

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112281997

杨秀静, 黄玫, 王军邦, 刘洪升. 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系. 生态学报, 2013, 33(7): 2032-2042.

Yang X J, Huang M, Wang J B, Liu H S. Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2032-2042.

青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系

杨秀静, 黄玫*, 王军邦, 刘洪升

(生态系统网络观测与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 青藏高原草地生物量大部分分布于地下, 地下生物量在其碳循环研究中起着重要的作用。基于大规模野外样地调查数据, 分析比较了青藏高原南北和东西样带上草地地下生物量与环境因子的相关关系, 探讨了环境因子对地下生物量控制作用的区域差异。研究结果表明: 对于所有采样点而言, 青藏高原草地地下生物量的环境控制因素主要有土壤含水量、表层土壤有机碳和全氮含量。通过比较南北和东西样带研究结果发现, 草地地下生物量与土壤含水量、土壤表层有机碳和全氮含量相关的显著性水平, 在东西样带上明显高于南北样带。同时, 东西样带上草地地下生物量与降水量有显著正相关关系, 这种关系在南北样带上不显著, 表明水分对东西样带草地地下生物量的控制作用较强。气温与南北样带草地地下生物量呈显著负相关, 但与东西样带草地地下生物量相关不显著, 由此说明环境因子对青藏高原草地地下生物量的控制存在显著区域差异。

关键词: 青藏高原; 地下生物量; 样带; 高寒草甸; 高寒草原

Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors

YANG Xiuqing, HUANG Mei*, WANG Junbang, LIU Hongsheng

Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Belowground biomass (BGB), contributing 80% of total biomass to grassland in Tibetan Plateau, plays an important role for grassland carbon cycling. Understanding the relationships between BGB and its environment factors is crucial for grassland resources management and predicting the future influence of climate change on Tibetan grassland ecosystem. Many previous studies have investigated the relationship between BGB and its environment in Tibetan grassland, however large uncertainties still exist, and some research results are even controversial due to limited ground samplings. This study overcomes the previous sampling problem, analyzes the relationship between belowground biomass and its environmental factors based on a large scale of field survey conducted in August 2010.

Total 32 field sampling plots were selected along two transects in Tibetan plateau: the North-South transect from the Huangyuan county (36.4°N, 100.96°E), Qinghai province, across 7 latitudes southward to Bomi county (29.64°N, 96.72°E), Tibet Autonomous Region, and the East-West transect mainly located in Xigaze area, Tibet Autonomous Region, along the Yajiang Valley, starting from Saga county (29.33°N, 85.38°E) across 7 longitudes eastward to Gongbujiada county (29.69°N, 92.27°E). Statistical methods were used to analyze the relationships between the observed BGB of grassland in Tibetan Plateau and the environmental factors including observed soil moisture, annual precipitation, annual mean temperature, soil organic carbon and soil nitrogen contents.

Research results show that soil moisture is the most critical controlling factor which influences the spatial distribution of grassland BGB in Tibetan Plateau. It is positively correlated with Tibetan grassland BGB, explaining 52.76% of total

基金项目: 国家自然科学基金(40975045); 国家 973 计划(2010CB950603, 2010CB833503)

收稿日期: 2011-12-28; 修订日期: 2013-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangm@igsnrr.ac.cn

variation in Tibetan grassland BGB. For these two transects, the grassland BGB is more significantly correlated with soil moisture in the East-West transect ($R^2=0.6744$, $P<0.01$) than in the North-South transect ($R^2=0.4081$, $P<0.01$).

The connection between grassland BGB and precipitation is complex. For all Tibetan grassland plots, only 7.95% ($P<0.01$) of the variance in BGB can be explained by precipitation. Grassland BGB increases with increasing precipitation ($R^2=0.1910$, $P<0.01$) in the East-West transect, but the correlation between the two variables is insignificant in the North-South transect. Such discrepancy between the two transects is partially due to fluctuant topography in this region, causing large differences of evaporation and runoff over a large area, and thus significant differences in grassland BGB.

The relationship between grassland BGB and temperature is weak with no significant correlation between temperature and grassland BGB in the East-West transect. Along the North-South transect, the temperature is negatively correlated with grassland BGB, and explains only 11.86% ($P=0.0397$) of the variation in grassland BGB.

Tibetan grassland BGB is positively correlated with surface soil organic carbon ($R^2=0.3094$, $P<0.01$) and total nitrogen content ($R^2=0.2081$, $P<0.01$). The positive relationship may be explained by the fact that increased below-ground biomass is related to increased amount of root litter in the soil, thus increased organic carbon and total nitrogen content in the soil. Comparison of the relationships between grassland BGB and the soil organic carbon in the two transects indicates that the correlation coefficient ($R^2=0.6751$) and the confidence level ($P<0.01$) in the East-West transect are higher and more significant than those ($R^2=0.1445$, $P=0.0222$) in the North-South transect. The grassland BGB is also closely related to soil total Nitrogen with the R^2 and confidence level in the East-West transect 0.4593 and less than 0.01, respectively, much higher and more significant than those (0.1050 and 0.0539, respectively) in the North-South transect. The reason for more significant relationships in the East-West transect is still under investigation. Overall, this study demonstrates the strong relationships between BGB of grassland in Tibetan Plateau and its environmental factors, and these relationships vary significantly over large spatial scales.

