

# 祁连山北坡 5 类天然草地地上部数量特征及其与环境因子的关系

黄德青<sup>1,2</sup>, 于 兰<sup>3</sup>, 张耀生<sup>1</sup>, 赵新全<sup>1</sup>

(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, 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:** 利用祁连山北坡 5 类天然草地调查数据和同期的气象资料, 分析其地上部数量特征及其与环境因子的关系。结果表明, 5 类草地的地上生物量、植被盖度均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 表现为山地草甸 > 山地草甸草原 > 山地草原 > 高寒草原 > 山地荒漠草原; 各草地群落地上生物量、高度和盖度的季节变化均呈单峰型, 且峰值均出现在 8 月下旬; 地上生物量与植被盖度显著相关 ( $P < 0.05$ ), 与群落高度 (除山地草甸外) 极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 说明地上生物量随植被盖度和高度的增加而增大; 各草地群落高度在达到最大值之前, 均基本符合 Logistic 生长模型 ( $P > 0.01$ ); 地上生物量与同期水热因子的相关性均不显著 ( $P > 0.05$ ), 各草地群落高度和植被盖度对水热因子的敏感性存在差异。

**关键词:** 祁连山; 天然草地; 地上生物量; 群落高度; 植被盖度; 环境因子

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-1389(2011)06-0174-07

## Aboveground Numerical Characteristics of Five Natural Grassland and Their Relationships to Environmental Factors in the Northern Slopes of the Mountains Qilian

HUANG Deqing<sup>1,2</sup>, YU Lan<sup>3</sup>, ZHANG Yaosheng<sup>1</sup> and ZHAO Xinquan<sup>1</sup>

(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 Guangxi 541002, China; 3. School of Basic Medicine Science, Guilin Medical College, Guilin Guangxi 541004, China)

**Abstract:** We analyzed the aboveground numerical characteristics of natural grasslands and their relationships to environmental factors by means of the aboveground survey data of five natural grasslands and synchronous meteorological data in the northern slopes of the Qilian Mountain. The results indicated that the difference of the aboveground biomass and vegetation coverage among five kinds grasslands was significant ( $P < 0.05$ ). Sequence for the aboveground biomass and vegetation ranked as follows: mountainous meadow, mountainous meadow rangeland, mountainous pastureland, alpine pastureland, and mountainous desert rangeland; The seasonal dynamic of aboveground biomass, community height and vegetation coverage all appear to be single apex type and their values came to the peak in late August; The growth of the aboveground biomass was significantly correlated with the vegetation coverage ( $P < 0.05$ ), and more prominently with the community height (except for mountainous meadow) ( $P < 0.01$ ). It implied that the aboveground biomass significantly increased with the in-

\*收稿日期: 2010-12-07 修回日期: 2011-02-23

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(kzcx F 09-01); 中国科学院西北高原生物研究所知识创新重点研究领域项目(cjc020144)。

第一作者: 黄德青, 男, 讲师, 从事植物系统进化和生态适应方面的研究。E-mail: huangdeqing2008@163.com

通讯作者: 张耀生, 男, 副研究员, 主要从事草地生态学研究。E-mail: zys@nwpb.ac.cn

crease of the vegetation coverage and the community height; The growth of plant community height basically accorded with Logistic models before it reached to the maximum ( $P > 0.01$ ); (5) The aboveground biomass were not significantly correlated with synchronous climate factors ( $P > 0.05$ ). The sensitivities of vegetation coverage and community height to climate factors were different in five grassland types.

