

祁连山北坡天然草地地上生物量及其与土壤水分关系的比较研究

黄德青^{1,2}, 于兰³, 张耀生^{1*}, 赵新全¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所 高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001; 2. 桂林师范高等专科学校化工系, 广西 桂林 541002; 3. 桂林医学院基础医学院, 广西 桂林 541004)

摘要:祁连山北坡天然草地植被以高寒草原、山地草甸、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原等类型为主, 对这5种天然草地地上生物量观测结果显示, 地上生物量在5类草地植物群落间差异显著($P < 0.05$), 其季节动态规律均表现为单峰型, 在8月下旬达生物量峰值。5种草地类型地上生物量以山地草甸(100.24 g/m^2)最高, 其他依次为山地草甸草原(71.24 g/m^2)、山地草原(70.20 g/m^2)、高寒草原(52.40 g/m^2)和山地荒漠草原(20.44 g/m^2); 用Logistic方程模拟的地上生物量增长曲线表明5类草地群落地上生物量均未达到其环境最大容纳量。不同草地类型地上生物量与降水量、土壤平均含水量的累加值均呈正相关关系。在各种类型草地中, 不同土层含水量对地上生物量的影响均不同, 根系主要分布层内的含水量与地上生物量显著相关($P < 0.05$)。

关键词:祁连山; 天然草地; 地上生物量; 土壤水分

中图分类号: S812; S155.4⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2011)03-0020-08

* 草地生态系统是全球分布最广的生态系统类型之一, 在全球碳循环和气候调节中起重要作用^[1]。生物量是草地生态系统获取能量、固定 CO_2 的物质载体, 也是生态系统结构组建的物质基础, 因此, 植物生物量的研究引起了国内外草地生态学者普遍重视^[2], 我国对不同地区、不同类型草地植物生物量也开展了广泛研究^[3-17]。

有关祁连山区天然草地的报道主要集中在群落结构、资源利用、土壤有机质等方面^[18-24], 而对生物量动态方面的研究甚少^[25]。近年来, 由于受气候暖干化和过度放牧等因素的综合影响, 导致祁连山区天然植被全面退化, 严重影响了其水源涵养功能的发挥; 而祁连山北坡因地形地貌、海拔悬殊等差异的存在, 导致气候在水平、垂直方向都有明显的差异, 使得水热重新分配组合, 形成复杂多样的小气候, 分布着类型各异的天然草地, 这些广袤的天然草地正是河西走廊重要的生态屏障。因此, 探讨这些不同类型天然草地地上生物量动态与形成规律, 以及水分因子与生产力的定性和定量关系显得非常重要。为此, 作者于2004年对祁连山北坡主要天然草地的地上生物量和土壤水分进行了连续定点观测, 以期深入了解祁连山区不同类型天然草地形成规律和生产力状况以及为该区退化植被的恢复与生态环境综合治理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验区设在黑河上游的甘肃省肃南裕固族自治县, 地处祁连山北坡中段、河西走廊南侧, 位于东经 $97^{\circ}20' \sim 102^{\circ}13'$ 、北纬 $7^{\circ}28' \sim 39^{\circ}49'$, 属大陆性高寒半干旱气候。本研究以占肃南县草地总面积 63.2% 的5种主要的天然草地类型, 即高寒草原、山地草甸、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原为对象, 在各草地类型设立相应观测点, 各草地类型立地条件的基本概况和群落主要植物分别见表1和表2。

1.2 研究方法

1.2.1 群落地上生物量的测定与计算 从2004年5月牧草返青至2004年10月下旬生长末期, 在所选样地内随机设置面积 $0.25 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$ 的样方5个, 每次每区共计15个样方。采用收获法测定各样方的地上生物量, 然后带回室内在 80°C 恒温下烘干称重; 同时调查每种样地的植物种类组成和数量特征, 包括密度、盖度、高度等。

* 收稿日期: 2010-04-20; 改回日期: 2010-07-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC61B03-1, 2006BAC01A02), 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2XB20601), 中国科学院知识创新工程重大项目(kzcx1-09-01)和中国科学院西北高原生物研究所知识创新重点领域项目(ejc020144)资助。

