

# 青藏高原的自然环境特征

郑度, 赵东升

中国科学院地理科学与资源研究所; 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

**摘要** 本文基于1950年代至今青藏高原综合考察和研究成果, 系统总结了青藏高原自然环境的主要特征。青藏高原是中国三大自然阶梯中最高一级, 平均海拔超过4000 m, 被称为“世界屋脊”。青藏高原土地辽阔, 总面积约为250万 km<sup>2</sup>, 占中国陆地总面积的1/4。自新近纪以来强烈的隆升, 使青藏高原自然环境明显区别于其他地区, 形成了自己鲜明的特征, 主要表现为海拔高、温度低、辐射强、河湖众多、冰川冻土广布、生物多样性丰富。青藏高原面积广大, 高原内部的自然环境差异显著, 并具有明显的区域分异特征, 根据拟订的原则、方法和指标, 青藏高原可划分为10个各具特色的自然区, 包括: 果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区、青南高原宽谷高寒草甸草原区、羌塘高原湖盆高寒草原区、昆仑高山高原高寒荒漠区、川西藏东高山峡谷针叶林区、青东祁连高山盆地针叶林草原区、藏南高山谷地灌丛草原区、柴达木盆地荒漠区、昆仑山北翼山地荒漠区、阿里山地荒漠区。

**关键词** 青藏高原; 自然环境; 区域分异; 自然区

## 1 青藏高原的研究历程

相对中国其他地区, 青藏高原的研究历史较短, 对青藏高原大规模系统研究始于20世纪50年代初, 这一阶段主要是进行青藏高原资源环境的本底调查, 限于当时的政治、经济条件, 只是对青藏高原局部地区的一些专题考察。第2阶段始于20世纪70—90年代初, 这一阶段的青藏高原综合科学考察历经20余年, 以高原隆起对自然环境和人类活动的影响为主题对高原进行了全面、系统和多学科的综合考察, 分析了高原隆升过程及其在地球演化史中的作用, 研究了高原生物区系组成、起源和演化的过程及规律, 并按照温度条件、水分状况和地形差异, 把青藏高原划分为7个自然地带, 阐明了各地带的资源利用方向与主要途径。进入20世纪90年代, 青藏高原研究逐渐由面上考察转变为以定位观测为主的机理性研究, 目前中国在青藏高原及其邻近地区已经建有30多个长期定位野外观测研究站, 对高原的自然环境变化进行广泛的观测研究。基于这些长时间、多尺度、覆盖广的考察和研究结果, 本研究系统总结了青藏高原自然环境的基本特征。

## 2 区域基本特征

青藏高原地域辽阔, 平均海拔4000 m左右, 横跨31个经度、东西长约2700 km; 纵贯13个纬度、南北宽达1400 km, 总

面积约250万 km<sup>2</sup>, 占中国陆地总面积的1/4。在中国西高东低的地势总轮廓中有三级阶梯, 青藏高原是最高一级地势阶梯, 有“世界屋脊”、“第三极”之称, 是亚洲诸多大河的发源地。晚近地质时期的强烈隆升, 高亢的地势、广袤的幅员和中低纬度的位置决定了青藏高原自然环境的主要特征, 并明显区别于三大自然区中的东部季风区和西北干旱区<sup>[1]</sup>。青藏高原是地球上一个独特的地理单元, 其周边基本由大断裂带所控制, 并由一系列高大山系和山脉组成。喜马拉雅山脉自西北向东南延伸, 呈向南突出的弧形耸立在青藏高原的南缘, 与印度、尼泊尔和不丹毗邻, 俯瞰着印度次大陆的恒河与阿萨姆平原。高原北缘的昆仑山、阿尔金山和祁连山与亚洲中部的塔里木盆地及河西走廊相连。高原西部为喀喇昆仑山脉和帕米尔高原, 与西喜马拉雅山的克什米尔地区、巴基斯坦、阿富汗和塔吉克斯坦接壤。高原东南部经由横断山脉联接云南高原和四川盆地。高原的东及东北部则与秦岭山脉西段和黄土高原相衔接<sup>[2]</sup>。

### 2.1 地势高亢、历史年轻

青藏高原地貌是由高耸的山脉、辽阔的高原面、星罗棋布的湖盆、众多的内外流水系等排列组合而成。高原地势大致为自西北向东南倾斜。青藏高原的山系虽平均海拔超过5500 m, 但在高原内部也形成了明显的区域差异: 西北部海拔超过5000 m; 高原中部黄河、长江源地区海拔约4500 m; 到

收稿日期: 2016-11-18; 修回日期: 2017-02-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571193, 41530749)

作者简介: 郑度, 中国科学院院士, 研究员, 研究方向为自然地理学, 电子信箱: zhengd@igsnr.ac.cn; 赵东升(通信作者), 副研究员, 研究方向为自然地理学, 电子信箱: zhaods@igsnr.ac.cn

引用格式: 郑度, 赵东升. 青藏高原的自然环境特征[J]. 科技导报, 2017, 35(6): 13-22; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.06.001

东南部的四川阿坝和甘肃西南,则降至3500 m左右。高原面起伏和缓,除少数山脉较高以外,大多形态浑圆,坡度较小,相对高原仅百米,“远看似山,近看似川”,就是高原地貌特征的生动写照<sup>[3-4]</sup>。

青藏高原的形成与地球上最近一次强烈的、大规模的地壳变动——喜马拉雅造山运动密切相关。自上新世末至今300万~400万年的时间内,青藏高原大面积、大幅度地抬升,使之成为地球上形成地质历史最新的高原。青藏高原自然环境的发育过程仍处于“年青”性的阶段,在地形与土壤发育上表现尤为突出。地形发育的年青性主要表现为高原边缘山地活跃的外营力作用和强烈切割的地形,内、外流水系的转变以及广泛的现代侵蚀与堆积。在高原边缘,河流纵剖面普遍存在三级侵蚀裂点、河流横剖面存在多级的谷中谷形态。正是由于隆起抬升的速度快、幅度大,导致高原边缘山地地貌外营力以侵蚀作用占绝对优势。陡峭的山地、深切的河谷、间断的古高原夷平面残留是边缘山地的主要地貌类型。

青藏高原现代土壤发育仍处于新的成土过程中。由于高原迅速抬升,使成土条件分阶段向高寒方向转化,土壤发育也在不断与新的环境相适应。在活跃的山地侵蚀与堆积作用下,地表物质迁移频繁,土壤发生层的物质组成相当不稳定,土壤发育常受到土层剥蚀或掩埋,成土过程多具间断性。在青藏高原独特的成土环境下,大部分土壤具有土层薄、粗骨性强,风化程度较低的特点。越是干旱、高寒和坡度陡峭的地域,土壤发育的这些特点越突出<sup>[5]</sup>。

## 2.2 温度低、太阳辐射强

高海拔所导致的相对低温和寒冷突出,青藏高原是地球上同纬度最寒冷的地区。青藏高原地表气温远比同纬度平原地区低,为全国的低温中心之一<sup>[6]</sup>。高原面上最冷月平均气温低至-10~-15℃,与中国温带地区大体相当。中国东部夏季风盛行,最热月平均气温大多在20~30℃之间,且南北差异不大,而青藏高原是全国最凉地区,大部分地区最暖月均温<10℃。7月平均气温只与南岭以南的1月平均气温相当,比同纬度低地要低15~20℃。高原气候的另一显著特点是气温的日变化大,且暖季比冷季气温日较差变化明显,也存在区域差别。1月高原气温日较差变幅在12~20℃,最大日较差中心分布在藏南雅鲁藏布江中段和藏北地区。7月气温日较差变幅在8~12℃,最大日较差中心在高原西北部的狮泉河、改则一带。与同纬度低地相比,高原上气温日较差大一倍左右,具有一般山地与高山的特色。因受强烈大陆性气候的影响,气温年较差也不小,或与中国同纬度低地接近,表明它与热带高山有根本不同的温度特点。

