

青藏高原科学考察丛书

西藏自然地理

中国科学院青藏高原综合科学考察队

科学出版社

青藏高原科学考察丛书

西藏自然地理

中国科学院青藏高原综合科学考察队

编写单位：

中国科学院地理研究所

作者：

张荣祖 郑 度 杨勤业

科学出版社

1982

内 容 简 介

《西藏自然地理》是《青藏高原科学考察丛书》之一。该书对西藏自治区及其邻近区域的自然地理基本特征、组成自然地理环境的各个要素：地形、气候、河流、湖泊、土壤、植物和动物进行了全面描述；研究了区域分异规律，对西藏进行了比较全面系统的综合自然区划，并作了分区描述。本书是我国第一部西藏区域自然地理著作。

该书深入浅出文字通俗易懂，文内附有大量插图和照片。本书可供科研、教学及地方建设部门参考应用。

青藏高原科学考察丛书

西藏自然地理

中国科学院青藏高原综合科学考察队

责任编辑：刘卓澄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982 年 6 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1982 年 6 月第一次印刷 印张：11 5/8

印数：精 1—1,400 插页：精 12 平 10

平 1—1,150 字数：264,000

统一书号：13031·1897

本社书号：2574·13—18

定价：布脊精装 3.80 元
平 装 2.85 元

《青藏高原科学考察丛书》序

号称“世界屋脊”的青藏高原，北起昆仑，南至喜马拉雅，西自喀喇昆仑，东抵横断山脉，幅员辽阔，地势高亢。其绝大部分位于我国境内，面积约为全国领土的四分之一。海拔一般超过四千米，比周围的平原、盆地高出三千米以上。这样一个举世无双，雄伟壮观的高原却又是地球上最年轻的；其最高耸的部分——喜马拉雅山地，直至四千万年前的第三纪初期还是一片汪洋大海！是什么力量以如此惊人的速度把它抬升到了今天的高度？这个大高原经历了怎样的沧桑巨变？它的存在又对自然界和人类活动带来了什么样的影响？……这些自然界的奥秘，长期以来一直强烈地吸引着中外的科学家们。

青藏高原有着独特的自然条件和丰富的自然资源，是我们伟大祖国的一块宝地。几千年来，繁衍生息在这里的藏族同胞和其他兄弟民族一起，通过生产实践，不断认识、利用和改造着这块土地，为中华民族文化的发展做出了贡献。公元641年文成公主进藏，进一步沟通了西藏与内地的文化交流，促进了青藏高原宝藏的开发和经济的发展。然而，近百年来由于中国反动统治阶级的腐败无能和帝国主义的侵略，富饶美丽的青藏高原也备受蹂躏，宝贵的资源任凭掠夺，任其荒芜。有多少爱国的科学家曾渴望着为认识和开发祖国的这块宝地贡献自己的一份力量！可是在旧中国，这个美好的愿望只能是空想而已，只有在社会主义的新中国，我国的科学家们才如愿以偿了。

解放之初，在西藏交通、供应还十分困难的情况下，国家就组织了科学家们去西藏考察。其后，在1956—1967年和1963—1972年两次国家科学发展规划中，都把青藏高原科学考察列为重点科研项目。中国科学院从五十年代到六十年代，先后组织了四次综合科学考察，取得了显著的成绩。但是，限于当时的条件，考察的地区和专业内容都比较局限。因此，到七十年代初，我们对这个高原的了解还是很不够的，不少地区在科学上仍处于空白状态。

为了适应青藏高原社会主义建设的需要，迅速改变这个地区科学考察的落后状况，遵照敬爱的周总理关于加强基础理论研究的指示，中国科学院于1972年专门制订了《青藏高原1973—1980年综合科学考察规划》，要求对整个高原进行比较全面的考察，积累基本科学资料，探讨有关高原形成、发展的若干基础理论问题，并结合青藏高原经济建设的需要，对当地自然资源的开发利用和自然灾害的防治提出科学依据。

1973年，“中国科学院青藏高原综合科学考察队”正式组成并开始了新阶段的考察工作。考察队员来自全国十四个省、市、自治区的五十六个科研、教学、生产单位。包括地球物理、地质、地理、生物、农林牧业等方面的五十多个专业共四百多科学工作者。至1976年，历时四年首先完成了西藏自治区范围内的野外考察（部分专业的考察到1977年结束）。广大的科学工作者胸怀为社会主义祖国争光，为中国人民争气的雄心壮志，在西藏各族人民和人民解放军的大力支持下，克服了山高氧缺、风雪严寒、交通不便等困难，跋山涉水，风餐露宿，艰苦奋斗，团结协作，终于胜利地完成了野外考察任务，搜集了大量的珍

贵科学资料。1977年开始,转入室内总结。参加资料分析、鉴定、整理、总结工作的单位又扩增到七十四个,组成了更大规模的社会主义大协作。

现在和读者见面的《青藏高原科学考察丛书》就是1973年至今七年多来参加西藏野外考察和室内工作的广大科学工作者的心血结晶。

本《丛书》包括西藏地球物理场与地壳深部结构、西藏地层、西藏古生物、西藏南部沉积岩、西藏岩浆活动与变质作用、西藏南部花岗岩地球化学、西藏第四纪地质、西藏地热、西藏地质构造、西藏自然地理、西藏气候、西藏地貌、西藏冰川、西藏泥石流、西藏河流与湖泊、西藏盐湖、西藏土壤、西藏植被、西藏森林、西藏草原、西藏作物、西藏野生大麦、西藏家畜、西藏农业地理、西藏植物志、西藏孢子植物、西藏哺乳类、西藏鸟类志、西藏昆虫、西藏鱼类、西藏水生无脊椎动物、西藏两栖和爬行动物等专著。至于青藏高原其它地区的综合科学考察工作,今后将陆续进行。

