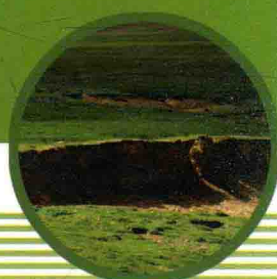
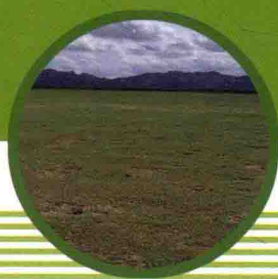




青藏高原退化高寒草地 生态恢复的植物-土壤界面过程

董世魁 温 璐 李媛媛 王学霞◎著



Plant-soil Interface Process in
Ecological Restoration of Degraded Alpine Grasslands
on Qinghai-Tibetan Plateau



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

青藏高原退化高寒草地 生态恢复的植物-土壤界面过程

董世魁 温 璐 李媛媛 王学霞◎著

Plant-soil Interface Process in
Ecological Restoration of Degraded Alpine Grasslands
on Qinghai-Tibetan Plateau

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以青藏高原高寒地区退化草地生态恢复的理论与技术为主要内容,详细介绍了青藏高原高寒草地资源的现状,深入分析了高寒草地退化的主要原因及分类体系,阐明了退化草地判识的单项和综合方法,论述了退化高寒草地生态恢复的植物和土壤响应机理,提出了基于植物-土壤界面过程的退化高寒草地生态恢复技术和生态管理体系。本书综合集成青藏高原高寒草地生理生态学、植物生态学、土壤生态学和生态经济学等方面的系统研究工作,可为青藏高原高寒草地生态系统的可持续管理提供理论依据和技术支撑,同时为世界同类地区高寒草地的生态保护提供科学借鉴。

本书可作为生态学、环境科学、草业科学等领域的科研、管理和教学人员的工具书,也可作为相关专业本科生和研究生的学习资料。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原退化高寒草地生态恢复的植物-土壤界面过程/董世魁等著.
—北京:科学出版社,2015.4
ISBN 978-7-03-043908-6

I. 青… II. 董… III. ①青藏高原-寒冷地区-退化草地-草原生态系统-生态恢复-植物-研究 ②青藏高原-寒冷地区-退化草地-草原生态系统-生态恢复-土壤-研究 IV. S812

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 055313 号

责任编辑:张 菊 / 责任校对:钟 洋
责任印制:徐晓晨 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年4月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:1

字数:430 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

青藏高原是全球高寒草地面积最大、类型最多的区域，也是我国高寒草地集中分布的区域。高寒草地不仅是青藏高原地区发展高原畜牧业、提高牧民收入的重要生产资料，而且发挥着水源涵养、气候调节、生物多样性维持等重要生态服务功能。然而，近年来，在气候变化、人类活动等因素的影响下，青藏高原地区的高寒草地发生大面积退化，严重影响了本地生态环境和社会经济的可持续发展，甚至影响了周边乃至我国中东部地区的生态安全。因此，恢复退化高寒草地生态系统，改善高寒草地的生态功能，提高高寒草地的生产水平，对促进青藏高原地区生态、经济、社会的可持续发展，维护青藏高原及其中下游地区的生态安全具有极其重要的实际作用和战略意义。

北京师范大学董世魁教授的学术团队总结、凝练了多年的研究成果，集成此书。该书以草地生态系统的植被-土壤界面为切入点，系统分析了青藏高原高寒草地退化的原因及其影响，构建了高寒草地植被和土壤退化程度的量化评价体系，揭示了草地生态恢复的植被和土壤响应机理，阐明了退化高寒草地生态恢复的植物-土壤界面耦合机制，提出了基于植物-土壤界面过程的退化高寒草地生态恢复的技术体系。该书的出版对青藏高原地区退牧还草、三江源生态保护等重大项目的实施具有重要指导意义。

在该书即将出版之际，我很高兴为之作序，并愿意向广大读者推荐这部著作。



中国科学院院士

2014年12月

目 录

序

前言

第一章 青藏高原的草地资源概况	1
第一节 青藏高原的草地类型与分布	1
一、草地面积	1
二、草地类型	2
三、草地分布	3
第二节 草地气候资源	6
一、高寒草甸气候	6
二、高寒草原气候	6
三、高寒半荒漠和荒漠气候	7
第三节 草地水资源	8
一、高原河流	8
二、高原湖泊	9
三、高原沼泽	9
第四节 草地土壤资源	10
一、土壤对草地形成的作用	10
二、青藏高原草地土壤的基本特征	10
三、青藏高原的草地土壤类型	11
第五节 草地生物资源	13
一、植物资源	13
二、动物资源	14
三、微生物资源	15
第六节 草地人文资源	15
一、民族组成	15
二、藏族的经济文化	15
三、藏族的生产文化	16
四、藏族的生活文化	16