高原所处纬度较低、海拔高,空气稀薄、大气干洁,多晴天,这些因素均决定着太阳辐射的特点,即太阳总辐射强,直接辐射值高,有效辐射值大<sup>[7]</sup>。青藏高原是全国太阳总辐射的高值区,太阳总辐射最高值超过8500 MJ/(m<sup>2</sup>·a),高原其他大部分地区太阳总辐射值均超过5000 MJ/(m<sup>2</sup>·a),比同纬低

海拔地区高50%~100%。在太阳总辐射分量中,青藏高原地区太阳直接辐射值占有较大比重,年平均值一般超过3800 MJ/(m<sup>2</sup>·a),在高原西部狮泉河附近大于6280 MJ/(m<sup>2</sup>·a)。高原地区直接辐射占总辐射比例平均为60%~70%,最高可达78%。与全球的平均状况(直接辐射占总辐射的47%)相比,青藏高原的太阳能资源相当丰富。

## 2.3 江河源头、湖泊众多

青藏高原是世界最大的分水岭之一,长江、黄河、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等世界著名大河均发源于此,是亚洲众多大江大河的发源地。高原上河流按其归宿分外流和内流两大水系,外流水系主要在高原东部和藏南地区,内流水系多分布在高原西北部腹地。

外流水系可分为太平洋水系和印度洋水系,太平洋水系包括长江、黄河和澜沧江上游。长江是中国第一大河,金沙江是长江上游,其源头有楚玛尔河、沱沱河、通天河、布曲和当曲5条较大的河流。河源区地势平坦开阔,河流比降小,流速慢,中小型咸淡水湖泊众多。湖周围有沼泽化草甸分布,流至玉树的直门达,河流开始下切,地势相对高差变大,成为高山峡谷地貌。黄河发源青海省玛多县,其正源卡日曲位于姿各雅山北坡4800 m,其上游有约古宗列曲、卡日曲等。两河各自东流,流经宽阔的谷地,由于河流比降小,两岸地下水位较高,沼泽化草甸发育。约古宗列曲相汇卡日曲于星星海北部。澜沧江水系发源于青海唐古拉山北麓、海拔5200 m的吉富山(位于玉树藏族自治州杂多县扎青乡),其上源扎曲、予曲与长江源头之一的当曲仅一山之隔,但流向却与当曲相反,朝东南方流去,至西藏昌都与右岸支流昂曲汇合后,称澜沧江。印度洋水系主要为怒江和雅鲁藏布江。怒江发源于唐古拉山中段海拔5200 m的将美尔山,通过唐古拉山南麓,穿行在唐古拉山脉和念青唐古拉山之间,先后有索曲和姐曲汇入。怒江上游河谷大致呈东西走向,平均海拔约4000 m,两岸地势平缓,河谷较宽,湖泊、沼泽广布。高寒灌丛和高寒草甸为主要分布的植被类型。雅鲁藏布江发源于杰马央宗冰川,在中国境内平均海拔4500 m,河长2229 km,依次穿越高原亚寒带、高原温带、山地亚热带和低山热带。河流主要受冰雪融水和夏季降水补给,径流年际变化小、年内分配不均<sup>[6]</sup>。

内流水系的发育受湖盆地形的影响,大部分流域面积不大,通常在几十至几百km<sup>2</sup>。绝大部分属季节性或间歇性河流<sup>[8]</sup>。常流河大多短浅,只有极少数的径流量较丰。内流水系分布主要以羌塘高原为主,湖泊较多,其中95%以上为咸水湖。该水系北有昆仑山、唐古拉山,南部有冈底斯山、念青唐古拉山;东部和西部也有高山分布,形成了一个巨大的封闭区域。水系内部高原面保持比较完整,低山和丘陵纵横交织、形成众多的向心水系。该水系远离海洋,乃本区降水量最少的地区,加之蒸发强度大,造成地表径流贫乏,河流一般短小,大部分是季节性河流。该水系的河流多注入至内陆湖泊,还有不少河流汇集水量被入参与蒸发损耗。内流水系区

湖泊面积大、湖泊率高,最为典型的就藏北大湖区,湖泊面积超过 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占青藏高原湖泊总面积的48%,是中国湖泊面积最大、最集中的地区之一<sup>[9]</sup>。包括纳木错、色林错、当惹雍错等大湖;其中以纳木错最大,湖面积 $1920 \text{ km}^2$ 。藏北内陆湖区还有中、小型湖泊较集中分布的藏北北部湖泊区,较大有班公错、阿翁错和达则错等。

#### 2.4 冰川冻土广布

青藏高原是中国现代冰川集中分布地区,发育有现代冰川36793条,冰川面积 $49873.44 \text{ km}^2$ ,分别占中国冰川总数的79.4%和84.0%。青藏高原现代冰川主要分布在昆仑山、念青唐古拉山、喜马拉雅山、喀喇昆仑山、唐古拉山、羌塘高原、横断山、祁连山、冈底斯山及阿尔金山等各大山脉<sup>[10]</sup>。青藏高原冰川根据降水量的差别分为3类:海洋型冰川主要分布于西藏东南部横断山系,亚大陆型冰川主要分布于高原东北部和南部,极大陆型冰川主要分布于高原腹地及西部。不同性质冰川本身所具有的地质地貌作用的特征差异很大。藏东南的海洋性型冰川由于它的补给和消融水平都比较高,冰川具有较快的运动速度(年平均运动速度达 $100 \sim 300 \text{ m}$ )。夏日冰川大量消融,在其他条件配合下往往形成下游巨大的冰川泥石流,成为目前藏东南山区一种常见而严重的自然灾害现象。广大高原内部的亚大陆型和极大陆型冰川,它们的补给和消融以及运动的速度远不及海洋型冰川,地质地貌作用要弱得多,冰川的舌部往往由于差别的消融侵蚀结果而形成奇特的冰塔林地形,这在珠穆朗玛峰地区的绒布冰川、藏南的枪勇冰川的末端都可见到,随着深入高原内部气候大陆性的增强,冰川发育的大陆性亦增强。在喜马拉雅山区一些冰川前端常有终碛垅的堵塞湖泊;每到夏天,冰舌有时因消融而突然滑落,往往造成下方冰湖溃决,洪水下泄,形成灾害<sup>[11]</sup>。

冻土在青藏高原广泛发育,其中多年冻土连续分布于高原中部和北部,分布范围北起昆仑山北坡,南至雅鲁藏布江谷地以南的喜马拉雅山脉,西达国界,东到横断山西部及巴颜喀拉山、阿尼玛卿山东南部,面积大约为 $150 \text{ 万 km}^2$ ,占中国冻土总面积的70%,是目前世界上中低纬度厚度最大、面积最广的多年冻土区。高原隆升对青藏高原多年冻土形成、地域分异规律及历史演变亦有重要作用。由于高原巨大的海拔高度,使其具备了形成和保存多年冻土的低温条件,年均气温 $-3 \sim -7^\circ\text{C}$ ,与同纬度的中国东部地区相比,年均气温要低 $18 \sim 24^\circ\text{C}$ 。晚更新世冰盛期时,青藏高原气温普遍更低,形成了现今存在的高原多年冻土的主体。本区所具有的低温条件,为高原晚更新世以来及现存多年冻土的形成与保存提供了必要的气候环境。同时,青藏高原抬升对高原多年冻土发生、发展及保存也起了决定性作用。但与中国东北及俄罗斯西伯利亚、北美高纬度多年冻土相比,其稳定性低、对气候变化的响应较为敏感。冻土的季节融化深度约 $1 \sim 4 \text{ m}$ ,每年5月上、中旬地表开始融化,至8月下旬或9月上旬达到最大融化深度,9月下旬又开始冻结。

