

小针茅荒漠草原地下生物量季节动态及其影响因素

杨婷婷^{1,2}, 高永¹, 吴新宏², 石红霄², 李鹏²

1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018

2. 中国农业科学院草原研究所; 农业部草地资源与生态重点开放实验室, 呼和浩特 010010

摘要 地下生物量实测数据的缺乏严重影响草地地下碳库的精确估计, 本文以苏尼特右旗小针茅荒漠草原为研究对象, 通过野外实地调查, 选取 6 个样地, 采集 2160 份根系样品, 进行室内试验分析, 获得小针茅荒漠草原生长季 5—9 月地下生物量数据, 分析了小针茅草原植被地下生物量的季节动态。结果表明: (1) 小针茅草原植被地下生物量季节动态表现为 N 型变化规律, 最高值出现在 7 月下旬, 最低值出现在 8 月下旬, 狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草草地各月的地下生物量均高于小针茅+无芒隐子草草地类型。(2) 小针茅草原不同层次地下部分生物量的季节变化不同, 0~10cm 的地下生物量表现出很大的波动性, 与总地下生物量的变化趋势基本一致; 10cm 以下的变化曲线逐渐平缓。(3) 5—9 月生长季小针茅草原 0~60cm 土层地下生物量与土壤有机碳含量无显著相关性, 0~10cm 土层地下生物量与土壤有机碳呈显著正相关。(4) 小针茅草原每月地下生物量和月降水量与月平均气温的相关性都不明显。(5) 小针茅草原不同深度土壤含水量与地下生物量存在显著正相关, 总地下生物量受 0~10cm 土壤含水量影响较大。

关键词 小针茅草原; 地下生物量; 季节动态; 影响因素

中图分类号 S812

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.h1.018

Seasonal Dynamics of Belowground Biomass of *Stipa klemenzii* Steppe and Its Environmental Influential Factors

YANG Tingting^{1,2}, GAO Yong¹, WU Xinhong², SHI Hongxiao², LI Peng²

1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

2. Grassland Research Institute, Chinese Academy Agricultural Sciences; Grassland Resource and Ecology Laboratory of Ministry of Agriculture, Hohhot 010010, China

Abstract The lack of measured data on belowground biomass seriously affects the accurate estimation of grassland belowground carbon pool. By taking *stipa klemenzii* steppe as the research object, six sample plots were selected, and 2160 root samples were collected for further experimental analysis via wild plots investigation, the seasonal dynamics of belowground biomass from May to September was analyzed. The results show that (1) The change trend of belowground biomass appears a N type, and the peak value appears in late July, and the lowest value appears in late August, the belowground biomass of grassland type of *Caragana stenophylla* Pojark - *Stipa klemenzii*+*Cleistogenes songorica* in each month is higher than that of grassland type of *Stipa klemenzii*+*Cleistogenes songorica*. (2) The seasonal dynamics of belowground biomass in different soil layers of *Stipa klemenzii* steppe is different, belowground biomass in the layer of 0~10cm appears a large fluctuation, which is consistent with the trend of total belowground biomass. Curve below the layer of 10cm is steadily stable. (3) There is no obvious correlation between below-biomass and soil organic carbon content in the soil layer of 0~60cm. However, in the layer of 0~10cm, the soil organic carbon content is significant positive correlated with belowground biomass from May to July. (4) There is no obvious correlation between belowground biomass and monthly precipitation or monthly average

收稿日期: 2012-07-23; 修回日期: 2012-12-11

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(70933004); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项

作者简介: 杨婷婷, 助理研究员, 研究方向为草业与荒漠化防治, 电子信箱: ytt198@126.com; 高永(通信作者), 教授, 研究方向为荒漠化防治, 电子信箱: gaoyong315@yahoo.com.cn

temperature. (5) Belowground biomass in different soil layers has a significant positive relation with soil moisture; total belowground biomass is greatly influenced by soil moisture in the layer of 0-10cm.

