

西藏高原

地表参数遥感监测方法研究

Remote Sensing of Terrestrial
Parameters in the Tibetan Plateau

除 多◎著



 气象出版社
China Meteorological Press

西藏高原地表参数 遥感监测方法研究

除 多 著

内容简介

本书以 MODIS 卫星为主要遥感信息源,结合同步的地面观测数据,建立了青藏高原草地地上生物量、植被覆盖度、地表温度、土壤湿度、地表反照率、蒸散量和湖泊面积等主要地表参数遥感监测方法和反演模型。研究成果不仅应用于揭示青藏高原地表与大气之间的能量平衡和交换过程,更为重要的是为青藏高原的植被长势、草地退化、干旱、森林火灾及生态环境变化的遥感监测领域服务。

本书内容丰富,突出基础研究与应用相结合,可供从事卫星遥感、气象、生态、草地畜牧业和青藏高原相关研究的科研业务人员及高等院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原地表参数遥感监测方法研究/除多著. —北京:
气象出版社,2015.12

ISBN 978-7-5029-5905-0

I. ①西… II. ①除… III. ①遥感技术-应用-青藏高原-地面观测 IV. ①P412.1-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285313 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑:蔺学东

封面设计:八 度

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:246 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

定 价:40.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:阳世勇

责任技编:赵相宁

印 张:9.5

彩 插:2

印 次:2015 年 12 月第 1 次印刷

前 言

地表特征和下垫面物理性质在时空分布上的差异,不仅对地表能量、动量和质量的分布产生极大的影响,而且地表特征参数的变化与环境变化过程和生态环境问题紧密相关。为了定量描述地—气间能量、动量和质量的交换过程及生态环境变化过程,首先需要精确地反演和监测地表特征参数,主要的地表特征参数有植被生物量、覆盖度、地表温度、土壤湿度、地表反照率、蒸散量及其他特征物理参数。定量监测和反演这些地表参数不仅是研究地表能量和物质平衡的基础,而且与干旱和植被退化等灾害和生态环境变化直接相关。在地表参数中,植被的生物量是一定区域内植被的生产量,对其估算不仅对研究陆地生态系统植被生产量、碳循环、营养分配等方面具有重要意义,而且生物量的大小直接影响人类对地表植被的利用特点;植被覆盖度是植被群落覆盖地表状况的一个综合量化指标,它不仅是区域生态系统环境变化的重要指标,而且对水文、生态、全球变化等都具有重要的意义;地表温度和土壤水分是地表与大气之间物质交换和能量平衡的重要参数,对于干旱、植被长势和森林火灾监测及其他灾害监测具有重要的理论和应用价值。

地表反照率表征地球表面对太阳辐射的反射能力,是制约地气系统辐射能量收支的关键因子,也是影响大气运动最重要的因素之一。反照率影响地—气间能量的交换,从而深刻影响局地、区域乃至全球的气候变化。精确计算下垫面反照率可以发现和揭示局地和区域气候形成的内在机制,提高中、长期气候预测的精度。蒸散发包括土壤蒸发和植物蒸腾,在全球水文循环中起着重要作用,有效估算蒸散发在区域农业生产、干旱区水资源的规划管理等方面具有重要的应用价值。

传统的地表参数是通过地面观测来获得的,这种定点观测方法精度较高,但是在地面布设的气象站和生态站毕竟分布有限,且仅能代表某一局地特点,在幅员辽阔、地形复杂的西藏高原等绝大部分地区地面观测获取的地表参数信息非常有限。由于遥感技术的飞速发展和各种不同时间、空间、波谱分辨率遥感数据的增多,近年来卫星遥感已成为地表参数反演和监测最为有效的手段,尤其是在大范围地表参数的监测和反演中发挥着不可替代的作用。其中,大尺度地表参数监测中目前应用最为广泛的是 Terra 和 AQUA 卫星所携带的中分辨率成像光谱仪 MODIS,该传感器是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器,其较高的光谱和空间分辨率特点,加上较为成熟的反演算法、根据不同用户需求开发的系列产品以及完善的产品共享网站,在区域到全球的地表参数、自然灾害与生态环境监测及全球变化的综合性研究中得到了广泛应用。

遥感监测地表参数是通过地表反射和发射的电磁波被卫星传感器接收信号强度的大小和差异来间接地获取地表参数的。此外,MODIS 等已有卫星遥感反演算法具有很强的区域性特点,其结果往往是针对某一特定地区的反演算法,对其他地区,尤其是像西藏高原这种高海拔、

复杂地形以及非均一下垫面地区往往并不适用或无法满足精度要求。所以,遥感反演和监测方法必须要通过地面观测数据针对局地到区域的特点进行验证和改进,进而提高反演和监测结果精度。因此,本书以 MODIS 卫星为主要遥感信息源,结合同步的地面观测数据,以青藏高原中部为主要研究区域,建立了一套适合青藏高原的地表参数遥感监测方法和反演模型。研究成果不仅应用于揭示青藏高原地表与大气之间的能量平衡和交换过程,更为重要的是为青藏高原的植被长势、草地退化、干旱、森林火灾及生态环境变化的遥感监测领域服务。

