

祁连山北坡天然草地地下生物量及其与环境因子的关系

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, 对这五类天然草地地下生物量及与环境因子关系的分析结果显示, 五类草地的地下生物量除山地草原、山地草甸草原和高寒草原无显著差异外, 其他各类草地间差异显著($P < 0.05$), 均呈“T”形分布, 且随土层深度的加深呈指数形式递减; 地下生物量季节变化在高寒草原表现为“W”型变化规律, 其他各类草地均呈“N”型变化规律, 且随土层深度的加深依次减小; 地下净生产量大小依次为山地草甸(546.84 g/m²) > 山地草甸草原(410.76 g/m²) > 山地草原(358.12 g/m²) > 高寒草原(301.33 g/m²) > 山地荒漠草原(81.68 g/m²), 地下生物量的周转值均在 45% 以上; 五类草地地下生物量与水热因子的关系为负相关关系, 但均没有达到显著相关水平($P > 0.05$) (除山地荒漠草原外), 但在水热条件较好的 7—8 月份, 五类草地地下生物量与水热因子的相关性(正相关或负相关)均达极显著水平($P < 0.01$), 而在其他月份, 不同类型草地地下生物量对环境因子的响应存在较大差异。

关键词:天然草地; 地下生物量; 净生产量; 周转值; 环境因子

中图分类号: S812.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2011)05-0001-10

* 草原植物群落地下生物量是草原生态系统生产力的重要组成部分。地下根系具有固定支持植物躯体、调节植物生长发育、储存营养物质和供给地上部分水分需求等基本功能, 所以研究草原生态系统地下部分生物量的分布规律和动态变化对于解释整个草原生态系统的物质循环过程具有十分重要的意义^[1,2]; 而且, 地下生物量是草地植被碳蓄积的重要组成部分, 在全球碳循环中具有十分重要的作用, 因而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^[3]。鉴于此, 国内外许多学者都对其进行了广泛的研究^[1-15]。

在祁连山区, 有关天然草地的研究多集中于群落结构及多样性、资源利用、土壤有机质等方面^[16-20], 对生物量方面的研究虽有报道^[21-24], 但已有的研究相对单一, 缺乏主要草地群落的系统和比较研究, 特别是在地下生物量的研究方面。为此本研究采用祁连山北坡五类天然草地 2004 年生长季的地下生物量数据与当地同期气象资料分析了地下生物量的垂直分布特征、季节变化、净生产量和周转值以及与环境因子的关系, 以期深入了解祁连山北坡不同类型天然草地生产力与环境因子影响机制以及为该区草原合理经营与管理、退化植被的恢复与生态环境综合治理提供一些基础资料。

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°20′~102°13′、北纬 37°28′~39°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的 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研究对象, 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。

* 收稿日期: 2010-07-19; 改回日期: 2010-10-09

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研究领域项目(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	E98°14' N39°06'	3445	高山草原土 Alpine steppe soil	252	-3.1
山地草甸 Mountain meadow	E99°48' N38°46'	3134	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	E99°49' N38°48'	2950	山地暗栗钙土 Mountain dark chestnut soil	370~450	0
山地草原 Mountain steppe	E99°54' N38°49'	2785	山地栗钙土 Mountain chestnut soil	260~491	0.2~2.1
山地荒漠草原 Mountain-desert grassland	E98°00' N39°11'	2861	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 五种草地的主要植物种组成

Table 2 Main plant species of five kinds grassland

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. breviflora</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>

1.2 研究方法

1.2.1 群落地下生物量的测定与计算 为了揭示地下生物量与环境因子的关系,试验样地均选择相对开阔和人为干扰相对较少的天然草地群落。于2004年5月牧草返青至2004年10月下旬生长末期,即5,6,7,8,9和10月下旬,在所选样地内随机设置面积0.25 m×0.25 m的样方5个,每次每区共计15个样方。采用挖土块法取样,测深为30 cm,每10 cm一层,样品按层装入布袋中,带回室内进行冲洗、分离,然后分层装入纸袋中,在80°C恒温下烘至恒重,称其干重(精度0.01 g)。本研究中,地下生物量是地表面以下的全部生物量。