#### 2.5 生物多样性丰富

自新近纪以来,经过强烈隆升,青藏高原平均海拔超过 $4000 \text{ m}$ ,从而影响和改变了欧亚大陆中低纬度的大气环流形势,诱发并导致了西南季风和高原季风的形成。生态环境急剧深刻地改变,导致大量生物由于不能适应新的严酷环境而消亡或向高原周边地区迁移,同时也孕育和形成了大量新的生物类群和物种。许多新的物种或受遗传基因和生态习性的影响,或因形成较晚,迄今仅在高原分布,形成了许多青藏高原特有种,如植物垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta*)、羽叶点地梅(*Pomatosace filicula Maxim*)、画笔菊(*Ajaniopsis penicilliformis*)、黄花垫柳(*Salix souliei Seemen*)、匙苞黄堇(*Corradalis spathulata Prain ex craib*)和玉龙蕨(*Sorolepidium glaciale Christ*)以及动物中的多种鼠兔(*Ochotona curzoniae*)、喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*)、棕草鹑(*Babax koslowi*)、温泉蛇(*Thermophis baileyi*)等,它们的数量很大,是青藏高原特有种的主要组成部分。此外,还有些古老物种,在古地中海西撤和第四纪冰期环境剧烈变化时期,在高原边缘或特殊地带(如干热河谷)寻觅到适合其生长生活的“避难所”,因而得以生存下来,即所谓的古老残遗种或子遗种,如植物中的巨柏(*Cupressus gigantea*)、冬麻豆(*Salweenia wardii*)、独叶草(*Kingdonia uniflora*)和动物中的大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、野牦牛(*Bos mutus*)、斑榛鸡(*Bonasa sewerzowi*)、西藏山溪鲵(*Batrachuperus tibetanus*)等。也有些古老种类,由于高原隆起后造成的地理隔离,在生存、适应的驱使下,性状发生某些变异而演化为特有种。这些古老残遗种也是组成高原特有种的一部分。因此,青藏高原的生物特有种,也如其整个生物区系一样,具有新老兼备、以新的年轻种类为主的特点<sup>[12]</sup>。

综合青藏高原多次科学考察的成果,发现整个青藏高原包括喜马拉雅山和横断山脉侧坡有维管植物1500属、12000种以上,占中国维管植物总数的40%。就低等动物而言,仅西藏就有水生原生动物458种,轮虫208种,甲壳动物的鳃足类59种,昆虫20目、173科、1160属、2340种。另外,整个青藏高原有鱼类3目、5科、45属、152种;陆栖脊椎动物共有343属、1047种,占全国该类动物总数的43.7%。其中,仅平均海拔 $4000 \text{ m}$ 以上的高寒地区,维管植物达955种,占全国总数的3.2%;而陆栖脊椎动物共215种,占9.2%。青藏高原现有陆生脊椎动物中,有281种为青藏高原特有种(占总种数的43.7%),其中哺乳类59种(41.3%)、鸟类141种(54.5%),爬行类32种(22.1%)、两栖类49种(28.7%),均具有极高的特有比例。另外,青藏高原有60余个特有维管植物属,至于有多少特有种,尚无精确统计。例如在西藏自治区有维管束植物6530余种,其中中国特有种2700种,西藏特有种1200种;有昆虫4000余种,其中1100余种为青藏高原特有种<sup>[13]</sup>。

青藏高原还有多种独有的珍稀濒危物种,包括国家一级保护动物,如:藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)、雪豹(*Snow leopard*)。

ard)、黑颈鹤(*Grus nigricollis*)、白唇鹿(*Gervus albirostris*)、马鹿(*Cervus elaphus*)、雪雀(*Montifringilla ruficollis* Blanford)、长嘴百灵(*Melanocorypha maxima*)、普氏原羚(*Procapra przewalskii*)、玉带海雕(*Haliaeetus leucoryphus*)、藏雪鸡(*Tetraogallus tibetanus*)等38种,占全国一级保护动物的36.7%;二级保护动物有大头盘羊(*Argali sheep*)、香獐(*Moschus moschiferus*)、猞猁(*Lynx lynx*)、蓝马鸡(*Crossoptilon auritum*)等85种,占全国二级保护动物的46%。此外,冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)、红景天(*Rhodiola rosea*)、藏茵陈(*Artemisia capillaris* Thunb.)、大黄(*Rheum palmatum* L.)、秦艽(*Gentiana macrophylla* Pall)、雪莲(*Saussurea involucrata*)等则是青藏高原特有的珍稀植物物种。

## 2.6 生态环境脆弱

青藏高原面积广阔,自然地理条件独特,在自然环境与人为因素共同作用下,青藏高原生态环境极为脆弱<sup>[14]</sup>。青藏高原新构造运动活跃,南部和东南部边缘区地震频繁、地质活动剧烈,不断隆升使高原的地貌外营力作用强烈,地表物质处于不断的侵蚀、搬运和堆积过程中,生态环境变迁剧烈,自然生态系统处于极大的不稳定之中。由于寒冷、干旱、多风的气候和强烈的太阳辐射使地表寒冻风化和风蚀作用强烈,占高原面积60%的多年冻土区,在周期性的冻融作用下,地表形态处于不断变化之中。受全球气候变化的影响,高原气候向偏暖、干旱方向发展,这种气候特征使高原生态环境更加脆弱、敏感<sup>[15]</sup>。青藏高原虽然土地辽阔,但高寒、干旱、缺氧,尚未发育成熟的生态链极易受人类干扰,自然生态系统的自我调节和修复能力差,生态环境遭到人为破坏后,极易造成生态环境的迅速恶化。土地类型以生产能力低下的高寒干旱土地为主,荒漠等难利用土地面积广阔,30%以上的土地几乎没有生产能力。由于气温低,热量不足,土层发育年轻,土壤贫瘠,抗侵蚀能力弱,植物生长缓慢,自然生产能力低下。以占青藏高原土地资源主体的天然草地为例,虽然草质较好,但产草量却较低<sup>[16]</sup>。在严酷的自然条件和日益增长的人类活动的作用下,已经造成了青藏高原植被覆盖率低、水土流失严重、土地沙化加剧、草地生产力大幅下降、土地裸露面积增加以及生物多样性锐减等生态环境退化的不良后果<sup>[17-18]</sup>。近几年来,青藏高原地区工业化的进程不断加快,开发规模越来越大,给青藏高原的自然环境带来巨大压力<sup>[19]</sup>。

## 3 青藏高原的自然地域系统

由于受高海拔的影响,青藏高原是垂直自然带十分发育的区域。在边缘山地各具特色的垂直自然带与毗邻的水平地带有密切的联系,而高原内部也发育着不同的垂直自然带,具有高原自然地带的特点<sup>[20]</sup>。

