

文章编号: 1007-0435(2005)03-0238-04

矮嵩草草甸生物量季节动态及其与气候因子的关系

蒲继延¹, 李英年^{2*}, 赵 亮², 杨时海¹

(1. 青海大学农牧学院草业科学系, 青海西宁 810003; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810001)

摘要: 测定高寒矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸地上、地下生物量季节动态, 分析生物量季节动态与气候因子的相关性, 建立了地上生物量动态变化的模拟模型。结果表明: 高寒矮嵩草草甸地上生物量动态变化历经萌动期、返青期、旺盛生长期、稳定期和折损减少期等 5 个阶段; 地下生物量自 5-9 月表现出升高-降低-升高的变化规律, 且变化幅度较高; 2003 年地下净生产量 633.46 g/m², 周转率 0.3193; 利用海北高寒草甸多年观测资料, 建立了气象因子影响植被年生产量的预报模型。

关键词: 矮嵩草草甸; 生物量; 季节动态; 气候因子; 预报模型

中图分类号: Q 948 文献标识码: A

The Relationship Between Seasonal Changes of *Kobresia Humilis* Meadow Biomass and the Meteorological Factors

PU Ji-yan¹, LI Ying-nian^{2*}, ZHAO Liang², YANG Shi-hai¹

(1. Grass Department, Agriculture and Husbandry College of Qinghai University, Xining, Qinghai Province 810003, China;

2 Institute of Northwest Plateau Biology, CAS, Xining, Qinghai Province 810001, China)

Abstract: Measuring of the seasonal changes of the above-and under-ground biomass of *kobresia humilis* meadow, and analyzing of the relationship between the meteorological factors and seasonal changes of *k. humilis* biomass were done in order to set up a simulant model of above-ground biomass seasonal changes. The result shows that the *k. humilis* meadows undergo five phases of bourgeoning, turning green, vigorous growth, stabilizing, and shrivelling and declining in a year. From May through September, the under-ground biomass adhered to the routine of rising, then dwindling, and rising again, all with considerable scales. The net under-ground biomass production was 633.46 g/m² in 2003, the ratio between the amount of increased under-ground biomass and the peak biomass output was 0.3193. Using data accumulated and analyzed for years in alpine meadows of northern Qinghai lake, a prediction model forecasting meteorological factors that influence the yearly vegetation biomass yield has been set up.

Key words: *Kobresia humilis* meadow; Biomass; Seasonal change; Meteorological factors; Prediction model

高寒草甸是青藏高原典型的高原地带性植被类型, 主要分布在青藏高原及其周围山地。优势种矮嵩草(*Kobresia humilis*)草质柔软、营养丰富、热值高, 是该类草地的重要牧草之一。多年来, 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站对高寒草甸生态系统的结构、功能及其生产力提高途径进行了系统研究, 对牧草产量与气象因子的关系也进行了尝试性地探讨^[1-4]。但是,

随着全球气候趋暖, 特别是近 20 多年来气温明显升高, 高寒草甸草地生物量及其季节变化动态均将发生较大变化^[5-7]。为此, 于 2003 年对高寒矮嵩草草甸植被生物量季节动态及其与气候因子的关系进行了研究, 并建立了环境因子与生物量动态变化的相关模型。旨在通过与过去的观测研究进行比较分析, 弄清高寒草甸植被对气候趋暖的响应。

收稿日期: 2004-05-28 修改日期: 2005-03-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-01A); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412501); 中日合作“温带高山草原生态系统的碳素动态和温暖化影响的研究”及中日合作“亚太地区环境创新战略计划(APEIS)”

作者简介: 蒲继延(1982-), 男, 青海乐都人, 硕士研究生, 主要从事草地生态研究工作; * 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: ynli@nwpb.ac.cn