我们试图通过《丛书》比较系统地反映考察所得的资料和观点,希望《丛书》能够对我国的地学、生物科学的发展,对西藏的社会主义建设起到一点作用。同时,我们也殷切地希望读者对《丛书》的错误和缺点提出批评指正。我们深深感到,现在对青藏高原的考察研究仅仅是迈出了第一步,该做的工作还很多。我们愿意和更多的科学工作者一道为进一步揭开青藏高原的奥秘,为建设社会主义的新西藏而继续努力,争取对于人类做出较大的贡献!

中国科学院青藏高原综合考察队

前 言

青藏高原是地球上海拔最高、面积巨大的高原，海拔大多在 4000 米以上。在自然地理学上，它是一个独特的中低纬的高寒环境，号称地球第三极。

李四光曾将昆仑山脉以南称为西藏高原¹⁾，它是青藏高原的主体部分。在此范围内，除唐古拉山以北及金沙江以东外，其他地区大部分属于西藏自治区的范围。西藏自治区面积 120 万平方公里，所跨越的经纬度为北纬 $26^{\circ}52'$ — $36^{\circ}32'$ ，东经 $78^{\circ}24'$ — $99^{\circ}06'$ 。亦为本书所述的范围。但自然地理现象不为行政界线所限，故常涉及西藏自治区附近地区。

在 1973—1976 年期间，我们参加了中国科学院青藏高原综合科学考察队，在西藏进行野外考察。1979 年又作了补点考察。由于西藏自治区面积辽阔，自然地理特征的区域变化复杂，又限于人力和水平，深深感到我们对西藏自然地理的考察和研究，仅仅是一个开始。现在我们在本书里希望做到的，只是向读者提供关于西藏自然地理条件及其特征的轮廓。在编写过程中我们参考了青藏高原科学考察队各有关专业组多年来的许多考察报告和总结。

全书分四章。各章节先分别起草后经讨论修改，再由各主要执笔人定稿。然而，一方面由于资料不平衡，另一方面由于有些地区未经亲自考察，因此虽经数次反复修改，但作为一个整体仍有许多不足之处。各章节的主要执笔人如下：第一章自然地理特征概述（张荣祖），第二章自然地理要素分论：地形（张荣祖）、气候（杨勤业）、河流和湖泊（杨勤业）、植被（郑度）、土壤（张荣祖、杨勤业）、动物（张荣祖），第三章区域分异规律和综合自然区划（郑度、杨勤业），第四章西藏的自然地带与自然地区：喜马拉雅南翼（郑度）、藏东山地峡谷（郑度、杨勤业）、那曲怒江上游（郑度）、藏南宽谷湖盆（杨勤业）、羌塘高原（张荣祖、杨勤业）、阿里山地湖盆（张荣祖）、昆仑高山湖盆（张荣祖）。全书由张荣祖负责整编统稿。

初稿完成后，得到中国科学院地理研究所赵松乔和中国科学院自然资源综合考察委员会孙鸿烈两同志的审阅。王荷生、黄荣金、吴祥定等同志提供了宝贵意见。土壤样品分析由中国科学院地理研究所自然地理室化验室承担；书中插图由李亚燕、甄淑平同志清绘；所附照片，除署名者外，均为本书作者所摄、由梁万茂同志放大洗印；地理所研究生刘燕华同志参加了 1979 年的补点考察；青藏高原科学考察队中其他专业的许多同志热情地提供了资料和帮助。笔者在此深表感谢，恕不一一列名。