### 3.1 水平地带变化

青藏高原的隆起改变了欧亚大陆上纬向地带分异的一般规律,使其成为与东部季风区、西北干旱区并列的中国三大自然区之一。在地势高亢、面积巨大的高原上,其自然景

观类型、特征以及自然界的地域分异不仅有别于同纬度低地,也与高纬度地区不同,这主要是受到地形因素的影响。虽然如此,在南北跨越约12个纬度的青藏高原范围内,纬向地带性的印迹明显。作为纬向地带性主要因素的太阳辐射仍然显示出它的重要影响,表现为年均温自南向北递减,垂直自然分带界线的海拔高程也沿同一方向降低。以青藏高原南缘的中喜马拉雅南翼山地和高原北侧祁连山中段北翼山地相比较,森林上限和雪线分别高出600~1000 m,如考虑到降水条件的不同,这一差异将更加明显。高原上辐射平衡和温度等要素在空间上呈“同心弧状”的分布态势却在更大程度上反映出地势结构和海拔高度等因素的影响,即以平均海拔在4800~5000 m位于高原西北部的羌塘北部和昆仑山为中心向其周围地区倾斜而引起的。所以高原上的自然景观并不是简单的表现为一般的纬向地带变化,而与地势结构及大气环流有密切的联系。青藏高原温度、水分条件地域组合呈现从东南暖热湿润向西北寒冷干旱递变的趋势,表现为山地森林—高山草甸—山地/高山草原—山地/高山荒漠的带状更迭,具有明显的水平地带分异特点。青藏高原上自然地带的水平分异是亚欧大陆东部低海拔区域相应水平地带在巨大高程上的变异,地势和海拔引起的辐射、温度和水分条件的不同是这一变异的主导因素。将青藏高原与中国温带相应自然地带的温度、水分条件组合进行对比,不难发现它们在水分状况特点是相似的,但均以温度偏低而表现出自身的特点<sup>[21]</sup>。

### 3.2 垂直带的变化

垂直自然带结构类型由多种因素共同决定,如山地所处的自然地区或自然地带的位置,大气环流的作用,山体结构特点、地势及坡向差异以及自然历史背景等。从影响垂直自然带的因素分析表明,垂直自然带谱的基带,即各垂直带谱所处的自然地带在决定带谱结构类型方面具有重要意义。它们能反映出所处的温度、水分条件组合,既可与毗邻区域的垂直自然带谱相比较,又能体现高原自然地带的特点。山体地势结构的不同也会引起垂直带谱的基带发生变异。根据青藏高原各山系垂直自然带谱的基带、类型组合、优势垂直带及温度水分条件等特点,高原山地垂直带可分为大陆性和季风性两种性质不同的带谱类型系统。其下可按温度水分状况及带谱特征进一步区分出不同的结构类型组。

季风性带谱系统主要分布于受夏季风作用显著的高原东南部。它以山地森林各分带为主体,植被多属中生类型,生物化学风化占优势,发育着山地森林土壤,呈酸性反应。温度条件在垂直分异中起主导作用。这一带谱系统可分为湿润、半湿润和高寒半湿润3种结构类型组。大陆性带谱系统广布高原腹地、西部和北部。它以高山草原、高山荒漠、山地草原和山地荒漠各分带为主,植被则以旱生及超旱生植物占优势,物理过程强烈,发育着高山草原土、高山寒漠土、山地栗钙土、山地棕漠土和山地灰漠土等,呈近中性至碱性反应。受温度、水分状况地域差异的制约,可细分为高寒半干

旱、高寒干旱、高寒极干旱、半干旱、干旱、极干旱6个结构类型组。

森林上限是垂直自然带谱中区分高山和山地的一条重要界线,它的分布高度随区域不同而变化。通常在半湿润地区较高,在湿润地区分布则较低,而偏北的纬度位置也将使其分布高度逐渐下降。整个青藏高原森林上限高差变幅可达1000~1200 m。和全球其他的高山相比,高原东部山地森林上限居世界之最,海拔高达4400 m(阴坡)至4600 m(阳坡),分别由川西云杉(*Picea likiangensis* var. *balfouriana*)林和大果圆柏(*Sabina tibetica*)林组成。除了它所处亚热带的纬度位置(30°N~31°N)外,还与青藏高原的热力作用及山体效应有关。冰雪带下界的现代雪线则是垂直自然带中另外一条重要界线,它的分布高低主要取决于温度和水分条件的变化<sup>[12]</sup>。青藏高原东南缘的雪线高度约4500~5000 m,至高原内部,中喜马拉雅山北翼、冈底斯山等区域雪线高度则增至5800~6000 m。珠穆朗玛峰北侧东绒布冰川及羌塘高原的昂龙岗日雪线可达海拔6200 m,是北半球海拔最高的雪线。青藏高原范围内现代雪线分布高度相差达1600~2200 m,总体上呈边缘向内部、东南向西北升高的趋势。总体上看,降水的区域差异对雪线分布的海拔高度有重要的影响。高原东南部降水丰沛、云量多、雪线偏低;高原内部、降水较少、云量少、太阳辐射强,雪线偏高。但雪线所处位置的温度条件有较大不同,东南部海洋性冰川雪线附近年均温变化在0~-6℃之间,而高原内部的大陆性冰川年均温小于-6℃<sup>[21]</sup>。

### 3.3 青藏高原自然地域系统的划分

#### 3.3.1 划分的原则和方法

青藏高原自然地域的划分主要采用和地表自然界地域分异规律相适应的原则和方法,对于高原山地的地域分异,应按照地表自然界的实际异同,温度、水分条件的不同组合和地带性的植被、土壤类型进行区域划分。较高级单位的划分遵循生物气候原则,即地带性原则,既要求表现出水平地带性,又反映出垂直地带性。较高级单位的划分,着重以自然界中的现代特征与进展特征为主要依据,主要考虑不能改变或很难改变的自然要素;较低级单位的划分着重以残存特征为主要依据,主要考虑较易改变的要素<sup>[23]</sup>。

为了使水平地带性得到充分的反映,并体现垂直地带性的差异,需要对高原山地的各种地貌类型组合与基面的海拔高度进行分析研究,按不同区域确定代表基面及其海拔高度范围,使生物气候资料数据得以对照比较。例如,羌塘高原以广阔的湖成平原和山麓平原为代表,海拔4500~4800 m;而

藏南则以海拔3500~4500 m的宽谷盆地为代表部位。这也考虑到人类聚居和从事生产活动的主要地段在河谷盆地这一事实。横断山区中北部,则把优势垂直带分布的高度和主要河谷、盆地结合起来,将海拔2500~3500 m(4000 m)的河谷盆地作为代表基面,根据所确定的代表基面的海拔高度范围来比较各个区域的温度、水份条件组合以及地带性植被和土壤,进而划分为不同的自然地带或区域单元<sup>[24-25]</sup>。

按演绎途径自上而下进行青藏高原自然区划,可以区分为类型区划和区域区划两种。先在较高级单元中进行类型区划,然后在较低级单元中转变为区域区划。如温度带的划分、地带性水分状况的区分都具有类型区划的性质。它们结合形成的自然地带,则是由类型区划向区域区划转变和过渡的地域单元。在温度带及水分状况地域类型的划分中,虽分别拟定了有关的温度和干燥度指标,却不应将气候等值线作为区划的标准,而是以气候、土壤、植被的地理相关关系为基础,提出可以作为划定界线依据的指标或指标综合体。

#### 3.3.2 划分指标的选择

与低海拔区域一样,青藏高原自然区划采用和地表自然界地域分异规律相适应的原则和方法。对于山地高原的区域分异应按照地表自然界的实际异同,温度、水分条件的不同组合和地带性的植被、土壤类型进行划分。

##### 1) 温度条件。

温度是影响植物生长和分布的重要因素,人为措施不易大规模或长时间地改变它。以日均温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数作为主要指标,由于海拔高的高原腹地气温较低,日均温稳定 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数可以作为参照,最暖月平均气温为辅助指标,可将青藏高原区划分为山地亚热带、高原温带和高原亚寒带(表1)。

##### 2) 水分状况。

在一定温度条件下,水分成为植物生长和分布的限制性因子。采用年干燥度(年蒸发量与年降水量之比)作为主要指标,年降水量为辅助指标,划分出湿润、半湿润、半干旱和干旱等地域类别<sup>[24]</sup>(表2)。