1 材料与方法

1.1 实验区自然概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)进行。海北站地处青藏高原东北隅祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段(37°29′~37°45′N, 101°12′~101°23′E), 海拔 3200~3600 m, 具明显的高原大陆性气候。气温极低, 无明显四季之分, 仅有冷暖二季之别。无霜期 20 天左右, 在最热的 7 月仍可出现霜冻、结冰、降雪(雨夹雪)等天气现象^[8]。主要植被类型为矮嵩草甸、金露梅灌丛(*Potentilla fruticosa*)草甸、小蒿草(*K. pygmaea*)草甸、沼泽化藏蒿草(*K. tibetica*)草甸。牧草低矮, 生产力低。滩地或山地阳坡的土壤类型为草毡寒冻锥形土(*Macrylic cambisols*), 山地阴坡为暗沃寒冻锥形土(*Macrylic cambisols*)、沼泽地为有机寒冻潜育土(*Organic cryic gleysols*)。土壤发育年轻, 土层浅薄, 有机质含量丰富^[8]。

1.2 研究方法

1.2.1 生物量测定于 2003 年 5-10 月进行, 每月 15 日和 30 日各测定 1 次。

1.2.2 地上生物量 随机选择 6 个 50 cm × 50 cm 的样方, 用剪刀齐地面刈剪。

1.2.3 地下生物量 在测定地上生物量的样方内随机选择 25 cm × 25 cm 的 2 级样方, 按 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 3 个层次, 用铁铲和切刀分层取出, 用筛子筛选根系并冲洗干净。

1.2.4 样品在 65 °C 下烘干至恒重, 称重。

1.2.5 气温和降水资料由海北站气象站提供。0~20 cm 土层温度和湿度通过测温仪(CPT-10, CLMATEC)和时域反射仪(TDR, CS615, CSD)连续观测获得。

2 结果与分析

2.1 生物量季节动态及其与气候因子的关系

2.1.1 地上生物量季节动态变化及其与气候因子的关系 矮嵩草甸地上生物量动态变化, 自萌动开始, 历经返青、旺盛生长、稳定和折损减少等 5 个阶段, 大体上分别对应于 4 月下旬-5 月中旬、5 月中旬-6 月中旬、6 月中旬-8 月上旬、8 月底-9 月初和 9 月初以后-翌年 4 月中旬(图 1)。在海北站地区, 4 月下旬日均气温稳定通过 0 °C 时植物开始萌动, 5 月中旬日均气温稳定通过 3 °C 左右时进入返青期, 该期气温较低, 地表 30

cm 依然为季节冻土, 地温很低, 降水少, 受“春旱”或“春寒”的影响, 植物生长缓慢, 干物质积累受到限制。6 月中旬-8 月上旬, 太阳辐射强烈, 日均气温稳定通过 5 °C, 气温较高, 其中 7 月平均气温为 9.8 °C; 降水丰富, 7-8 月降水达 225 mm, 是全年总量(560 mm)的 40%; 有利的水热条件, 促使植物生长旺盛, 干物质积累迅速。8 月底-9 月初牧草发育成熟, 生物量在年内达最大, 并相对稳定一段时间。尔后随着气温的降低, 降水减少, 土壤表层季节冻融交替出现, 植被逐渐枯萎, 生物量不再积累, 相反因受恶劣环境条件的影响有下降的趋势; 9 月下旬以后气温继续降低, 当日均气温稳定降至 5 °C 以下时大多数植物停止生长, 降至 0 °C 以下完全停止生长并逐渐枯黄, 进入冬季休眠状态。

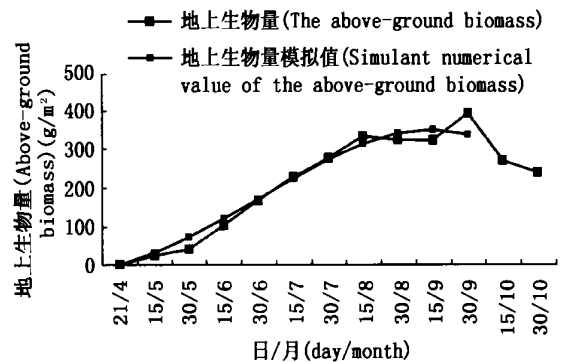


图 1 矮嵩草甸地上生物量实测值与模拟值

Fig. 1 The actual and simulant numerical value of the above-ground biomass of *Kobresia humilis* meadow