1) 见李四光原著、张文佑编译，1952，中国地质学，第 2 页。

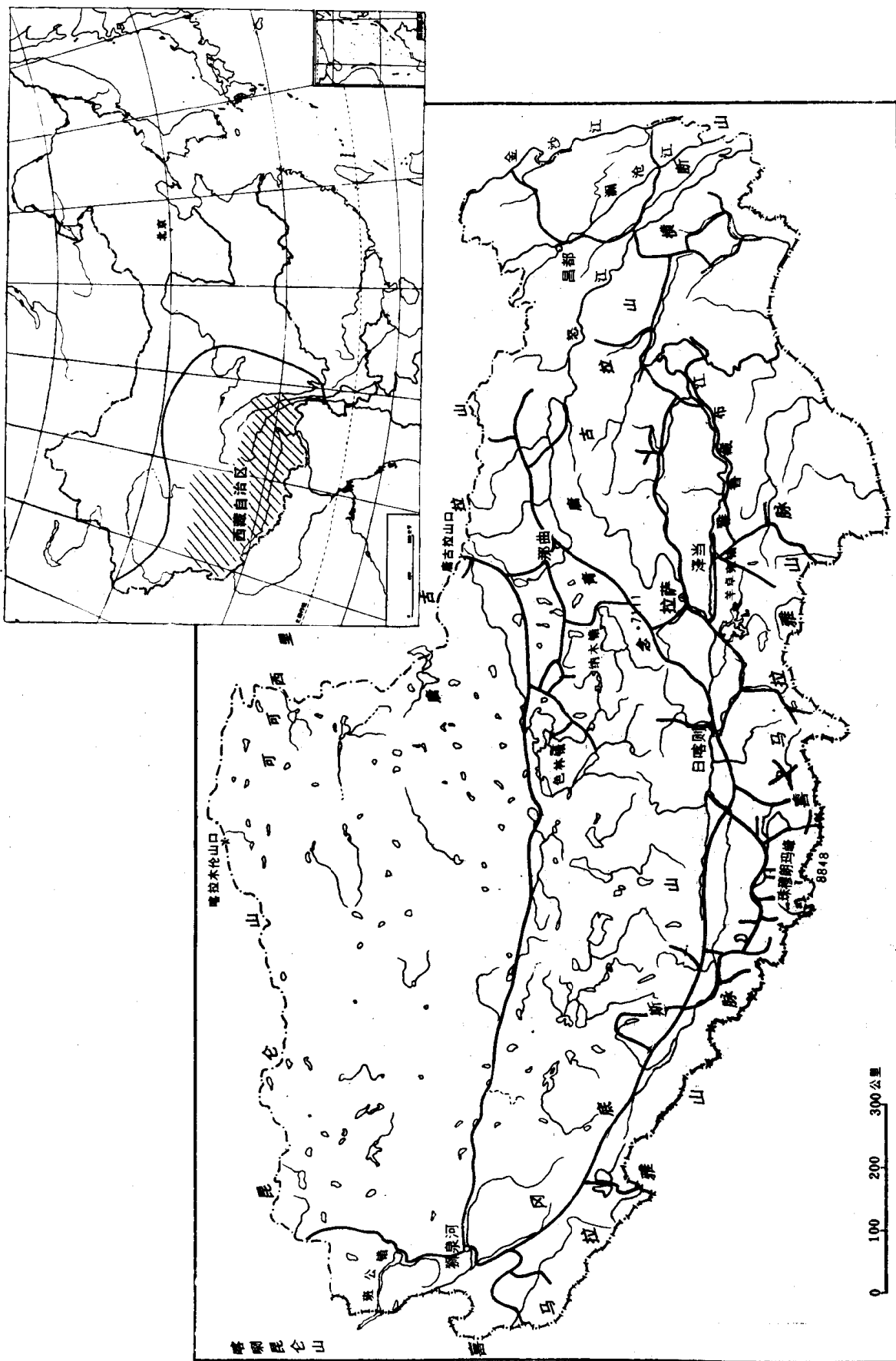


图1 考察路线图

目 录

《青藏高原科学考察丛书》序

前言	v
第一章 自然地理特征概述	1
第二章 自然地理要素分论	14
第一节 地形	14
第二节 气候	33
第三节 河流和湖泊	55
第四节 植被	69
第五节 土壤	87
第六节 动物	107
第三章 区域分异规律和综合自然区划	115
第一节 自然区域的水平分异及其基本性质	115
第二节 垂直自然带结构类型及其分布特点	117
第三节 综合自然区划	125
第四节 几条重要的自然地理界线	128
第五节 综合自然区划方案	130
第四章 西藏的自然地带和自然区	134
第一节 喜马拉雅南翼(雨林与山地常绿阔叶林地带)(I)	134
第二节 藏东山地峡谷(山地针叶林地带)(II)	140
第三节 那曲怒江上游(高山灌丛草甸地带)(III)	146
第四节 藏南宽谷湖盆(山地灌丛草原地带)(IV)	150
第五节 羌塘高原(高山草原地带)(V)	160
第六节 阿里山地湖盆(山地半荒漠与荒漠地带)(VI)	167
第七节 昆仑高山湖盆(高山半荒漠与荒漠地带)(VII)	175
参考文献	177

THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION
TO THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU

PHYSICAL GEOGRAPHY OF XIZANG (TIBET)

CONTENTS

《The Series of the Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau》 Preface	
Forewords	v
Chapter 1. General Characteristics	1
Chapter 2. Physico-Geographical Elements	14
2.1. Geomorphology	14
2.2. Climate	33
2.3. Hydrographic Features	55
2.4. Vegetation	69
2.5. Soils	87
2.6. Animals	107
Chapter 3. Physical Differentiation and Regionalization	115
3.1. Horizontal Differentiation	115
3.2. Altitudinal Belts	117
3.3. Physical Zonation and Regionalization	125
3.4. Some Major Boundaries	128
3.5. A Scheme of Regionalization	130
Chapter 4. The Zones and Regions	134
4.1. South Slopes of the Himalayas-Zone of Rainforest and Montane Evergreen Broad-leaf Forest	134
4.2. Ranges and Gorges of East Xizang-Zone of Montane Coniferous Forest	140
4.3. Nagqu and Upper Reaches of Nujiang-Zone of Alpine Shrubby Meadow	146
4.4. Broad Valleys and Basins of South Xizang-Zone of Montane Shrubby Steppe	150
4.5. Qiangtang Plateau-Zone of Alpine Steppe	160
4.6. Mountains and Basins of Ngari-Zone of Montane Desert Steppe and Desert	167
4.7. Kunlun Mts. and Basins-Zone of Alpine Desert Steppe and Desert	175
References	177