Key Words: Tibet Plateau; belowground biomass; transect; alpine meadow; alpine steppe

草地是陆地生态系统的重要组成部分,在全球陆地碳循环中起着重要作用^[1]。由于其高达 80% 的生物量储存于地下,因而其地下生物量在草地碳循环研究中起着关键性的作用^[2]。过去的研究表明,植被地下生物量的垂直分布是生态系统模型模拟和预测全球碳循环的关键所在^[3-4]。

我国过去对草地生物量开展过大量研究,如 Ni^[5]利用草地资源调查数据研究了中国草地的碳储量,Piao 等^[6]通过遥感方法估算了中国草地生物量变化,Fan 等^[7]研究了我国草地地上和地下生物量的碳蓄积,Ma 等^[8]研究了 1982—2006 年我国北方草地碳蓄积量的变化,Yang 等^[9]研究了中国草地生物量分配的大尺度特征。过去的研究表明,降水是中国北方温带草地生态系统生产力最主要的限制因子^[10-15],随着年降雨量的增加,草地生物量显著增加。此外,年均温也可以解释地下生物量的空间变异^[11,16-18]。

青藏高原高达 60% 的区域被高寒草甸和高寒草原覆盖,由于其草地受人类活动的影响相对较少,因而是研究地下生物量的最佳区域。但青藏高原的高寒环境给草地地下生物量的采集带来较大困难,过去对该区域草地地下生物量的研究主要通过根冠比来实现,利用实地调查数据探究地下生物量空间分布与环境控制因素相关关系^[8,10-11]的研究很少。此外,野外大规模草地地上生物量采集普遍存在的问题是很难完全避开放牧活动的干扰,结果常常使得根冠比被显著高估^[19]。青藏高原由于土质较硬,相对而言,草地地下生物量受放牧活动的干扰要小很多,因而数据更完整。

过去对于青藏高原地下生物量与环境因子的关系有不少研究。如 Yang 等^[10]对青藏高原草地地上生物量的空间分布以及地上和地下生物量的分配进行过深入细致的研究,指出水分是地上生物量分布的主要控制因子,随着降水量的增加,生物量有显著增加趋势,王长庭等^[20]对海北生态系统定位站高寒草甸群落的研究也有类似结果。李英年^[16]却有完全相反的结果,他发现高寒草甸地下生物量与降水量的变化呈明显负相关;

同时还有学者认为高寒草甸的生物量与降水的关系较弱^[21]。对于青藏高原草地地下生物量与年均温的关系,一些学者^[11]认为呈正相关关系;而另外一些学者^[12,16]却有完全相反的结论,也有学者^[10]认为年均温对地下生物量的分布无影响。还有研究显示,土壤因子对地下生物量也有一定影响。在西藏那曲地区,矮嵩草草甸的地下生物量和土壤的有机质及全 N 的含量呈正相关,与土壤的容重呈负相关^[22]。

综上所述,目前就环境因子对青藏高原草地地下生物量分布的影响及其程度的研究结果各异,还没有达成广泛的共识。据此,本文基于 2010 年 8 月份青藏野外调查的地下生物量数据,探讨了青藏高原草地地下生物量空间分布与环境因素的关系。并通过样带分析方法,比较了青藏高原南北和东西样带上草地地下生物量与环境条件关系的区域差异。研究结果将加深人们对青藏高原草地地下生物量与环境因素相关关系的认识,为陆地生态系统模型模拟草地碳循环和草地地下生物量估算提供参考。

1 数据来源和研究方法

1.1 研究区域概况

2010 年 8 月份对青藏高原草地生态系统进行了野外采样,样点分布如图 1 所示。采样时,在大片均一的草地上随机选取样点,使所采样品有尽可能大的代表性。本次采样共计 32 个采样点,每个采样点设有 3—4 个样方,由于地理位置、天气及身体承受力等不可抗拒因素,其中部分采样点只有 1—2 个样方,共计 76 个样方。各采样点的地理位置、植被类型、海拔高度、年降水量及年均温如表 1 所示。采样点的海拔高度在 3303—5104 m 之间,年降水量变化范围是 375—778 mm,年均温在 -3.1 — 5.1 °C 之间变化。草地类型主要是高寒草原和高寒草甸。

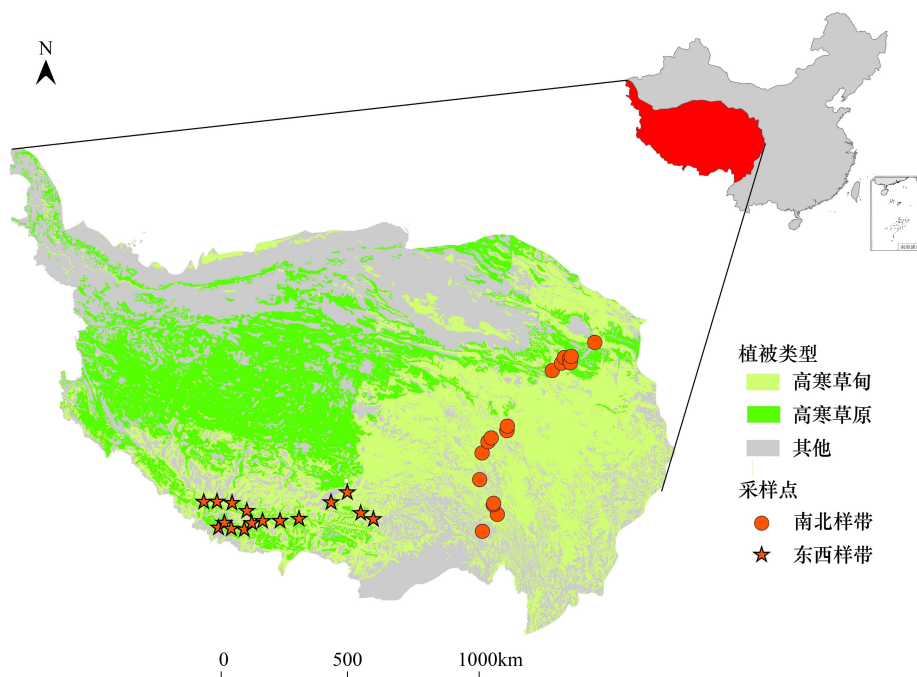


图 1 研究区域采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

本研究将采样点分为南北和东西两个样带进行研究。南北样带位于青藏高原东部,从青海省的湟源县一直往南到西藏的波密县,纵跨 7 个纬度,如图 1 中圆点所示。东西样带主要位于西藏日喀则地区,沿着雅江河谷从萨嘎县到工布江达县,横跨 7 个经度,如图 1 星号所示。