作者简介: 黄德青(1980-), 男, 山东定陶人, 讲师。E-mail: huangdeqing2008@163.com

* 通讯作者。E-mail: zys@nwipb.ac.cn

表 1 5 个观测点的基本概况

Table 1 General situation of five observation stations

| 草地类型 Grassland type | 经纬度 Longitude-latitude | 海拔 Altitude (m) | 土壤类型 Soil type | 年均降水量 Precipitation (mm) | 年均气温 Temperature (°C) |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------------|---|-----------------------------|--------------------------|
| 高寒草原 Alpine steppe | E 98°14' N 39°06' | 3 445 | 高山草原土 Alpine steppe soil | 252 | -3.1 |
| 山地草甸 Mountain meadow | E 99°48' N 38°46' | 3 134 | 亚高山灌丛草甸土 Subalpine shrubby meadow soil | 300~500 | -5.4~0 |
| 山地草甸草原 Mountain meadow steppe | E 99°49' N 38°48' | 2 950 | 山地暗栗钙土 Mountain dark chestnut soil | 370~450 | 0 |
| 山地草原 Mountain steppe | E 99°54' N 38°49' | 2 785 | 山地栗钙土 Mountain chestnut soil | 260~491 | 0.2~2.1 |
| 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland | E 98°00' N 39°11' | 2 861 | 山地棕钙土 Mountain brown calcic soil | 254 | ≥3.6 |

注:年均降水量和年均气温引自《甘肃省肃南裕固族自治县牧业区划报告汇编》。

Note: Annual average precipitation and temperature are quoted from Assembly Report of Animal Husbandry Divisions in Sunan Yugur Autonomous County of Gansu Province.

表 2 5 种草地的主要植物种组成

Table 2 Main plant species of five grassland types

| 草地类型 Grassland type | 主要植物种 Main plant species |
|-------------------------------------|---|
| 高寒草原 Alpine steppe | 紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i> 、异针茅 <i>S. aliena</i> 、苔草 <i>Carex</i> spp.、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i> 、二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> 、垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i> |
| 山地草甸 Mountain meadow | 金露梅 <i>P. fruticosa</i> 、线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i> 、黑褐穗苔草 <i>C. atrofusca</i> subsp. <i>minor</i> 、二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i> 、珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i> 、直梗唐松草 <i>Thalictrum przewalskii</i> 、紫花地丁 <i>Viola yedoensis</i> 、紫菀 <i>Aster tataricus</i> 、风毛菊 <i>Saussurea japonica</i> 、火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i> |
| 山地草甸草原 Mountain meadow steppe | 大针茅 <i>S. grandis</i> 、赖草 <i>Aneurolepidium dasystachys</i> 、垂穗披碱草 <i>E. nutans</i> 、早熟禾 <i>P. annua</i> 、扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i> 、狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i> 、长柱灯心草 <i>Juncus przewalskii</i> 、乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i> 、醉马草 <i>A. inebrians</i> |
| 山地草原 Mountain steppe | 西北针茅 <i>S. sareptana</i> var. <i>krylovii</i> 、短花针茅 <i>S. brevisflora</i> 、多茎委陵菜 <i>P. multicaulis</i> 、扁穗冰草 <i>A. cristatum</i> 、野决明 <i>Thermopsis lanceolata</i> 、紫菀 <i>A. tataricus</i> 、早熟禾 <i>P. annua</i> 、天山鸢尾 <i>Iris loczyi</i> 、赖草 <i>A. dasystachys</i> 、碱韭 <i>Allium polyrhizum</i> |
| 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland | 米蒿 <i>Artemisia dalai-lamae</i> 、新麦草 <i>Psathyrostachys kronenburgii</i> 、芨芨草 <i>A. splendens</i> 、赖草 <i>A. dasystachys</i> 、松叶猪毛菜 <i>Salsola larici folia</i> |

为了描述单位生物量单位时间内生物量的净积累值,计算了 5 类天然草地的绝对增长速率(absolute growth rate,AGR)和相对增长速率(relative growth rate,RGR)。计算公式如下^[26,27]:

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

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

式中, Q_{i+1} 、 Q_i 分别表示 t_{i+1} 、 t_i 时刻的地上生物量。

各天然草地群落地上生物量(w)的增长和时间(t)之间的动态函数可由 Logistic 方程表示^[28],其通式为:

$$w = k_i / [1 + \exp(A_i + B_i t)] \quad (3)$$

式中, w 为各草地群落地上生物量(g/m^2), t 为牧草返青后生长天数($d, 0 < t < 140$), k_i 为各草地群落地上生物量

的可能最大值(即环境最大容纳量), i 代表植物群落及各草地群落($i=1,2,3,4,5$), A_i 、 B_i 为常数。

1.2.2 土壤水分的测定 在设置样地内,与地上生物量同时测定(除4月外)。于2004年4—10月下旬每月测定1次,采用土钻法分层取样,取样深度为120 cm,各层分别为0~10,10~20,20~40,40~60,60~80,80~100和100~120 cm,共7个层次,每层重复取样5次,然后用烘干法(105℃)烘干称重,取其平均值为该层的土壤水分含量。土壤含水量的计算公式为:

$$\text{土壤含水量} = [(\text{土壤湿重} - \text{土壤干重}) / \text{土壤干重}] \times 100\% \quad (4)$$

1.2.3 降水量 观测样地内采用气象站用的常规雨量筒测定。

1.3 统计分析

用Excel 2003软件作图,SPSS 11.5进行地上生物量的差异显著性检验,以及与土壤水分的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 地上生物量季节动态及比较

祁连山北坡草地植被由于受低温的影响,植物的返青期都比较晚,一般在5月初各草地植被才陆续返青,地上生物量从牧草返青开始积累,并随着植物生长发育节律、气温的回升和降水量的增加而逐步增长。在整个生长期各草地群落地上生物量的季节变化均表现为单峰型,并且变化趋势基本一致(图1),各草地群落地上生物量最高峰在牧草发育95~115 d时相继出现,即8月下旬—9月初。这与杨福国等^[29]在青海海北高寒草甸区所做的工作是一致的。以此时的峰值生物量作为净初级生产量较为合适^[30]。生长高峰期过后,随着秋季的来临,气温下降,各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,导致地上生物量日趋减少,直到枯黄时停止。

同时,由于各草地群落的生态环境条件、种类组成以及优势种植物的差异性较大,其干物质积累过程不尽相同。方差分析显示,5类草地群落地上生物量差异显著($P < 0.05$),从大到小依次为山地草甸、山地草甸草原、山地草原、高寒草原、山地荒漠草原。各草地群落极大值分别为:山地草甸 100.24 g/m²,山地草甸草原 71.24 g/m²,山地草原 70.20 g/m²,高寒草原 52.40 g/m²,山地荒漠草原 20.44 g/m²。5类草地群落地上生物量的这种差异性正是与它们所处生境的降水和土壤水分及群落结构相一致的,比如在山地草甸,6—10月的降水量和土壤平均含水量分别为275.7 mm和39.81%,群落盖度平均为95%;而在山地荒漠草原,其降水量和土壤平均含水量分别仅为102.9 mm和6.27%,群落盖度平均不及15%。由此可见,5类不同草地群落地上生物量的差异不仅与植物的生物—生态学特性有关,而且与生存环境,尤其与小气候环境密切相关。

2.2 地上生物量增长速率的季节动态

为分析单位地上总生物量单位时间的净积累量,计算了5类天然草地的AGR与RGR。不同草地群落地上生物量AGR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(表3)。但5类草地群落最快生长期出现的时间并不一致,其中高寒草原、山地草甸和荒漠草原地上生物量绝对增长速率的最大值出现在7—8月,其峰值分别为0.660 6,1.118 8,0.330 3 g/(m²·d);而山地草甸草原和山地草原出现的时间为5—6月,但在7—8月仍属于较快速生长期,仅比前一时间段分别低0.032 5和0.013 8 g/(m²·d),这与7—8月气温升高、降水增多有密切关系。而在6—7月的旱季,除山地荒漠草原地上生物量的AGR较前期增加外,其他草地类型地上生物量的AGR都不同程度的降低,但其值始终为正,说明这时群落植物本身的生长发育节律对牧草生长的促进作用