五、藏族的宗教文化	17
第七节 草地资源的价值	17
一、牧业生产价值	18
二、生态服务价值	18
本章小结	19
第二章 青藏高原的草地退化及其影响	21
第一节 草地退化的历史与现状	21
一、青藏高原全区的草地退化历史和现状	21
二、青藏高原典型区域(三江源区)的草地退化历史和现状	23
三、青藏高原典型县域(玛多县)的草地退化历史和现状	24
第二节 草地退化的成因	26
一、草地退化的气候变化成因说	27
二、草地退化的超载过牧成因说	31
三、草地退化的成因不确定说	34
四、草地退化的内外因综合作用说	38
第三节 高寒草地退化的类型	40
一、全球草地退化的类型	40
二、中国草地退化的类型	41
三、青藏高原草地退化的类型	41
第四节 草地退化的生态影响	44
一、草地生产力下降	44
二、草地生物多样性减少	45
三、草地土壤肥力下降	48
四、草地固碳能力下降	50
五、草地水源涵养功能下降	51
第五节 草地退化的社会经济影响	54
一、草地生态功能价值损失	54
二、草地生产功能价值损失	55
三、草地生活功能价值损失	56
本章小结	57
第三章 草地退化的诊断与分级	58
第一节 草地植被退化的诊断与分级	58
一、高寒草地退化指数的构建	59
二、实证案例	60
第二节 草地土壤退化的诊断与分级	60
一、土壤质量评价指标体系的构建	61
二、实证案例	63

第三节 草地退化的综合诊断与分级	65
一、草地生态系统健康评价研究进展	66
二、高寒草地健康模型的建立	66
三、实证案例	67
第四节 退化草地的植被与土壤特征	70
一、不同退化等级高寒草地的植被特征变化	70
二、不同退化等级高寒草地的土壤物理性状变化	71
三、不同退化等级高寒草地的土壤碳、氮、磷、钾总量变化	71
四、不同退化等级高寒草地的土壤速效氮、磷、钾变化	72
本章小结	74
第四章 退化高寒草地生态恢复的理论与技术	75
第一节 退化草地的生态恢复理论	75
一、生态恢复的概念与内涵	75
二、生态恢复的基本目标	77
三、生态恢复的基本理论	77
第二节 退化草地的生态恢复技术	79
一、生态恢复的技术方法	79
二、退化草地生态恢复的技术方法	81
三、青藏高原退化草地生态恢复的技术方法	82
第三节 基于植物-土壤界面过程的草地生态恢复	87
本章小结	90
第五章 退化高寒草地生态恢复的植被响应机理	91
第一节 植物群落组成和生物量变化	91
一、植物群落组成	91
二、地上生物量	94
三、地下生物量	95
第二节 植物群落多样性变化	106
一、不同退化程度高寒草地植物群落多样性	106
二、不同恢复年限人工草地植物群落多样性	108
第三节 植物生理生态响应	108
一、地上植物含碳量	108
二、植物根系含碳量	108
三、地上植物氮含量	111
四、根系氮含量	111
五、植物光合作用	116
第四节 植物繁殖分配响应	120
一、植物群落的无性（营养）繁殖特征	121

二、植物群落的有性繁殖特征	122
三、植物群落的繁殖分配	123
四、植物类群的繁殖特征	123
本章小结	126
第六章 退化高寒草地生态恢复的土壤响应机理	128
第一节 土壤物理性状变化	128
一、土壤 pH	128
二、土壤容重	128
第二节 土壤养分含量变化	129
一、土壤碳	129
二、土壤氮	137
三、土壤磷	147
四、土壤钾	153
五、土壤钙	157
第三节 土壤微生物组成和活性变化	160
一、土壤细菌群落组成	160
二、土壤细菌多样性	163
三、土壤矿化微生物活性	168
四、土壤硝化微生物活性	171
五、土壤反硝化微生物活性	175
第四节 土壤酶活性变化	180
一、土壤纤维素酶活性	181
二、土壤固氮酶活性	183
三、土壤蛋白酶活性	186
四、土壤脲酶活性	188
本章小结	191
第七章 退化高寒草地生态恢复的植物-土壤界面过程	193
第一节 土壤种子库—地上植物的二元关系	193
第二节 土壤养分—地上植物的二元关系	197
一、土壤养分与地上植物的关系	197
二、土壤酶活性与地上植物的关系	200
三、土壤微生物活性与地上植物的关系	200
第三节 植物根系—土壤养分的二元关系	209
一、春季植物根系与土壤养分的关系	209
二、夏季植物根系与土壤养分的关系	210
三、秋季植物根系与土壤养分的关系	213
第四节 植物根系—土壤养分—地上植物的三元关系	214