地下生物量的垂直分布可以用指数模型来定量描述其分布规律^[25]。

$$B = \alpha e^{-bd} \quad (1)$$

式中, B 为地下生物量(g/m^2), d 土层深度(cm), α 、 b 为常数。

地下净生产量(underground net production)可用生长季内地下部分最大现存量与最小现存量的差值来计算^[25,26]。地下生物量的周转值(turnover value)用来描述生态系统地下生物量的更新速度^[26]。

$$TP = AI/BBP \quad (2)$$

式中, TP 为周转值; AI 为地下生物量年增量; BBP 为地下生物量最大值。

1.2.2 土壤含水量和降水量的测定 与地下生物量同时测定(除 4 月份外)。于 2004 年 5—10 月每月下旬测定 1 次, 采用土钻法分层取样。为了便于探讨地下生物量与土壤含水量之间的关系, 土壤水分的取样深度与地下生物量取样深度一致, 即每 10 cm 一层, 测深为 30 cm, 共 3 个层次, 每层重复取样 5 次, 然后用烘干法(105℃)烘干称重(精度 0.01 g), 取其平均值为该层的土壤水分含量。

$$\text{土壤含水量}(\%) = [(\text{土壤湿重} - \text{土壤干重}) / \text{土壤干重}] \times 100\% \quad (3)$$

降水量采用气象站用常规雨量筒测定。

1.2.3 气象要素的测定 在 5 类天然草地定位实验区设立小型自动气象站观测点, 按照地面气象观测规范的要求和试验研究的需要进行气象要素的观测。观测时间为 2003—2005 年, 观测步长为 30 min, 观测指标有气温、土壤温度、相对湿度和辐射等, 观测方法是小气候自动观测系统自动记录。获取 2004 年的观测数据, 取其平均值用于数据分析。

1.3 数据处理

用 Excel 2003 程序作图; 通过 SPSS 17.0 进行相关和回归分析以及显著性检验。

2 结果与分析

2.1 地下生物量及垂直分布特征

祁连山北坡 5 类天然草地不同土壤深度地下生物量和垂直分布结果显示(表 3, 图 1), 5 类草地的地下生物量除山地草原、山地草甸草原和高寒草原无显著差异外, 山地草甸与其他类型草地差异显著($P < 0.05$), 山地荒漠草原与其他类型草地差异极显著($P < 0.01$), 其中以山地草甸最高, 为 848.09 g/m², 其他依次为山地草原(464.31 g/m²)、山地草甸草原(430.11 g/m²)、高寒草原(379.87 g/m²)和山地荒漠草原(119.33 g/m²)。

表 3 五类草地不同土壤深度地下生物量及占总根量的比例

Table 3 Belowground biomass of five grassland types in different soil depth and percentage of total roots

草地类型 Grassland type	0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm	
	生物量 Biomass (g/m ²)	百分比 Percentage (%)	生物量 Biomass (g/m ²)	百分比 Percentage (%)	生物量 Biomass (g/m ²)	百分比 Percentage (%)
高寒草原 Alpine steppe	318.25	83.78	42.40	11.16	19.22	5.06
山地草甸 Mountain meadow	784.18	92.46	45.21	5.33	18.70	2.20
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	293.79	68.31	94.45	21.96	41.88	9.74
山地草原 Mountain steppe	387.35	83.42	48.03	10.34	28.93	6.23
山地荒漠草原 Mountain-desert grassland	61.96	51.92	39.85	33.39	17.51	14.67

5 类草地地下生物量呈明显的垂直空间格局, 沿土壤深度分布的总趋势是: 主要集中分布在 0~10 cm 这一浅层土壤中, 向下递减趋势明显, 呈“T”形分布(图 1)。与已有的研究结果基本一致^[27-30]。从 0~10 cm 土层的地下生物量占 0~30 cm 总生物量的百分比来看, 以山地草甸最高, 为 92.46%, 主要因为该类草地大部分土壤有机质和养分储存于土壤表层, 有明显的草根盘结层, 根系分布于该层有利于获取更多的热量、水分和营养物质; 与此相反, 山地荒漠草原仅占 51.92%, 过去的研究^[8,31]认为, 在干旱胁迫的生长条件下, 根系入土一般较深, 所以在 10~20, 20~30 cm 土层中占有相当的比例, 分别达 33.39% 和 14.67%, 这种根系分布特征是对干旱气候的适应性反映。另外, 高寒草原与山地草原的根系分布规律比较相近, 而山地草甸草原 0~10 cm 表层只占 68.31%, 可能与研究区的植被类型和土壤特性有关, 植被以针茅、垂穗披碱草为优势种, 表层土壤腐殖质、养分、湿度相对较低, 致使根系入土较深以获取更多的资源来满足生长需求。