##### 3) 地形分类。

在任何自然地带内,地形的差异可以引起气候、水文、土壤、植被等自然条件与风化、侵蚀、堆积等过程的差异变化,并反映出岩石组成和内营力等因素的不同。地形也属于人力改变或不能大规模改变的,是区域的重要因素。相同地形在不同自然地带内的作用差别很大。因此,依据温度、水分条件划分温度带及自然地带后,可按地形差异进一步划分出自然区。

表1 青藏高原区温度带的划分指标

Table 1 Indices of temperature belts divisions on Tibetan Plateau

温度带	日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 天数/d	日均温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 天数/d	最暖月均温/ $^{\circ}\text{C}$	基本特征
HI 高原亚寒带	<50	<120	<10(12)	树木生长困难,无天然森林;局地可种青稞,以牧为主
HII 高原温带	50~180	120~250	10(12)~18	有天然森林或可植树造林;农作一年一熟,喜凉作物为主

表2 青藏高原区水分状况地域类型的划分指标

Table 2 Indices of regional divisions for moisture regime on Tibetan Plateau

地域类型	年干燥度	年降水量/mm	基本特征
湿润	<1.0	>800	森林,土壤呈酸性反应
半湿润	1.0~1.50	800~401	森林,中生灌丛草甸,土壤呈酸—中性反应
半干旱	1.51~6.0	400~200	草原为主,土壤呈碱性,具碳酸盐残留特征,有盐渍化
干旱	>6.0	<200	荒漠为主,土壤呈碱性,无灌溉则无农作

### 3.3.3 等级单位和地域系统

青藏高原自然地域系统的拟订采用比较各项自然地理要素分布特征的地理相关法,着重考虑气候、生物、土壤的相互关系及其在农业生产上的意义。采用的等级单位为温度带—干湿地区—自然区<sup>[23]</sup>。

自然地域系统,根据上述原则、方法和指标,除去东喜马拉雅南翼山地划归山地亚热带以外,可将青藏高原划分为2个温度带,其下可分为3个干湿地区,再根据地形的差异,青藏高原可划分出10个各具特色的自然区<sup>[24]</sup>(表3、图1)。

表3 青藏高原自然区

Table 3 Physical-regions of Tibetan Plateau

温度带	干湿地区	代码	自然区
HI 高原亚寒带	B 半湿润地区	HIB1	果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区
	C 半干旱地区	HIC1	青南高原宽谷高寒草甸草原区
		HIC2	羌塘高原湖盆高寒草原区
	D 干旱地区	HID1	昆仑高山高原高寒荒漠区
HII 高原温带	AB 湿润半湿润地区	HIAB1	川西藏东高山峡谷针叶林区
	C 半干旱地区	HIIC1	青东祁连高山盆地针叶林草原区
		HIIC2	藏南高山谷地灌丛草原区
		HIID1	柴达木盆地荒漠区
	D 干旱地区	HIID2	昆仑山北翼山地荒漠区
HIID3	阿里山地荒漠区		

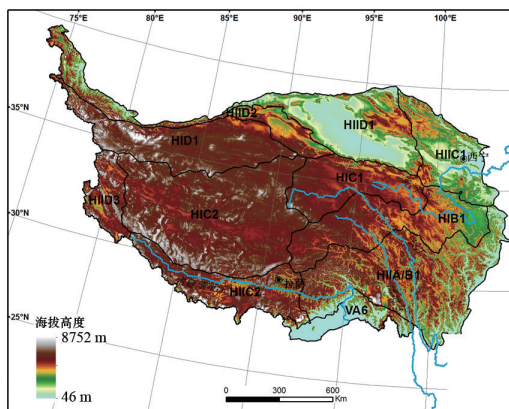


图1 青藏高原的自然分区

Fig. 1 Physical-regions of Tibetan Plateau

## 4 青藏高原各自然区的主要特征

### 4.1 果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区(1B1)

果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区西起怒江河源的那曲,向东展布经通天河的玉树、黄河上游的果洛至四川西北部的阿坝、若尔盖。区内有海拔5000~6000 m的唐古拉山、巴颜喀拉山等山脉,山体宽厚,但多宽谷、盆地和缓丘,地面切割较浅。这里流水侵蚀作用仍占重要地位。高原面上曲流发育,山坡后退,山麓平原扩展等均反映出和缓、稳定的特点。但寒冻风化作用也较显著,冰缘地貌发育,且有岛状冻土区存在。本区受高原中部东西向切变线影响,及松潘低压控制,气候冷湿,最暖月平均气温6~10(12)℃,年降水量400~700 mm,是高原上降水较多的区域,属高原亚寒带半湿润气候类型。辽阔的丘状高原上广布着高山灌丛和高山草甸植被。占优势的高山灌丛有常绿草叶灌丛和落叶阔叶灌丛等,占优势的高山草甸植被,主要有矮型莎草和杂类草草甸。高山草甸土(寒毡土)属AC型,最主要的特征是土壤表层有蒿草等死根和活根密集纠结而成的草皮层(Ac层),厚约10 cm,其下是腐殖层(A1),B层发育不明显,C层则明显地受基岩性质所制约。这一自然区是青藏高原重要的畜牧业生产基地,草场是以小蒿草(*Kobresia pygmaea*)占优势的高山草甸为主,牧草低矮,产量低,但营养价值较高,适于牦牛的生活需求。高山带中分布有贝母、知母、虫草及大黄等贵重药材。

### 4.2 青南高原宽谷高寒草甸草原区(1C1)

羌塘高原内流区以东,唐古拉山、巴颜喀拉山与昆仑山东段之间的缓切割高原是中国最大河流长江与黄河的河源地区,切割成具宽阔谷地、波状起伏的高原面,平均海拔4200~4700 m。在这南北宽300~400 km的青南高原上分布着可可西里山、风火山、开心岭等几列东西向的线状山地,相对高差仅300~500 m。青南高原是巨大冻土岛的主体部分,多年冻土连续分布,平均厚度达80~90 m,季节融化层厚1~4 m,冻结-融化作用频繁,冰缘地貌普遍发育。这里最暖月平均气温约6~10℃,植物生长期很短,仅90~100天。因受湿润气候影响,故降水量、云量及相对湿度均略大于羌塘高原,年降水量可达200~400 mm。由紫花针茅(*Stipa pupurea*)为主组成的高寒草原是青南高原上分布较广的植被类型,其次为青藏藜草(*Carex moorcroftii*)草原,还有扇穗茅(*Littledalea racemosa*)高寒草原。草原中座垫植物比重也较大。由于湿润条件稍好,草原类型中草甸化特点明显,伴生有小蒿草等种

类。本区气候寒冷,既无天然森林生长,又不适宜于农作物种植,是放牧牦牛和绵羊为主的纯牧区。本区动物种类虽少,但珍稀特有种较多,主要有藏羚羊、藏原羚、藏野驴、野牦牛等<sup>[26-27]</sup>。

#### 4.3 羌塘高原湖盆高寒草原区(IC2)

羌塘高原是大高原的主体,处于昆仑山和冈底斯-念青唐古拉山之间,东自内外流水系的分水岭,西以公珠错—革吉—多玛—线与阿里西部山地为界。整个地势南北高、中间低,高原面较完好,北部海拔4900 m左右,南部约4500 m。羌塘高原是世界上海拔最高的内流区,流域集水面积小,多季节性河流。本区是高原湖泊集中分布区域,内陆湖泊星罗棋布,是著名的高海拔湖群区,湖泊大多为咸水湖和盐湖,淡水湖极少。这里气候寒冷,气温的年日变化大。最暖月平均气温6~10℃。局地可达12℃;最冷月平均气温在-10℃以下。年降水量约100~300 mm,自东南向西北递减。冬春多大风。本区植物种类较少,由紫花针茅(*Stipa purpurea*)为主组成的高寒草原是高原上分布最广的地带性植被。高山草原土土层浅薄,砂砾含量高,腐殖质含量少,剖面中有碳酸盐存留且呈碱性反应。本区是以放牧绵羊为主的牧区,尚有相当面积的“无人区”。由于人类活动较少,羌塘北部是野牦牛、藏羚羊和藏野驴等的天然乐园。