一、植物根系碳氮含量—土壤养分—地上植物碳氮含量的关系	214
二、植物根系生物量—土壤养分—地上植物生物量的关系	219
本章小结	225
第八章 高寒草地的综合生态系统管理	226
第一节 高寒草地综合生态系统管理的理论框架	226
一、综合生态系统管理的定义	226
二、综合生态系统管理的原则	227
三、综合生态系统管理的目标	227
四、高寒草地的综合生态系统管理理论框架	228
第二节 高寒草地综合生态系统管理的保障体系	229
一、技术保障体系	230
二、政策保障体系	231
三、经济保障体系	232
四、文化保障体系	233
五、社会保障体系	237
第三节 高寒草地综合生态系统管理的公众参与体系	237
一、参与式草地管理的内涵	237
二、青藏高原高寒草地的参与式管理	238
三、高寒草地参与式管理的作用	239
四、高寒草地参与式管理体系的建设内容	240
本章小结	241
参考文献	242
后记	266
图版	

第一章 青藏高原的草地资源概况

青藏高原 (Qinghai-Tibet Plateau, 或 Tibetan Plateau) 是全球海拔最高、面积最大的高原, 主要包括中国西南部的西藏自治区全部、四川省西部及云南省部分地区, 中国西北部的青海省全部、新疆维吾尔自治区南部及甘肃省部分地区, 还包括不丹、尼泊尔、印度、巴基斯坦、阿富汗、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦的部分高山地区, 总面积 250 万 km^2 , 平均海拔 4000 ~ 5000 m, 有“世界屋脊”或“全球第三极”之称, 也是亚洲许多大江大河的发源地, 被誉为“亚洲水塔”。青藏高原由于其高亢的海拔、巨大的面积、年轻的历史和独特的位置而形成一系列独有的自然特征。中国境内的青藏高原总面积约 240 万 km^2 , 占中国陆地总面积的 25% 左右。在青藏高原的总面积中, 草地占 64% (包括可利用和不可利用草地), 耕地占 0.36%, 林地占 5.65%, 难以利用的土地占 30%。青藏高原的高寒草地可利用草地面积近 1.1 亿 hm^2 , 位居中国各类草地面积之首, 也是世界上分布海拔最高、类型最为独特的草地类型。因此, 了解青藏高原草地资源的禀赋及其价值, 对草地资源的可持续利用和保护具有积极作用。本章在综述相关文献资料的基础上, 系统总结青藏高原草地资源的概况, 以期明晰如下科学问题: 青藏高原草地资源的类型和分布状况如何? 青藏高原的草地气候资源、土壤资源、水资源和生物资源的特性是什么? 青藏高原的草地资源具有何种社会、经济和生态价值?

第一节 青藏高原的草地类型与分布

一、草地面积

青藏高原的范围为北纬 $26^{\circ}00'12'' \sim 39^{\circ}46'50''$, 东经 $73^{\circ}18'52'' \sim 104^{\circ}46'59''$ 。由于地跨东西 31 个经度, 南北 13 个纬度, 地域范围大, 海拔为 1100 m 至有植物分布的 5000 m 左右, 高低悬殊, 地形地貌、气候条件等差异甚大, 具有热带、温带、寒带三大气候类型。纬向地带性、经向地带性、垂直地带性和复杂多变的地形及气候条件, 使这里的植被类型十分复杂而丰富, 地球上的森林、草原和荒漠三大植被类型均有分布。与植被系统相对应的土地利用类型中, 草地比例高达 60% 以上, 林地约 6%, 耕地不及 1%。青藏高原的天然草地面积达 12 834.9 万 hm^2 , 其中可利用面积 11 187.5 万 hm^2 , 是我国天然草地分布面积最大的一个区, 约占全国草地面积的 1/3 (33.2%), 人均草地面积是全国的 40 倍, 是世界人均草地面积的 17.8 倍。由于草地资源丰富, 青藏高原也成为我国主要畜牧业生产基地之一, 我国西藏、内蒙古、新疆、青海、四川的五大牧区中有三个分布在青藏高原地区, 即川西北牧区、青海牧区和藏西北牧区 (胡自治, 2001)。

二、草地类型

草地类型是对草地资源的生物、生态与经济等特征的高度抽象与概括,正确认识与划分草地类型是科学利用和有效保护草地资源的基础。目前,在中国的草地资源分类体系中,主要有中国南、北草地资源调查办公室提出的中国草地资源分类系统和任继周、胡自治等提出的综合顺序分类系统,前者是目前通用的中国草地资源分类体系。