Keywords *Stipa klemenzii* steppe; belowground biomass; seasonal dynamics; influence factor

0 引言

草地植被生物量的 80% 以上都分布于地下^[1], 地下生物量是草地植被碳蓄积的重要组成部分, 准确测定草地地下生物量是确定草地植被源汇功能的基础^[2]。然而长期以来, 由于没有简便有效的地下生物量测定方法, 测定工作量大, 人们对地下生物量的认识相对薄弱, 成为陆地生态系统碳循环研究中的瓶颈^[3], 严重影响着草地地下碳库的精确估计。尽管如此, 中国一些学者自 20 世纪 80 年代初已经逐渐开展这方面的工作, 到目前为止已经积累了大量关于草地地下生物量和碳蓄积的基础资料^[4-16]。许多学者对典型草原、草甸草原的地下生物量进行了很多研究工作^[4-10,12-16], 而内蒙古荒漠草原植被地下生物量方面的资料, 前人研究甚少, 仅仅在某些群系上零星报道^[11]。因此, 本文选取内蒙古荒漠草原的代表性类型小针茅草原作为研究对象, 通过测定土壤各个层次中的地下生物量, 探讨小针茅群落地下生物量的季节动态及垂直分布规律, 以期荒漠草原碳储量研究提供基础数据资料, 同时也可作为其他草地地下生态研究的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于内蒙古自治区锡林郭勒盟西部的苏尼特右旗境内, 地处 41°55'N~43°39'N、111°8'E~114°16'E。该区域属干旱、荒漠半荒漠草原地带, 平均海拔高度为 1000~

1400m, 平均气温 4.3℃, 无霜期 135d, 年降水量平均为 170~190mm, 蒸发量平均为 2384mm。年日照时数 3200h, 平均风速 5.5m/s, 是沙尘暴频发区。全旗可利用草原面积 1.9 万 km²。草场类型属于荒漠、半荒漠草原, 处于草原向荒漠过渡的地带, 草群稀疏低矮, 植物种类较少, 牧草产量低, 盖度 10%~20%。土壤为栗钙土和棕钙土, 特点是腐殖质积累量与钙积化过程。

1.2 样地设置及取样方法

苏尼特右旗荒漠草原以小针茅草原为主, 本研究选取“小针茅+无芒隐子草”和“狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草”两种主要草地类型(表 1), 研究其地下生物量的季节动态。共设置了 6 个样地(3 个草本样地, 3 个灌木样地), 每个草本样地设置 3 个小样方, 每个样方取 4 钻地下生物量, 分层取样(每 10cm 一层), 取样深度 0~60cm, 每个月获得 216 份根系样品; 每个灌木样地设置 1 个大样方, 每个大样方内沿对角线及其中线按梅花形分别取 9 钻, 分层取样(每 10cm 一层), 取样深度 0~80cm, 每个月获得 216 份根系样品; 5 个月共获得根系样品 2160 份。取样时间为 2011 年 5—9 月生长季每月下旬取样一次, 采用根钻法分层获取地下生物量, 根钻直径为 7cm。样品按层装入塑封袋中带回, 置于筛子中进行冲洗, 直至根系与土壤分离。将根系从筛子中挑出, 分层装入纸袋, 放入烘箱, 65℃烘至恒重, 用电子天平称量干重, 平均后折算成单位面积的地下生物量。

表 1 样地描述

Table 1 Descriptions for sample sites

样地类型	草地类型	面积/km ²	分布	植被盖度/%	草层高度/cm	土壤类型
草本样地	小针茅+无芒隐子草	3759.47	西部	30	14	棕钙土、栗钙土
灌木样地	狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草	4456.24	西北部	40	17	棕钙土、栗钙土

1.3 数据处理

气象数据选用就近气象站资料, 采用 Excel 和 DPS 软件进行数据处理与统计分析, 数量特征间的关系用函数进行规律性描述。

2 结果与分析

2.1 总地下生物量季节动态

地下生物量的高低, 不同群落类型有很多变化, 即使同一植物群落类型, 不同年份和季节也有很多差异, 这主要与植物的生长发育及气候条件密切相关。

2011 年, 苏尼特右旗小针茅群落两种草地类型的地下生物量季节动态均表现为 N 型变化规律(图 1), 5—7 月表现为逐渐增加的趋势, 7—8 月地下生物量又迅速减小, 到 9 月底

又有所增加, 但增加幅度不大, 略高于 8 月。地下生物量最高值出现在 7 月下旬, 最低值在 8 月下旬, 狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草草地各月的地下生物量均高于小针茅+无芒隐子草草地类型。地下生物量的峰值分别为 1412.0 和 1230.0g/m², 地下生物量的最低值分别为 471.1 和 329.7g/m²。

2.2 地下各层生物量季节动态

通过对 2011 年苏尼特右旗小针茅草原各层地下生物量动态变化规律进行研究, 结果表明, 不同层次地下部分生物量的季节变化也表现出很多差异, 各层的地下生物量变化曲线并不一致(图 2)。