第一章 自然地理特征概述

根据地质和古地理的研究^[4,5,6], 青藏高原被称为世界上最年轻的高原, 因为它的形成与地球上最近一次大规模的强烈地壳变动——喜马拉雅造山运动密切相关, 这一运动又与印度板块与亚洲大陆板块的相互顶撞相联系。在这次运动中不但形成了喜马拉雅山脉, 而且导致了青藏高原的强烈隆起。强烈隆起的时代开始于晚第三纪的上新世末, 一直延续至今。上新世时青藏地区海拔仅 1000 米左右。自上新世末至今, 大约 3—4 百万年的时间内, 青藏高原大面积大幅度地抬升达到今日举世无双的高度。在此过程中高原自然地理环境的历史演变, 除受到全球性冰期—间冰期气候波动的影响外, 由于海拔高度的剧增而产生的巨大变化起了主导的作用。综合有关在古地理及古生物方面的研究资料, 这一演变可概括如下(表 1)。

表 1 上新世至全新世青藏高原古地理环境与高度变迁概况[据李吉均等的资料(1979 年)简化]

地质历史时期	古地理环境	高原面海拔(米)
全新世新冰期及冰期前高温期	冰期前高温期高原上为高山灌丛带, 动物几全属现代种(发现林芝人及藏北中石器)。	4700
		4300
晚更新世珠穆朗玛冰期与间冰期	冰期时为高山草甸, 间冰期主要为针叶林。	4000
中更新世聂雄拉冰期与间冰期	冰期为草原, 间冰期中为针阔叶混交林[动物化石有麝、鹿、羊 (<i>Ovis</i>)、野驴]。	3000
早更新世希夏邦马冰期与间冰期	冰期中为草原, 间冰期为针阔叶混交林。	2000
上新世暖湿期	热带或亚热带森林和森林草原, 生活三趾马动物群。	1000

从上表可见, 随时间的推移和高原的抬升, 依次出现的四次冰期(包括新冰期)与三次间冰期, 后一次均较前一次“寒冷”。这是因为抬升引起的垂直降温使冰期中的低温值有所增加, 间冰期的高温值则遭削弱, 也就是说除去世界性气候的影响, 它们的温度总是越来越降低。据冰川、湖泊及树木年轮的研究^[4,5,6], 反映最近历史时期中青藏高原的气候变迁与竺可桢(1973)研究^[7]的全国气候波动相一致, 近期并有转暖变干的小波动。但整个来说, 自上新世以来高原的自然历史是由低海拔热带—亚热带环境向高寒环境发展的历史。由于高原上山地上升到平均海拔 6000 米左右的巨大高程, 从而抑制了冰川衰退的速度, 至今仍保存着相当规模的山岳冰川和广泛发育的多年冻土。从某种意义上, 可以认为青藏高原大部分地区至今还没有脱离冰期。高原上地形外营力的变化, 生物群落的演替及土壤发育等自然地理过程, 均日益偏离所处纬度的地带性特征, 成为今日独立于中低纬的大面积高寒环境。

任何一个现代自然地理环境都是它自身历史发展至现阶段的反映, 具有历史的继承性。在不同的地区, 由于现代自然因素的差异而各有不同的发展过程, 各俱特点。但又无不打上历史的烙印。青藏高原的现代自然地理特征, 最明显地表现在以下各个方面:

一、高寒气候的特殊性和复杂性

气象学家假设如果没有青藏高原的存在,青藏地区随着离海距离的增大,大陆性气候将越加明显,天气、气候也会越趋单调¹⁾,西南季风气流也将不存在²⁾。在理想的地球自然地带中,也就是把一切高地都削成平地的情况下,“青藏高原”恰恰位于亚热带、温带森林草原—草原—荒漠地带。但由于青藏高原的存在,高原大地形的动力和热力作用使高原及其邻近地区出现非常复杂的天气气候,深刻地影响广大地区的环流形势及其变化,从而支配着亚洲季风的许多特色³⁾。关于青藏高原对我国及东亚天气与气候的影响,近年来进行了不少研究。对自然地理学来说,更为关心的是青藏高原这一高大突起的大陆块本身具有怎样的气候特征?

早年气候学研究就把青藏高原划成一个单独的“高寒气候区”,是全年无夏的地方³⁾。它的主要依据就是温度低。温度低是青藏高原抬升至特大高程的必然结果。人们把青藏高原与南北极相比,称为地球的第三极,除了它的高度,还包含着它的寒冷。在气候图上,以青藏高原为主体,等压线、等温线及等湿线等都是呈近乎闭合的分布。这一分布形势表明:高原地势的影响超过了纬度的影响。就温度而论,这种影响更为明显,高原边缘闭合的温度等值线密集,是地势急剧下降而增温所致。无论年内哪一个季节,也不论平均值或最高、最低值都具有这一特点,这就充分表明高原大地形对温度的影响已经使它自成为独立的单元。在这个单元内,温度由于高原巨大的海拔而大幅度的降低,是一个主要的气候特点。它制约着高原上许多其他自然现象。为了便于了解高原气候的一般特征,对于不属于高原主体的边缘地带,特别是东南边缘斜面,那里的低山和谷地气候暖热,不包括在“高寒气候”之中。然而并不等于那里的高山不存在冰天雪地的世界。