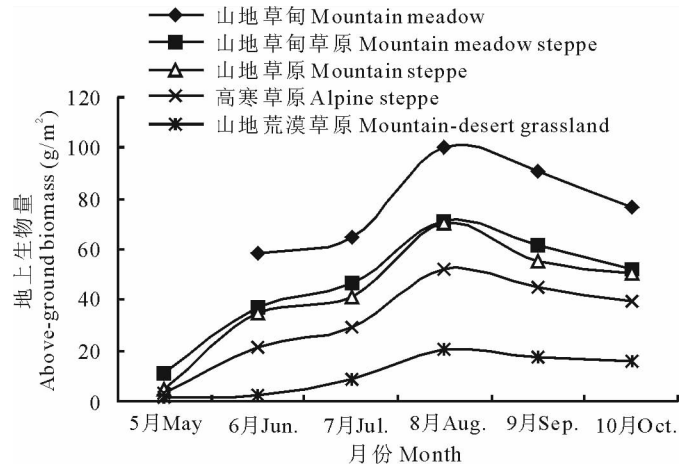


图1 5类草地群落地上生物量的季节动态

Fig. 1 Season dynamic of the above-ground biomass of five grassland community

超过了环境因子对生长的限制作用。从 8 月下旬开始,随着气温的下降和植物的衰老、枯黄以及营养物质的转移,致使各草地群落地上生物量绝对增长速率逐渐降低,AGR 开始出现负值。由此可见,除山地草甸和荒漠草原地上生物量的 AGR 随时间的推移表现出缓慢增长—折损减少外,另外 3 类均为快速增长—缓慢积累—快速增长—折损减少等 4 个不同阶段,这与地上生物量的动态规律一致。

5 类草地群落地上生物量的 RGR 与 AGR 在季节动态变化趋势上大致相同,但 RGR 能够反映植物的生产效率,这是与 AGR 不同之处。除山地草甸和荒漠草原外,其他草地群落地上生物量 RGR 最大值出现在 5—6 月,其主要原因在于这一时期 3 种草地群落正处于返青后的旺盛生长,光合作用强烈,有机质积累多、消耗量相对较少。荒漠草原由于在 5—6 月牧草返青期受到干旱的影响,生长比较缓慢,随着气候条件的变化,特别是降水的增多,在 7—8 月,其地上生物量 RGR 达到最高值。至 9 月,5 类草地群落地上生物量 RGR 均变为负值。地上生物量 RGR 的这种变化规律说明 RGR 与草地植物生长发育节律有关,而受环境因子的影响相对较少。

表 3 地上生物量增长速率的季节动态

Table 3 Season dynamic of the growth rate of the above-ground biomass

| 草地类型 Grassland type | 项目 Item | 月份 Month | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | 4—5 | 5—6 | 6—7 | 7—8 | 8—9 | 9—10 |
| 高寒草原 Alpine steppe | AGR (g/m ² ·d) | 0.094 2 | 0.580 0 | 0.236 4 | 0.660 6 | -0.227 1 | -0.230 0 |
| | RGR (g/g·d) | 0.034 5 | 0.062 5 | 0.009 4 | 0.016 6 | -0.004 7 | -0.005 4 |
| 山地草甸 Mountain meadow | AGR (g/m ² ·d) | / | 0.940 6 | 0.197 4 | 1.118 8 | -0.300 6 | -0.568 0 |
| | RGR (g/g·d) | / | 0.065 6 | 0.003 2 | 0.013 8 | -0.003 2 | -0.006 8 |
| 山地草甸草原 Mountain meadow steppe | AGR (g/m ² ·d) | 0.335 3 | 0.798 8 | 0.320 0 | 0.761 3 | -0.321 3 | -0.363 2 |
| | RGR (g/g·d) | 0.071 5 | 0.036 9 | 0.007 7 | 0.013 1 | -0.004 8 | -0.006 4 |
| 山地草原 Mountain steppe | AGR (g/m ² ·d) | 0.147 1 | 0.933 8 | 0.189 7 | 0.920 0 | -0.477 4 | -0.185 6 |
| | RGR (g/g·d) | 0.047 4 | 0.060 6 | 0.005 2 | 0.016 9 | -0.007 7 | -0.003 2 |
| 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland | AGR (g/m ² ·d) | 0.048 0 | 0.030 0 | 0.196 4 | 0.330 3 | -0.095 3 | -0.061 7 |
| | RGR (g/g·d) | 0.012 0 | 0.016 3 | 0.039 4 | 0.024 0 | -0.005 3 | -0.003 8 |

2.3 地上生物量的增长规律

5 类天然草地地上生物量在达到峰值之前,均表现出缓慢积累—快速增加—相对稳定等 3 个不同阶段(图 1),大致是以 Logistic 曲线形式持续增加,因此,可以用 Logistic 曲线来模拟其增长过程^[28]。

5 类天然草地群落的地上生物量均未达到其环境最大容纳量(表 4),特别是山地草甸和山地草甸草原草地群落的地上生物量尚有较大的提高潜力。根据表 4 的增长曲线,可以预测各群落在不同时期的地上生物量,这为估算该区天然草地初级生产力提供了方便。