小针茅群落 0~10cm 的地下生物量变化最大, 表现出很大的波动性。由于根系集中分布于该层, 受环境条件和牧草生长节律的影响较大, 所以其季节变化也最为明显。10~20cm

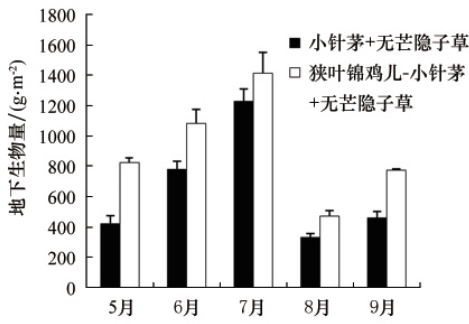


图1 2011年小针茅荒漠草原总地下生物量季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of belowground biomass in the year of 2011 in the *Stipa klemenzii* steppe vegetation

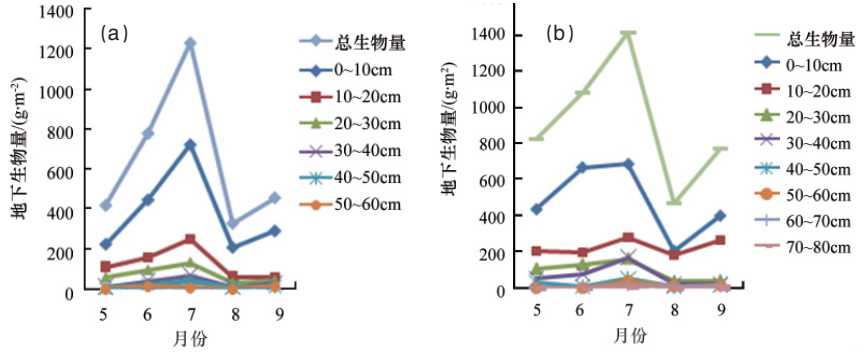


图2 小针茅+无芒隐子草草地型(a)和狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草草地型(b)地下各层生物量季节动态

Fig. 2 The seasonal dynamics of belowground biomass for different layers in grassland type of *Stipa klemenzii*-*Cleistogenes songorica* (a) and *Caragana stenophylla* Pojark-*Stipa klemenzii*-*Cleistogenes songorica* (b)

和20~30cm两层的地下生物量也表现出波动性,但不显著,而30~40cm、40~50cm和50~60cm的地下生物量季节变化很小,变化曲线较平缓。这与根系分布相对较少、受地表环境条件的影响也较小有关。小针茅+无芒隐子草群落0~10cm地下生物量与总地下生物量的变化趋势基本一致,狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草群落0~10cm地下生物量的变化趋势与总地下生物量的变化趋势略有不同。

2.3 降水和气温对地下生物量的影响

研究发现,小针茅草原群落每月地下生物量与月降水量的关系不明显,2011年月地下生物量与月降水量的关系可用二次方程模拟,如图3(a)。2011年小针茅草原地下生物量与月平均气温的相关性较差,即使用二次方程 R^2 值仍然很小,如图3(b)。

水热因子是制约牧草返青和产草量的主要因子,其中温

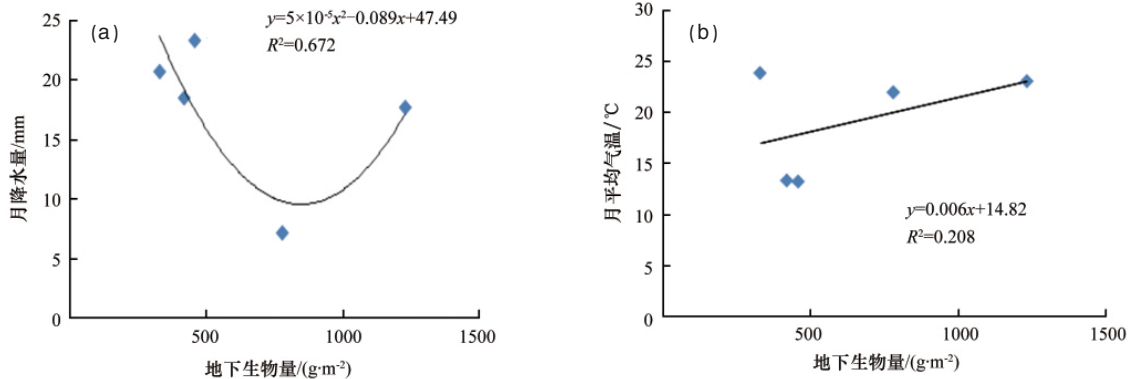


图3 2011年地下生物量与月降水量(a)和月平均气温(b)的关系

Fig. 3 Relationship between below-ground biomass, month precipitation (a) and average month temperature (b) in 2011