高原的相对低温和寒冷表现在许多方面。从年平均气温来看,青藏高原不少地区在 0°C 以下,比同纬东部低地低 $10-18^{\circ}\text{C}$ 。高原北部的年均温可以与黑龙江省北部相比,两者均在 -5°C 以下。冬季,我国北部和东部低地由于北方强冷空气频繁地从西伯利亚等地入侵,气温比全球同纬度其他地区为低。青藏高原虽然对于寒潮有阻挡和减弱的作用,气温下降的程度不像东部低地那么剧烈,但地势的影响仍使它的大部分地区远比同纬度东部低地寒冷得多。高原的1月平均温度与我国温带地区大体相近,由 -10°C 至 -20°C 上下。雅鲁藏布江及横断山脉河谷地区由于海拔较低、寒潮不易袭击,是高原上冬季最暖和的地方,1月平均温度在 $0-10^{\circ}\text{C}$ 之间,相当于暖温带的华北平原,拉萨1月平均温度则与北京相似。夏季我国盛行东南和西南季风,纬度对温度的分布影响很小,加以地势的干扰,南北向气温差别不大,大部分地区的7月平均温度在 $20-30^{\circ}\text{C}$ 之间。但此时独有青藏高原成为全国“最冷”的地区,它的7月平均温度只能与南岭以南的1月平均温度相比。至于高原内部则比我国南亚热带的1月平均温度还要低(表2)。可见,高原无夏的气候特点明显,突出地反映了地势所给予的重要影响。

1) 高由禧: 1977, 海陆分布和青藏高原对我国气候的影响。

2) Manabe, S. and Terpstra: The Effect of Mountains on the General Circulation of the Atmosphere as Identified by Numerical Experiments. 1974. J. Atmos. Sci.

3) 中国科学院自然区划工作委员会: 中国气候区划。1959年。

表2 西藏1,7月平均温度及年平均温度与我国东部地区的比较(°C) (1961—1970年)

地 点	那曲	申扎	拉萨	江孜	呼玛	哈尔滨	沈阳	北京	郑州	南京	南昌	广州	海口	崖县
北纬	31°29'	30°57'	29°42'	28°55'	51°43'	45°41'	41°46'	39°48'	34°43'	32°00'	28°40'	23°08'	20°02'	18°14'
海拔(米)	4507.0	4670	3658	4040	177.4	171.7	41.6	31.2	110.4	8.9	46.7	6.3	14.1	3.9
1月均温	-14.8	-11.1	-2.4	-5.4	-27.0	-19.7	-12.7	-4.7	-0.2	1.9	5.1	13.1	16.9	20.8
7月均温	8.8	9.3	15.0	12.6	20.2	22.5	24.5	26.1	27.8	28.2	29.7	28.3	28.3	28.5
年均温	-2.2	-0.6	7.1	4.5	-2.1	3.5	7.8	11.6	14.3	15.4	17.7	21.8	23.6	25.5
气候(区)带	高原气候区				寒温带	温带	暖温带			亚热带			热带	

与低温紧密相联系,高原的生长期短促。以日均温稳定 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数为例,高原东南部与我国温带的辽河流域及黄河河套一带相当;高原内部则是全国日数最少、生长期最短的地方,日均温稳定通过 10°C 的持续天数更急减至60—10天以下,甚至不出现 10°C 以上的日平均温度(表3)。同时,高原生长期内的气温水平低,各月均可出现 0°C 以下的低

表3 高原与温带、寒温带地区 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ (及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$)的日数

西 藏	东 部 地 区
雅鲁藏布江谷地 200 (150)	温带辽河流域 180—210 (150—180)
高原内部 <100 (60—10 以下)	寒温带大小兴安岭 <150 (<120)

温、霜冻和土壤冻结现象。因此按照温度条件的平均状态,高原在理想纬度气候带谱上至少向北跨越了整整1—2个带。

西藏是我国直接太阳辐射最高的地区。拉萨的太阳直接辐射是大气上界太阳直接辐射值的49.7%,是全国最高值的地区(表4)。这与海拔高、空气稀薄、大气洁净和晴朗天气多有关,强烈的太阳直接辐射不但弥补了前述低温的不足,而且还有其他的特殊意义。我国小麦单产最高值出现在青藏高原,就被认为与这一因素有关。

表4 拉萨与其他地区水平面直接辐射与大气上界太阳辐射之比(%)

拉 萨	敦 煌	长 春	郑 州	成 都	上 海	广 州
49.7	38.6	30.4	25.5	10.0	21.4	20.0

上面讲到的是高原气候与全国的比较,只针对高原气候最一般的特征。实际上高原的气候是十分复杂的。只要想想,从麦浪翻滚、杨、柳翠绿的雅鲁藏布江中游谷地翻过冈底斯山一念青唐古拉山却是茫茫一片草类稀矮的羌塘高原,横断山脉地区的气候“十里不同天”,在东南部郁郁葱葱的森林竟和邻近的冰山雪峰构成同一幅画图的情景,就能理解高原气候的复杂性。高原上的温度条件,包括平均气温、日较差、生长期长短和季节变化等,随着大地势和纬度的不同,从东南至西北有明显的变化。包括南斜面的气候垂直带在内,可以分出热带、亚热带、温暖带、温凉带、寒冷带和寒冻带。高原上的水分状况,包括降水量、降水日数、降水强度,季节变化等,也都是从东南向西北迅速减少,趋向极端。由于地势和山脉的影响,还形成多雨带和“雨影区”的鲜明对比。按照水分条件,从东南到西北