**Key words:** Mountains Qilian; Natural grassland; Aboveground biomass; Community height; Vegetation coverage; Environment factor

祁连山北坡草原牧区地处中国西北干旱、半干旱地带, 草地资源丰富, 具有发展草畜产业的良好基础<sup>[1]</sup>; 该区因地形地貌、海拔高度悬殊等差异的存在, 形成了复杂多样的小气候, 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。但由于人类对自然资源的不合理利用以及气候等环境条件的改变, 天然草地生态环境日益恶化<sup>[2]</sup>, 其功能与结构的变化对该区生态环境和畜牧发展必然会产生深远的影响, 因此研究该区天然草地的结构、功能、变化规律及其与环境因子的关系, 能够为草地的维护和管理提供理论依据<sup>[3]</sup>。

目前对天然草地群落的研究, 主要集中在群落的结构、生物量、物种多样性和土壤种子库<sup>[4-8]</sup>, 环境因子、人为干扰对群落的影响<sup>[9-10]</sup>, 群落的恢复演替<sup>[11]</sup>等方面, 有关祁连山区的报道集中在群落结构、物种多样性、生物量等方面<sup>[1, 12-15]</sup>, 但大多是基于某种草地开展研究, 缺乏区域尺度上的比较。为了更全面了解祁连山北坡天然草地的群落组成、结构特征和功能, 更有效地实现草地资源的管理和合理利用, 本试验利用 2004 年对该区 5 类天然草地群落定点观测的数据和同期气象资

料, 分析其地上生物量、群落高度和植被盖度的变化规律及其与环境因子的关系, 以期对祁连山北坡天然草地畜牧业发展、退化草地恢复和生态环境综合治理提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于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, 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。以占肃南县草地总面积 63.2% 的 5 种主要天然草地类型, 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, 在各类型草地设立相应观测点(表 1、表 2)。

## 2 研究方法

### 2.1 地上生物量

于 2004 年 5 月牧草返青至 2004 年 10 月下旬生长末期, 每月下旬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, 每次每样地共计 15 个样方。采用收获法(齐地刈割)<sup>[16]</sup>测定各样方地上生物量, 然后带回室内在  $80^{\circ}\text{C}$  恒温下烘干称量(精度  $0.01 \text{ g}$ )。

表 1 5 个观测点的基本概况

Table 1 General situation of five observation stations

天然草地 Natural grassland	试验区 Experimental area	经纬度 Long. - lat.	海拔 / m Altitude	土壤类型 Soil type	年均降水量 / mm Annual precipitation	年均气温 / $^{\circ}\text{C}$ Annual temperature
编号 Code	草地类型 Grassland type					
A1	高寒草原 Alpine steppe	天生圈 Tianshengjuan	$E98^{\circ}14'$ $N39^{\circ}06'$	高山草原土 Alpine steppe soil	252.2	-3.1
M1	山地草甸 Mountain meadow	灰沟梁 Huigouliang	$E99^{\circ}48'$ $N38^{\circ}46'$	亚高山灌丛草甸土 Subalpine shrubby meadow soil	300~500	0~-5.4
M2	山地草甸草原 Mountain meadow steppe	牛心墩 Niu xindun	$E99^{\circ}49'$ $N38^{\circ}48'$	山地暗栗钙土 Mountain dark chestnut soil	370~450	0
M3	山地草原 Mountain steppe	马场滩 Machangtan	$E99^{\circ}54'$ $N38^{\circ}49'$	山地栗钙土 Mountain chestnut soil	260~491	0.2~2.1
M4	山地荒漠草原 Mountain desert grassland	珠龙关 Zhulongguan	$E98^{\circ}00'$ $N39^{\circ}11'$	山地棕钙土 Mountain brown calcic soil	253.7	$\geq 3.6$

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 were quoted from assembly report of animal husbandry divisions in sunan yugur autonomous county of Gansu province.

### 2.2 群落高度和植被盖度

与地上生物量同时测定。通过选取各类型草地的代表性植物(表 2), 每种植物随机取 5 株测其植株高度, 取各代表性植物株高平均值作为群落高度; 植被盖度采用目测法<sup>[17]</sup>。

各天然草地群落高度( $H$ )的增长和时间( $t$ )之间的动态函数可由 Logistic 方程拟合<sup>[18]</sup>:  $H = k_i / (1 + e^{(A_i + B_i t)})$ , 式中,  $H$  为各草地群落高度(cm),  $t$  为牧草返青后生长天数( $0 < t < 140$  d),  $k_i$  为各草地群落高度可能最大值,  $i$  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。