1.2 野外取样及实验处理

1.2.1 地下生物量

地下生物量的采样过程为:在研究区域选择有代表性的样点,在研究样点随机放置 4 个 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 样

方框,地上部分齐地面刈割后,用根钻(直径=7 cm)分层采集地下样品,分层的方法为0—10 cm、10—20 cm、20—40 cm、40—60 cm,60 cm 以下,直到肉眼看不到有根为止。每一层取 2 到 3 钻带根的土样,同层次的土样相互混合、编号装入布袋中带回实验室。在实验室中将分离出来的根用水冲洗漂净,烘干至恒重。

表 1 采样点地理位置、植被类型、海拔、年降水量及年均温
Table 1 Location, vegetation type, altitude, MAP and MAT at grassland plot sittings

编号 Site number	地名 Location	纬度/° Latitude	经度/° Longitude	植被类型 Vegetation type	海拔/m Altitude	年降水量/mm Mean annual precipitation	年均温/°C Mean annual temperature
1	当雄	30.49	91.07	高寒草甸	4313	537	0.3
2	羊八井	30.07	90.47	高寒草原	4316	510	0.4
3	江当	29.34	89.29	高寒草原	3806	394	4.3
4	甲琼村东	29.16	88.54	高寒草原	3973	375	5.1
5	夏鲁村东	29.05	87.85	高寒草原	4058	378	3.9
6	江嘎村东	29.3	87.15	高寒草甸	4357	385	2.8
7	萨嘎东	29.33	85.38	高寒草原	4498	497	0
8	帕娃村西	29.43	85.9	高寒草原	4915	484	-0.5
9	—	29.48	86.51	高寒草原	4671	442	0.2
10	孔措村西	28.55	86.16	高寒草原	4991	543	-0.4
11	—	28.75	86.35	高寒草原	4427	494	0.8
12	—	28.6	86.67	高寒草甸	4327	463	1.2
13	定日东	28.65	87.19	高寒草原	4358	425	1
14	—	28.92	87.43	高寒草甸	5104	423	0.9
15	墨竹工卡	29.84	91.73	高寒草甸	3972	528	4
16	—	29.69	92.27	高寒草甸	4412	617	0.7
17	—	29.64	96.72	高寒草甸	4415	778	-0.5
18	邦达乡	30.27	97.27	高寒草甸	4134	587	2.1
19	益青村	30.61	97.08	高寒草甸	4343	587	1.9
20	孟达村	31.42	96.43	高寒草甸	3993	601	1.6
21	囊谦北	32.34	96.43	高寒草甸	3674	583	1.5
22	下拉秀	32.74	96.64	高寒草甸	4063	571	0.4
23	—	32.89	96.76	高寒草甸	4202	559	0
24	歇武镇	33.18	97.4	高寒草甸	4025	541	-0.9
25	称多南	33.34	97.4	高寒草甸	4230	536	-1.3
26	花石峡北	35.36	99.16	高寒草原	4181	448	-3.1
27	小河坝	35.63	99.55	高寒草原	3938	450	-2.5
28	—	35.83	99.65	高寒草原	3756	422	-0.6
29	兴海西	35.78	99.88	高寒草原	3562	410	0.8
30	兴海县	35.66	99.93	高寒草原	3443	407	1.2
31	河卡山北	35.88	99.96	高寒草原	3357	400	1.6
32	倒淌河	36.4	100.96	高寒草原	3303	446	1

1.2.2 土壤含水量

在每个样地用土壤环刀取 0—10 cm 土层的土壤样品,装入密封袋中。野外称量土壤样品的质量 S_1 ,计为土壤总重。带回实验室以后把土样放在 105 ℃ 烘干,称量烘干土质量 S_2 ,由此计算土壤含水量 W :

$$W=(S_1-S_2)/S_2 \tag{1}$$

1.2.3 土壤有机碳

用重铬酸钾外加热法^[23]测定土壤有机碳含量,具体步骤如下:将土样自然风干,过 0.149 mm(100 目)

筛,用减量法称取 0.1000—0.5000 g 风干粉末土样置于硬质试管中,加入 5.00 mL 浓度为 0.8000 mol/L 的重铬酸钾标准溶液,再注入 5.00 mL 浓硫酸,摇匀后放入 170—180 °C 油浴锅内煮沸 5 min。再用邻菲罗啉作指示剂,用 0.2 mol/L 硫酸亚铁标准溶液滴定至溶液由橙黄色经蓝绿色到棕红色为终点。土壤有机碳(SOC)的计算公式如下:

$$\text{SOC} = \frac{c \times v \times (V_0 - V)}{V_0 \times m} \quad (2)$$

式中, c 为重铬酸钾标准溶液浓度, v 为重铬酸钾标准溶液体积, V_0 为空白试验消耗硫酸亚铁铵标准溶液体积, V 为土样试验消耗硫酸亚铁铵标准溶液体积, m 为土壤样品质量。

1.2.4 土壤全氮含量

土壤全氮含量用德国 Elementar 公司生产的 Vario MAX CN 型号元素分析仪测定。

1.3 气候数据

对国家气象局提供的研究区域及附近省份 105 个气象台站数据,应用 Anuspline 插值软件将其插值到 0.1×0.1 经纬度网格上,根据样点经纬度从插值结果中提取样点的 2000—2009 年平均气温和年降水量数据。

1.4 数据处理

本研究通过一元线性回归方法来分析气候因子及环境变量与青藏高原草地地下生物量的相关关系,利用最小二乘法分别求出地下生物量与年平均气温、年降水量、海拔高度、土壤含水量、土壤容重、土壤质地、土壤 pH 值、土壤表层(0—10 cm)有机碳和全氮含量、土壤碳氮比的回归方程,用 P 值来检验回归系数的显著性水平,以上分析借助 Matlab 软件实现。