若以 4 月 21 日(多年平均 4 月 21 日为海北站地区日均气温稳定通过 0 °C 日)为植物萌动初始日, 统计日均气温稳定通过 0 °C 后的累计天数($\sum n$)与牧草生物量(JW)季节动态之间存在下列关系($r=0.9887$, $df=11$, $P<0.01$)。

$$JW = -0.0002(\sum n)^3 + 0.0586(\sum n)^2 - 2.24483(\sum n) - 20.545 \quad (1)$$

对(1)求一阶、二阶导数, 则分别有:

$$d(JW)/d(\sum n) = -0.0006(\sum n)^2 + 0.1172(\sum n) - 2.24483 \quad (2)$$

$$d^2(JW)/d(\sum n)^2 = -0.0012(\sum n) + 0.1172 \quad (3)$$

式(2)中: $d(JW)/d(\sum n)$ 表示地上生物量随时间推移的增长率。当 $d(JW)/d(\sum n) = 0$ 时, 增长速率等于零, 此时之 $\sum n$ 为生物量达到最高值的日期。经计算可得, $\sum n = 173$ 。表明 2003 年生物量达到最高值的日期为日均气温稳定通过 0 °C (4 月 21 日)后的第 173 d, 即 9 月 14 日, 生物量为 309.40 g/m²。式(3)中 $d^2(JW)/d(\sum n)^2$ 表示植物干物质积累速率的加速度。当 d^2

$(JW)/d(\sum n)^2 = 0$ 时, 生物量增长率达到最大。经计算可得 $\sum n = 97$ 。表明生物量积累最大速率出现的日期为日均气温稳定通过 0 后的第 97 d, 即 6 月 30 日, 积累速率为 $3\ 478\ \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2.1.2 地下生物量季节动态变化 地下生物量按 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 和 0~40 cm 分层统计(图 2)。由图 2 可见, 从 5-9 月, 0~40 cm 地下生物量的变化较为复杂, 但基本表现为“N”型变化规律^[9]。地下生物量在 9 月末达高峰, 次高值出现在植物旺盛生长前的 6 月末, 分别为 $1983\ 95\ \text{g}/\text{m}^2$ 和 $1953\ 73\ \text{g}/\text{m}^2$ 。最低值出现在植物旺盛生长阶段的 7 月中旬, 为 $1350\ 49\ \text{g}/\text{m}^2$ 。地下生物量“N”型变化规律与气候条件影响下根系储备营养物质的迁移有关。在生长初期, 较深层土壤仍有季节冻土维持, 地下部分生长发育缓慢, 致使萌动~返青初期地下生物量较低。6 月中旬进入旺盛生长之前, 气温仍然较低, 日均气温在 5 上下波动, 日最低气温常在 -5 以下, 甚至出现小于 -10 的低温, 地上部生长发育缓慢, 大量的光合作用产物储存于地下部, 有利于根系的发育和生长, 地下生物量增高明显。6 月下旬以后, 气温继续升高, 降水丰富, 季节冻土完全融化, 水热协调配合, 植物生长旺盛, 地上部生长消耗大量地下部贮存的营养和能量, 导致地下生物量急剧减少。8 月中旬以后, 光合作用供给地上部的生长发育, 随着时间的推移气温降低, 日最低气温常低于 0, 但较深层土壤温度处于年内最高时期, 地上生物量增加不明显, 地下部有大量能量贮存, 对地下生物量的再次增高创造了良好的条件。随着冬季的到来, 土壤完全冻结, 地下生物量有所下降。