### 2.3 环境因子

2.3.1 土壤水分和降水量 与地上生物量同时测定。于 2004 年 5-10 月每月下旬测定 1 次, 采用土钻法<sup>[19]</sup> 分层取样。取样深度为 120 cm, 共 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 和 100~120 cm 7 个层次, 每层重复取样 5 次, 然后带回室内 105 °C 烘干称量, 取其平均值为该层的土壤水分含量。降水量采用气象站的常规雨量筒测定。

2.3.2 气象要素 在 5 类天然草地定位试验区设立小型自动气象站和降水量观测点, 按照地面气象观测要求和试验研究需要, 进行各气象要素的观测。观测指标包括大气温度、土壤温度、相对湿度等, 观测步长为 30 min, 采用小气候自动观测系统自动记录。提取 2004 年观测的数据, 取其平均值进行数据分析。

### 2.4 数据处理

用 Excel 进行数据的初步处理和作图, 用

SPSS 17.0 统计分析软件对地上生物量、群落高度和植被盖度与各气象因子进行相关、回归分析及显著性检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 地上生物量及其与环境因子的关系

3.1.1 地上生物量季节动态 由图 1 可看出, 5 类草地群落地上生物量的季节动态均表现为单峰型, 在 8 月下旬达生物量峰值。不同类型草地地上生物量差异显著( $P < 0.05$ ), 地上生物量为山地草甸 > 山地草甸草原 > 山地草原 > 高寒草原 > 山地荒漠草原。

3.1.2 地上生物量与环境因子的关系 植物在每一个生境条件下其生长和生物量分配均与环境因子有一定的相关性<sup>[20]</sup>。研究表明, 在干旱和半干旱地区, 水热条件是制约草地植物生长的重要因子<sup>[3, 21]</sup>。

考虑到水热因子对地上生物量的滞后效应, 研究发现, 高寒草原和山地草甸草原地上生物量与上月土壤温度显著相关( $P < 0.05$ ), 相关系数分别为 0.920、0.927, 回归方程分别为:  $Y = 3.0438 + 3.7368X$ 、 $Y = 16.369 + 3.4228X$  (式中,  $Y$  为地上生物量;  $X$  为上月土壤温度); 而山地草甸、山地草原和山地荒漠草原与前期水热因子的相关性均没达到显著水平( $P > 0.05$ )。

### 3.2 群落高度的增长及其与环境因子的关系

3.2.1 群落高度季节变化 由图 2 可见, 5 类草地群落高度的季节变化与地上生物量的季节变化趋势一致, 均表现为单峰型。方差分析表明, 除山

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
A1	紫花针茅( <i>Stipa purpurea</i> )、异针茅( <i>Stipa 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> ) 等
M1	金露梅( <i>Dasiphora fruticosa</i> )、线叶蒿草( <i>Kobresia capillifolia</i> )、黑褐穗苔草( <i>Carex atrifusca</i> subsp. minor)、二裂委陵菜、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> ) 等
M2	大针茅( <i>Stipa grandis</i> )、赖草( <i>Aneurolepidium dasystachys</i> )、垂穗披碱草、早熟禾、扁穗冰草( <i>Agropyron cristatum</i> )、狼毒( <i>Stelleria chamaejasme</i> )、长柱灯心草( <i>Juncus przewalskii</i> )、乳白香青( <i>Anaphalis lacteal</i> )、醉马草( <i>Achnatherum inebrians</i> ) 等
M3	西北针茅( <i>Stipa sareptana</i> var. <i>krylovii</i> )、短花针茅( <i>Stipa breviflora</i> )、多茎委陵菜( <i>Potentilla multicaulis</i> )、扁穗冰草、野决明( <i>Thermopsis lanceolata</i> )、紫菀、早熟禾、天山鸢尾( <i>Iris loczyi</i> )、赖草、碱韭( <i>Allium polyrhizum</i> ) 等
M4	米蒿( <i>Artemisia dalai-lamae</i> )、新麦草( <i>Psathyrostachys Kronenburgii</i> )、芨芨草、赖草、松叶猪毛菜( <i>Salsola laricina</i> ) 等