表 4 地上生物量季节动态数学模型

Table 4 Mathematical model of season dynamic of the above-ground biomass

| 草地类型 Grassland type | 增长方程 Growth formula | 相关系数 Correlation coefficient | | 估计标准差 Estimated standard deviation |
|----------------------------------|---|------------------------------|----------|---------------------------------------|
| | | R ² | R | |
| 高寒草原 Alpine steppe | $w = \frac{56.75}{1 + \exp(2.3007 - 0.2263t)}$ | 0.933 6 | 0.966 2* | 0.35 |
| 山地草甸 Mountain meadow | $w = \frac{122.81}{1 + \exp(1.2373 - 0.1331t)}$ | 0.936 3 | 0.967 6* | 0.22 |
| 山地草甸草原 Mountain meadow steppe | $w = \frac{81.61}{1 + \exp(1.5361 - 0.1711t)}$ | 0.959 8 | 0.979 7* | 0.20 |
| 山地草原 Mountain steppe | $w = \frac{75.06}{1 + \exp(1.9758 - 0.2138t)}$ | 0.906 6 | 0.952 1* | 0.39 |
| 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland | $w = \frac{25.12}{1 + \exp(3.2823 - 0.2342t)}$ | 0.963 9 | 0.981 8* | 0.26 |

*: $P < 0.01$.

2.4 地上生物量与土壤水分的关系

对 2004 年 4—10 月 5 类草地土壤含水量的方差分析(表 5)表明,除山地草原与高寒草原土壤平均含水量差异不显著外,其他草地类型之间的土壤平均含水量均有显著差异($P < 0.05$)^[31];而且与大气降水紧密相关,在生长季期间,各草地类型土壤水分平均值与大气降水的关系均显著相关,说明各草地类型土壤水分和降水量呈显著正线性相关,其季节性变化主要受降水量及其季节分配的影响^[31]。从土壤的持水能力、供水能力和调节水分能力来看,祁连山北坡 5 种类型草地的水分状况强弱顺序依次为:山地草甸、山地草甸草原、高寒草原、山地草原和山地荒漠草原。

考虑到各草地群落地上生物量对水分因子的时滞效应^[5],采用土壤平均含水量和降水量的累加值分析地上生物量与水分的关系^[8]。相关分析(表 5)表明,5 类草地群落地上生物量与降水量、土壤平均含水量均呈正相关关系,这说明在祁连山北坡,不同类型草地的水分状况在很大程度上决定了其植被类型及地上生物量。在山地草甸,植被由湿中生小灌木、多年生草本组成(表 6),其地上生物量达 100.24 g/m^2 ,这与该类草地 6—9 月总降水量(262.9 mm)和土壤平均含水量(40.72%)较多密切相关,而在山地荒漠草原,同期总降水量(100.40 mm)和土壤平均含水量(6.58%)分别比山地草甸低 2.62 和 6.19 倍,与该类型草地水分状况较少有关,相适应的植被组成也以旱生耐盐植物为主,其地上生物量也仅为 20.44 g/m^2 ,这说明山地荒漠草原水分状况明显地影响到植被组成及产草量。由此可知,在祁连山北坡,水分因子是限制植被分布、生长及其产量的关键因素。李绍良^[32]在研究内蒙古草原水分状况与植物生物量关系时也得出类似的结论。

表 5 5 类草地地上生物量与水分因子的相关分析

Table 5 Correlativity of above-ground biomass of five kinds grassland and water factors

| AGB | P | SW | SW1 | SW2 | SW3 | SW4 | SW5 | SW6 | SW7 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| I · AGB | 0.829 5 | 0.744 0 | 0.662 9 | 0.727 2 | 0.756 2 | 0.662 6 | — | — | — |
| II · AGB | 0.860 5 | 0.881 9 | 0.763 2 | 0.784 3 | 0.734 4 | 0.692 2 | 0.574 1 | 0.524 1 | 0.577 9 |
| III · AGB | 0.806 8 | 0.656 6 | 0.618 6 | 0.684 0 | 0.778 2 | 0.624 1 | 0.599 0 | 0.524 5 | 0.532 1 |
| IV · AGB | 0.739 5 | 0.706 2 | 0.586 3 | 0.641 9 | 0.756 1 | 0.670 0 | 0.594 7 | 0.507 9 | 0.407 5 |
| V · AGB | 0.621 1 | 0.535 6 | 0.507 0 | 0.596 9 | 0.638 2 | 0.623 7 | — | — | — |

I: 高寒草原 Alpine steppe; II: 山地草甸 Mountain meadow; III: 山地草甸草原 Mountain meadow steppe; IV: 山地草原 Mountain steppe; V: 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland; AGB: 地上生物量 Above-ground biomass; P: 月降水量的累加值(mm) Accumulated value of month precipitation; SW: 平均土壤含水量的累加值(%) Accumulated value of average soil water content; SW1~SW7: 0~10, 10~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100 和 100~120 cm 各土层含水量(%) Soil water content of different soil layer.