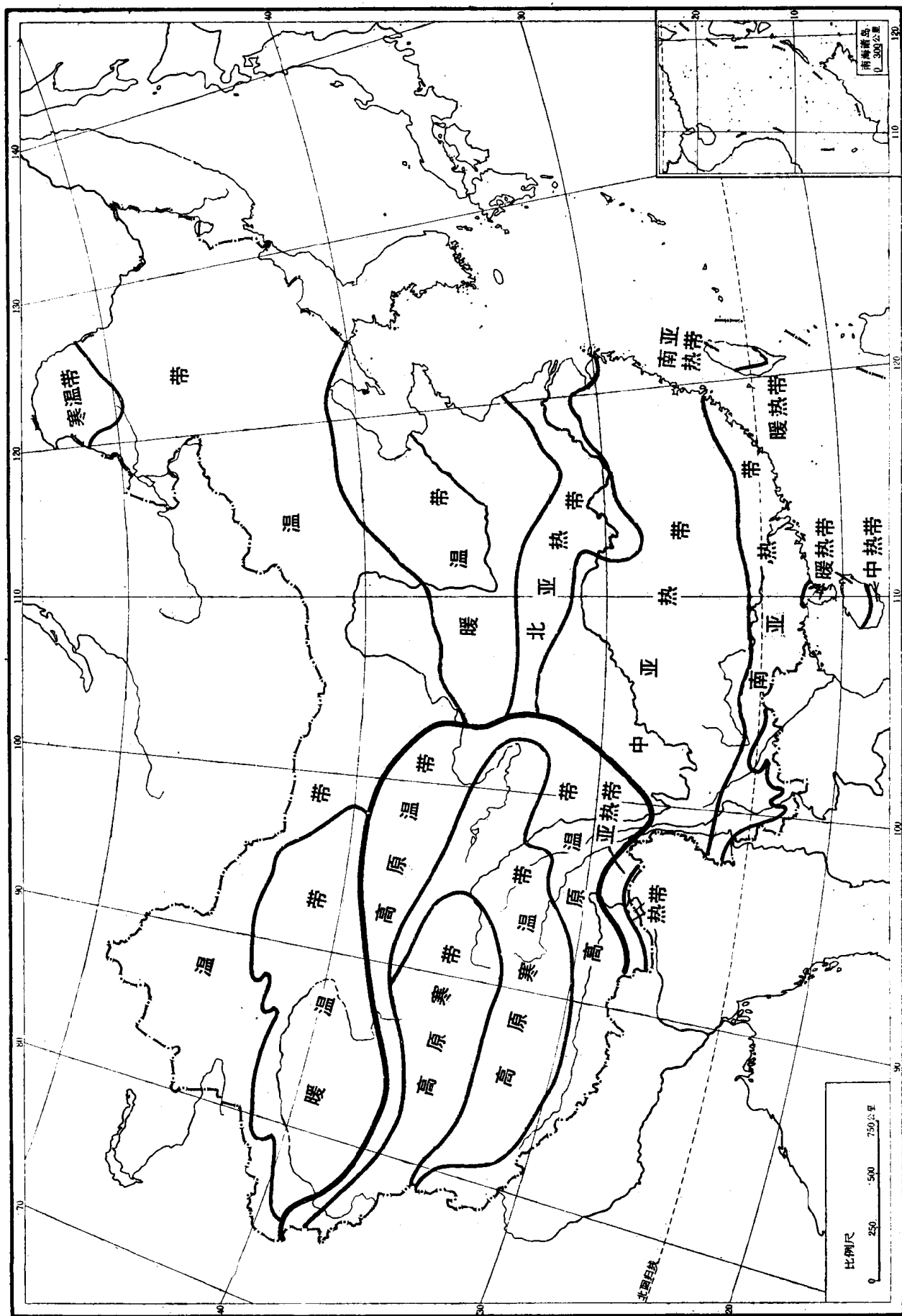


图2 青藏高原在全国气候区划中的位置

可以分出湿润、半湿润、半干旱和干旱地区。依上述温度、水分条件的分布情况,西藏的气候实为两大系统——海洋性与大陆性的组合。这种分布图式仿佛是整个中国范围内气候的多样性及由东南向西北的变化规律在高原上的重演。然而,这决不是简单的重演,至少应该看作是亚洲大陆水平地带在巨大高程上的变异,与其相应的地带各具本质上的差别。高原上的低温、高太阳直接辐射值和各种气候要素的配合,作用于高寒农、牧业和自然地理过程使其具有强烈的高原特性。高原上不同的地区又各自呈现地方特色。高原气候的复杂性,即使不考虑普遍存在的垂直变化,比之全国范围亦有过之而无不及(图2)。