地草甸与山地荒漠草原, 山地草原与高寒草原、山地荒漠草原间的群落高度差异不显著外, 其他各类草地群落高度间差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

从各草地群落高度的季节变化来看, 基本呈现出“缓慢增长-快速增长-缓慢增长-折损减少”的倒“V”型变化规律, 这主要与各草地群落植物生长发育规律和环境因子的影响有关。5-6月, 群落高度的增长相对比较平缓, 是由于此时植物处于返青-分蘖期, 光合作用能力较低, 同时还受低温、干旱的影响, 故群落高度增长缓慢。6-7月, 由于气温回升和降水增多, 水分供给满足了植物生长发育的需要, 植物茎节迅速向上伸长, 群落高度快速增长, 达到年内增长速率的峰值。7-8

月, 大部分植物由营养生长期过渡到生殖生长期, 大量的营养和能量转至生殖生长, 限制了植物的营养生长, 所以该时期植被高度增加缓慢。8月下旬后, 植物因受低温的影响进入枯黄期, 各草地群落高度呈明显降低的趋势<sup>[22]</sup>。

3.2.2 群落高度的增长规律 用数学方程模拟植物生长动态不但可以预测生长趋势, 而且便于对生长过程进行分析, 揭示植物生长的内在规律及其与环境的关系<sup>[23]</sup>。由图 2 可以看出, 群落高度在达到峰值之前的变化基本呈“S”型, 大致是以 Logistic 曲线的形式持续增加, 因此可以用逻辑斯蒂曲线来模拟其增长过程(表 3)。经  $F$  检验, 拟合结果均达极显著水平, 说明群落高度在其达到最大值之前符合 Logistic 生长模型。

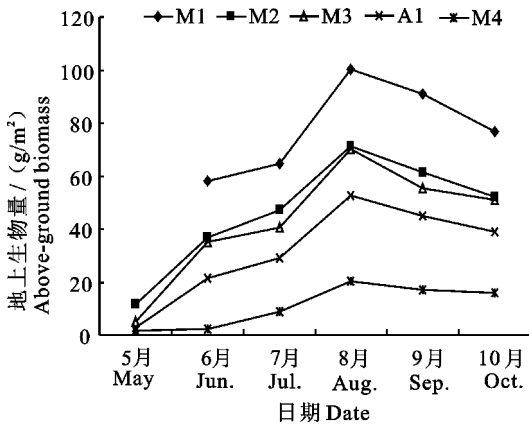


图 1 5 类草地上生物量的季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of the above ground biomass of five kinds of grassland

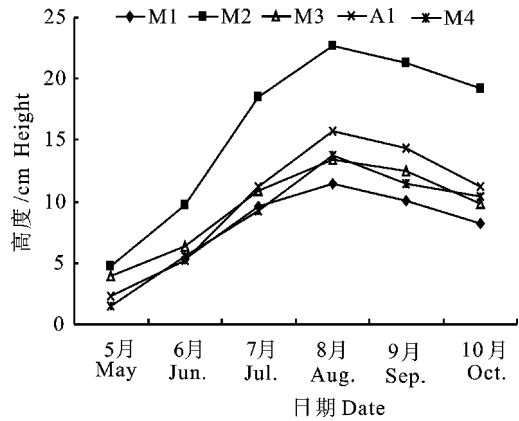


图 2 5 类草地群落高度的季节变化

Fig. 2 Seasonal dynamics of community height of five kinds of grassland

表 3 植物群落高度增长的 Logistic 方程

Table 3 Logistic function  $s$  of the growth of community height

天然草地 Natural grassland	群落高度增长 The growth of community height	$R^2$	$F$	标准误差 Standard deviation
A1	$H = \frac{23.22}{1 + e^{(3.2894t - 0.1164)}}$	0.9890	1529.328**	0.07
M1	$H = \frac{13.69}{1 + e^{(2.4625t - 0.0436)}}$	0.9645	461.831**	0.04
M2	$H = \frac{27.12}{1 + e^{(2.6306t - 0.1091)}}$	0.9699	548.573**	0.11
M3	$H = \frac{16.60}{1 + e^{(2.8195t - 0.0768)}}$	0.9816	909.327**	0.07
M4	$H = \frac{16.25}{1 + e^{(3.4551t - 0.1187)}}$	0.9421	276.570**	0.17

注:  $H$ : 群落高度(cm),  $t$ : 时间(d); \*\* 表示  $F$  检验差异达极显著水平。

Note:  $H$  is the plant community height,  $t$  is the time, \*\*  $F > 0.01$ .