(一) 中国草地资源分类系统中的青藏高原草地类型

1979 年中国开始准备进行全国草地资源的全面调查工作,1981 年在北方草地资源调查办公室提出了供全国统一使用的草地分类方案,主要是在贾慎修(1982)主张的植物地形学分类法的基础上作了一些修改和补充。1981~1988 年这一分类系统作了 5 次实质性的全面重大修改,在一定程度上吸收了许鹏(1985)主张的植被-生境分类法(主体特征综合分类法)。1994 年中国南、北草地资源调查办公室对该分类系统进行了较大的调整和简化,形成了中国草地分类系统。该分类系统分为类、组和型三级,类的划分标准是热量和植被型与亚型,组的划分指标是经济类群,型的划分标准是优势种(胡自治,1997)。

根据中国南、北草地资源调查办公室提出的中国草地分类系统,青藏高原的草地在中国 18 类草地中,除干热稀树灌草丛类以外,其他 17 类均有分布(图 1-1,见彩图)。各类草地中以高寒草甸类和高寒草原类面积较大,分别占青藏高原草地总面积的 45.4% 和 29.1%,二者合计共占 74.5%,其次是高寒草甸草原、高寒荒漠草原、高寒荒漠类和山地草甸类草地,分别占 4.4%、6.8%、4.6% 和 5.5%,其他各类草地除温性草原类占 1.3% 外,所占比例均在 1% 以下。按草地热量划分,高寒类草地占 89.2%,温性类草地只占 8.9%,暖性、热性草丛和灌草丛类草地仅占 0.5%,可见青藏高原草地以高寒草地为主体。此外,青藏高原地区还有一部分未进行实地调查、难以划分类型的草地,面积为 93.3 万 hm^2 ,占草地面积的 0.7%。

青藏高原的草地产草量较低,平均每公顷产干草 395.5 kg。产草量最高的是热性草丛类,产量达 2600.8 kg/hm^2 ;其次为低地草甸和山地草甸类,分别为 1087.4 kg/hm^2 和 1040.8 kg/hm^2 。水热条件较好的温性草甸草原、暖性灌草丛、热性灌草丛类单产都在 800 kg/hm^2 以上。分布面积最广的高寒草甸和高寒草原类产草量分别为 882.0 kg/hm^2 和 740.9 kg/hm^2 ,产草量最低的是高寒荒漠类,每公顷只产草 117.9 kg。青藏高原的草地不但产草量低,而且草群低矮,多数在 10 cm 以下,不适宜作为割草场。草地理论载畜量为 8720.3 万羊单位,其中高寒草甸类草地占 64.5%,可见该类草地在本区的重要地位。