本书共 11 章,第 1 章系统地分析了高寒草甸、高寒草原、温性草原和高寒沼泽化草甸四种青藏高原典型草地类型地上生物量季节动态变化特征和生长规律。第 2 章阐明了基于 MODIS 遥感信息建立的青藏高原中部植被生长季节和不同月份草地地上生物量定量遥感监测模型和方法。第 3 章论述了高寒草原、高寒草甸和温性草原三个青藏高原典型草地类型的地上生物量估算模型和方法,并揭示了不同草地类型遥感监测方法上的差异。第 4 章在分析藏北主要草地类型的地上生物量大小和差异基础上,建立了基于 MODIS 植被指数的草地地上生物量遥感监测和估算模型。第 5 章重点描述了草地地上生物量与土壤湿度之间的关系。第 6 章和第 7 章分别论述了基于 MODIS/Terra 遥感数据的青藏高原植被覆盖度估算方法和土壤水分遥感监测模型。第 8 章利用 MODIS 遥感数据反演了青藏高原中部的地表温度,并将反演结果分别与 NASA 地表温度标准产品和气象站实测地表温度进行了对比与验证。第 9 章首先利用藏北那曲反照率地面观测数据分析了其日内、月均和季节变化特点,在此基础上,与同期的 MODIS/Terra 反演结果进行了对比分析,并提出了改进的反照率遥感反演模型。第 10 章利用 SEBS 模型结合 MODIS 数据和气象观测数据,计算了藏北那曲的地表蒸散量,并针对藏北高原特点提出了改进方案。湖泊作为青藏高原重要的地表特征参数之一,湖泊水域的变化不仅是流域水量平衡的综合结果,对气候变化和人类活动的影响具有高度敏感性,为此,以青藏高原南部典型湖泊羊卓雍错为例,在最后一章着重介绍了湖泊面积变化的遥感监测方法,并对其主要驱动因子进行了分析。书中最后部分附有所有草地地上生物量观测数据,仅供相关科研人员参阅和应用。

本专著的第 8 章和第 10 章是在作者的指导下分别由贺洁颖和拉巴本撰写的,其余是作者和课题参与人员多年科研工作的积累和总结。本书研究成果从野外观测采样到最后的出版得到了西藏自治区重点科技计划项目(201015)、国家自然科学基金项目(40361001)和中国气象局公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206040)的共同资助,特此表示感谢。由于这些不同来源的项目资助使得本研究野外观测、室内分析以及最终的成果展现给读者成为可能。此外,我的同事德吉央宗、普布次仁、次仁多吉、程华、姬秋梅、唐洪、扎西顿珠等参加了大量的野外观测,以及气象出版社的蔺学东老师在出版过程中给予了大量帮助,一并致以谢意。

本书多数章节经过同行专家的评审和多次修改,由于作者水平所限,在很多方面可能存在不足与改进之处,希望广大读者批评指正。

除 多

2015 年 5 月 5 日于拉萨

目 录

第 1 章 典型草地地上生物量季节变化特征	1
1.1 材料与方法	2
1.2 分析与结果	4
1.3 结论	13
参考文献	14
第 2 章 草地地上生物量遥感估算方法	16
2.1 材料与方法	17
2.2 结果与分析	19
2.3 结论与讨论	23
参考文献	24
第 3 章 典型草地地上生物量遥感估算方法	26
3.1 研究区及数据源	27
3.2 研究方法	29
3.3 结果与分析	29
3.4 结论与讨论	37
参考文献	38
第 4 章 藏北草地地上生物量及遥感监测模型	40
4.1 研究区概况	41
4.2 数据及处理方法	42
4.3 结果分析	44
4.4 结论	49
参考文献	50
第 5 章 草地地上生物量与土壤湿度之间的关系	52
5.1 材料与方法	53
5.2 结果与分析	55
5.3 结论与讨论	60
参考文献	61
第 6 章 地表植被覆盖度估算方法	63
6.1 研究区域概况	64
6.2 数据源	64
6.3 方法与分析	65

6.4 结论与讨论	69
参考文献	69
第7章 土壤水分遥感监测方法	72
7.1 研究区域概况	73
7.2 数据源及处理	73
7.3 研究方法	75
7.4 分析与结果	77
7.5 结论	83
参考文献	84
第8章 地表温度反演方法	86
8.1 研究区域概况与数据	87
8.2 地表温度及各参数的反演方法	89
8.3 结果分析与讨论	92
8.4 结论	95
参考文献	96
第9章 地表反照率反演方法	98
9.1 观测站点和资料介绍	99
9.2 研究方法	101
9.3 地面观测的反照率变化	102
9.4 MODIS 反照率反演值验证	105
9.5 结论	107
参考文献	107
第10章 蒸散量遥感估算方法	110
10.1 研究区域概况	111
10.2 数据来源	111
10.3 研究方法和模型	113
10.4 结果及分析	114
10.5 结论	117
参考文献	117
第11章 典型湖泊面积遥感监测方法与分析——以羊卓雍错为例	120
11.1 研究区域概况	121
11.2 数据源及方法	122
11.3 结果分析	124
11.4 结论与讨论	130
参考文献	131
附录	134