3.2.3 群落高度与环境因子的关系 相关分析表明, 山地草甸的群落高度与土壤温度 ( $r = 0.906$ ) 显著正相关、与相对湿度 ( $r = 0.968, P < 0.01$ ) 极显著正相关, 说明相对湿度对该区群落高度贡献率较大, 回归方程为:  $Y = -12.421 + 0.3707X$ 。式中,  $Y$  为群落高度,  $X$  为相对湿度。

高寒草原和山地草甸草原的群落高度均与上月的平均气温、土壤温度存在显著正相关关系 ( $P < 0.05$ ), 而山地荒漠草原仅与上月土壤温度 ( $r = 0.955$ ) 显著正相关, 说明这 3 类草地群落高度对温度的响应存在时滞效应, 即随上月平均气温或土壤温度的升高, 群落高度显著增加。

山地草原的群落高度与土壤含水量累加值 ( $r = 0.882$ ) 显著正相关、与上月平均气温 ( $r = 0.959, P < 0.01$ ) 极显著正相关, 说明山地草原对土壤含水量和平均气温分别存在累积和时滞效应, 其中上月平均气温对山地草原群落高度贡献较大, 回归方程为:  $Y = -0.451 + 0.933X$ , 式中,  $Y$  为群落高度,  $X$  为上月平均气温。

### 3.3 植被盖度及其与环境因子的关系

3.3.1 植被盖度季节动态 5 类草地植被盖度 (图 3) 与地上生物量、植被高度的季节变化总体上是一致的, 生长季内均为单峰型, 且最大值均出现在 8 月下旬。在达峰值之前, 三者同为正增长, 达峰值之后, 各草地群落地上生物量、高度和盖度都有所降低。方差分析显示, 5 类草地植被盖度差异显著 ( $P < 0.05$ ), 从高到低依次为山地草甸 (平均为 92%)、山地草甸草原 (69.8%)、山地草原 (57.3%)、高寒草原 (52%)、山地荒漠草原 (9.5%)。

由图 3 可知, 山地草甸草原、山地草原与高寒草原季节变化趋势基本一致, 植被盖度波动幅度较大, 而山地草甸与山地荒漠草原植被盖度季节变化幅度较小, 这与不同立地条件的植被类型及其种类组成的差异有关。5-6 月的气候干旱期, 各草地植被盖度增长速率非常缓慢, 而地上生物量和群落高度的增长速率相对较快 (图 1、图 2), 此时地上生物量的增加主要是靠植株生长高度来实现。6-7 月, 各草地群落因水分的增多和温度的回升, 生长出许多低矮、幼嫩的杂类草, 植被盖度以较快的速率增加, 此时地上生物量的增加是靠植株生长高度和植被盖度实现的。相关分析表明, 5 类草地上生物量与植被盖度显著相关 ( $P < 0.05$ )、与群落高度 (除山地草甸外) 极显著相关

( $P < 0.01$ ), 说明地上生物量随植被盖度和高度的增加而增大。7-8 月, 因植物生长中心发生转移, 致使植被盖度和群落高度增长减慢, 此时地上生物量的增加是靠生殖期的花和果实来实现的<sup>[22]</sup>。

3.3.2 植被盖度与环境因子的关系 相关分析表明, 高寒草原的植被盖度与土壤温度 ( $r = 0.900$ ) 显著正相关、与相对湿度 ( $r = 0.957, P < 0.01$ ) 和平均气温 ( $r = 0.975, P < 0.01$ ) 极显著正相关, 说明在高寒草原, 相对湿度和大气温度对植被盖度贡献较大, 回归方程为  $Y = -10.277 + 1.290X_1 + 1.632X_2$ , 式中,  $Y$  为植被盖度,  $X_1$  为相对湿度,  $X_2$  为平均气温。