5 类天然草地群落地下部分生物量垂直分布明显, 随着土层加深地下生物量按指数形式递减, 利用指数模型模拟了各草地群落 0~30 cm 的地下生物量垂直分布规律(表 4)。

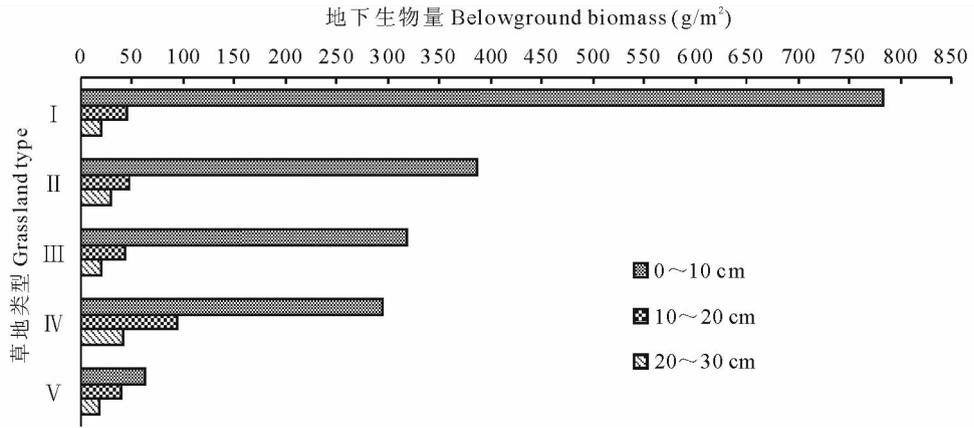


图 1 五类草地地下生物量垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of the belowground biomass in five grassland types

I : 山地草甸 Mountain meadow; II : 山地草原 Mountain steppe; III : 高寒草原 Alpine steppe; IV : 山地草甸草原 Mountain meadow steppe; V : 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland.

表 4 地下生物量随深度变化的指数模型(0~30 cm)

Table 4 Index model of the belowground biomass with soil depth change (0~30 cm)

草地类型 Grassland type	指数模型 Exponential model	R^2	R
高寒草原 Alpine steppe	$B=1\ 299.8e^{-0.147\ 6d}$	0.942 6	0.970 9*
山地草甸 Mountain meadow	$B=5\ 396.1e^{-0.200\ 7d}$	0.915 2	0.956 7*
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$B=787.04e^{-0.098\ 9d}$	0.988 2	0.994 1*
山地草原 Mountain steppe	$B=1\ 359.1e^{-0.138\ 4d}$	0.904 0	0.950 8*
山地荒漠草原 Mountain-desert grassland	$B=125.39e^{-0.062d}$	0.966 6	0.983 2*

* $P < 0.05$.

2.2 地下生物量的季节动态及比较

5类天然草地地下生物量季节变化显示(图2),不同类型草地的地下生物量季节变化存在差异,但均表现为愈接近于生长季的初期和末期其值愈大(除山地草甸生长初期外)。

山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原地下生物量季节变化趋势基本表现为“N”型变化规律,且具有较高的变化幅度。地下生物量最大值均出现在9月下旬,分别为670.64,652.00,161.24 g/m²,但最低值出现的时间不一致,这可能与各草地群落植物本身的生长节律、存在多个优势种(各优势种根系生长不同步)以及宏观气候和环境因子的不同有密切联系^[3]。