2 结果与讨论

2.1 研究区域草地地下生物量与环境因素的关系

对青藏高原草地地下生物量与样点的环境因素(年平均气温、年降水量、海拔高度、土壤含水量、土壤容重、土壤质地、土壤 pH 值、土壤表层有机碳和全氮含量、土壤碳氮比)的相关性进行分析,经过分析发现青藏高原草地根系生物量与年降水量、土壤含水量、表层土壤有机碳和全氮含量之间具有显著的相关性(图 2)。其中:草地地下生物量与土壤含水量的线性决定系数最高,达 0.5276。表明土壤含水量可以解释 52.76% 的草地根生物量方差变化。草地地下生物量与表层土壤有机碳和全氮以及年降水量的相关系数平方依次降低,分别为 0.3094、0.2081 和 0.0795(图 2)。土壤有机碳和氮以及年降水量能分别解释 30.94%、20.81% 和 7.95% 的草地地下生物量变化。以上线性相关的 P 值均小于 0.01,在统计上达到了 99% 的置信度水平。

2.2 南北与东西样带上草地地下生物量与环境因子的关系比较

2.2.1 南北与东西样带上采样点的环境因子特征比较

鉴于青藏高原横跨 16 个经度,纵跨 9 个纬度,分布范围较广,采样点之间的年降水量、年平均气温、海拔高度、土壤质地等环境条件存在较大差异,通过样带分析方法来比较环境因素对草地地下生物量的控制在不同的样带上是否存在差异。

表 2 比较了南北和东西样带上采样点的环境因子平均特征。由此看到虽然东西样带上采样点平均海拔高度为 4328 m,大于南北样带采样点的平均海拔高度 3910 m,但是东西样带上采样点的年平均气温为 1.8 °C,远高于南北样带上的 0.3 °C。这是因为东西样带的纬度比较偏南,气温相对偏高。南北和东西两条样带的最大气温梯度比较接近,分别为 5.2 °C 和 5.5 °C。南北和东西样带上采样点的平均降水量比较接近,分别为 527 mm 和 465 mm。南北样带上采样点降水量的梯度 378 mm 要稍高于东西样带的 242 mm。

2.2.2 南北与东西样带上草地地下生物量与环境因子的关系比较

图 3 为两条样带上草地地下生物量与土壤含水量的线性回归图。由图可见,与大区域上的相关性一致(图 2),两条样带上地下生物量均与土壤含水量有较好的正相关关系,表明水分条件越好,根生物量越大。东西样带上决定系数值高达 0.6744,因此水分是该样带地下生物量的主要控制因子,它可以解释地下生物量

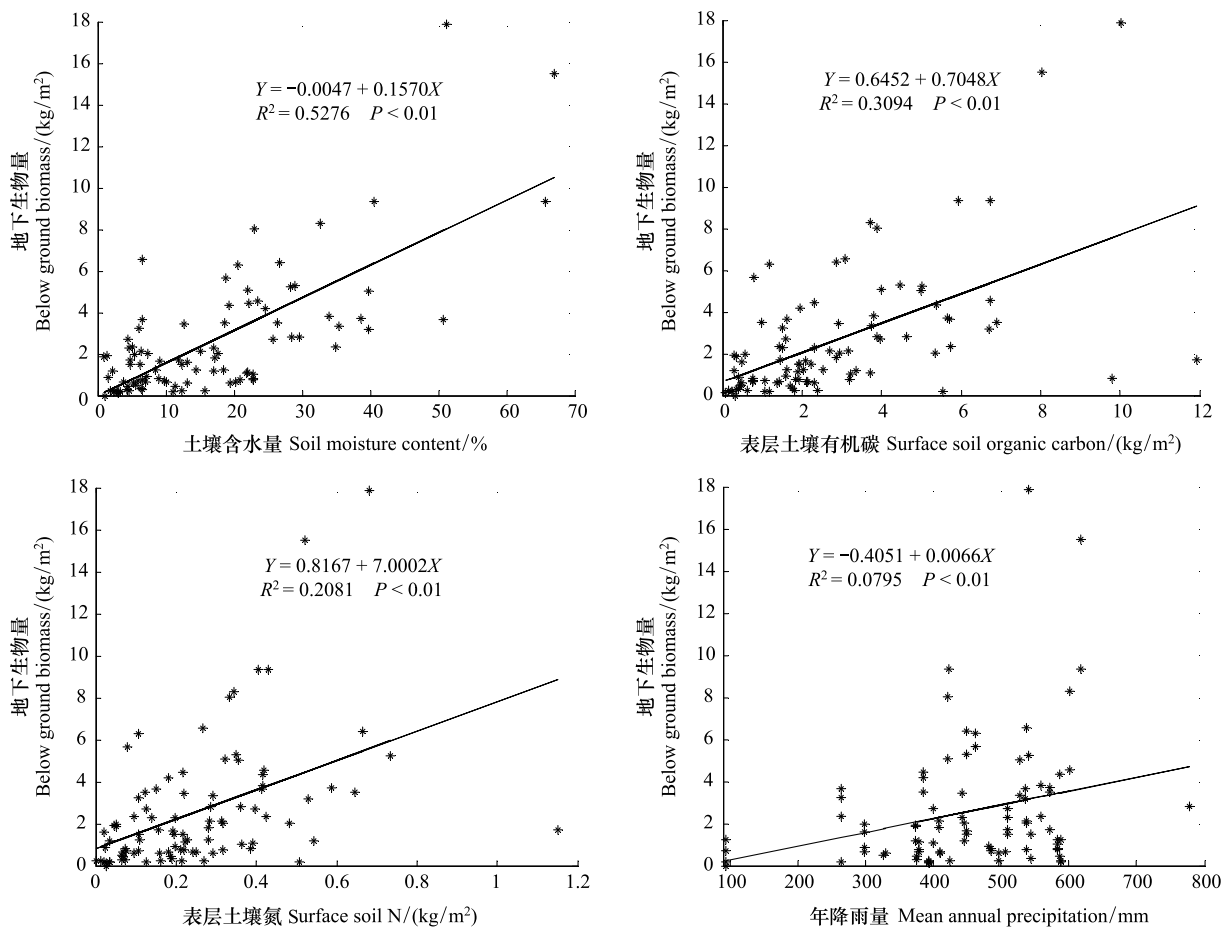


图 2 草地地下生物量与土壤含水量、表层土壤有机碳、氮、年降水量的线性回归

Fig. 2 Regressions of belowground biomass to soil moisture content, surface soil organic carbon, surface soil N and mean annual precipitation