山地草甸的植被盖度与相对湿度 ( $r = 0.891$ ) 显著正相关, 与上月的平均气温 ( $r = 0.981$ ) 显著正相关, 说明气温对山地草甸植被盖度的影响存在时滞效应。其中, 上月平均气温对植被盖度影响较大, 回归方程为  $Y = 86.711 + 0.823X$ , 式中,  $Y$  为植被盖度,  $X$  为上月平均气温。

山地草甸草原的植被盖度与土壤含水量累加值 ( $r = 0.932$ ) 显著正相关、与上月平均气温 ( $r = 0.983, P < 0.01$ ) 极显著正相关, 说明土壤含水量和气温对山地草甸草原的影响分别存在累积和时滞效应。其中, 上月平均气温对植被盖度贡献较大, 回归方程为  $Y = 49.773 + 2.229X$ , 式中,  $Y$  为植被盖度,  $X$  为上月平均气温。

山地草原的植被盖度仅与土壤含水量累加值 ( $r = 0.931$ ) 显著正相关, 表明土壤含水量对山地草原植被盖度存在累积效应, 即植被盖度随土壤含水量累加值的增加而增大, 回归方程为  $Y =$

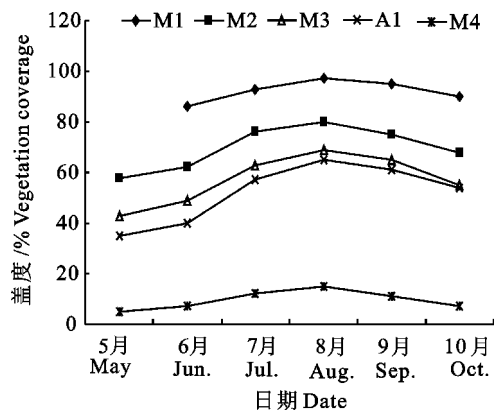


图 3 5 类草地植被盖度的季节变化

Fig.3 Seasonal dynamics of the vegetation coverage of five kinds of grassland

5. 079+ 2. 561X, 式中,  $Y$  为植被盖度,  $X$  为土壤含水量累加值。

山地荒漠草原的植被盖度较低, 与上月的平均气温( $r=0.945$ )和土壤温度( $r=0.908$ )显著正相关, 表明山地荒漠草原的植被盖度受温度影响较大, 回归方程为  $Y=-1.280+0.675X$ , 式中,  $Y$  为植被盖度,  $X$  为上月平均气温。

#### 4 结论与讨论

生物量、群落高度和植被盖度是草地生态系统最基本的数量特征。生物量研究有助于了解草地生物量积累动态, 为整个系统的物质循环和能量流动提供基本资料, 并为草地合理利用与管理提供重要依据<sup>[23]</sup>。因此, 研究生物量在时间序列上的变化具有十分重要的理论和现实意义。但与其他地区相比<sup>[3, 4, 6, 9, 11, 24]</sup>, 祁连山北坡天然草地生物量方面的研究资料非常缺乏, 这不利于该区的畜牧业发展以及生态环境的治理。

群落高度是描述植物生长状况, 反映草地生产力高低较为理想的一个特征量<sup>[23]</sup>。本研究用 Logistic 方程模拟 5 类草地群落高度的增长曲线, 结果表明, 各草地群落高度均未达到其可能的最大值, 这可能与本研究区干旱的气候和长期强烈的人为干扰(如放牧)有关<sup>[24]</sup>。对多数草原植物来说, 生物量积累与群落高度增长呈正相关<sup>[17, 23]</sup>。本研究中, 除山地草甸外, 其他各类草地地上生物量与群落高度均呈极显著相关( $P<0.01$ ), 表明地上生物量随群落高度的增加而增大。虽然山地草甸的群落高度较低(平均 8.9 mm), 但其植被盖度和密度(平均 247 株/ $m^2$ )较大, 所以其地上生物量(100.24 g/ $m^2$ )也较高。