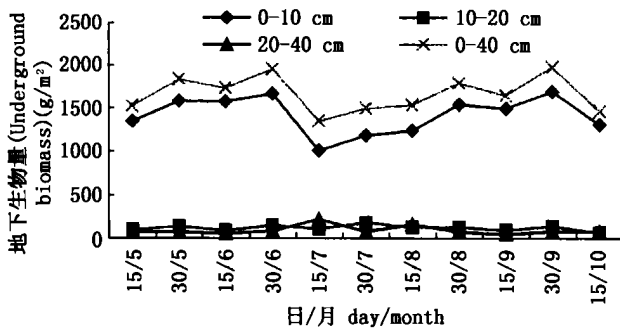


图 2 矮嵩草甸地下生物量季节动态变化

Fig. 2 The seasonal dynamics of underground biomass in *K. humilis* meadow

地下生物量的分布状况为 0~10 cm 表层占 80% 以上, 10~20 cm 占 13%, 20~40 cm 仅占 6%, 这是高寒草甸地下生物量分布的一大特征。高海拔地区, 土壤热通量极小, 一般只占辐射平衡的 4% 左右^[10]。土壤温度变化主要发生在地表 0~10 cm 层次, 深层热量传播缓慢, 日变化极小。深层次热量不足, 限制了植物根系的向下生长。

矮嵩草草甸年地下净生产量(植物生长期最高值与最低值之差)为 $633\ 46\ \text{g}/\text{m}^2$ 。矮嵩草草甸地下生产量周转值^[11, 12](地下生产量增加量与最高量的比值)为 0.3193, 较温性草原低^[11]。这与高海拔地带温度低、环境恶劣等有关。矮嵩草草甸杂草类居多, 且其根茎含水量较高, 冬季严寒可使杂草类根茎冻伤或拉断, 待来年生长时被冻伤或拉断的根茎腐烂死亡。随着暖季的到来, 新根茎加速生长。不同年份地下生物量累积量差异较大, 其周转值相应变化较大。与过去的测定结果比较发现, 在气候条件好的年份, 如气温高, 降水丰富等, 地下生物量周转值也高, 不同区域的矮嵩草植被因土壤环境等不同, 周转值差异较明显。

2.2 矮嵩草草甸地上年生产量预报模型

以上分析表明, 水热条件的良好配合是影响高寒矮嵩草草甸生物产量的主要因子。通过回归分析, 建立矮嵩草草甸地上生物产量与气温、降水量关系的回归方程

$$JW = 19.661(T_7 - T_1) + 0.149R_5 - 145.165$$

(4)

式(4)中 JW 为牧草产量; T7 和 T1 分别为 7 月和 1 月的平均气温, T7 - T1 代表气温的年较差; R5 为 5 月份降水量。模拟结果见图 3。可以看出, 利用关系式(4)建立的产量预报模型效果较好 ($r = 0.597$, $df = 20$, $F = 4.432$, $P < 0.05$)。

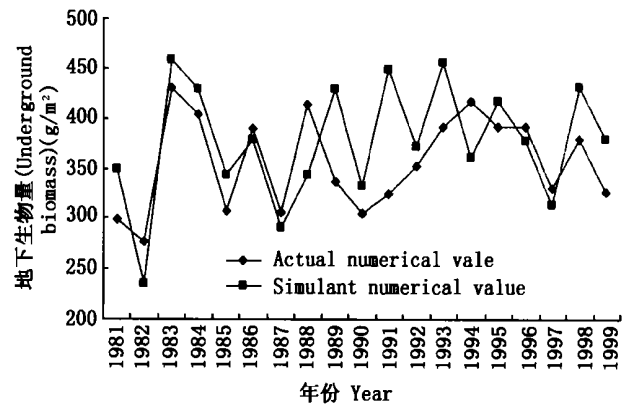


图 3 矮嵩草草甸 19 年地上生物量实测值与模拟值(1981- 1999)

Fig. 3 Comparison of actual and simulant numerical value of above-ground biomass of *K. humilis* meadow within 19 years (1981- 1999)