#### 4.4 昆仑高山高原高寒荒漠区(ID1)

昆仑高山高原高寒荒漠区是青藏高原主体西北部地势最高的部分,包括羌塘高原北部、喀喇昆仑山区、昆仑山南翼和可可西里山地。喀喇昆仑山北翼高山西起红其拉甫达坂,东达空喀山口,主峰乔戈里峰海拔8611 m,为世界第二高峰。中国境内喀喇昆仑山区冰川覆盖率达37%,冰川资源丰富。在地貌轮廓上,北有昆仑山,南有喀喇昆仑山,其间有数列海拔5000~5500 m的山地。昆仑山南翼高原湖盆,平均海拔5000 m左右,广泛分布波状平原、丘陵和低山。本区主要由宽谷盆地组成,较大的有阿什库勒盆地、阿克赛钦盆地等。湖泊较多,湖水主要靠河水补给,但湖泊不断退缩,湖水矿化度很高。本区气候严酷、寒冷干旱,最暖月均温3~7℃,暖季期间日最低气温多在0℃以下。除高山上降水较多外,高原面上年降水量一般不超过100 mm,且多以固态形式的雪、冰雹为主。以垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta*)和西藏亚菊(*Ajania tibetica*)为主的高寒荒漠植被以及由轮叶棘豆(*Oxytropis chiliophylla*)、簇生柔籽草(*Thylacospermum caespitosum*)、糙点地梅(*Androsace squarrosa*)组成的高寒座垫植被是本区高山湖盆上的主要植被类型。在高山荒漠区,主要土类为高山荒漠土或寒漠土。通常在地势平缓、景观开阔的高原湖盆地区,藏羚(*Pantholops hodgsoni*)、野牦牛(*Poephagus mutus*)和藏野驴(*Asinus kiang*)等的种群数量大<sup>[28]</sup>。

#### 4.5 川西藏东高山峡谷针叶林区(IIA/B1)

川西藏东高山峡谷针叶林区位于青藏高原的东南部,西起雅鲁藏布江中下游,东连横山区中北部,即怒江、澜沧江、金沙江及其支流雅砻江和大渡河的中上游,是以高山峡谷为

主体的自然区,行政区划上包括西藏东部,四川西部及云南西北部。本区高山峡谷的形势主要受区域地质构造的制约,除念青唐古拉山东段平均海拔6000 m外,其他山地大多为海拔5000 m。怒江、澜沧江和金沙江中游的横断山区山高谷深、岭谷并列,分布着近南北走向的山脉与河流。本区分别受来自印度洋和太平洋暖湿气候的影响,具有湿润、半湿润的气候。年降水量500~1000 mm,干燥度0.8~1.5。本区气温的垂直变化明显。在海拔2500~4000 m的谷地中最暖月平均气温12~18℃;在海拔4000~4500 m的高原面和高山上则在6~10℃之间<sup>[29-30]</sup>。本自然区植物区系属于中国喜马拉雅森林植物亚区横断山脉地区,分布着各种类型的山地森林和高山灌丛草甸植被,是世界高山植物区系最丰富的区域。受大地构造与大气环流的制约,本区西自雅鲁藏布江谷地的朗县至东北岷江上游的理县、茂汶等分布着一系列不同类型的干旱河谷,其中以横断山脉中段最为典型<sup>[31]</sup>。本区生物物种资源丰富,在世界遗传基因库中有重要位置。被世界和中国列为保护的植物超过100种,动物有50多种,其中有大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、金丝猴(*Rhinopithecua spp.*)等。

#### 4.6 青东祁连高山盆地针叶林草原区(IIIC1)

青东祁连高山盆地针叶林草原区(IIIC1)位于青藏高原东北部,包括西倾山以北的青海东部、祁连山地及洮河上游的甘南地区。祁连山由数条平行排列的北西—南东,北西—南东走向的山地组成,山峰多超过海拔4000 m。纵向宽谷如大通河谷地及青海湖盆地相间分布,海拔2500~3500 m。黄河、湟水及洮河谷地海拔2000~3000 m,属青藏高原向黄土高原的过渡地带,黄土广布,流水作用强烈,阶地亦较发育。这里纬度偏北,但海拔较低,气候温和,最暖月均温约12~18℃,最冷月-5~-12℃。受偏南湿润气流惠泽,暖季仍有较多降水,年降水量达300~600 mm,多集中于生长季。由克氏针茅(*Stipa krylovii*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)组成的山地草原是本区主要的植被类型。以青海云杉(*Picea crassifolia*)为建群种的山地暗针叶林在祁连山东段有较多的分布,它们和山地草原分别生长在山地阴阳坡,形成独特的山地森林草原带<sup>[32]</sup>。

#### 4.7 藏南高山谷地灌丛草原区(IIIC2)

位于青藏高原南部喜马拉雅山脉与冈底斯山脉之间的东西纵长地带通称藏南,它包括喜马拉雅主脉的高山及其北翼高原湖盆和雅鲁藏布江中上游谷地。喜马拉雅山中段雪峰林立,有珠穆朗玛峰—马卡鲁峰、卓奥友峰、希夏邦马峰等多座海拔8000 m以上的高峰。在喜马拉雅以北与拉轨岗日之间有一系列断陷盆地,自东而西分别为哲古错、羊卓雍错、普莫雍错、佩枯错等。盆地与宽谷之间除冰碛平台外,多为相对高度在200~500 m的波状丘陵和低山。雅鲁藏布江自西而东纵贯本区,是沿地质构造线发育的高原大河。上游马泉河为高原宽谷,中游为宽窄河段相间,著名的峡谷有曲水以上的约居峡谷,泽当以下的加查峡谷。重要的宽谷有拉孜、日喀则、泽当及拉萨、江孜等<sup>[33]</sup>。藏南气候受地形影响明显,

宽谷盆地最暖月均温 10~16℃, 冬季并不太冷, 最冷月均温 0~-12℃。中喜马拉雅山脉的气候屏障作用明显, 北翼高原湖盆年降水量仅 200~300 mm, 形成干旱的“雨影带”。在雅鲁藏布江中上游谷地, 降水量由东而西递减, 年降水量 300~500 mm, 日照丰富, 太阳辐射强。藏南分布较广的植被类型主要是山地灌丛草原和高山草原。土壤以山地灌丛草原土和高山草原土为主, 前者具灰棕色腐殖质层, 强烈石灰反应并形成富含碳酸钙新生体的钙积层。本区的雅鲁藏布江中游及其支流年楚河、拉萨河中下游谷地, 自古以来就是藏族人民主要生息之地, 也是西藏最重要的农作物集中分布区, 有“高原粮仓”之称。