Contents

Chapter 1

Seasonal Dynamics of Aboveground Biomass of Typical Grassland Types on the Tibetan Plateau

1

1.1

Materials and methods

2

1.2

Analysis and results

4

1.3

Conclusions

13

References

14

Chapter 2

The Study on Aboveground Biomass Estimate Methods of Grassland in the Central Tibet

16

2.1

Materials and methods

17

2.2

Results and analysis

19

2.3

Conclusions and discussions

23

References

24

Chapter 3

Aboveground Biomass Estimate Methods for Typical Grassland Types on the Tibetan Plateau

26

3.1

Study area and data

27

3.2

Study methods

29

3.3

Results and analysis

29

3.4

Conclusions and discussions

37

References

38

Chapter 4

Aboveground Biomass in the North Tibet and Estimate Model Using Remote Sensing Data

40

4.1

Overview of the study area

41

4.2

Data and processing methods

42

4.3

Results and analysis

44

4.4

Conclusions

49

References

50

Chapter 5

The Study on Soil Moisture Role in the Grassland Aboveground Biomass in the Central Tibet

52

5.1

Materials and methods

53

5.2

Results and analysis

55

5.3

Conclusions and discussions

60

References

61

Chapter 6	Vegetation Coverage Estimate Methods on the Tibetan Plateau Using EOS/MODIS	63
6.1	Overview of the study area	64
6.2	Data sources	64
6.3	Methods and analysis	65
6.4	Conclusions and discussions	69
	References	69
Chapter 7	Approach to Monitoring Soil Moistures Using MODIS Imagery in Tibet	72
7.1	Overview of the study area	73
7.2	Data and processing methods	73
7.3	Research methods	75
7.4	Analysis and results	77
7.5	Conclusions	83
	References	84
Chapter 8	Retrieval Methods of Land Surface Temperature in the Central Tibetan Plateau	86
8.1	Study area and data	87
8.2	Retrieval methods of land surface temperature and related parameters	89
8.3	Result analysis and discussions	92
8.4	Conclusions	95
	References	96
Chapter 9	Land Surface Albedo in the North Tibet from Ground Observations and MODIS	98
9.1	Observation site and data	99
9.2	Study methods	101
9.3	Albedo change from ground observations	102
9.4	Validation of MODIS retrieved land surface albedo	105
9.5	Conclusions	107
	References	107
Chapter 10	Evapotranspiration Estimate in the North Tibet based on SEBS Model	110
10.1	Introduction to the study area	111
10.2	Data sources	111
10.3	Study methods and SEBS model	113
10.4	Results and analysis	114
10.5	Conclusions	117
	References	117
Chapter 11	Lake Area Variations of Yamzho Yumco over Last 40 Years on the Tibetan Plateau	120
11.1	Overview of the study area	121

11.2 Data sources and methods 122

11.3 Results and analysis 124

11.4 Conclusions and discussions 130

References 131

Appendix 134

第1章 典型草地上生物量季节变化特征

【摘要】 采用高寒草甸、高寒草原、高寒沼泽化草甸和温性草原4种青藏高原典型草地类型地上生物量定点观测数据,分析了其地上生物量季节动态变化特征和生长规律。结果表明,高寒沼泽化草甸地上生物量最高,其中的围网草地年均地上生物量达 $384.45 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,比无围网草地地上生物量高73%,且是温性草原类草地生物量的6倍,是高寒草甸和高寒草原类草地的12~14倍,与自由放牧相比,围栏禁牧措施可以明显提高草原地上生物量,是改良退化草地最有效的措施之一;温性草原草地生产力大于高寒草甸和高寒草原,城市附近山地草地生物量显著大于远离城市的地区,表明城市化进程降低了天然草地放牧强度,是恢复退化草地生产力的有效途径之一;属半干旱气候类型的青藏高原中部,降水是制约草地植被生长的主要因子;草地地上生物量的绝对增长速率和相对增长速率的季节动态均在生物量达到高峰期前是正增长,之后为负增长。区域水热条件差异及其季节性变化导致了不同草地类型或同一类型不同区域的草地最快生长期在出现的时间上存在一定的差别。

【关键词】 典型草地 地上生物量 季节变化 青藏高原

生物量是草地生态系统获取能量、固定 CO_2 的物质载体,是生态系统结构组建的物质基础^[1-3]和生态系统最基本的数量特征之一^[4]。在草地生态系统中,草地生物量是最为活跃的碳库,代表初级生产力的基本水平,决定草场的载畜能力^[5,6]。草地地上生物量的动态变化研究,可以为人们了解草地生态系统的物质循环和能量流动提供基本资料,生物量的大小和季节变化直接影响人类对草地资源的利用方式,是实现草地可持续利用和管理的重要理论根据。