植被盖度在一定程度上反映了植物吸收资源面积的范围。植物所能够利用的空间最终反映在植物的生产量, 即生产力的大小上, 植物种群盖度越大, 同化面积越大, 生产力也就越高<sup>[25]</sup>。本研究显示, 5 类草地植被盖度与地上生物量表现为山地草甸> 山地草甸草原> 山地草原> 高寒草原> 山地荒漠草原, 相关分析也表明, 5 类草地群落植被盖度与地上生物量显著相关( $P<0.05$ ), 说明地上生物量随植被盖度的增加而增大。这与张国辉等<sup>[25]</sup>在石羊河上游草地群落的研究结果相一致。

已有的研究认为, 水热条件是影响草地生态系统, 尤其是干旱、半干旱地区草地生态系统植物

生长的限制因子<sup>[26]</sup>, 但在本研究中, 地上生物量与同期水热因子的相关性均不显著, 这意味着还有其他因素的影响, 如土壤养分、放牧等, 这与郑晓翾、马文红等<sup>[3, 24]</sup>的研究一致; 也有研究表明, 降水的变化会对草地生物量产生显著影响<sup>[26, 27]</sup>, 这可能是由于年份情况、地域差异和气候条件不同而导致的不同结论<sup>[23]</sup>; 在水热同期的 6-8 月, 5 类草地地上生物量有随相对湿度的增加而增大的趋势。

5 类草地群落高度与同期水热因子的关系均不显著(除山地草甸外)( $P>0.05$ ), 若考虑群落高度对水热的时滞效应, 高寒草原、山地草甸草原、山地荒漠草原的群落高度均随上月土壤温度的升高而增大, 而山地草原群落高度随上月平均气温的增加而增大。总体上, 祁连山北坡天然草地的群落高度受温度条件的影响较大。而 5 类草地植被盖度对环境因子的敏感性各不相同。其中, 高寒草原植被盖度受相对湿度和气温的影响显著, 山地草原植被盖度受土壤含水量累加值影响较大, 而山地草甸、山地草甸草原和山地荒漠草原的植被盖度受上月气温的影响显著。

#### 参考文献:

- [1] 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): 1-4.
- [2] 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): 26-30, 35.
- [3] 郑晓翾, 赵家明, 张玉刚, 等. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 533-538.
- [4] 李师翁, 薛林贵, 冯虎元, 等. 陇东黄土高原丘陵沟壑区天然草地群落学特征研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(9): 1921-1927.
- [5] 刘硕, 贺康宁, 王晓江. 鄂尔多斯沙地不同退牧年限植物群落多样性及变异性研究[J]. 西北植物学报, 2010, 30(3): 586-592.
- [6] 马文红, 方精云. 中国北方典型草地物种丰富度与生产力的关系[J]. 生物多样性, 2006, 14(1): 21-28.
- [7] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, et al. Large scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands[J]. Global Ecology Biogeography, 2010, 19: 268-277.
- [8] 程积民, 万惠娥, 胡相明. 黄土高原草地土壤种子库与草地更新[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 679-683.
- [9] Fan J W, Wang K, Harris W, et al. Allocation of vegetation biomass across a climate related gradient in the grasslands of Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73: 521-528.
- [10] 郭其强, 方江平, 边多, 等. 不同干扰形式对砂生槐群落结构特征的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1670-