二、寒冻风化和冰雪作用的普遍性

青藏高原的现代冰川面积4.7万平方公里,占全国冰川面积80%以上¹⁾。在西藏,喜马拉雅山珠穆朗玛峰冰川群是较大的中心之一(面积1600平方公里)。另外还有两个巨大的冰川中心,一个是东念青唐古拉和岗日嘎布(估计在5000平方公里以上),另一个是喀拉喀什河和玉龙喀什河上游的西昆仑山(4000平方公里以上),其余多为零星分布的冰川(每群几十至数百平方公里)²⁾。与整个高原面积相比,它们所占比例十分有限。其中东南部的海洋性冰川比较活跃,它的地形作用明显,特别是冰川泥石流的大爆发;其他广大地域的大陆性冰川大多数处于静止或退缩的状态,丧失了侵蚀力量,其作用似乎只是对原有堆积地形的“修添”,对广大高原现代地形的发育几乎不产生作用。

积雪是高原上风化作用和地形过程中的一个重要因素。高原上现代雪线在东南部较低,约海拔4500—5200米,至中西部为5800—6200米,大部分地区在海拔6000米左右。永久积雪的面积比冰川大得多,但6000米以上的高山的面积与广大高原比较亦属有限。一般来说,高原冬季雪少。除个别高山,雪盖多不稳定且厚度较小³⁾。积雪来源集中于暖季(6—9月)的降水,在一定海拔以上均为雪、霰、冰雹等固态降水,它们在永久积雪带以下形成暂时的雪盖,缓慢融化,可称为积雪缓慢融化带。此带范围、积雪厚度、融化的速度均因地区、季节、海拔高度而有较大的差异。通常暖季在海拔4800—5000米以上的山地,在获得固态降水以后即可以形成积雪缓慢融化带。随海拔升高暂时雪盖保留时间增长。雪层缓慢融化,浸润土体和岩隙,坡面堆积物质在充水的条件下,普遍发生蠕动、潜动和分选的过程。因而在高原上海拔5000米以上的山地、特别在阳坡,条状的顺坡石带和舌状石环十分普遍。阴坡雪覆时间较长,往往可以聚集多次的固态降水,融化较慢,坡面土体梯状蠕动形态较发育。在地形条件配合下,可以形成局部厚层积雪,甚至形成能保留一定时间的冰层,其侵蚀力量可以形成小型雪蚀洼地,特别是在降水较丰富的地区,如那曲一带。高山带暂时积雪与阴坡相似,往往参予永久积雪带的雪蚀过程,在这里有较大型的石流、冰(雪)水冲积扇发育。山地积雪缓慢融化,不易形成强烈的地表径流,一般不发生明显的沟蚀现象。只在海拔较低、接收液态降水的地方,如雅鲁藏布江谷地、岩性松软的中低山,才有明显的沟蚀现象。至于东南部低地及横断山脉谷地,雪蚀作用显著减弱或消失。积雪作用因近期高原气候变干而减弱,在高原上可以发现中高山环境中较发育的泥

1) 施雅风等: 青藏高原的现代冰川, 青藏高原科学讨论会论文摘要, 1980。

2) 冰川面积除估计数外均依据①谢自楚、苏珍: 见参考文献[12]; ②李吉均、郑本兴: 青藏高原冰川研究近况, 冰川与冻土试刊号, 1978年。

流地形是历史时期的遗留物,保存于古雪蚀凹地之下。

较之积雪作用更为普遍的是寒冻风化。高原强烈的直接太阳辐射使地表和近地面空气白昼强烈增温,但夜间迅速冷却,温度的日较差很大,经常出现日温正负交替的变化。高原上许多地方即使在暖季,亦可出现负温和较高的正温(表5)。地表土壤反复冻结现象

表5 气温出现正负交替的日数及其最高、最低气温值(1965年)

台站	海拔(米)	项目	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
定日	4300	交替日数	28	17	28	29	31	13	0	0	17	31	30	30	254
		最高气温(°C)	7.3	6.8	7.2	14.6	18.4	20.6	—	—	19.2	14.8	10.6	9.8	
		最低气温(°C)	-25.5	-24.7	-21.4	-12.8	-8.3	-4.1	—	—	-7.7	-13.3	-21.8	-25.5	
那曲	4507	交替日数	8	5	17	28	27	2	7	4	17	28	10	16	169
		最高气温(°C)	2.1	2.0	5.6	12.9	20.0	17.4	18.1	13.7	16.7	10.3	6.3	7.2	
		最低气温(°C)	-25.5	-24.8	-22.1	-18.9	-9.7	-2.5	-2.4	-2.6	-6.7	-13.0	-20.0	-26.1	
日喀则	3836	交替日数	31	28	30	15	3	0	0	0	0	24	30	31	192
		最高气温(°C)	10.4	10.1	12.0	20.7	18.2	—	—	—	—	18.5	13.4	10.1	
		最低气温(°C)	-17.3	-17.1	-14.5	-7.0	-1.3	—	—	—	—	-8.6	-15.4	-17.5	

在高原内部几乎每月均有发生。高原的这一气候特征使单纯的热力胀缩过程和岩隙水分反复冻胀所形成的剥裂作用都得到加强,是高原物理风化强烈的主要原因。强烈的物理风化使高山地区石海、倒石堆地形普遍发育,成为上述各种雪蚀融冻地形的大量物质来源,也是山麓地带普遍发育的巨大堆积地形的物质基础。土壤和地表疏松堆积物由于昼夜反复的融冻,形成一些特殊的微结构,主要有沿矿物颗粒解理或裂理的“冻裂”,当土体解冻而蠕动时形成的矿物颗粒与粘土的滚裹“泥团”,和“微卷结构”^[9],在藏北地区还有特殊的“鲕状团粒”等,这些微结构在土体水分充足时发育较好。融冻交替可能是纬度偏低的高原上的特殊现象,它在高原土壤和微地形形成过程中,无疑有很重要的作用。