3 讨论与结论

3.1 高寒矮嵩草草甸生物量自萌动开始, 历经返青、旺盛生长、稳定和折损减少等 5 个阶段。 牧草萌动、返青、旺盛生长的开始时期分别与 4 月下旬日均气温稳定通过 0、5 月中旬日均气温稳定通过 3、6 月中

旬-8月上旬日均气温稳定通过5℃的初期相一致。8月底-9月初牧草发育成熟,生物量在年内达到最大,并相对稳定一段时间。尔后随着气温逐渐降低(日均气温降至5℃以下),生物量不再积累而出现折损减少的现象。

3.2 以4月21日为矮嵩草草甸植物萌动初始日,海北矮嵩草草甸地上生物量(JW)季节动态与日均气温通过0℃后的累计天数($\sum n$)之间存在如下关系:

$$JW = -0.0002(\sum n)^3 + 0.0586(\sum n)^2 - 2.24483(\sum n) - 20.545$$

依此式模拟计算表明,高寒矮嵩草草甸地上生物量高峰期约为9月14日,地上生物量积累最大速率期在6月30日左右(3478 g/(m²·d)),这与李英年等^[13]的研究结果基本一致。

3.3 5-9月,0~40 cm土层地下生物量的变化出现准“N”型变化规律,且具有较高的变化幅度。9月末地下生物量达到最高,以植物旺盛生长阶段的7月中旬最低。

3.4 地下生物量的分布状况为:0~10 cm表层占80%以上,10~20 cm占13%左右,20~40 cm仅占6%。

3.5 年内地下净生产量和周转值分别为633.46 g/m²和0.319。

3.6 高寒矮嵩草草甸生物产量与气温和降水量的回归方程为:

$$JW = 19.661(T_7 - T_1) + 0.149R_5 - 145.165$$

该方程模拟效果较好,达显著性检验水平。

3.7 植物生长受各种环境因子的综合作用,本文仅考虑了气温和降水,其它因子的作用差异尚不十分明确,有必要进一步系统、深入地探讨。

参考文献

- [1] 王文颖,王启基,邓自发. 青海海北地区高山嵩草草甸植物群落的结构特征及其分布格局[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 336-343
- [2] 赵亮,古松,杜明远,等. 海北高寒草甸辐射能量的收支及植物生物量季节变化[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 66-69
- [3] 王启基,王文颖,邓自发. 青海海北地区高寒草甸植物群落生物量动态及能量分配[J]. 植物生态学, 1998, 22(3): 222-230
- [4] 王启基,周兴民. 高寒矮嵩草草甸禾草种群的生长发育节律及环境适应性[J]. 植物生态学与地植物学报, 1991, 15(2): 168-176
- [5] 李英年,张景华,祁连山. 海北冬春气温变化对草地生产力的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 443-446
- [6] 李英年,王启基,赵新全. 气候变暖对高寒草甸气候生产潜力的影响[J]. 草地学报, 2000, 8(1): 24-29
- [7] 李英年. 高寒草甸牧草产量和草场载畜量模拟研究及对气候变暖的响应[J]. 草业学报, 2000, 9(2): 77-82
- [8] 李英年,赵新全,曹广民,等. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 558-567
- [9] 李英年,王勤学,古松,等. 高寒植被类型及其植物生产力的监测[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 40-48
- [10] 李英年,赵亮,古松,等. 海北高寒草甸地区能量平衡特征[J]. 草地学报, 2003, 11(4): 289-295
- [11] 陈佐忠,黄德华. 内蒙古锡林河流域羊草草原与大针茅草原地下部分生产力和周转值的测定[C]. 草原生态系统(2) [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 132-138
- [12] 李英年,赵新全,王勤学,等. 青海海北高寒草甸五种植被生物量及环境条件比较[J]. 山地学报, 2003, 21(3): 257-264
- [13] 李英年,王启基,周兴民. 矮嵩草草甸地上生物量与气候因子的关系及其预报模式的建立[A]. 见: 高寒草甸生态系统[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 1-11