#### 4.8 柴达木盆地荒漠区(IID1)

柴达木盆地荒漠区(IID1)位于青藏高原北部, 包括柴达木盆地及其西北缘的阿尔金山地。柴达木盆地是一个封闭的内陆高原盆地, 海拔 2600~3100 m, 地势自西北向东南倾斜。在盆地边缘, 特别是南侧昆仑山北麓边缘地带, 广泛发育着微倾斜的山前洪积平原。洪积平原前缘为冲积平原和湖积平原, 湖积平原上形成大片盐壳和盐沼泽。这里全年受高空西风带控制, 且受到蒙古高压反气旋的影响, 晴朗干燥、降水稀少, 是整个青藏高原上最干旱的地区。仅盆地东部受夏季风未间影响, 气候稍润, 年降水量东部 100~200 mm, 自东向西递减, 至西部仅 10 余 mm。最暖月均温 10~18℃, 最冷月平均气温 -10~-16℃。本区日照丰富, 年日照时数 3000~3600 h, 终年偏西风强劲, 形成西部广大风蚀和流沙地貌。占优势的地带性植被是荒漠, 以膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、红砂(*Reaumuria spp.*)、蒿叶猪毛菜(*Salsola abrotanoides*)、合头草(*Sympegma regelii*)及蒿属(*Artemisia spp.*)等旱生、超旱生灌木、半灌木为主组成, 还有白刺(*Nitraria spp.*)、怪柳(*Tamarix spp.*)等盐生灌丛分布<sup>[30]</sup>。

#### 4.9 昆仑山北翼山地荒漠区(IID2)

昆仑山北翼山地荒漠区(IID2)包括帕米尔高原东缘, 西、中昆仑山的北翼。其南界西起红其拉甫山口, 经西昆仑山的主脊东延, 沿麻札—康西瓦纵谷南侧山地, 经慕士山及中昆仑山主脊至阿其克库勒湖北侧分水岭至布喀达坂峰, 沿中昆仑山南支主脉东延至昆仑山垭口。青藏高原北缘的昆仑山脉山峰平均海拔在 6000 m 以上, 大体呈东西走向向南突出的弧形。昆仑山北翼濒临新疆塔里木盆地, 山峰与盆地高差达 4000 m, 山势高耸, 极为壮观。昆仑山北翼中低山地及山麓地带海拔较低, 气温稍高, 为向暖温带荒漠过渡的地段。本区年平均气温 0~6℃, 1 月平均气温约 -4~-12℃, 7 月平均气温 12~20℃。年降水量约 70~150 mm, 山地中上部降水可达 300~400 mm。昆仑山北翼大部分山地为稀疏的荒漠植被, 上限可达海拔 3200~3500 m。其上有山地草原带分布。高处还有高山草甸和垫状植被分布。昆仑山仅西段北翼局地海拔 2900~3600 m 的中山带阴坡有天山云杉林(*Picea schrenkiana* var. *tianshanica*)分布, 自西而东逐渐减少<sup>[28]</sup>。

#### 4.10 阿里山地荒漠区(IID3)

本区高山、盆地与宽谷相间, 地形比较复杂。地质构造的控制使本区形成从西北向东南平行的几个地形单元: 羌塘高原—冈底斯山主脉山地—两湖盆地、噶尔藏布宽谷—阿依拉山—象泉河谷地—喜马拉雅山主脉山地。山峰高达海拔 5000~6000 m, 宽谷、盆地一般海拔 3800~4500 m, 主要包括印度河上游的象泉河(即钦藏布)、狮泉河(森格藏布)流域以及北部的班公错盆地。本区太阳辐射强, 日照时数长, 最暖月均温 10~14℃, 但冬季仍较寒冷, 最冷月均温为 -9~-13℃, 境内干旱少雨, 年降水量自南向北递减, 南部不到 200 mm, 中北部为 50~150 mm。北部冬春多大风天气。本区分布着以沙生针茅(*Stipa glareosa*)、匙叶芥(*Christolea crassifolia*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)和灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)为主的山地荒漠草原和荒漠植被。高山上有关寒草原分布, 南部还有灌丛生长, 甚至组成连片的灌丛草原景观, 高寒草甸面积有限, 发育较差。除南缘山地外无天然森林分布。本区发育着山地荒漠草原土和山地荒漠土。宽谷盆地中的沼泽和沼泽草甸, 是高原特有的黑颈鹤(*Grus nigricollis*)繁殖季节的栖息地之一。

### 5 结论及展望

青藏高原的自然环境是伴随着高原隆升而逐渐发展形成的, 明显区别于中国其他地区, 并形成了自己鲜明的特点。总体上, 青藏高原环境特征表现为海拔高、温度低、辐射强、河湖众多、冰川冻土广布、生物多样性丰富, 这些特征也决定了青藏高原环境的脆弱性。青藏高原面积广大, 内部环境差异十分显著, 根据地形、气候、植被和土壤的差异, 青藏高原可划分为 10 个各具特色的自然区, 并根据地形和植被的组合特征对其进行命名, 包括: 果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区、青南高原宽谷高寒草甸草原区、羌塘高原湖盆高寒草原区、昆仑高山高原高寒荒漠区、川西藏东高山峡谷针叶林区、青东祁连高山盆地针叶林草原区、藏南高山谷地灌丛草原区、柴达木盆地荒漠区、昆仑山北翼山地荒漠区、阿里山地荒漠区。

以增温为主要特征的未来气候变化将可能对青藏高原的环境产生明显的影响, 未来青藏高原将以变暖变湿为主要特征, 水循环过程加快, 相应的生态系统则表现为植被生长期延长、草地生产力增加; 生态系统的空间格局也可能发生改变, 草地分布面积将呈增加态势, 具体表现为高寒草原分布面积增加、高寒草甸和沼泽草甸分布面积显著萎缩。同时一些地区将出现明显的冻土退化和沙漠化加剧趋势, 滑坡、泥石流、山洪、暴雪、森林火灾和有害生物等灾害风险趋于增强。由于人口和经济增长、矿产资源开发、农牧业发展、旅游业发展、交通设施建设等将对高原局部地区环境产生一定的影响, 但随着各类环境和生态建设工程的实施, 生态环境质量将总体呈现逐步改善的趋势。

