西南季风多雨山区, 向风坡云雨过量, 光温条件欠佳, 土肥流失加重, 土层减薄, 这就造成土地“雨害”, 作物产量相对降低. 而受焚风影响的背风坡在降水(夏半年为 900—1200 毫米, 冬半年为 150—200 毫米)适量减少, 光温条件得以改善(ΔT_{\min} 在坡地中上部减小). 降水适量减少, 并不妨碍喜温作物和喜凉作物的需水量, 却减少了农田水肥流失, 减轻了表土层的冲刷而相对增厚¹⁾. 光温条件的改善对夏凉冬暖的高原山地作物, 特别对喜温作物生长发育殊为有利, 从而获取较高的增产效益. 焚风的干热气候对农业具

有显著的增产效益, 在哀牢山、以至在横断山区或其他低纬山地均如此. 就全球范围而言, 干热区也是农业高产区, 而湿热区罕见²⁾.

由此在哀牢山以至低纬季风山地农业的坡向布局(表 5)上, 向风坡(弱光温湿)应发展林业为主, 而背风坡(强光干热)应以发展高速高效优质的农业为主. 与向风坡相比, 背风坡兴修水利的农业增产效益更为显著. 与此同时, 背向风两坡均宜以农林协作(混农林业)方式定植, 即在高等宽行林带之间发展农

表 5 哀牢山的坡向气候效应与农业布局

Table 5 Climatic effects of sloping direction and the agricultural distribution in Ailao Mountains

气候效应	坡 向	向风坡		背风坡	
	日射与温度	减少	弱光	增加	强光
农林特征	降水与湿度	增加	温湿	减少	干热
	上限分布海拔	降低		升高	
农业布局	播种期或移栽期	延迟		提早	
	生育期与成熟期	减速与延迟		加速与提早	
	单位面积产量	降低		提高	
	农业布局	林业为主		农业为主	

1) 由薛敬意测定结果表明, 哀牢山表土层平均厚度, 背风坡约 19 厘米, 向风坡约 13 厘米, 山岭因遭过量降水(约 1800 毫米)冲刷而仅 5—10 厘米.

业,以减轻水肥土的流失.

总的看来,焚风效应是一项重要的农业气候资源,应加以合理开发利用.

参 考 文 献

- (1) 张克映等,1992,哀牢山过山气流的气候效应,地理研究,11(3),第65—70页.
- (2) 张克映,1990,世界干旱区的生态气候和农业生产力优势与古农业文化的兴衰,见文集:中国干旱半干旱地区气候、环境与区域开发研究,北京:气象出版社,第1—4页.

AGRICULTURAL SIGNIFICANCE OF THE FOEHN EFFECT IN THE SW MONSOON: A CASE STUDY IN THE AILAO MOUNTAIN

Zhang Keying Ma Youxin Liu Yuhong Li Yourong

(Kunming Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences, Kunming, 650223)

Abstract

The Ailao Mountain lies in the central Yunnan Province at NNW-SSE direction, being more than 500km long in China. It is a geographical limit between of the longitudinal valley areas in West Yunnan and of the Yunnan-Guizhou Plateau in East Yunnan.

8 mountainous meteorological observation stations, were set up in the northern part ($24^{\circ}26' - 24^{\circ}38'N$, $100^{\circ}52' - 101^{\circ}08'E$) of Ailao Mountain, and the agriculture in the neighbourhood was investigated on the spot.

After the SW monsoon flows over the Ailao Mountain, a foehn is born with both decreases in precipitation and humidity and increases in solar radiation and temperature, on the leeward (NE) slope. Comparing with the windward (SW) slope, the annual precipitation and relative humidity was reduced by ca. 280mm and by ca. 7%, respectively, on the leeward slope, while there are increases of both ca. 400MJ/m² in annual total solar radiation and ca. 0.9℃ in average annual air temperature.

The significance of the foehn effect on the mountain agriculture were as follows: 1. the agricultural upper limit altitude was raised by 100—200m, thus it expanded the land-use; 2. the sowing and transplanting dates of crops were postponed, while the mature or harvest periods were moved up or shortened, and the crop yields increased clearly; and 3. the increasing yield benefits of agricultural crops variate with the altitude.

Considering the agricultural arrangement in the SW monsoon mountain (such as in Ailao Mountain), it should develop forestry as the key on the windward, while take agriculture as the key on the leeward. Meanwhile it is suitable to adopt an agroforestry way on the two slopes aiming at reducing the soil erosion.

Key words Ailao Mountain, foehn effect, agriculture, crop, fruit tree