研究表明,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^[29,30]。在山地草原和山地荒漠草原,随着气温升高、降水增多,根系的生长发育加快,其地下生物量增高明显。与此相反,山地草甸草原在水热条件较好的7-8月其地下生物量持续减少,呈现此现象的原因主要是该草地群落种类丰富,植被以宽叶中生杂草为主,群落盖度较高(平均70%),随着植物的快速生长,地上部生长消耗大量地下部贮存的营养和能量,导致地下生物量持续减少。在生长季末期,随着地上部生长的结束,地下部也停止生长,再加上根系枯萎、腐烂、被微生物分解和地下动物的取食等^[26],导致地下生物量又趋减少,10月中下旬地下生物量有一明显的下降过程(图2)。

山地草甸因受低温影响,在生长季初期,其土壤仍有季节冻土维持,其地下生物量较低,大致呈“N”型变化规律,而高寒草原基本表现为“W”型变化规律,但6-10月两类草地变化趋势基本一致。地下生物量的峰值均出现在10月中下旬,分别为554.85,1192.56 g/m²,而最低值均在6月中下旬出现,分别为253.52,645.72 g/m²。随着气温回升、降水量增加,土壤温度亦随之升高,为植物的生长发育提供了有利条件,在6-8月两类草地地下生物量持续增加,与地上部同期增长。山地草甸和高寒草原土壤温度均在8月份达到一年中的最高值,分别为

9.01, 11.91℃, 地温的升高加剧了地下微生物活动进程, 大量死根被分解, 同时, 2 类天然草地大部分牧草进入生殖生长期, 牧草在前期通过光合作用积累的地下干物质向上转移供地上部分开花结果之需^[30]。地下生物量在 9 月下旬均出现一次明显的下降过程(图 2)。在 9 月末和 10 月初, 2 类草地因受低温的影响进入枯黄期, 地上部营养和能量向地下转移, 地下生物量达到最大, 这有利于植物的越冬和翌年植物萌发生长。

5 类草地地下生物量的季节变化随土层深度不同而异(图 2)。总体来看, 0~10 cm 地下生物量与总地下生物量变化趋势基本一致, 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。而 10 cm 以下土层变幅依次减小, 且季节变化曲线相对平缓, 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。研究表明, 不同土层地下生物量季节变化还与不同土层内的水分状况有关^[32], 如在山地荒漠草原, 10~20 cm 土壤含水量为 7.14%(而 0~10 cm 为 5.75%), 根系占 33.39%, 受牧草根茎和芽的生长影响较大, 其季节变化较大(图 2)。