度是决定牧草返青早晚的限制因子,降水量是群落生物量高低和高峰期早晚的限制因素^[4]。天然草地地下生物量主要受降水和温度的影响。从图4可以看出,2011年苏尼特右旗的气温与历年平均值基本一致,而降水量明显低于历年平均值,尤其是5—7月生长季干旱非常严重,对生物量季节动态影响很大,使得地下生物量与月降水量和月均温的相关性很差,有待于进一步探讨。

2.4 地下生物量与土壤碳库的关系

小针茅草原地下生物量与土壤有机碳的相关分析结果表明(图5),5—9月生长季小针茅草原0~60cm土层地下生物量和土壤有机碳含量无显著相关性,0~10cm土层地下生物

量和土壤有机碳呈显著正相关($r=0.72, P<0.05$)。

在生长初期,地下部分生长发育缓慢,致使前期地下生物量较低,而后随着气温升高、降水增多,土壤温度亦随之升高,加快根系的生长发育,地下生物量增高明显。到7月,水热条件配合协调,光合作用积累大量物质供地下部分生长,7月底达到一年中的峰值。同时,土壤温度的升高加剧了土壤微生物的活动进程,死根被分解储存于土壤中,土壤有机碳含量逐渐增加。7月底之后,由于该地区生长季长期干旱,根系开始死亡,表现出7月底到8月底地下生物量有一明显的下降过程(表2),而此期间,微生物活动频繁,大量死根被分解,土壤有机碳含量在8月底达到峰值。到9月,降雨量增加,

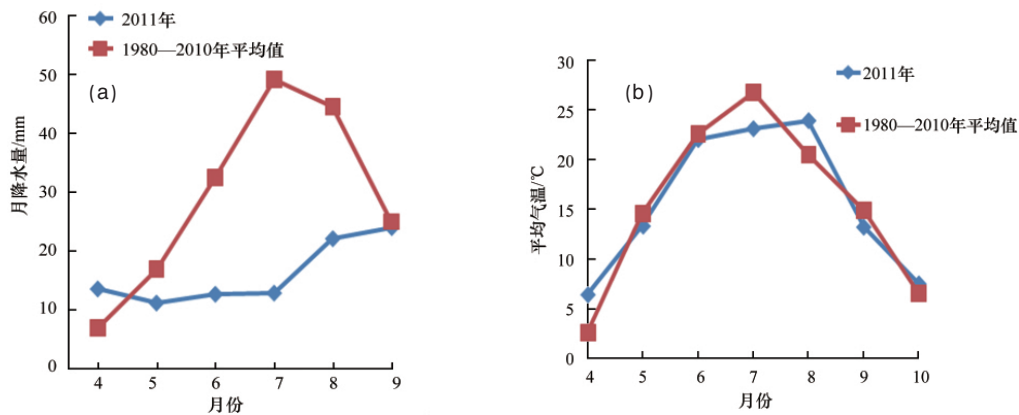


图4 苏尼特右旗 2011 年月降水量和月平均气温与历年平均值
Fig. 4 Month precipitation and average month temperature in 2011 annual average in Sonid Youqi