表 6 不同类型草地群落特征与水分因子的关系

Table 6 Comparison of the community characteristics and water factors in different type grassland

| 草地类型 Grassland type | 主要代表植物种类 Predominant vegetation species | AGB | GP | SW |
|----------------------------------|--|--------|--------|-------|
| 山地草甸 Mountain meadow | 金露梅 <i>P. fruticosa</i> 、线叶蒿草 <i>K. capillifolia</i> 、珠芽蓼 <i>P. viviparum</i> 、 黑褐穗苔草 <i>C. atrofusca</i> subsp. <i>minor</i> | 100.24 | 262.90 | 40.72 |
| 山地草甸草原 Mountain meadow steppe | 大针茅 <i>S. grandis</i> 、扁穗冰草 <i>A. cristatum</i> 、赖草 <i>A. dasystachys</i> | 71.24 | 205.60 | 17.60 |
| 山地草原 Mountain steppe | 西北针茅 <i>S. sareptana</i> var. <i>krylovii</i> 、短花针茅 <i>S. breviflora</i> 、多茎委陵 菜 <i>P. multicaulis</i> | 70.20 | 163.50 | 12.38 |
| 高寒草原 Alpine steppe | 芨芨草 <i>A. splendens</i> 、紫花针茅 <i>S. purpurea</i> 、异针茅 <i>S. aliena</i> 、苔草 <i>Carex</i> spp. | 52.40 | 172.24 | 14.02 |
| 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland | 米蒿 <i>A. dalaï-lamae</i> 、新麦草 <i>P. kronenburgii</i> 、松叶猪毛菜 <i>S. larici-folia</i> | 20.44 | 100.40 | 6.58 |

AGB: 地上生物量最大值(g/m^2) Maximum value of below-ground biomass; GP: 6—9 月总降水量(mm) Total precipitation of 6—9 month; SW: 6—9 月土壤平均含水量(%) Average soil moisture content of 6—9 months.

5 种类型草地不同土层的含水量与地上生物量的相关性不一致(表 5)。在水分状况较好的草地群落,上层土壤含水量与地上生物量的相关性明显高于下层,如山地草甸 0~40 cm 土层含水量与地上生物量的相关性在 0.73 以上,而与 40 cm 以下土层含水量是逐渐降低的,这是因为该类草地根系集中分布于 0~40 cm 土层内,上层土壤因植物的利用,土壤肥力较好,同时其土壤类型为亚高山灌丛草甸土,有利于水分的保持;而在水分条件较差的草地群落,下层土壤含水量与地上生物量的相关性要高于上层,如山地荒漠草原 20~60 cm 土层含水量与地上生物量的相关性明显高于土壤表层 0~20cm,因为该类草地山地棕钙土的土壤容易导致水分的渗漏,表层土壤含水量较低。从 5 类草地 0~60 cm 土层的含水量与地上生物量的相关性分析可以看出不同草地类型的不同土层含水量对地上生物量的贡献不同,高寒草原 10~40 cm、山地草甸 0~40 cm、山地草甸草原 10~40 cm、山地草原 10~60 cm、山地荒漠草原 20~60 cm 的土壤含水量与地上生物量的相关性最好,这是与各类草地的植被类型及土壤类型密切相关的;但各类草地地上生物量均与表层 0~10cm 土壤含水量的相关性较差(除山地草甸外),这是由于祁连山北坡太阳辐射强烈,蒸散较大,致使草地群落表层土壤经常处于水分亏缺状态,不能满足植物生长的需要。由此可知,在各类草地群落中,60 cm 以上根系主要分布层内的水分对地上生物量形成具有较重要的意义。