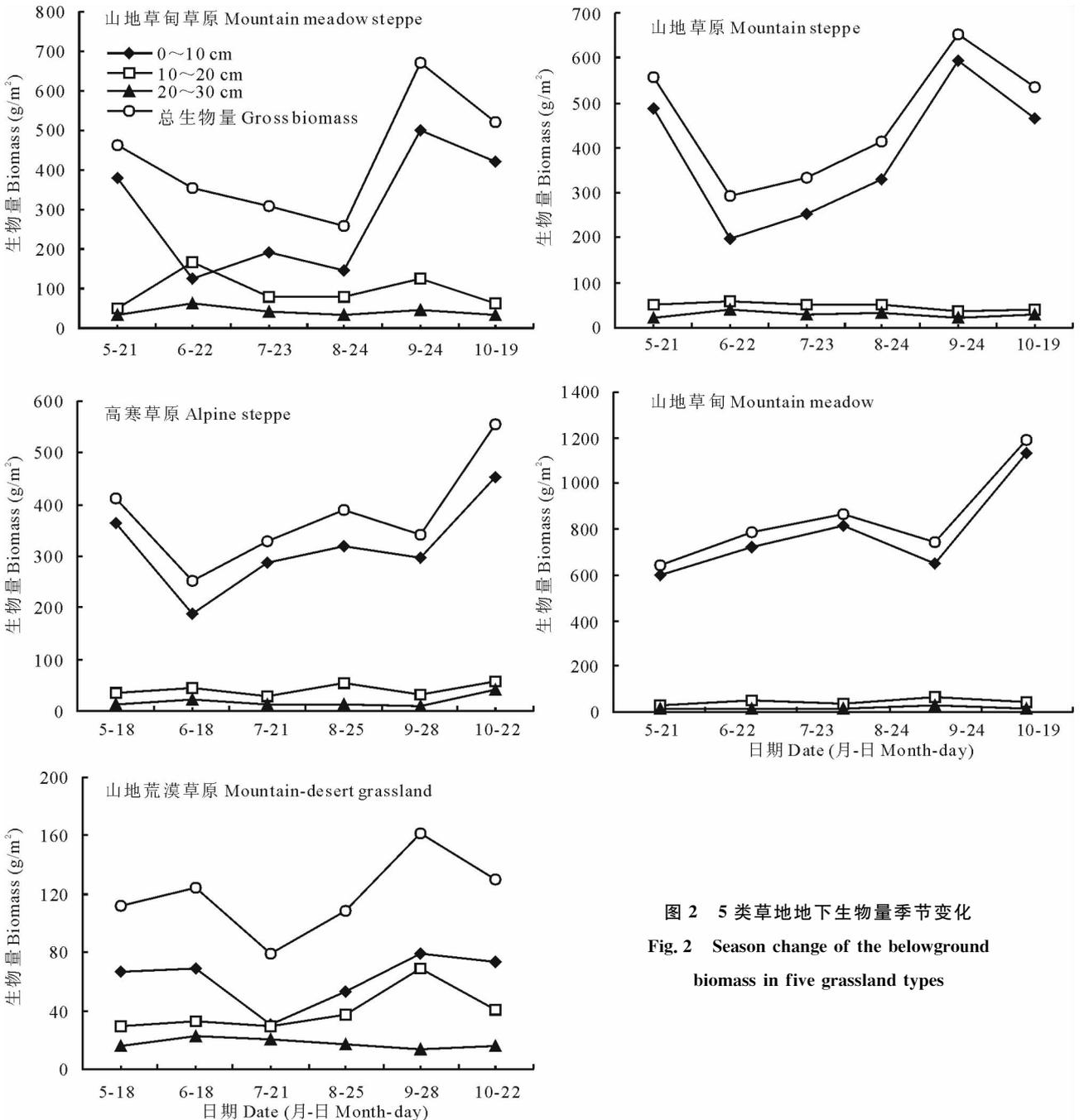


图 2 5 类草地地下生物量季节变化
Fig. 2 Season change of the belowground biomass in five grassland types

2.3 地下净生产量及周转值

5类草地地下净生产量大小依次为山地草甸(546.84 g/m²)>山地草甸草原(410.76 g/m²)>山地草原(358.12 g/m²)>高寒草原(301.33 g/m²)>山地荒漠草原(81.68 g/m²)(表5)。与其他地区草地的研究结果相比^[7,33],祁连山北坡各天然草地的地下净生产量普遍偏低。

5类草地地下生物量的周转值大小依次为山地草甸草原(61.25%)>山地草原(54.93%)>高寒草原(54.31%)>山地荒漠草原(50.66%)>山地草甸(45.85%)。研究表明,在温度低的高海拔地区^[2,29,30]、干旱、过度放牧等环境恶劣的条件下,牧草对营养物质的吸收利用能力较低,其周转值一般较低。处于低温高海拔区的高寒草原、山地草甸以及处于偏干旱条件的山地荒漠草原的环境条件要比山地草甸草原和山地草原的环境条件恶劣,所以其周转值也相对较低。本试验结果与内蒙古锡林河流域羊草草原(55%)和大针茅草原(49%)^[27]基本接近,比青海湖北岸草甸草原(45%)^[30]、高寒草甸(36.9%)^[7]的偏高,这可能与各草地群落的植被组成、生长特性以及生态环境条件的不同有关。

另外,5类草地不同土层的周转值也是不同的。山地草甸地下各层的周转值表现出随土壤深度的增加而增大的趋势,这与已有的研究基本一致^[6,26],但山地草甸草原与山地荒漠草原地下各层的周转值表现出随土壤深度的增加而减小的趋势,而高寒草原与山地草原随土层的变化趋势不明显。

表5 5类草地地下净生产量及其周转值

Table 5 Underground net production and its turnover value of five grassland types