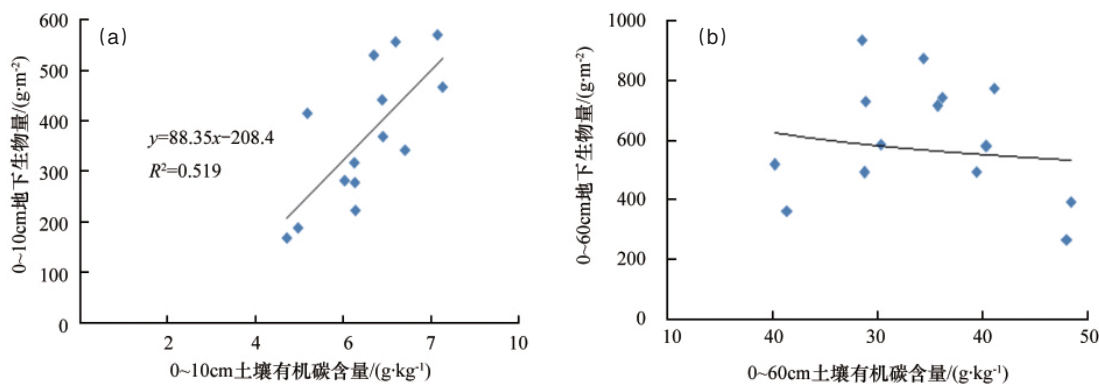


图5 地下生物量与土壤有机碳的相关关系
Fig. 5 Relationship between below-ground biomass and soil organic carbon

表2 小针茅草原 5—9 月土壤有机碳及地下生物量
Table 2 Soil organic carbon and below-ground biomass from May to September in the *Stipa klemenzii* steppe

小针茅草原	5月	6月	7月	8月	9月
地下生物量/(g·m ⁻²)	419.60	779.10	1230.00	329.70	458.10
土壤有机碳/(g·m ⁻²)	7018.28	9081.68	9711.56	13045.58	11161.37

地下生物量再次增高,而此时土壤温度下降,土壤微生物活动减缓,土壤有机碳含量降低。

2.5 地下生物量与土壤含水量的关系

小针茅草原不同深度土壤含水量同地下生物量存在正相关关系(图6),10~20cm层和20~30cm层的土壤含水量与地下生物量相关性均达到极显著水平,相关系数分别为0.79和0.74($P<0.001$);0~10cm土层含水量与地下生物量的相关性达到显著水平,相关系数为0.66($P<0.05$)。0~30cm总地下生物量与0~10cm土壤含水量和0~30cm总土壤含水量具有显著相关性,相关系数分别为0.54和0.66,而与10~20cm和20~30cm层的土壤含水量没有显著相关性。表明小针茅草原

地下生物量与土壤含水量存在显著正相关关系,总地下生物量受0~10cm土壤含水量影响较大。

3 讨论

3.1 地下生物量变化曲线

对草地地下生物量季节动态的研究表明,在一个生长季中,草地植物的地下生物量会有很大的变化。蒲继延等^[9]对高寒矮蒿草草甸地下生物量的研究表明,地下生物量表现为N型变化规律,9月达到高峰,次高值出现在植物旺盛生长前的6月末,分别为1983.95和1953.73g/m²,最低值出现在植物旺盛生长阶段的7月中旬,为1350.49g/m²。巴音^[6]对不同退化