3 结论与讨论

本研究主要讨论了祁连山北坡 5 类天然草地地上生物量的季节动态、增长速率和增长规律以及与土壤水分的关系,初步分析了 5 类天然草地地上生物量的形成规律与特点,对深入分析该区天然草地的合理利用和可持续发展、退化草地的恢复和保护以及植被建设的合理布局都具有重要的现实意义。

地上生物量在 5 类草地植物群落间表现为差异显著($P < 0.05$),以山地草甸(100.24 g/m^2)为最大,而山地荒漠草原(20.44 g/m^2)最小。与北美、欧洲及我国内蒙古地区等全球其他区域温带草地的地上生物量相比^[33],祁连山北坡天然草地地上生物量普遍低于全球水平,原因可能与我国北方温带草地降水量偏低的干旱气候和该区长期强烈的人为干扰有关^[33,34]。祁连山北坡 5 类天然草地地上生物量季节动态规律均表现为单峰型,且变化趋势基本一致,均在 8 月下旬达峰值,这与亚洲中部气候类型的干湿明显、雨热同期的特点相适应^[2,3]。

地上生物量的绝对增长速率和相对增长速率的季节动态亦呈单峰型,均在生物量达到峰值前为正增长,之后为负增长,但增长速率的极大值因草地类型的不同稍有差异。

用 Logistic 方程模拟了 5 类天然草地地上生物量的增长曲线,结果表明,各草地群落地上生物量均未达到其环境最大容纳量,尚有提高的潜力。这为估算各草地群落地上生物量提供了方便、实用的方法。

不同草地类型地上生物量分别与降水量、土壤平均含水量的累加值呈正相关关系。一般情况下每一年的地上生物量的季节变化都与当年生长期内的降水量、气温、土壤含水量等环境因子的变化呈正相关^[3]。最新的研究也显示,降水是中国北方温带草地生态系统生产力(地上生物量)最主要的限制因子^[33]。在各种类型草地中,不同土层含水量对地上生物量的贡献均是不同的,但 60 cm 以上根系主要分布层内的水分对地上生物量形成具有较重要的意义。

基于以上结论,祁连山北坡植被建设应该在充分考虑不同类型草地的水分条件下,根据分类指导的原则进行科学的规划。在水分状况较好的高山草甸和草甸草原类型区,选择水热条件较好的地块建设多年生人工草地是可行的,而在荒漠草原和高寒草原地带,则应以封育恢复的方式为主要建设措施,不宜大面积建设高耗水型的人工草地。

参考文献:

- [1] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 736-753.
- [2] 辛晓平, 张保辉, 李刚, 等. 1982—2003 年中国草地生物量时空格局变化研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1582-1592.
- [3] 刘艾, 刘德福. 我国草地生物量研究概述[J]. *内蒙古草业*, 2005, 17(1): 7-11, 52.
- [4] 李士美, 谢高地, 张彩霞. 典型草地地上现存生物量资产动态[J]. *草业学报*, 2009, 18(4): 1-8.
- [5] 魏永林, 马晓虹, 宋理明. 青海湖地区天然草地土壤水分动态变化及对牧草生物量的影响[J]. *草业科学*, 2009, 26(5):

76-80.