类型 Type	土层 Soil layer (cm)	最大值 Maximum value		最小值 Minimum value		净生产量 Net production (g/m ²)	周转值 Turnover value (%)
		数值 Numerical value (g/m ²)	日期 Date (月.日 Month. day)	数值 Numerical value (g/m ²)	日期 Date (月.日 Month. day)		
I	0~10	454.36	10.22	188.12	6.18	266.24	58.60
	10~20	58.73	10.22	28.20	7.21	30.53	51.98
	20~30	41.76	10.22	11.16	9.28	30.60	73.28
	0~30	554.85	10.22	253.52	6.18	301.33	54.31
II	0~10	1134.08	10.19	600.56	6.22	533.52	47.04
	10~20	63.84	9.24	31.08	6.22	32.76	51.32
	20~30	32.08	9.24	14.08	6.22	18.00	56.11
	0~30	1192.56	10.19	645.72	6.22	546.84	45.85
III	0~10	499.56	9.24	127.08	6.22	372.48	74.56
	10~20	166.80	6.22	49.96	5.21	116.84	70.05
	20~30	61.37	6.22	35.16	8.24	26.21	42.71
	0~30	670.64	9.24	259.88	8.24	410.76	61.25
IV	0~10	593.48	9.24	196.08	6.22	397.40	66.96
	10~20	58.68	6.22	37.28	9.24	21.40	36.47
	20~30	39.12	6.22	20.28	5.21	18.84	48.16
	0~30	652.00	9.24	293.88	6.22	358.12	54.93
V	0~10	79.32	9.28	30.20	7.21	49.12	61.93
	10~20	68.88	9.28	28.88	7.21	40.00	58.07
	20~30	22.16	6.18	13.04	9.28	9.12	41.16
	0~30	161.24	9.28	79.56	7.21	81.68	50.66

I: 山地草甸 Mountain meadow; II: 山地草原 Mountain steppe; III: 高寒草原 Alpine steppe; IV: 山地草甸草原 Mountain meadow steppe; V: 山地荒漠草原 Mountain-desert grassland.

2.4 地下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之间具有一定的相关性^[34]。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^[11,35]。基于此,本研究选取了可能对该区天然草地地下生物量产生影响的水热因素,包括水分(降水量、土壤含水量和相对湿度)、温度(气温、土壤温度)和光照 3 个重要环境因子。

相关分析结果显示,5 类草地地下生物量与同期水热因子的关系,除山地荒漠草原地下生物量与降水量显著负相关,与土壤含水量极显著负相关外,其他均为负相关关系,但均未达到显著相关水平($P > 0.05$)。

在水热因子均较高的 7—8 月,高寒草原和山地草甸地下生物量与降水量、土壤含水量、平均气温和辐射量均呈极显著负相关($P < 0.01$),与相对湿度和土壤温度呈极显著正相关($P < 0.01$),但在 6—8 月,高寒草原和山地草甸仅分别与土壤含水量的累加值($P = 0.009 < 0.01$)呈极显著正相关、与土壤温度($P < 0.05$)呈显著正相关,说明 6—8 月的土壤含水量的累加值对高寒草原地下生物量的贡献较大,回归方程为: $Y = -120.291 + 13.849X$ (式中: Y 为地下生物量; X 为 5—8 月的土壤含水量的累加值);而 6—8 月的土壤温度对山地草甸地下生物量的贡献相对较大,但二者的回归方程不显著($P = 0.127 > 0.05$)。

山地草甸草原和山地草原在水热条件较好的 7—8 月其地下生物量与环境因子的关系截然相反,前者除与相对湿度极显著负相关外($P < 0.01$),与其他环境因子均呈极显著正相关($P < 0.01$),而后者除与相对湿度极显著正相关外($P < 0.01$),其他均呈极显著负相关($P < 0.01$),其中山地草甸草原地下生物量与其他月份水热因子相关性均不显著,说明水分与温度不是影响该草地地下生物量变化的主要因素;而山地草原 7—9 月的地下生物量与气温、土壤温度呈显著负相关,这表明 7—9 月的气温和土壤温度共同影响山地草原的地下生物量,其中土壤温度对山地草原地下生物量贡献较大,其回归方程为: $Y = 1640.304 - 85.497X$ (式中: Y 为地下生物量; X 为 7—9 月的土壤温度)。