近年来,很多学者对青藏高原的草地地上生物量季节动态及草地生态系统碳循环开展了许多研究^[7-10]。西藏是青藏高原的主体,也是我国5大牧区之一。草地是西藏分布面积最广的生态系统类型,是西藏畜牧业赖以生存和发展的物质基础。根据20世纪80年代开展的西藏自治区第一次草地资源调查结果^[11],西藏各类天然草地面积为 $8106.71 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国天然草地总面积的五分之一,居各省(区、市)之首。西藏天然草地面积占西藏总土地面积的71.15%,是西藏农耕地面积的232倍,是各类林地面积的11.4倍。草地在各土地类型面积中所占比例位居全国首位。西藏各草地类中,按草地面积大小排列以高寒草原类草地分布面积最大,有 $3158.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全区草地面积的38.94%,其次是高寒草甸草地类,面积 $2536.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占31.27%,两者的面积为西藏天然草地总面积的70.21%,为西藏天然草

地的主导类型;第3是高寒荒漠草原草地类,面积 $867.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占10.70%;第4是高寒草甸草原草地类,面积 $593.90 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占7.32%;第5是高寒荒漠草地类,面积 $544.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占6.71%;第6是温性草原草地类,面积 $178.60 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占2.2%;第7是山地草甸类,面积 $132.83 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占1.64%。以上7个草地类面积占全区草地面积的98.78%,是西藏草地的主体类型。

由于西藏高原独特的地理位置、复杂的气候类型和多样的环境形成了类型繁多而复杂的草地植被,既有热带、亚热带分布的草地类型,又有温带、亚寒带、寒带分布的草地类型。因此,从西藏高原复杂的草地植被类型中选取代表性的草地植被类型,研究其生物生产力的季节性动态变化规律,不仅能揭示高寒草原不同生态系统的结构、功能及生物生产力形成机制等生态过程,有助于了解草地生产力的时空分布特点和利用方式,而且对如何有效地开发和利用草地资源,优化草地资源的管理模式和利用方式,进而实现草地资源的可持续发展具有重要的理论和生产指导意义。

本章采用西藏高原高寒草甸、高寒草原、高寒沼泽化草甸和温性草原4种典型草地类型地上生物量定点观测数据,分析其季节动态变化特征和生长规律,揭示不同草地类型或同一类型不同区域的草地生物量在时间和空间上存在的差异,旨在为西藏草地资源的合理利用与管理、优化放牧结构和时间以及退化草地的恢复重建等提供基础资料和科学参考依据。

1.1 材料与方法

1.1.1 采样点概况

草地生物量野外采样点设置在西藏高原中部当雄县、墨竹工卡县和拉萨市周边,共8个采样点。该地区属于高原温带半干旱季风气候区,年均气温 $1.5 \sim 7.8^\circ\text{C}$,分布特点是由南部雅鲁藏布江河谷和拉萨河谷向北部逐渐降低;年降水量为 $340 \sim 594 \text{ mm}$,呈从东向西逐渐减少趋势^[12]。

8个草地采样点的草地类型、植被类型、经纬度、高程等信息见表1.1,其中草地类型和植被类型数据源自西藏自治区第一次草地资源普查成果图件。采样点当雄D和日多A属于高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为建群种的典型天然高寒草甸草原类型,其中当雄D位于当雄谷地远离公路和人类活动影响小的山坡上,而日多A位于其东部170 km处的墨竹工卡县日多乡东面宽阔平坦地段。当雄B和羊八井采样点是紫花针茅(*Stipa purpurea*)为建群种的典型高寒草原草地,伴有小莎草,都位于当雄谷地,两者相距近80 km,其中当雄B位于当雄县城以西远离公路的地段,羊八井采样点则位于羊八井镇北面远离公路和人类活动影响小的地段,都为天然草原。拉木乡和拉萨采样点位于拉萨河谷南面相对平缓的山麓冲积扇上,属藏白蒿(*Artemisia younghusbandii*)为建群种的西藏高原中部典型温性草原类型。采样点当雄A和日多B属于低地高寒沼泽化草甸,其中,当雄A位于当雄县城北侧500 m处,有围栏网保护,用于春季放牧,建群种为藏北嵩草(*Kobresia littledalei*);日多B位于当雄A采样点东部128 km处墨竹工卡县境内谷地,没有围栏网保护,建群种为小叶金露梅(*Dasiphora parvifolia*),伴有高山嵩草等草地类型。