- [6] 武建双, 沈振西, 张宪洲, 等. 藏北高原人工垂穗披碱草种群生物量分配对施氮处理的响应[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 113-121.
- [7] 梁天刚, 崔霞, 冯琦胜, 等. 2001—2008年甘南牧区草地上生物量与载畜量遥感动态监测[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 12-22.
- [8] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 72-78.
- [9] 田讯, 杨允菲. 不同扰动条件下的羊草种群生物量年龄结构[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 50-54.
- [10] 穆春生, 张宝田, 崔爽. 不同生境羊草营养枝叶龄进程与地上生物量关系的研究[J]. 草业学报, 2004, 13(3): 75-79.
- [11] 李海英, 彭红春, 王启基. 高寒矮嵩草草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 26-32.
- [12] 张保田, 穆春生, 金成吉. 松嫩草地2种胡枝子地上生物量动态及其种间比较[J]. 草业学报, 2006, 15(3): 36-41.
- [13] 张铜会, 赵哈林, 李玉霖, 等. 科尔沁沙地灌溉与施肥对退化草地生产力的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 36-42.
- [14] 王丽, 胡金明, 宋长春, 等. 水分梯度对三江平原典型湿地植物小叶章地上生物量的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 19-25.
- [15] 孙启忠, 玉柱, 徐丽君, 等. 尖叶胡枝子和达乌里胡枝子地上生物量积累研究[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 82-89.
- [16] 刘文辉, 周青平, 颜红波, 等. 青海扁茎早熟禾种群地上生物量积累动态[J]. 草业学报, 2009, 18(2): 18-24.
- [17] 王俊, 刘文兆, 钟良平, 等. 长期连续种植苜蓿草地地上部分生物量与土壤水分的空间差异性[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 41-46.
- [18] 徐广平, 张德罡, 徐长林, 等. 东祁连山高寒草地不同生境类型植物群落 α 及 β 多样性的初步研究[J]. 草业科学, 2006, 23(6): 1-6.
- [19] 赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴, 等. 祁连山区退化草地植被群落结构特征的研究[J]. 中国草地, 2004, 26(2): 26-35.
- [20] 王志泰. 东祁连山高寒草原柳灌丛—草地群落结构研究[J]. 草业科学, 2004, 21(11): 1-6.
- [21] 赵军, 党国锋. 祁连山草地资源利用面临的问题及治理对策[J]. 草业科学, 2003, 20(7): 1-7.
- [22] 杨成德, 陈秀蓉, 龙瑞军, 等. 东祁连山高寒草地返青期不同草地型土壤氮的分布特征[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 67-74.
- [23] 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 等. 东祁连山高寒草甸土壤微生物量及其与土壤物理因子相关性特征[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 62-68.
- [24] 赵锦梅, 高超. 张德罡. 祁连山东段不同退化高寒草甸土壤有机碳密度研究[J]. 草地学报, 2010, 18(1): 21-25.
- [25] 胡自治, 孙吉雄, 李洋, 等. 甘肃天祝主要高山草地的生物量及光能转化率[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 729-735.
- [26] 姜恕. 草地生态研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 67-83.
- [27] 杨永兴, 王世岩, 何太蓉, 等. 三江平原典型湿地生态系统生物量及其季节动态研究[J]. 中国草地, 2002, 24(1): 1-7.
- [28] 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 146-150.
- [29] 杨福囤, 王启基, 史顺海. 矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态[A]. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1988: 61-71.
- [30] 陈佐忠, 黄德华, 李济尚. 内蒙古乌兰察布短花针茅草原生物量动态的初步分析[J]. 干旱区资源与环境, 1988, (2): 65-72.
- [31] 黄德青, 张耀生, 赵新全, 等. 祁连山北坡主要草地类型土壤水分动态研究[J]. 草业科学, 2005, 22(8): 6-11.
- [32] 李绍良. 草原土壤水分状况与植物生物量关系的初步研究[A]. 见: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究(第一集)[C]. 北京: 科学出版社, 1985: 195-202.
- [33] 马文红, 杨元合, 贺金生, 等. 内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系[J]. 中国科学C辑: 生命科学, 2008, 38(1): 84-92.
- [34] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

**Above-ground Biomass and its relationship to soil moisture of Natural Grassland
in the Northern Slopes of the Qilian Mountains**

HUANG De-qing^{1,2}, YU Lan³, ZHANG Yao-sheng¹, ZHAO Xin-quan¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Xining 810001, China; 2. Department of Chemistry and Technology, Guilin Normal College, Guilin 541002, China; 3. School of Basic Medicine Science, Guilin Medical College, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the research on the above-ground biomass of natural grassland: alpine pastureland, mountainous meadow, mountainous meadow rangeland, mountainous pastureland, mountainous desert rangeland in the northern slopes of the Mountains Qilian, the results showed that the difference of aboveground biomass among five grassland was significant ($P < 0.05$), but the curve of seasonal dynamic of aboveground biomass was single apex type and variation trend were same, and it reached the peak value in August. The above-ground biomass of mountainous meadow (100.24 g/m^2) is the highest in five vegetation types, and others are in order of mountainous meadow rangeland (71.24 g/m^2), mountainous pastureland (70.20 g/m^2), alpine pastureland (52.40 g/m^2), and mountainous desert rangeland (20.44 g/m^2). The result of the Logistic model of above-ground biomass growth curve showed that all grassland types did not reach its maximum the environment can support. The above-ground biomass of different type grassland positively correlated to the accumulated value of precipitation and mean soil moisture. Soil moisture of different soil layers had different impact on the aboveground biomass, but the soil moisture within root distributed soil layers had same impact on aboveground biomass in all grasslands ($P < 0.05$).

Key words: Mountains Qilian; natural grassland; above-ground biomass; soil moisture