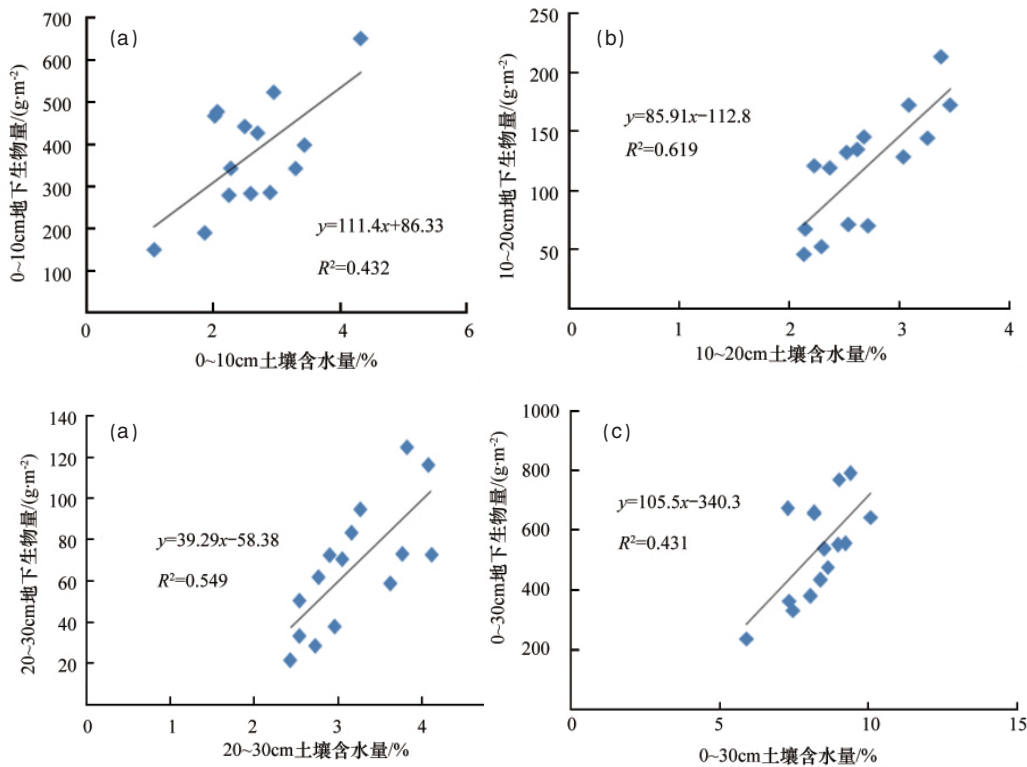


图 6 小针茅草原各层地下生物量与土壤含水量的关系

Fig. 6 Relationship between below-ground biomass and soil moisture in the *Stipa klemenzii* steppe vegetation

程度克氏针茅草原群落地下生物量的研究表明,正常地段的地下生物量呈双峰曲线,中度、强度和极度退化地段的地下生物量呈单峰曲线。耿浩林等^[7]对内蒙古羊草草原围栏样地连续两年的观测结果表明,羊草草原植被地上、地下生物量季节变化均呈单峰型曲线,峰值出现在8月。耿浩林^[8]对克氏针茅群落地下生物量的研究表明,2004年地下生物量季节动态表现为单峰型曲线,峰值出现在7月,2005年峰值出现在8月。黄德青等^[9]对祁连山北坡5类天然草地地下生物量的研究表明,地下生物量季节变化在高寒草原表现为W型变化规律,山地草甸、山地草甸草原、山地草原、和山地荒漠草原均呈N型变化规律。朱宝文等^[10]对青海湖北岸草甸草原天然牧草地下生物量的研究表明,0~10cm、10~20cm和20~40cm层牧草地下生物量在生长季均表现为N型变化规律。荒漠草原地下生物量表现出明显的季节波动。冯雨峰^[11]对内蒙古灌丛化石生针茅荒漠草原地下生物量的研究表明,地下生物量的季节动态呈单峰型曲线,峰值出现在9月中旬。

本试验中小针茅草原地下生物量季节动态呈N型变化规律,这与朱宝文等^[10]在青海湖北岸草甸草原和白永飞等^[12]在内蒙古羊草草原的研究结果一致,而与冯雨峰^[11]的研究结果不同。且本研究中地下生物量的峰值出现在7月下旬,而冯雨峰的研究结果是地下生物量的峰值出现在9月中旬,这与2011年苏尼特右旗的极端干旱有关。2011年苏尼特右旗

春季、夏季降雨量都远远低于往年的平均水平,干旱非常严重,小针茅草原在7月就已枯黄,一直到9月降雨量增加才有所好转,这种极端年份对生物量的季节动态影响很大,因此,需要获得几年连续观测数据后进行深入探讨。2011年小针茅草原各层的地下生物量季节变化曲线不同,0~10cm的地下生物量表现出很大的波动性,与总地下生物量的变化趋势基本一致,这与耿浩林等^[7]对克氏针茅群落地下生物量的季节变化研究结果一致。

3.2 地下生物量影响因素

根系地下生物量的分布与环境因子密不可分,环境改变必然对植物的地下部分产生影响^[13]。大量研究表明,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^[4]。李英年^[15]对高寒草甸植物地下生物量与气象条件的关系统计分析表明,气温、降水量的变化与地下生物量明显负相关。陈世璜^[4]提出,生境水分条件越湿润,地下生物量越少,地下生物量系数越大,相反,干旱度越大,即地下生物量相对越多,地下与地上生物量差距越大。本研究表明,小针茅草原每月地下生物量与月降水量和月均温的相关关系都不明显,可能与本年度的极端干旱有关,同时,许多研究者还对影响地下生物量的因素进行的研究表明,草地地下生物量与土壤含水量呈显著正相关^[9,13,15,16]。本研究中,小针茅草原不同深度土壤含水量同地下生物量存在显著正