- 1677.
- [11] 程杰, 呼天明, 程积民. 黄土高原半干旱区云雾山封禁草原 30 年植被恢复对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2630-2638.
- [12] 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.
- [13] 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 $\alpha$ 及 $\beta$ 多样性的初步研究[J]. 草业科学, 2006, 23(6): 1-6.
- [14] 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.
- [15] 沈禹颖, 阎顺国, 朱兴运, 等. 河西走廊几种盐化草地第一性生产力的研究 I. 地上生物量与地下生物量季节动态及分配[J]. 草业学报, 1995, 4(2): 44-50.
- [16] 刘国彬. 草地植物生物量研究概述[J]. 草原与牧草, 1986, 2(2): 9-15.
- [17] 白永飞, 徐志信. 典型草原 9 种牧草生长发育规律的研究[J]. 中国草地, 1994(6): 21-27.
- [18] 周兴民. 中国高草草甸[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 131-167.
- [19] 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 927-932.
- [20] 王妮, 彭书时, 方精云. 中国北方天然草地的生物量分配及其对气候的响应[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 90-97.
- [21] Ni J. Estimating net primary productivity of grasslands from field biomass measurements in temperate northern China [J]. Plant Ecology, 2004, 174: 217-234.
- [22] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区两类天然草原群落地下部数量特征及其与土壤水分关系的比较研究[J]. 西北植物学报, 1999, 19(4): 699-706.
- [23] 王丽学, 程积民, 万惠娥, 等. 云雾山天然草地植物生长规律[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3168-3175.
- [24] 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: 生命科学版, 2008, 38(1): 84-92.
- [25] 张国辉, 赵成章, 李兴福, 等. 石羊河上游草地植物种群特征与生产力关系研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(5): 116-120.
- [26] Bai Y F, Han X G, Wu J G, *et al.* Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland [J]. Nature, 2004, 431: 181-184.
- [27] 张彩琴, 杨持. 几种不同生活型草原植物生长动态的比较研究[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2007, 38(9): 557-564.

(上接第 117 页)

- [4] 倪吾钟, 何念祖, 林荣新. 钾对大白菜的营养作用及其生理机制研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(2): 117-122.
- [5] 徐向阳, 黄和平, 王巍. 大蒜氮磷钾配合施用技术研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 28(35): 8942-8943, 8999.
- [6] 朱建忠, 吴震, 程秋华, 等. 苗期追肥种类和追肥量对嘉定白蒜生长发育及产量与质量的影响[J]. 上海农业学报, 2005, 21(1): 37-40.
- [7] 朱建忠, 吴震, 徐兰, 等. 钾肥施用量对嘉定白蒜植株生长和蒜头产量及商品性的影响[J]. 上海农业学报, 2005, 21(3): 29-31.
- [8] 姜丽娜, 詹长庚, 符建荣, 等. 钾硫对大蒜头优质高产的效应及相互关系初探[J]. 土壤肥料, 1997(1): 28-31, 24.
- [9] 何启伟, 赵德婉. 山东名产蔬菜[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1990: 340-359.
- [10] 成瑞喜, 韦江群, 刘学福. 磷水平与大蒜产量和品质的关系[J]. 中国蔬菜, 1997(2): 6-8.
- [11] 张翔, 朱洪勋, 孙美河. 氮硫单施及配施对大蒜的效应研究[J]. 土壤肥料, 1997(5): 25-27.
- [12] Hoagland D R. The water cultyture method for growing plants without soil [J]. Calif Agr Exp Stat Circ, 1950, 34(7): 1-32.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12, 265-267, 269-270, 270-271.
- [14] 梅四卫, 贾云超, 宋巧玲, 等. 钾肥施用量对中牟大蒜产量及品质影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(1): 115-119.
- [15] 刘艳芝, 张金科, 徐宝连, 等. 氮磷钾肥施用量对大蒜蒜头产量的影响[J]. 山东农业科学, 2009(7): 66-67, 70.
- [16] 黄伟, 张俊花, 李文杰, 等. 钾营养对地膜覆盖小南瓜产量和贮藏特性的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 262-265.
- [17] 王芳, 杨常新, 韩继山, 等. 不同供钾水平对芹菜产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 258-261.
- [18] 钟晓兰, 张德远, 李江涛, 等. 施钾对烤烟钾素吸收利用率及其产量和品质的影响[J]. 土壤, 2008, 40(2): 216-221.
- [19] 郑维民, 贾彦枝, 刘国振, 等. 番茄对钾的吸收分布及对产量的影响[J]. 中国蔬菜, 1987(4): 8-11, 12.
- [20] 刘冬碧, 陈防, 熊桂云, 等. 钾营养对莲藕产量形成和氮磷钾养分配积分配的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 978-985.