(二) 综合顺序分类系统中的青藏高原草地类型

综合顺序分类法是任继周等(1965)在草原发生与发展理论的指导下,参考世界各国草原分类方法的优点,提出的一种草原(天然草地)分类方法,其全称为气候·土地·植物

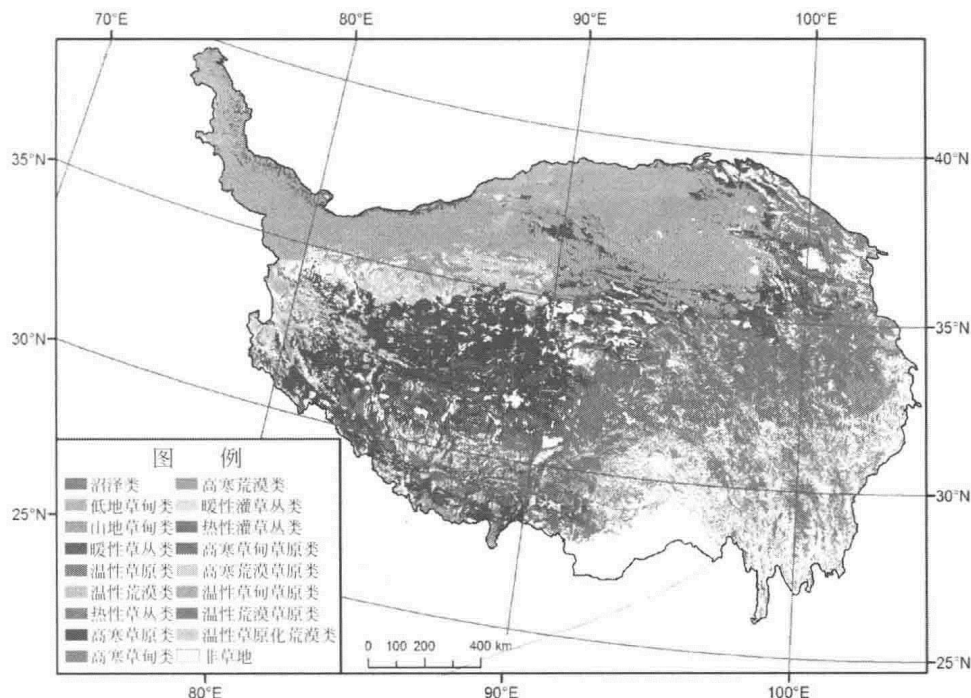


图 1-1 青藏高原草地类型图

综合顺序分类法。该分类体系首先以生物气候指标为依据，将具有同一地带性农业生物气候特征的草地划为类，若干类可以归并为一个类组。其次以土地特征为指标，将类继续划分为亚类。再次以植物特征为指标，将亚类继续划分为型。必要时，型内又可分为亚型及微型。在这一分类体系中，类是基本单位，类组、亚类、型、亚型和微型等都是辅助单位（胡自治，1997）。

陈钟（2010）、梁天刚等（2011）以综合顺序分类法为分类指导原则，对青藏高原天然草地进行遥感监测研究，利用 GIS 地统计学方法选择适当的插值模型，建立青藏高原综合顺序分类图，一共将青藏高原的草地分为微干类、暖温微润类、暖温潮湿类、暖热极干类、暖热干旱类、暖热微干类、暖热微润类、暖热湿润类、暖热潮湿类、亚热极干类、亚热干旱类、亚热微干类、亚热微润类、炎热极干类等 35 个类（图 1-2，见彩图）。其中，面积较大的草地类型有寒冷潮湿类、寒温潮湿类、微温极干类、寒温干旱类，面积较小的有寒冷极干类、亚热微润类、暖热湿润类（图 1-2）。

三、草地分布

青藏高原地带性草地为各类高寒草地，由东南向西北依次为高寒草甸—高寒草甸草原—高寒荒漠草原—高寒荒漠更替分布。东部、东南部是以几种小型嵩草、紫羊茅、藏北嵩草为主的高寒草甸，中部是以紫花针茅为主的高寒草原，西北部逐渐过渡为高寒荒漠。青藏高原地区的草地资源从省区分布上看，西藏自治区面积最大，占青藏高原草地面积的