67.44% 的方差变化。南北样带上地下生物量与土壤含水量决定系数为 0.4081, 低于东西样带上的值(图 3)。这与王长庭^[20]等对海北生态系统定位站高寒草甸群落的研究是一致的, 其他学者^[14-16, 21]也有类似的研究结果, 可见土壤含水量是影响青藏高原草地地下生物量分布的主控因子。

表 2 南北与东西样带上环境因素的特征比较

Table 2 The environment variables differences of north-south and west-east transect

样带名称 Transect name	平均海拔高度 Average elevation/m	最大海拔高度差 The max altitude difference/m	平均气温 Annual mean temperature /℃	最大气温差 The max temperture difference /℃	年降水量 Mean annual precipitation/mm	最大降水量差 The max precipitation difference/mm
南北样带 North-south transect	3910	1112	0.3	5.2	527	378
东西样带 West-east transect	4328	1299	1.8	5.5	465	242

图 4 展示了两条样带上草地地下生物量与年降水量的线性回归。东西样带上草地地下生物量与降水量的正相关性显著, 决定系数达到 0.1910, P 检验值小于 0.01。这一研究结果与马文红等人^[24]对内蒙古温带草地生物量空间变异主控因子的研究结果相似, 但与李英年^[16]的研究结果相反, 他的研究表明高寒草甸地下生物量与降水量的变化呈负相关关系。而南北样带草地地下生物量与降水量没有明显的相关关系, 这与以上研究结果都不同。以上研究结果的差异可能是由研究区域特殊的地形条件、土壤条件、蒸发状况等引起的, 由此说明降水量对草地地下生物量控制作用的复杂性与不确定性。

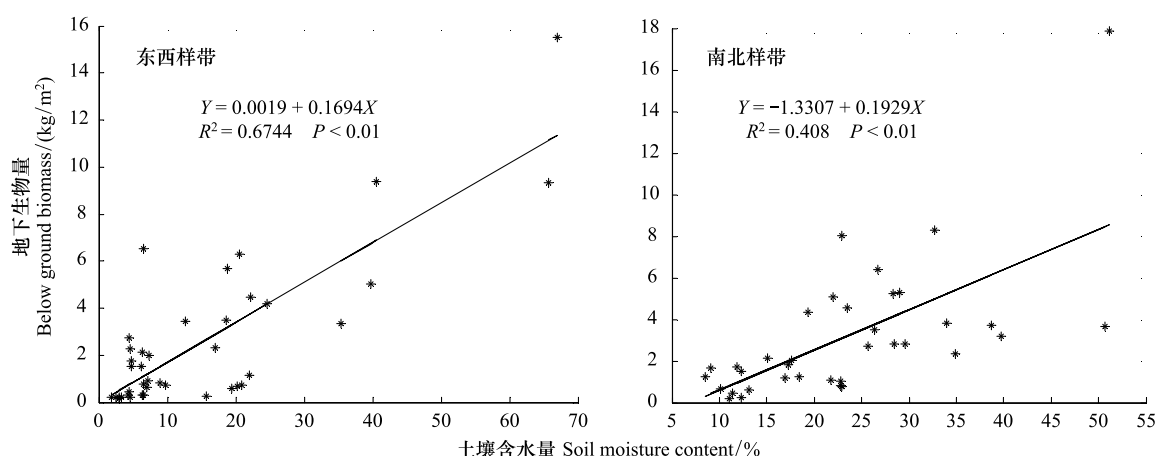


图3 东西和南北两条样带上草地地下生物量与土壤含水量的回归比较

Fig. 3 Regressions of belowground biomass to soil moisture content with west-east transect and north-south transect

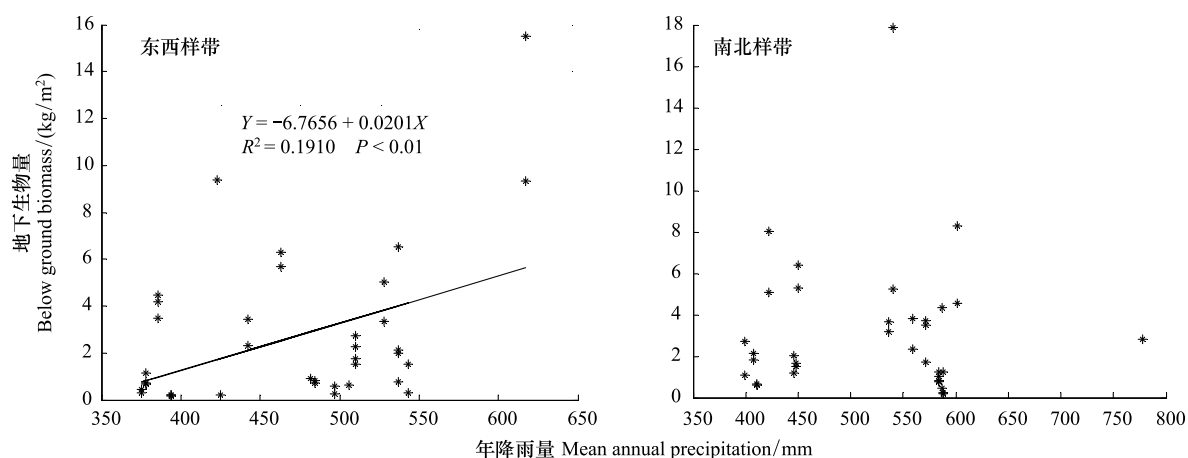


图4 东西和南北两条样带上草地地下生物量与年降水量的回归比较

Fig. 4 Regressions of belowground biomass to mean annual precipitation with west-east transect and north-south transect