表 1.1 草地生物量采样点信息及数据源

Table 1.1 Grassland and vegetation types of 8 sampling points and data sources

采样点	经度 (°E)	纬度 (°N)	海拔高程 (m)	草地类型	主要植被类型	数据源
当雄 D	90.6275	30.2000	4590	高寒草甸 Alpine meadow	高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	文献[13]
日多 A	92.2927	29.6908	4418	高寒草甸 Alpine meadow	高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	文献[14]
当雄 B	91.0959	30.4948	4249	高寒草原 Alpine steppe	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	文献[13]
羊八井	90.4720	30.0761	4300	高寒草原 Alpine steppe	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	文献[13]
拉木乡	91.5444	29.8043	3720	温性干草原 Temperate steppe	藏白蒿 <i>Artemisia younghusbandii</i>	文献[14]
拉萨	91.1452	29.6251	3693	温性干草原 Temperate steppe	藏白蒿、白草 <i>Artemisia younghusbandii</i> , <i>Pennisetum flaccidum</i>	文献[14]
当雄 A	91.1257	30.4975	4233	高寒沼泽化草甸 Alpine swamp meadow	藏北嵩草 <i>Kobresia littledalei</i>	文献[13]
日多 B	92.0968	29.7099	4150	高寒沼泽化灌丛草甸 Alpine swamp meadow	小叶金露梅、高山嵩草 <i>Dasiphora parvifolia</i> , <i>Kobresia pygmaea</i>	文献[14]

1.1.2 研究方法

1.1.2.1 地上生物量的测定

8个典型草地类型的采样点设置在草地植被空间分布比较均一的地方。2004年1—12月对这8个采样点用收割样方称重法开展了每月15日和30日前后3 d内两次的草地地上生物量(aboveground biomass, AGB)采样工作,每次采样有50 cm×50 cm的3个小样方,同时记录观测点的GPS数据、海拔高程、土地利用类型等。AGB观测步骤:首先用50 cm×50 cm面积的正方形线圈在草地采样点随机抛出,然后用锋利的刀片将3个50 cm×50 cm样方内的草地地上部分齐地面全部刈割,然后除去黏附的土壤、砾石等杂物后装入纸袋全部带回西藏自治区畜牧科学研究所草原试验室晒干,在实验室对所有样品的鲜草和干枯(包括立枯物和凋落物)部分分别进行分拣,之后在草原实验室的85℃烘箱中烘干至质量恒定后分别称重,最后3个样方内的质量求平均。绿色鲜草部分的质量即为草地鲜草的干物质质量(fresh dry matter, FDM),以下简称鲜质量;草地干枯质量包括立枯物和凋落物的质量(dead dry matter, DDM),以下简称干枯质量;这两个部分的合计值为草地干物质总和,亦即草地地上生物量(AGB),或称为草地总地上生物量。最后都换算成单位面积地上干物质质量(g·m⁻²)。

1.1.2.2 生物量增长率计算

植被的绝对增长速率(absolute growth rate, AGR)和相对增长速率(relative growth rate, RGR)用于分析和解释单位时间内生物量的净积累值。计算公式如下^[15,16]：

$$AGR = \frac{B_{i+1} - B_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (1-1)$$

$$RGR = \frac{\ln B_{i+1} - \ln B_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (1-2)$$

式中： B_{i+1} 、 B_i 分别是 t_{i+1} 、 t_i 时刻的地上生物量。

1.2 分析与结果

1.2.1 高寒草甸地上生物量变化

高寒草甸类草地,是在寒冷而湿润的气候条件下,由耐寒的多年生中生草本植物为主而形成的一种矮草草地类型。西藏高原的高寒草甸一般多分布在海拔 4000 m 以上的高山地带,面积为 $2536.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占西藏总天然草地面积的 31.27%,为西藏第二大面积的草地类型,仅次于高寒草原草地类型^[11]。

采样点当雄 D 和日多 A 是典型的高寒草甸类草原。当雄 D 点的地上生物量变化特点是 1—4 月有减小趋势,值也比较小,一般在 $18.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下,且都为干枯草地。年内地上生物量最小值出现在 4 月,只有 $9.94 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。受低温的影响,该地区草地的返青期都比较晚,从 5 月初开始有鲜草出现,但其所占份额仍较小,为 18.83%,5 月下旬这一比例又迅速上升,达 64.21%;之后随着植物生长发育节律、气温的回升和降水量的增加,草地生物量的累积率迅速增大,草地产量迅速增大,8 月地上生物量达到年内最大值,总地上生物量和鲜草质量分别为 $49.63 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $47.74 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,鲜质量成分在 96% 以上,为年内最大(图 1.1)。从 9 月开始,