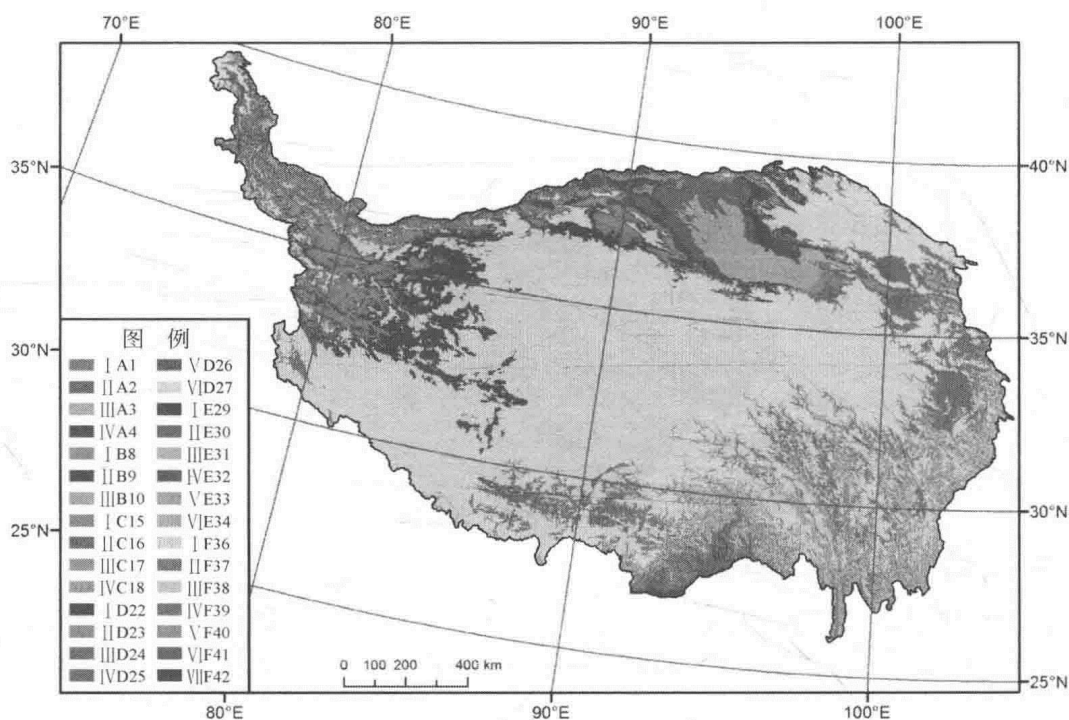


图 1-2 青藏高原草地类型图

I A1, 寒冷极干寒带荒漠-高山荒漠类; II A2, 寒温极干山地荒漠类; III A3, 微温极干温带荒漠类; IV A4, 暖温极干暖温带荒漠类; I B8, 寒冷干旱寒带半荒漠-高山半荒漠类; II B9, 寒温干旱山地半荒漠类; III B10, 微温干旱温带半荒漠类; I C15, 寒冷微干干燥冻原-高山草原类; II C16, 寒温微干山地草原类; III C17, 微温微干温带典型草原类; IV C18, 暖温微干暖温带典型草原类; I D22, 寒冷微润少雨冻原-高山草甸草原类; II D23, 寒温微润山地草甸草原类; III D24, 微温微润草甸草原类; IV D25, 暖温微润森林草原类; V D26, 暖热微润落叶阔叶林类; VI D27, 亚热微润硬叶林和灌丛类; I E29, 寒冷湿润冻原-高山草甸类; II E30, 寒温湿润山地草甸类; III E31, 微温湿润森林草原-落叶阔叶林类; IV E32, 暖温湿润落叶阔叶林类; V E33, 暖热湿润常绿-落叶阔叶林类; VI E34, 亚热湿润常绿阔叶林类; I F36, 寒冷潮湿多雨冻原-高山草甸类; II F37, 寒温潮湿寒温带针叶林类; III F38, 微温潮湿针叶阔叶混交林类; IV F39, 暖温潮湿落叶阔叶林类; V F40, 暖热潮湿落叶-常绿阔叶林类; VI F41, 亚热潮湿常绿阔叶林类; VII F42, 炎热潮湿雨林类

63.9%, 其次是青海省, 占 22.1%, 四川省占 10.9%, 云南省和甘肃省草地面积较小, 分别占 1.1% 和 2.0% (表 1-1)。

表 1-1 青藏高原地区各类草地面积和载畜量统计表

草地类型	四川省/ 万 hm ²		云南省/ 万 hm ²		甘肃省/ 万 hm ²		青海省/ 万 hm ²		西藏自治区/ 万 hm ²		合计/ 万 hm ²		理论载畜量 /(万羊单位/hm ²)
	面积	可利用	面积	可利用	面积	可利用	面积	可利用	面积	可利用	面积	可利用	
温性草甸草原类							0.1	0.1	21.0	19.3	21.1	19.4	24.2
温性草原类									171.5	160.8	171.5	160.8	166.6
温性荒漠草原类									43.2	36.7	43.2	36.7	13.9
高寒草甸草原类									558.6	479.3	558.6	479.3	137.7
高寒草原类							543.2	472.6	3 194.2	2 685.9	3 737.4	3 158.5	924.0
高寒荒漠草原类									867.9	700.2	867.9	700.2	115.3
温性草原化荒漠类									10.7	9.4	10.7	9.4	3.1
温性荒漠类									4.5	4.4	4.5	4.4	0.7
高寒荒漠类							52.6	23.4	544.2	419.5	596.8	422.9	47.9
暖性草丛类									1.0	0.9	1.0	0.9	2.7
暖性灌草丛类			21.4	15.6					14.0	12.5	35.4	28.1	65.8
热性草丛类			1.8	1.3					0.9	0.8	2.7	2.1	7.6
热性灌草丛类			24.8	18.4					2.8	2.5	27.6	20.9	59.3
低地草甸类					3.5	3.4			4.4	4.1	7.9	7.5	12.2
山地草甸类	297.4	252.8	78.6	58.2	168.5	161.5	23.7	19.7	136.8	129.6	705.0	621.8	1 257.1
高寒草甸类	974.7	865.8	14.1	10.6	88.2	84.5	2 213.5	2 009.5	2 534.2	2 417.8	5 824.7	5 388.2	5 496.1
沼泽类	35.2	27.5							2.0	1.2	37.2	28.7	73.9
零星草地	88.4	78.3									88.4	78.3	312.2
未划类型草地									93.3	0	93.3	0	0
合计	1 395.7	1 224.4	140.7	104.1	260.2	249.4	2 833.1	2 525.3	8 205.2	7 084.9	12 834.9	11 188.1	8 720.3

资料来源:中国农业部畜牧兽医司,中国科学院草原研究所,中国科学院综合考会,等. 1994. 中国草地资源数据. 北京:中国农业科技出版社.