虽然南北样带上草地地下生物量与年降水量的相关不显著,但与年平均气温有较显著的负相关关系,决定系数达到 0.1186, P 值为 0.0397。即年平均气温越高,地下生物量越小。而在东西样带上,地下生物量与年平均气温则无明显相关关系(图 5)。这一研究结果与其他学者在内蒙古温带草地^[12]和高寒草甸植物^[16]上的研究结果类似,但与 Luo 等人的研究结果相反,他们发现随着年均温的升高,地下生物量增加^[11]。本实验所有采样点和东西样带的统计分析中,温度对地下生物量的分布的影响都没有通过显著性检验。而 Sala 等人^[17]在美洲草地的研究显示,年均温解释地下生物量空间变异高达 74%,差异的显著性表明在高原特殊的气候环境条件作用下,其草地生态系统有着异于平原地区独特的特征。

图 6 为两条样带上草地地下生物量与土壤表层有机碳的线性回归图。由图可见,两条样带上草地地下生物量与土壤表层有机碳均呈正相关关系,即土壤表层有机碳越高,地下生物量越大,这与鄯燕等^[22]在西藏那曲高寒草地上的研究结果相一致。东西样带上草地地下生物量与土壤表层有机碳的相关性要高于南北样带,其决定系数达到 0.6751,远高于南北样带的值 0.1445。从 P 检验值来看,东西样带上的值($P < 0.01$)也远低于南北样带上的值 0.0222,说明东西样带上相关性统计的置信度更高。

图 7 为两条样带上草地地下生物量与土壤全氮含量的回归比较。由此看到,东西样带上草地地下生物量与土壤表层氮含量的正相关显著,决定系数达到 0.4593, P 值小于 0.01,统计上达到 99% 的置信度水平。南北样带上草地地下生物量与土壤氮含量的相关性较弱,决定系数为 0.1050,通过了 95% 的显著性检验。这与

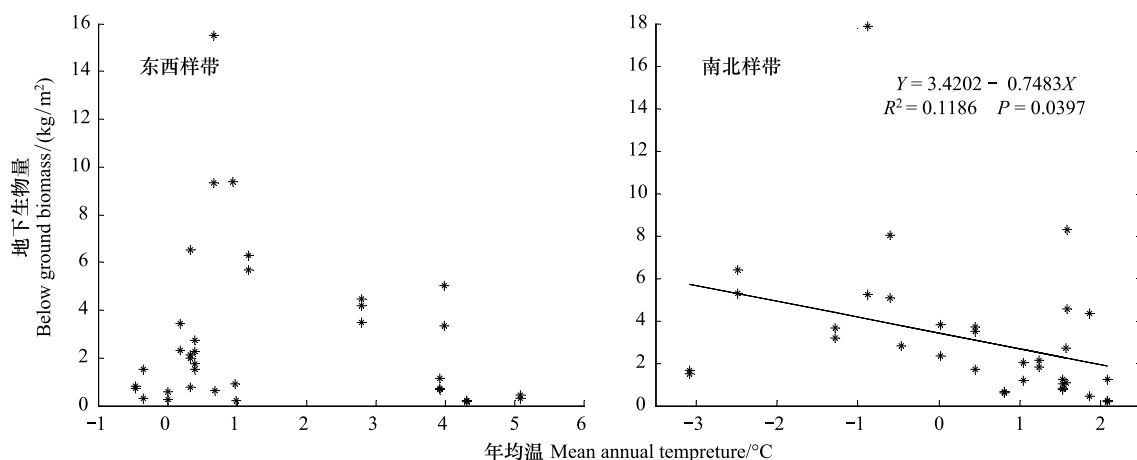


图5 东西和南北两条样带上草地地下生物量与年平均气温的回归比较

Fig. 5 Regressions of belowground biomass to annual mean temperature with west-east transect and north-south transect

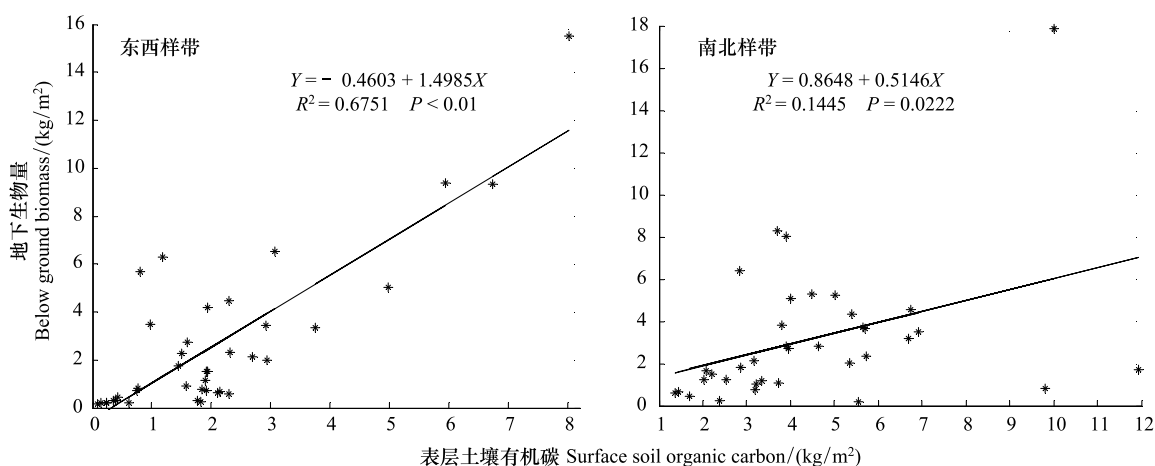


图6 东西和南北两条样带上草地地下生物量与土壤表层有机碳的回归比较

Fig. 6 Regressions of belowground biomass to surface soil organic carbon with west-east transect and north-south transect