冻土在高原上广泛发育,有三种类型:(1)连续多年冻土分布于高原北部;(2)岛状多年冻土出现在高原中部及藏南高原;(3)季节性冻土发育于雅鲁藏布江中游谷地等海拔较低处(图3)。季节性冻土的作用与上述昼夜频繁的融冻不同,它可以到达土体的深层,融冻形成物的体积较大,如冰锥、冻胀丘、冻胀斑土、融冻泥流、热融塌滑及热融下沉而成的湖塘等,甚至使沼泽化草甸严重退化。在高山带,它们参予寒冻风化和冰雪作用的过程。青藏高原和东北大兴安岭地区相比,前者因气温年较差小,日较差大,冬季气温不太低,最大季节融化和冻结深度比后者小,在高纬地区出现的多边形土和冰楔等在高原上并不普遍。地下深层的永久冻土在地质上的作用是主要的,青藏高原工程地质中的冻土是一个特殊的研究对象^[8]。

三、高原生物地理及生态的特殊现象

青藏高原动植物区系及其地理分布特征中,最令人注意的方面是它们均分属于起源上和生态上差别很大的两大系统。动物方面,高原内部属于古北界区系,东南部属于东洋界区系;植物方面,高原内部属于泛北极区的青藏高原植物亚区,东南部则隶属于该区中国-喜马拉雅森林植物亚区¹⁾。虽然两者分区的等级不同,界线也有差别(在喜马拉雅山脉,动物划界沿南麓的针叶林下限,植物划界则沿暗针叶林上限;横断山脉中动物区划界线位置较植物区划偏南),但这种差别的存在并不影响动植物区系在大高原上分化的实质,即历史比较古老的喜暖湿成分占据其东南部,历史比较年轻的耐寒旱成分占据高原内部。喜马拉雅高山带对于前者是分布上十分明显的障碍。在横断山脉植物垂直分带明显,从山脚到山顶往往具备从山地亚热带到高山寒带的各种类型,为世界高山植物区系最丰富的区域,山地上部是典型的中国-喜马拉雅成分,低山环境的区系则与印度、马来西亚和非洲有渊源。由于纵向河谷便于南北植物的交流,热带植物上升和温带植物下降都在长时期内连续进行,两者互相混杂的情况十分明显^[31]。动物方面亦有相同的情况,高山部分属古北界的东亚亚界(相当于植物的中国-喜马拉雅区),低山部分的成分和历史亲缘与植物相同。南北动物的交往也很突出,例如猕猴(*Macaca* spp.)与鸟类中的鸚鵡、太阳鸟等热带成分可以伸入北部直达青海的玉树地区,这与夏季暖湿气流沿河谷上溯产生明显影响的范围是一致的。第四纪冰期中,横断山脉复杂的地形与气候得天独厚地成为动植物的天然避难所,保存了许多第三纪以前的孑遗种类。动物中的小熊猫就是著例,它的同科(浣熊科)动物远在北美。复杂的环境还成为现代不少种类分化的中心,如植物中的杜鹃(*Rhododendron*)、报春(*Primula*)、龙胆(*Gentiana*)等,动物中的噪鹛(*Garrular*)、齿突蟾(*Scutiger*)等。东喜马拉雅南翼基本上是横断山脉动、植物区系的西延部分,区系丰富复杂的程度稍差,但低山部分的印度-马来区系成分在动、植物中均比较丰富,多属古老的成分。另外,由于喜马拉雅造山运动的影响,在年轻的高山环境中产生一些新的区系成分,大多为喜马拉雅所独有。

高原内部因为强烈的隆起,古地理环境的变迁很大,近期自然环境形成的历史很短。同时,生态条件严酷限制了植物区系的发生和发展。植物区系中一部分由东南的横断山脉区系、东喜马拉雅区系迁移和就地特化而形成,如嵩草(*Kobresia*)、杜鹃、金露梅(*Potentilla fruticosa*)等。在动物中可以举出鼠兔(*Ochotona*)和雪雀(*Montigringilla*)的亚属 *Pyrgilauda*。有些种类则与中亚地区有渊源,如动物中的藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)是高原上唯一特化属,它与中亚的高鼻羚羊(*Saiga tataria*)有较密切的关系。有些种属于第四纪亚欧大陆冰期时于冰缘环境下发展起来的类群,如牦牛(*Bos grunniens*)、杉田鼠(*Pitymys* spp.)和高山鼠(*Ahicala* sp.),后者在高原上多生活于冰碛物中。植物的分布在高原呈水平展开为主,随气候条件的变化,从东南到西北,由灌丛、草甸、草原至荒漠而变化,区系成分的丰富程度亦随之减小。动物群的分布随植被环境的变劣,成分更趋简单。

1) 青藏高原植物亚区除大高原本身还包括帕米尔高原。中国-喜马拉雅森林植物亚区,包括高原的东南部斜面和云南高原(吴征镒, 1979年)^[29]。