第二节 草地气候资源

在青藏高原上,从东南至西北呈现气温下降、降水递减的气候变化规律。在气候梯度的影响下,依次分布着高寒草甸、高寒草原和高寒荒漠等草地资源,这些草地资源的植物组成、生物量均与气候因子密切相关。

一、高寒草甸气候

高寒草甸是亚洲中部高山及青藏高原隆起之后所引起的寒冷、湿润气候的产物,是地带性植被类型。就气候条件而言,太阳年总辐射量达到 6000 MJ/m^2 以上,牧草生长期仅 $100 \sim 160$ 天,此期间 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 $1000 \sim 1800^\circ\text{C}$ 。热量水平较低,水分则较充足,年降水量东部 $600 \sim 800 \text{ mm}$,西部亦在 400 mm 以上,年干燥度多为 $2 \sim 4$ 。高寒草甸分布区虽气候较寒冷,但光、水条件好,土壤肥沃,牧草生长繁茂,草质柔嫩,以莎草科和禾本科的喜凉牧草为优势种,杂草较少,豆科牧草更为贫乏,主要有多种嵩草、苔草、早熟禾 (*Poa annua*)、紫羊茅 (*Festuca rubra*)、圆穗蓼 (*Polygonum macrophyllum*) 等。一般平均草层高度为 $5 \sim 10 \text{ cm}$,覆盖度为 $70\% \sim 95\%$ 。牧草产量多在 $780 \sim 1400 \text{ kg/hm}^2$ (表 1-2)。

表 1-2 高寒草甸的气候与牧草产量

地点	海拔/m	年总辐射量 / (MJ/m^2)	牧草生长期		年降水量 /mm	年干燥度	优势饲用植物	草地产量 / (kg/hm^2)
			日数	$\geq 0^\circ\text{C}$ 积温/ $^\circ\text{C}$				
若尔盖	3445	6000	189	1359	648	1.99	高山嵩草、紫羊茅、苔草	1156 ~ 1406
理塘	3949	6100	218	1569	798	1.95	藏嵩草、野青茅、披碱草	781 ~ 1250
玉树	3703	6300	212	1783	487	2.75	嵩草、圆穗蓼、高山凤毛菊	781 ~ 1406
那曲	7200	7200	162	1047	400	3.75	高山嵩草、黑褐苔草	781 ~ 1406
帕里	7000	7000	180	1033	413	3.63	嵩草、鹅观草、高山早熟禾	60 ~ 120

资料来源:中国科学院青藏高原综合科学考察队等. 1984. 西藏气候. 北京: 科学出版社

二、高寒草原气候

与高寒草甸相比,高寒草原光照条件更好,水分条件则较差。全年太阳总辐射量达 $7000 \sim 8000 \text{ MJ/m}^2$,但牧草生长期仅为 $100 \sim 180$ 天, $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 $700 \sim 2000^\circ\text{C}$ 。年降水量东部为 $180 \sim 320 \text{ mm}$,由南向北减少。由于青藏高原中部是大面积的大风区,干旱十分严重,年干燥度变化为 $5 \sim 7.5$ 。在比较干旱的气候条件下,高寒草原的牧草以紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、羽状针茅 (*S. subsessiliflora* var. *basiphumosa*)、苔草、固沙草

(*Orinus thoroldii*)、三刺草 (*Aristida trisetia*)、多种嵩、变色锦鸡儿 (*Caragana versicolor*) 等为主, 草层高度一般为 10 ~ 30 cm, 覆盖度为 40% ~ 60%。牧草产量多为 330 ~ 900 kg/hm² (表 1-3)。

表 1-3 高寒草原的气候与牧草产量

地点	海拔/m	年总辐射量 / (MJ/m ²)	牧草生长期		年降水量 /mm	年干燥度	优势饲用植物	草地产量 / (kg/hm ²)
			日数	≥0℃ 积温/℃				
都兰	3191	6900	206	2046	179	7.47	紫花针茅、藏沙嵩	330 ~ 660
托托河	4533	7000	137	743	283	5.37	紫花针茅、冷地早熟禾、 寒生羊茅	300 ~ 400
申扎	4672	7400	167	1151	299	5.17	三刺草、固沙草	400 ~ 600
定日	4300	8100	206	1726	322	5.25	紫花针茅、固沙草、冻原 白嵩	400 ~ 660

资料来源: 同表 1-2

在青藏高原的河谷地区, 海拔较低, 属于山地温带气候。气温相对较高, 但降水较少, 风力较大, 干旱严重, 形成了沿河分布的温带灌丛草原。例如, 青海民和 (海拔 1814 m), 年平均气温为 7.8℃, 牧草生长期 258 天, ≥0℃ 积温 2255℃, 年降水量 361 mm, 年干燥度 3.42, 由长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.)、沙生针茅 (*Stipa glareosa*)、藏白嵩 (*Artemisia younghusbandii*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*)、柳等组成灌丛草原; 拉萨年平均温度 7.5℃, ≥0℃ 积温 2890℃, 年降水量 444 mm, 年干燥度 3.37, 牧草生长期达 277 天, 为白草 (*Pennisetum flaccidum*)、固沙草、劲直黄芪 (*Astragalus strictus*)、沙生槐 (*Sophora moorcroftiana*) 及多种柳等组成的灌丛草原 (表 1-3)。