Yang 等^[10]在青藏高原草地样带上的研究结果相一致。

造成地下生物量与土壤有机质和全氮含量正相关关系这一现象的原因可能是由于草本植物地下部分生长繁茂时,将给土壤留下较多的有机残体,随着有机残体的不断分解,有利于有机质和氮素的累积。

图8为东西样带上地下生物量与表层土壤有机碳和全氮含量随经度的变化,在东西样带上,从87°E以东到92°E,草地地下生物量随经度的变化与表层土壤有机碳和全氮含量的变化有较高的一致性。

2.3 讨论

由前面分析可知,土壤含水量与高原草地地下生物量呈显著正相关关系,它可以解释整体地下生物量52.76%的方差变化,而且对东西样带的控制作用尤为显著,其决定系数高达0.6744,高于东西样带的0.4081,这与众多学者的结果一致^[14-16,20-21]。可见土壤水分是高原草地地下生物量分布的主要控制因子,土壤水分条件越好,越有利于高原草地根的生长与积累。

相对而言,降水量对高原草地地下生物量的影响较小,仅可以解释地下生物量7.95%的方差变异,且降水量与地下生物量的正相关关系仅在东西样带上较为显著,而南北样带上并无显著相关关系。而且学者在其它区域的研究还有着不同甚至相反的结论^[16,24]。这可能是由于研究区域自身特殊的地形条件、蒸发和径流等因素对雨水的分流制约着降水对地下生物量的影响,从而使得降水对地下生物量累积的影响存在着很大的

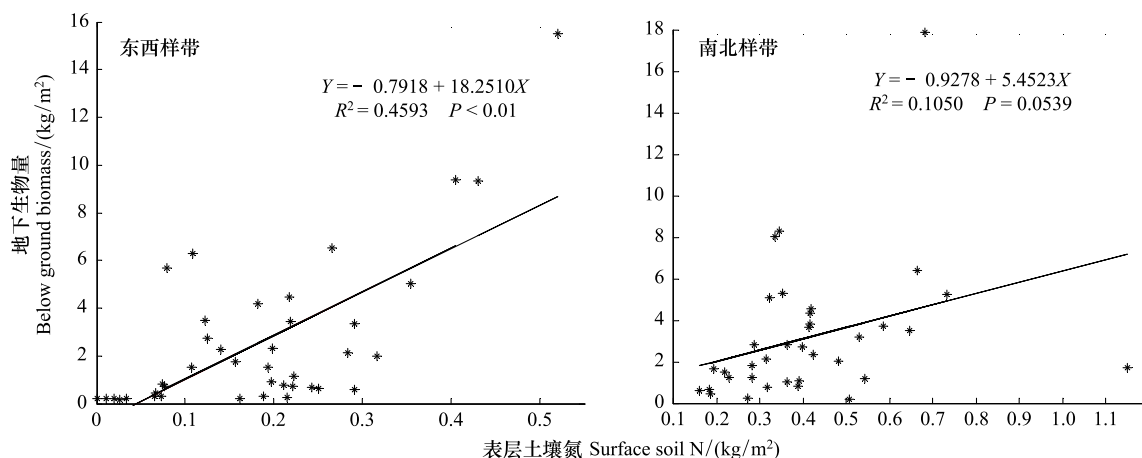


图7 东西和南北两条样带上草地地下生物量与土壤表层全氮含量的回归比较

Fig. 7 Regressions of belowground biomass to surface soil N with west-east transect and north-south transect

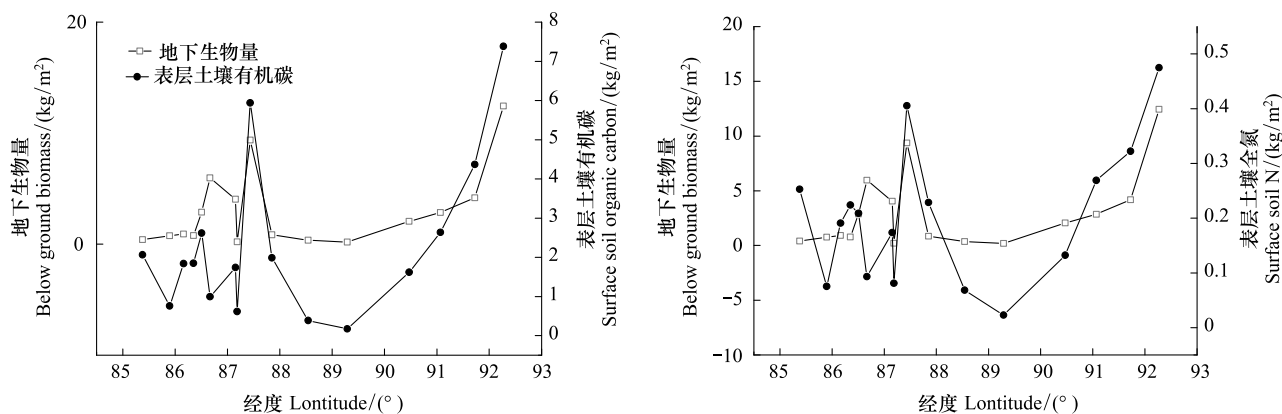


图8 东西和南北东西样带上地下生物量与表层土壤有机碳和全氮含量随经度的变化

Fig. 8 Compare belowground biomass with surface soil organic carbon and N along the longitude gradient on west-east transect