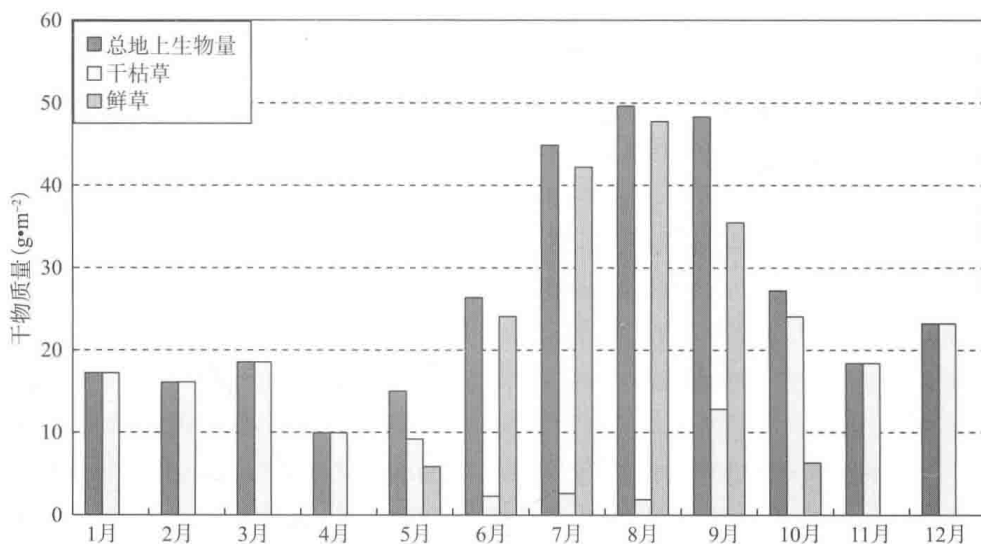


图 1.1 2004 年观测点当雄 D 月均地上生物量、鲜质量及干枯质量变化

Fig. 1.1 Monthly mean AGB, FDM and DDM of alpine meadow in Dangxiong D sample site in 2004

随着气温的下降和雨季的结束,地上生物量开始呈下降趋势,10月鲜草比重已降至23%,之后的11—12月只有干枯物质,大小一般保持在 $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右。该点在7—8月夏季生物量都较大,处于一年中草地产量最高的阶段,在 $44\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上,其中鲜草的比重在94%以上(表1.2)。年均地上生物量为 $26.24\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,其中鲜质量和干枯质量各占一半,分别为 13.47 和 $13.03\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

表 1.2 2004 年青藏高原典型草地类型月均鲜草干物质质量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

Table 1.2 Monthly mean fresh dry matter(FDM)of 4 typical grassland types in 8 sample sites in 2004

月份		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
高寒 草甸	当雄 D	0	0	0	0	5.85	24.08	42.21	47.74	35.49	6.30	0	0
	比例(%)	0	0	0	0	38.95	91.25	94.13	96.19	73.48	23.14	0	0
	日多 A	0	0	0	1.89	4.20	19.67	61.11	55.37	27.65	0	0	0
	比例(%)	0	0	0	6.10	14.71	62.17	92.38	95.53	62.94	0	0	0
高寒 草原	当雄 B	0	0	0	1.26	5.46	24.57	45.15	44.52	38.15	5.04	0	0
	比例(%)	0	0	0	11.25	36.97	87.31	93.89	87.12	78.19	19.62	0	0
	羊八井	0	0	0	2.10	8.75	28.14	43.89	44.17	29.05	0	0	0
	比例(%)	0	0	0	11.38	40.45	94.37	92.34	90.33	62.22	0	0	0
温性 草原	拉木	0	0	0	4.90	6.58	21.91	51.10	60.69	36.54	7.63	0	0
	比例(%)	0	0	0	15.77	30.42	66.45	90.84	85.00	64.36	13.49	0	0
	拉萨		0	0	0	22.54	38.99	75.64	74.31	68.60	23.45	0	0
	比例(%)		0	0	37.79	67.96	89.90	80.45	66.58	18.09	0	0	0
高寒 沼泽 化草 甸	当雄 A	0	0	0	2.52	53.20	135.38	447.23	500.43	616.46	36.12	52.08	0
	比例(%)	0	0	0	1.38	29.11	66.97	90.84	95.43	86.64	6.55	12.11	0
	日多 B	0	0	0	7.21	85.05	178.99	229.25	217.88	232.82	34.72	0	0
	比例(%)	0	0	0	4.30	37.04	73.07	89.80	80.73	78.36	16.69	0	0

同样,作为典型的高寒草甸类草地,日多 A 采样点月均生物量变化特点表现为:1—3月和10—12月草地地上生物量都以干枯物质形式存在,其中3月份处于年内草地产量最低的阶段,只有 $21.77\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,4月开始随着温度的逐渐上升,植被开始返青,出现了鲜草,但所占比重在6.5%以下,5月上升至14.71%,6月草地产量明显增大,鲜草比重达62.17%,7月达到年内最大值,为 $66.15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,且大多为年内生长的鲜草部分,比重为92.38%,8月开始草地产量开始逐渐下降,但生物量保持在 $58.00\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,7—8月的鲜草部分比重很大,在92%以上(表1.2),9月开始草地产量显著减少,但鲜草的比例还在62%左右,到了10月便没有鲜草部分,仅为干枯物质(图1.2)。年均地上生物量为 $35.97\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,其中鲜质量和干枯质量分别为 14.16 和 $21.89\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,干枯草地所占的比例相对较大一些,在60%左右。