## 参考文献 (References)

- [1] 郑度, 杨勤业, 刘燕华. 中国的青藏高原[M]. 北京: 科学出版社, 1985.  
Zheng Du, Yang Qinye, Liu Yanhua. China's Tibetan Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [2] 张懿铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究, 2002, 21(1): 1-9.  
Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China[J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 1-9.
- [3] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996.  
Sun Honglie. Formation and evolution of Tibetan Plateau[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 1996.
- [4] 孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998.  
Sun Honglie, Zheng Du. Formation and evolution of Tibetan Plateau with its development[M]. Guangzhou: Guangdong Scientific and Technical Press, 1998.
- [5] 张荣祖, 郑度, 杨勤业. 西藏自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1982.  
Zhang Rongzu, Zheng Du, Yang Qinye. Physical geography of Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [6] 马耀明, 胡泽勇, 田立德, 等. 青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(2): 207-215.  
Ma Yaoming, Hu Zeyong, Tian Lide, et al. Study progresses of the Tibetan Plateau climate system change and mechanism of its impact on East Asia[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(2): 207-215.
- [7] 武荣盛, 马耀明. 青藏高原不同地区辐射特征对比分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 251-259  
Wu Rongsheng, Ma Yaoming. Comparative analyses on radiation characteristics in different areas over the Tibetan Plateau[J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(2): 251-259.
- [8] 万玮, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 卫星遥感监测近30年来青藏高原湖泊变化[J]. 科学通报, 2014, 59(8): 701-714.  
Wan Wei, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi, et al. Remote sensing analysis for changes of lakes on the Qinghai-Tibetan Plateau in recent 30 years [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(8): 701-714.
- [9] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 4: 394-401.  
Ma Ronghua, Yang Guishan, Duan Hongtao, et al. China's lakes at present: Number, area and spatial distribution[J]. Science in China: Earth Science, 2011, 4: 394-401.
- [10] 叶庆华, 程维明, 赵永利, 等. 青藏高原冰川变化遥感监测研究综述 [J]. 地球信息科学, 2016, 18(7): 920-930.  
Ye Qinghua, Cheng Weiming, Zhao Yongli, et al. A review on the research of glacier changes on the Tibetan Plateau by remote sensing technologies[J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(7): 920-930.
- [11] 李治国. 近50a气候变化背景下青藏高原冰川和湖泊变化[J]. 自然资源学报, 2012, 27(8): 1431-1443  
Li Zhiguo. Glaciers and lakes changes on the Qinghai-Tibetan Plateau under climate change in the past 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(8): 1431-1443.
- [12] 郑度, 张荣祖, 杨勤业. 青藏高原地区[M]//中国自然地理·总论. 北京: 科学出版社, 1985.  
Zheng Du, Zhang Rongzu, Yang Qinye. Tibetan Plateau[M]//General physical geography. Beijing: Science Press, 1985.
- [13] 杨博辉, 郎侠, 孙晓萍. 青藏高原生物多样性[J]. 家畜生态学, 2005, 26(6): 1-5.  
Yang Bohui, Lang Xia, Sun Xiaoping[J]. Biodiversity on Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Ecologica Animalis Domastici, 2005, 26(6): 1-5.
- [14] 于伯华, 吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2289-2295.  
Yu Bohua, Lü Changhe. Assessment of ecological vulnerability on the Tibetan Plateau[J]. Geographical Research, 2011, 30(12): 2289-2295.
- [15] 陈德亮, 徐柏青, 姚檀栋, 等. 青藏高原环境变化科学评估: 过去、现在与未来[J]. 科学通报, 2015, 60(32): 3025-3035.  
Chen Deliang, Xu Baiqing, Yao Tandong, et al. Assessment of past, present and future environmental changes on the Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(32): 3025-3035.
- [16] 赵志平, 刘继远, 邵全琴. 三江源自然保护区土地覆被变化特征分析[J]. 地理科学, 2010, 30(3): 415-420.  
Zhao Zhiping, Liu Jiyuan, Shao Quanqin. Characteristic analysis of land cover change in nature reserve of Three River's source regions [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(3): 415-420.
- [17] 姜永见, 李世杰, 沈德福, 等. 青藏高原江河源区近40年来气候变化特征及其对区域环境的影响[J]. 山地学报, 2012, 30(4): 461-469.  
Jiang Yongjian, Li Shijie, Shen Defu, et al. Climate change and its impact on the regional environment in the source regions of the Yangtze-Yellow and Langtsang rivers in Qinghai-Tibetan Plateau during 1971-2008[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(4): 461-469.
- [18] 赵改红, 旦增塔庆, 魏学红. 青藏高原高寒草地沙化特征的研究进展[J]. 草原与草坪, 2012, 32(5): 83-89.  
Zhao Gaihong, Danzengtaqing, Wei Xuehong. A review grassland desertification characteristics of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Grassland and Turf, 2012, 32(5): 83-89.
- [19] 王建兵, 张德罡, 曹广民, 等. 青藏高原高寒草甸退化演替的分区特征[J]. 草业学报, 2013, 22(2): 1-10.  
Wang Jianbing, Zhang Degang, Cao Guangmin, et al. Regional characteristics of the alpine meadow, degradation succession on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Pratacultureae Sinica, 2013, 22(2): 1-10.
- [20] Zheng D. Three dimensional differentiation of natural zonation[M]// Mountain Geocology and Sustainable Development of the Tibetan Plateau. Netherlands: Springer, 2000: 47-69.
- [21] 郑度, 张荣祖, 杨勤业. 试论青藏高原的自然地带[J]. 地理学报, 1979, 34(1): 1-11.  
Zheng Du, Zhang Rongzu, Yang Qinye. On the natural zonation in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 1979, 34(1): 1-11.
- [22] 郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. 中国生态地理区域系统研究[J]. 北京: 商务印书馆, 2008.  
Zheng Du, Yang Qinye, Wu Shaohong, et al. China's Ecogeographical Regionalization Research[J]. Beijing: The Commercial Press, 2008.
- [23] 黄秉维. 中国综合自然区划草案[J]. 科学通报, 1959(18): 594-602.  
Huang Bingwei. Draft of the integrated physical geographical regionalization of China[J]. Chinese Science Bulletin, 1959(18): 594-602.
- [24] 郑度. 青藏高原自然地域系统研究[J]. 中国科学(地球科学), 1996, 26(4): 336-341.  
Zheng Du. The system of physic-geographical regions of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Science in China (Earth Science), 1996, 26(4): 336-341.
- [25] Zheng Du, Zhang Qingsong, Wu Shaohong. Mountain Geocology and Sustainable Development of the Tibetan Plateau[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

- [26] 郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. 中国自然地理总论[M]. 北京: 科学出版社, 2015.  
Zheng Du, Yang Qinye, Wu Shaohong, et al. General physical geography of China[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [27] 伍光和. 青海省综合自然区划[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1989.  
Wu Guanghe. Integrated zonation of Qinghai province. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1989.
- [28] 郑度. 喀喇昆仑山-昆仑山地区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999.  
Zheng Du. Physical geography of the Karakoram and Kunlun mountains[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [29] 张荣祖, 郑度, 杨勤业, 等. 横断山区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.  
Zhang Rongzu, Zheng Du, Yang Qinye, et al. Physical geography of Hengduan mountain[M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [30] 杨勤业, 郑度. 横断山区综合自然区划纲要[J]. 山地研究, 1989, 7(1): 56-64.  
Yang Qinye, Zheng Du. Outline of the physical geographical regionalization[J]. Mountain Research, 1989, 7(1): 56-64.
- [31] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992.  
Zhang Rongzu. Arid valley of Hengduan mountain[M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [32] 申元村, 向理平. 青海省自然地理[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.  
Sheng Yuancun, Xiang Liping. Physical geography of Qinghai province [M]. Beijing: China Ocean Press, 1991.
- [33] 刘燕华. 西藏雅鲁藏布江中游地区土地系统[M]. 北京: 科学出版社, 1992.  
Liu Yanhua. Land system of middle reaches in Yalung Zangbo river of Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1992.

## Characteristics of natural environment of the Tibetan Plateau

ZHENG Du, ZHAO Dongsheng

Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract** Based on integrated scientific expeditions to the Tibetan Plateau since the 1950s, this study analyzes the basic characteristics of the natural environment of the Tibetan Plateau (TP). It is shown that the TP is the highest in the three major landform ladders of China, with an average elevation of more than 4000 m above the sea level. Therefore, the TP is called the “roof of the world”. The TP covers a vast land with a total area of  $2.5 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, accounting for a quarter of the total territory of China. Because of strong uplifting since the Neogene, the TP has unique natural environmental characteristics distinctive from other regions in the world, including the high landform, the cold climate, the strong solar radiation, numerous rivers and lakes, the extensive glacier and permafrost and the abundant biodiversity. Owing to its gigantic area, the TP also enjoys a great variety of the natural environment in its interior, with a certain regional differentiation regulation. According to the principle and the methodology of the physio-geographical regionalization of the plateau, the TP could be divided into 10 physio-geographical regions of similar terrains, climates, and vegetation types, which are the Guoluo-Naqui Plateau mountain alpine shrub-meadow region, the Southern Qinghai Plateau and wide valley alpine meadow-steppe region, the Qiangtang Plateau lake basin alpine steppe region, the Kunlun high mountain and plateau alpine desert region, the Western Sichuan and Eastern Xizang high mountain and deep valley coniferous forest region, the Qilian mountains of eastern Qinghai high mountain and basin coniferous forest and steppe region, the Southern Xizang high mountain and valley shrub-steppe region, the Qaidam Basin desert region, the North Kunlun mountain desert region, and the Ngali mountain desert region.

**Keywords** Tibetan Plateau; natural environment; regional differentiation; physio-geographical regions

(责任编辑 刘志远)