三、高寒半荒漠和荒漠气候

高寒半荒漠和荒漠的气候条件较恶劣, 水分热量均感不足, 但光资源非常丰富。全年总辐射量为 6800 ~ 8100 MJ/m², 牧草生长期 90 ~ 150 天, ≥0℃ 积温 1500 ~ 2300℃。年降水量南部较多, 改则、狮泉河一带达 80 ~ 160 mm; 北部甚少, 冷湖多年平均仅 18 mm。在光照强烈、热量与高寒草原不相上下的情况下, 降水量比高寒草原少 1 ~ 10 倍。加之风大, 水分极其缺乏, 年干燥度南部改则一带在 8 以上, 东西两翼为 20 ~ 30, 北部冷湖达 71.82, 是全国干燥度最大的地区。由于光、热、水的极不协调, 高寒半荒漠和荒漠地区的植物极其稀少, 以超旱生的、叶退化的半灌木为优势种, 如驼绒藜 (*Ceratoides latens*)、灌木亚菊 (*Ajania fruticnlosa*) 等。在阿尔金山、昆仑山北坡及阿里西部的高寒荒漠, 尚有少量沙生针茅及垫状驼绒藜 (*C. compacta*)、西藏亚菊 (*A. tibetica*)、高寒棘豆 (*Oxytropis pincinsii*)、帕阿委陵菜 (帕米尔委陵菜、高原委陵菜) (*Potenfilla pamiroalaica*)、糙点地梅 (*Androsace squarrosula*) 等分布, 因其干旱, 牧草产量很低, 一般为 40 ~ 180 kg/hm² (表 1-4)。

表 1-4 高寒半荒漠和荒漠草地的气候与牧草产量

地点	海拔/m	年总辐射量 / (MJ/m ²)	牧草生长期		年降水量 /mm	年干燥度	优势饲用植物	草地产量 /(kg/hm ²)
			日数	≥0℃ 积温/℃				
改则	4415	7800	185	1497	166	8.41	高山绢蒿、驼绒藜	110 ~ 165
狮泉河	4278	8100	179	1556	86	22.28	沙生针茅、垫状驼绒藜、 灌木亚菊	110 ~ 165
冷湖	2733	7200	199	2310	18	71.82	怪柳、白刺、细枝盐爪爪	37 ~ 55

资料来源：同表 1-2

第三节 草地水资源

青藏高原拥有着非常丰富的水资源，其总量达 5688.61 亿 m³，占全国总水量的 20.23%。青藏高原冰川广布，冰川储量为 41 050.6 亿 m³，约占中国冰川总储量的 80%，多年评价融水量达 463.65 亿 m³，是高原许多河流的源头，长江、黄河、塔里木河、雅鲁藏布江（国外名称为布拉马普特拉河）、森格藏布河（国外名称为印度河）、澜沧江（国外名称为湄公河）、怒江（国外名称为萨尔温江）和恒河等亚洲主要河流均源于青藏高原的冰川融水。青藏高原的高寒草地接收冰川融水，孕育了河流、湖泊和沼泽等水体。

一、高原河流

青藏高原河流广布，水资源丰富。其中，流入太平洋的流量有 1966.93 亿 m³，流入印度洋的流量有 3211.5 亿 m³，流入内陆河流的流量有 150.18 亿 m³（表 1-5）。据考证，雅鲁藏布江（中国境内）全长 2057 km，流域面积超 24 万 km²，流域平均海拔 4500 m 左右，是世界上海拔最高的大河。青藏高原河川径流量年内分配不均，金沙江、澜沧江汛期径流占年径流的 60% 左右，怒江、雅鲁藏布江汛期径流占年径流的 70% ~ 80%。三江源地区的河川径流供给长江总水量的 25%、黄河总水量的 49%、澜沧江总水量的 15%。这些水资源顺着雅鲁藏布江、黄河、金沙江、澜沧江、怒江等大峡谷流下，滋润着青藏高原、黄土高原、云贵高原、四川盆地和长江中下游。因此，青藏高原又被称为中国的水塔。

表 1-5 青藏高原各水系、流域水资源量

水系	流域	面积/km ²	地表水资源量 /亿 m ³	地下水资源量 /亿 m ³	重复水量 /亿 m ³	水资源总量 /亿 m ³
太平洋水系	长江	415 368	1 391.02	476.38	476.38	1 391.02
	黄河	186 477	295.57	119.44	119.44	295.57
	澜沧江	90 633	280.34	119.17	119.17	280.34
	小计	692 478	1 966.93	714.99	714.99	1 966.93