山地荒漠草原在生长季期间,其地下生物量与降水量($r = -0.875$)显著负相关,与土壤含水量($r = -0.944$, $P = 0.005 < 0.01$)极显著负相关,另外,在 6—9 月,还与平均气温($r = -0.997$, $P = 0.003 < 0.01$)呈极显著负相关、与土壤温度($r = -0.977$)呈显著负相关关系,说明在生长季内土壤含水量对山地荒漠草原地下生物量的贡献相对较大,回归方程为: $Y = 212.574 - 13.784X$ (式中: Y 为地下生物量; X 为土壤含水量)。

3 结论与讨论

本研究主要讨论了祁连山北坡 5 类天然草地地下生物量的垂直分布特征、季节变化、净生产量和周转值以及与环境因子的关系,初步揭示了 5 类天然草地地下生物量的形成规律与特点,对该区天然草地的优化利用和可持续发展、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。

祁连山北坡 5 类草地的地下生物量除山地草原、山地草甸草原和高寒草原无显著差异外,其他均存在显著差异。5 类草地地下生物量大小依次为山地草甸(848.09 g/m^2)、山地草原(464.31 g/m^2)、山地草甸草原(430.11 g/m^2)、高寒草原(379.87 g/m^2)和山地荒漠草原(119.33 g/m^2)。不同的草原生态系统因其土壤和气候条件的差异,地下生物量的数值有很大的不同^[2]。马文红等^[33]在内蒙古温带草原测定的荒漠草原、典型草原和草甸草原的地下生物量分别为 $301.0, 688.9$ 和 1385.2 g/m^2 ,与之相比,该区天然草地地下生物量普遍偏低,其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]。

本研究中,5 类草地地下生物量均呈“T”形分布,且集中分布于 0~10 cm 土层中,这与表层土壤储存较多的能量和营养物质是密切相关的,而随土壤深度的增加,土壤温度、含水量和通气条件逐渐变差,深层次热量不足,限制了植物根系的向下生长^[29,30]。据此,本研究初步建立了 5 类草地地下生物量(0~30 cm)随土层深度变化的指数模型,这为预测该区 5 类草地地下生物量提供了方便。

生物量是时间的函数,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^[2,3]。本研究中,不同类型草地其地下生物量季节变化存在差异,但均表现出愈接近于生长季的始末其值愈大(除山地草甸生长初期外)。山地草甸草原、山地草原、山地荒漠草原和山地草甸地下生物量季节变化趋势基本表现为“N”型变化规律,而高寒草原基本表现为“W”型变化规律。且不同土层地下生物量的季节变化随土层深度不同而异,以 0~10 cm

表层变幅最大,向下依次减小,这与白永飞等^[32]的研究结果相一致。

净生产量反映了植物利用环境条件固定能量的能力和大小,是生态系统的物质基础,而周转值的研究有助于揭示不同植物对特定环境中营养物质的吸收利用能力^[2]。总体来看,祁连山北坡各天然草地的地下净生产量普遍偏低;而本研究测定的周转值均在45%以上,与过去的测定结果相比,基本接近或有所偏高,这可能与研究地区、草地类型、测定年份的不同有关,如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,在气候条件好的年份,若气温高,降水丰富等,地下生物量周转值也高^[29]。

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^[28]。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^[36,37]。本研究表明,5类草地地下生物量与水热因子的关系,均为负相关关系,但均没有达到显著相关水平($P>0.05$) (除山地荒漠草原外),但在水热条件较好的7—8月,五类草地地下生物量与水热因子的相关性(正相关或负相关)均达极显著水平($P<0.01$),这与李凯辉等^[28]的研究结果相一致。此外,生物量的变化与水热等环境因子的变化存在一定的时滞效应,草地生态系统功能和生产力还受群落类型、物种组成和人类干扰(草地利用方式和强度)等因素的影响^[35]。

参考文献:

- [1] 鄢燕, 张建国, 张锦华, 等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2818-2823.
- [2] 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.
- [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.
- [4] 成文竞, 崔建宇, 闵凡华, 等. 三种草坪草的根系分布特征及其对土壤养分的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(1): 179-183.
- [5] 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.
- [6] 马克平, 周瑞昌, 郭亚胜. 小叶章草甸地下生物量形成规律的研究[J]. 草业科学, 1992, 9(2): 24-29.
- [7] 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的分析[J]. 中国农业气象, 1998, 19(1): 36-39.
- [8] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, *et al.* A global analysis of root distributions for terrestrial biomes[J]. *Oecologia*, 1996, 108: 389-411.
- [9] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8: 736-753.
- [10] Li Z, Kurz W A, Apps M J, *et al.* Belowground biomass dynamics in the carbon budget model of the Canadian forest sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33: 126-136.
- [11] Ni J. Estimating net primary productivity of grasslands from field biomass measurements in temperate northern China[J]. *Plant Ecology*, 2004, 174: 217-234.
- [12] Hui D F, Jackson R B. Geographical and interannual variability in biomass partitioning in grassland ecosystems: a synthesis of field data[J]. *New Phytologist*, 2006, 169: 85-93.
- [13] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12: 84-96.
- [14] 张继涛, 徐安凯, 穆春生, 等. 羊草种群各类地下芽的发生、输出与地上植株的形成、维持动态[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 54-60.
- [15] 侯琼, 魏学占, 宋学峰. 不同水分因子对内蒙古典型草原牧草产量的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(2): 5-10.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.

- [20] 闫月娥, 王建宏, 石建忠, 等. 祁连山北坡草地资源及退化现状分析[J]. 草业科学, 2010, 27(7): 24-29.
- [21] 胡自治, 孙吉雄, 张映生, 等. 天祝高寒珠芽蓼草甸初级生产力的研究 I. 生物量动态及光能转化率[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(1): 123-133.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 沈禹颖, 赵银, 阎顺国. 河西走廊几种盐化草地第一性生产力的研究 II. 地下生物量的分布特点[J]. 草业学报, 1995, 4(2): 51-57.
- [25] Dabblman R C, Kucera C L. Root productivity and turnover in native prairie[J]. Ecology, 1965, 46: 84-89.
- [26] 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 金露梅灌丛地下生物量形成规律的研究[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 59-65.
- [27] 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测定[A]. 草原生态系统研究(第2集)[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 132-138.
- [28] 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.
- [29] 蒲继延, 李英年, 赵亮, 等. 矮嵩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.
- [30] 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): 62-66.
- [31] Molyneux D E. Rooting pattern and water relations of three pasture grasses growing in drying soil[J]. Oecologia, 1983, 58: 220-224.
- [32] 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.
- [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] 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.
- [35] 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.
- [36] Xiao X M, Chen D, Peng Y M, *et al.* Observation and modeling of plant biomass of meadow steppe in Tumugi, Xingan League, Inner Mongolia, China[J]. Plant Ecology, 1996, 127: 191-201.
- [37] 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.

Belowground biomass and its relationship to environmental factors of natural grassland on 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: The belowground biomass and its relationships with environmental factors of natural grassland; alpine steppe, mountain meadow, mountain meadow steppe, mountain steppe and mountain-desert grassland of the northern slopes of the Qilian mountains were investigated. 1) The belowground biomasses of five kinds of grassland differed significantly ($P < 0.05$) except for mountain steppe, mountain meadow steppe, and alpine steppe. The belowground biomass reduced with soil depth in an exponential manner and with a “T” shape distribution. 2) Seasonal change of the belowground biomass was of a “W” type in alpine steppe and of a “N” type in other grasslands, and decreased with soil depth. 3) Below ground net productivity of mountain meadow was the highest (546.84 g/m^2), and was followed by mountain meadow steppe (410.76 g/m^2), mountain steppe (358.12 g/m^2), alpine steppe (301.33 g/m^2) and mountain-desert grassland (81.68 g/m^2). Turnover value of the belowground biomass was beyond 45%. 4) There were negative correlations between the belowground biomasses of five kinds of grassland and the hydrothermal factor, though the correlations were not significant except for mountain-desert grassland. But the correlations (positive or negative) between the belowground biomasses of five kinds of grassland and the hydrothermal factor were highly significant in the 7–8 months with better hydrothermal conditions. In other months, the correlations between the belowground biomasses of different grasslands and environmental factors was very varied.

Key words: natural grassland; belowground biomass; net productivity; turnover value; environment factor