由于东西部地区水热条件差异,即降水由东向西减少和温度由南向北部逐渐递减等水热条件的空间差异,加之西藏的雨季由东南向西北逐步推进的季节格局,同类型草地的地上生物量在东西部存在显著的时空差异。东部墨竹工卡县境内的草地产量明显高于西部当雄地区,西部当雄 D 采样点的年均地上生物量为东部日多 A 采样点的73%;东部在7月生物量达到年

内最大值,而西部当雄 D 则在 8 月达到年内最大值;东部 4 月草地植被开始返青,西部从 5 月初开始有鲜草出现;东部从 10 月开始植被都已干枯,而西部地区仍有鲜草。东西部在草地植被的返青和生长季结束的时间上大致存在 1 个月的差异。在草地植被生长期地上生物量的季节变化均表现为单峰型。

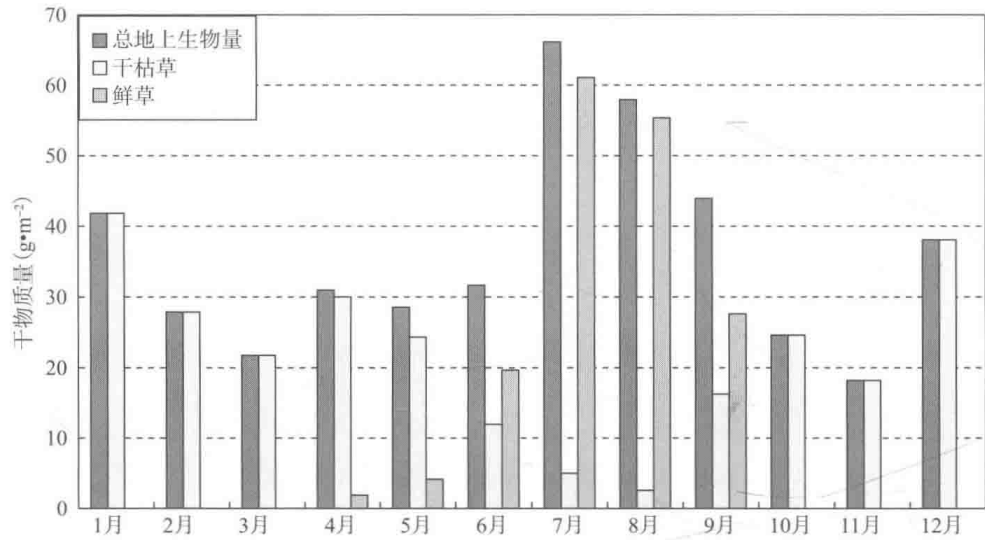


图 1.2 2004 年日多 A 采样点月均地上生物量、鲜质量及干枯质量变化

Fig. 1.2 Monthly mean AGB, FDM and DDM of alpine meadow in Riduo A sample site in 2004

1.2.2 高寒草原地上生物量变化

高寒草原是在高山和青藏高原寒冷干旱的气候条件下,由耐寒的多年生旱生草本植物或小半灌木为主所组成的高寒草地类型^[11]。青藏高原是我国高寒草原类草地的集中分布区,一般分布在海拔 4300~5200 m,面积为 $3158.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占西藏草地面积的 38.94%,是西藏分布最广、面积最大的一个草地类,广泛分布于藏北羌塘高原内陆湖盆区、藏南山原湖盆、宽谷区和雅鲁藏布江中游河谷区。

典型高寒草原草地类型采样点当雄 B 的地上生物量季节变化特点主要表现在:春季一般在 $14.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下,冬季平均为 $18.90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,且均为干枯草地,夏季最高,平均为 $42.48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,秋季则为 $27.39 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。月均地上生物量变化特点是:3 月最低,只有 $9.94 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,4 月开始随着气温的上升,草地植被开始返青,有鲜草出现,但所占的比重小于 11.25%,此后,随着气温的进一步上升,植被光合作用增强,草地生物量累积迅速,主要体现在鲜草占总生物量的比例逐渐增大(表 1.2),6—8 月鲜草比重在 87% 以上,其中 7 月比重最大,为 93.89%,8 月地上生物量达到年内最大值,为 $51.10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,10 月开始随着气温的下降和雨季的结束,草地群落植物叶片开始枯黄,光合作用减弱,植物体逐渐衰老,枯落量增加,营养物质不断流失并向地下根系转移,导致地上生物量下降趋势显著,从 7—9 月的 $48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上下降至 10 月的 $25.69 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,且干枯草地比重上升至 80% 以上,11—12 月只有干枯部分,在 $24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下(图 1.3)。年均地上生物量为 $25.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,其中鲜质量和干枯质量分别占 54.33% 和 45.67%。在 4—10 月,植被生长期总地上生物量和鲜草生物量的年内变化均表现为单峰型。