相关关系,这与黄德青、李凯辉、王鑫等^[9,13,16]关于高寒草甸地下生物量与土壤含水量相关关系的研究结果一致。

4 结论

小针茅群落两种草地类型的地下生物量季节动态均表现为 N 型变化规律,狭叶锦鸡儿-小针茅+无芒隐子草草地各月的地下生物量均高于小针茅+无芒隐子草草地类型。小针茅草原不同层次地下部分生物量的季节变化曲线并不一致。表层地下生物量表现出很大的波动性,随着深度增加,地下生物量季节变化的曲线趋于平缓,说明随着土层深度的增加,地下生物量受季节变化的影响变小。小针茅草原各月地下生物量与月降水量和月均温的相关关系均不明显。5—9 月生长季小针茅草原 0~10cm 土层地下生物量和土壤有机碳成显著正相关。小针茅草原总地下生物量受 0~10cm 土壤含水量影响较大。

参考文献 (References)

- [1] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: Shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11(1): 1-3.
- [2] Wang L, Niu K, Yang Y, et al. Patterns of above-and belowground biomass allocation in China's grasslands: Evidence from individual-level observations[J]. *Science China: Life Sciences Edition*, 2010, 53(7): 851-857.
- [3] 胡中民, 樊江文, 钟华平, 等. 中国草地地下生物量研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1095-1101.
Hu Zhongmin, Fan Jiangwen, Zhong Huaping, et al. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1095-1101.
- [4] 陈世璜. 内蒙古克氏针茅草原群落及其特性的研究 [J]. *内蒙古草业*, 1993(3): 1-4.
Chen Shihuang. *Inner Mongolia Prataculture*, 1993(3): 1-4.
- [5] 蒲继延, 李英年, 赵亮, 等. 矮蒿草草甸生物量季节动态及其与气候因子的关系[J]. *草地学报*, 2005, 13(3): 238-241.
Pu Jiyan, Li Yingnian, Zhao Liang, et al. *Acta Agrestia Sennica*, 2005, 13(3): 238-241.
- [6] 巴音. 不同退化程度克氏针茅草原群落地下生物量的比较研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
Ba Yin. *Comparative study on belowground biomass of different degradation degree the *Stipa krylovii* grassland community* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [7] 耿浩林, 王玉辉, 王风玉, 等. 恢复状态下羊草草原植被根冠比动态及影响因子[J]. *生态学报*, 2008, 28(10): 4629-4634.
Geng Haolin, Wang Yuhui, Wang Fengyu, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4629-4634.
- [8] 耿浩林. 克氏针茅群落地上/地下生物量分配及其对水热因子响应研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
Geng Haolin. *Study on the aboveground/belowground biomass allocation and its response to water and temperature of *Stipa krylovii* community*[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [9] 黄德青, 于兰, 张耀生, 等. 祁连山北坡天然草地地下生物量及其与环境因子的关系[J]. *草业学报*, 2011, 20(5): 1-10.
Huang Deqing, Yu Lan, Zhang Yaosheng, et al. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(5): 1-10.
- [10] 朱宝文, 周华坤, 徐有绪, 等. 青海湖北岸草甸草原牧草生物量季节动态研究[J]. *草业科学*, 2008, 25(12): 62-65.
Zhu Baowen, Zhou Huakun, Xu Youxu, et al. *Pratacultural Science*, 2008, 25(12): 62-65.
- [11] 冯雨峰. 内蒙古灌丛化石生针茅荒漠草原地下生物量与周转值的测定[J]. *内蒙古草业*, 1990(3): 27-31.
Feng Yufeng. *Inner Mogolia Prataculture*, 1990(3): 27-31.
- [12] 白永飞, 许志信, 李德新. 羊草草原群落生物量季节动态研究 [J]. *中国草地*, 1994(3): 1-5.
Bai Yongfei, Xu Zhixin, Li Dexin. *Grassland of China*, 1994(3): 1-5.
- [13] 李凯辉, 王万林, 胡玉昆, 等. 不同海拔梯度高寒草地地下生物量与环境因子的关系[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2364-2368.
Li Kaihui, Wang Wanlin, Hu Yukun, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2364-2368.
- [14] 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.
- [15] 李英年. 高寒草甸植物地下生物量与气象条件的关系及周转值分析 [J]. *中国农业气象*, 1998, 19(1): 36-39.
Li Yingnian. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1998, 19(1): 36-39.
- [16] 王鑫, 胡玉昆, 热合木都拉·阿迪拉, 等. 天山南坡草地土壤因子与地下生物量的梯度变化研究[J]. *中国草地学报*, 2008, 30(6): 67-73.
Wang Xin, Hu Yukun, Rahmutulla Adilla, et al. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(6): 67-73.

(责任编辑 吴晓丽)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。