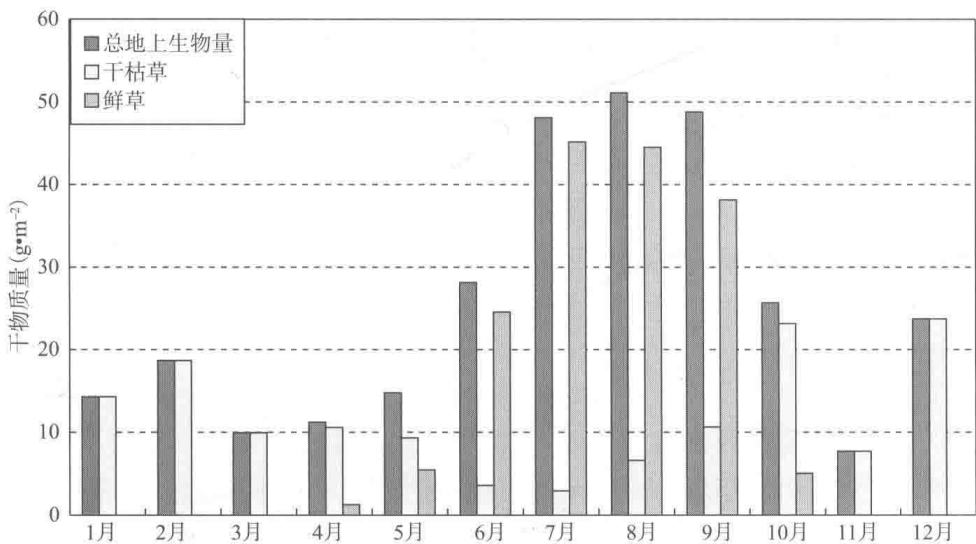


图 1.3 2004 年高寒草原草地类型当雄 B 采样点月均地上生物量、鲜质量及干枯质量变化

Fig. 1.3 Monthly mean AGB, FDM and DDM of alpine steppe in Dangxiong B sample site in 2004

同样为高寒草原类型的羊八井采样点的草地地上生物量季节变化特点是:春季生物量最低,为 $19.30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,其次为冬季($19.89 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)和秋季为($31.90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$),夏季草地的产量最大,达 $42.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,年平均生物量为 $28.30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,其中鲜质量和干枯质量分别为 13.01 和 $15.29 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。月均变化特点是:1—3月地上生物量在 $18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下,其中 1 月为年内最低,仅为 $5.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,4 月开始随气温的上升,植被开始返青,有绿色的鲜草出现,但其比重很小,仅为 11.39% ,5 月上升至 40.45% ,6—8 月夏季 3 个月这一比重在 90% 以上(表 1.2)。其中,8 月达到 $48.90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的月均最大值,其鲜草也最大,为 $44.17 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,9 月开始进入秋季,随着气温的下降和雨季的结束,草地的光合作用减弱,草地开始枯黄,导致地上生物量呈下降态势,特别是鲜草部分的比重减少趋势尤为明显,10 月至翌年 2 月仅为残留的干枯草地部分。草地生长期的 4—9 月,地上生物量和草地鲜草部分的变化都表现为单峰型(图 1.4)。

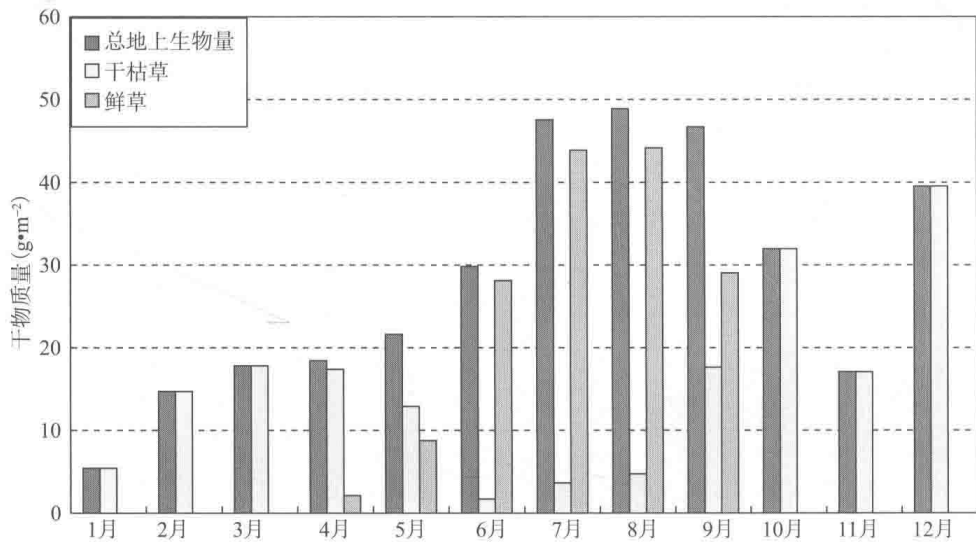


图 1.4 2004 年高寒草原草地类型羊八井采样点月均地上生物量、鲜质量及干枯质量变化

Fig. 1.4 Monthly mean AGB, FDM and DDM of alpine steppe in Yangbajing sample site in 2004