不确定性,有着显著的区域差异。

温度仅对南北样带地下生物量的分布有较为显著的影响,二者呈负相关关系,这与李英年^[16]、韩彬等^[12]的研究结果相一致。这可能是由于随着温度的升高,促进了土壤水分的蒸发,进而使得草地植被受土壤水分胁迫作用增强,不利于地下生物量的累积。而本研究中温度对东西样带及高原草地整体地下生物量的分布并无显著影响,甚至一些学者在其它区域^[11,17]发现地下生物量与年均温呈正相关关系。研究结果差异显著,表明在高原特殊气候环境作用下,温度并不是高原草地地下生物量的主要控制因子,其地下生物量的累积还受其它环境因子的影响。

此外,随着表层土壤有机碳、全氮含量的增加,青藏高原草地地下生物量显著增多,二者可以分别解释地下生物量 30.94%、20.81% 的方差变异,这种相关关系在南北、东西样带上都很显著,尤其是在东西样带上的决定系数高达 0.6751 和 0.4593,这与高原草地上的其它研究结果相一致^[10,22]。造成这一现象的原因可能是随着地下生物量的增多,土壤中的有机残体随之增多,有利于土壤有机碳和氮素的累积。

3 结论

本文通过对 2010 年 8 月份野外采集的青藏高原草地地下生物量与环境因素的相关性分析得出如下结论:

(1) 不管是对所有采样点还是分两条样带研究,青藏高原草地地下生物量与土壤含水量、表层土壤有机碳和全氮含量均有显著的正相关关系。因此土壤含水量、表层土壤有机碳和全氮含量是青藏高原草地地下生

物量的主要控制因素。

(2)东西样带上草地地下生物量与土壤含水量、土壤表层有机碳和全氮含量的相关显著性水平明显高于南北样带,且东西样带草地地下生物量与降水量有显著正相关关系,而这种关系在南北样带不成立,由此表明水分对东西样带的控制作用明显高于其对南北样带的控制。

(3)南北样带草地地下生物量与气温有显著负相关关系,但气温对东西样带草地生物量的控制不显著,由此说明环境因子对青藏高原草地地下生物量的控制存在显著区域差异。

致谢:中国科学院地理科学与资源研究所商贵铎、王昭生、刘正佳和李雷同学参与野外采样和室内理化分析工作,特此致谢。

References:

- [1] Hall D O, Ojima D S, Parton W J, Scurlock M. Response of temperature and tropical grasslands to CO₂ and climate change. *Journal of Biogeography*, 1995, 22(2/3): 537-547.
- [2] Hui D F, Jackson R B. Geographical and interannual variability in biomass partitioning in grassland ecosystems: a synthesis of field data. *New Phytologist*, 2006, 169(1): 85-93.
- [3] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, Mooney H A, Sala O E, Schulze E D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 1996, 108(3): 389-411.
- [4] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 2006, 12(1): 84-96.
- [5] Ni J. Carbon storage in grasslands of China. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(2): 205-218.
- [6] Piao S, Fang J, Zhou L, Tan K, Tao S. Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21: GB2002, doi: 10.1029/2005GB002634.
- [7] Fan J W, Zhong H P, Harris W, Yu G R, Wang S Q, Hu Z M, Yue Y Z. Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. *Climate Change*, 2008, 86(3/4): 375-396.
- [8] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, Mohammad A. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982—2006. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 841-850.
- [9] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, Guo D L, Mohammad A. Large-scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands. *Global Ecology Biogeography*, 2010, 19(2): 268-277.
- [10] Yang Y H, Fang J Y, Ji C J, Han W X. Above- and below ground biomass allocation in Tibetan grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(1): 177-184.
- [11] Luo T X, Brown S, Pan Y D, Shi P L, Ouyang H, Yu Z L, Zhu H Z. Root biomass along subtropical to alpine gradients: global implication from Tibetan transect studies. *Forest Ecology and Management*, 2005, 206(1/3): 349-363.
- [12] Han B, Fan J W, Zhong H P. Grassland biomass of communities along gradients of the Inner Mongolia grassland transect. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(4): 553-562.
- [13] Ni J. Estimating net primary productivity of grasslands from field biomass measurements in temperate northern China. *Plant Ecology*, 2004, 174(2): 217-234.
- [14] Fang J, Piao S, Zhou L, He J, Wei F, Myneni R B, Tucker C J, Tan K. Precipitation patterns alter growth of temperate vegetation. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L21411, doi: 10.1029/2005.GL024231.
- [15] Bai Y F, Wu J G, Pan Q M, Huang J H, Wang Q B, Li F S, Buyantuyev A, Han X G. Positive linear relationship between productivity and diversity: evidence from the Eurasian steppe: evidence from the Eurasian Steppe. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(5): 1023-1034.
- [16] Li Y N. The relation of alpine meadow belowground biomass to meteorological conditions and turnover value. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1998, 9(1): 36-38.
- [17] Sala O E, Lauenroth W K, Burke I C. Carbon budgets of temperate grasslands and the effect of global change//Breymer A I, Hall O E, Melillo J M, eds. *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands*. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1996: 86-92.
- [18] Chen S Y, Zhao L, Qin D H, Yue G Y, Ren J W, Li Y S, Zhao Y H. A preliminary study of the relationships between alpine grassland biomass and environmental factors in the permafrost regions of the Tibetan plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(2): 405-413.
- [19] Wang L, Niu K C, Yang Y H, Zhou P. Patterns of above- and belowground biomass allocation in China's grasslands: evidence from individual-level observations. *Life Science*, 2010, 53(7): 851-857.
- [20] Wang C T, Cao G M, Wang Q L, Jing Z C, Ding L M, Long R J. The changes of alpine meadow plant community species composition and biomass

along the environment gradient on Tibetan plateau. *Science China*, 2007, 37(5): 585-592.

- [21] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, Mohammad A. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982—2006. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 841-850.
- [22] Yan Y, Zhang J G, Zhang J H, Fan J R, Li H X. The belowground biomass in alpine grassland in nakchu prefecture of Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2818-2823.
- [23] Bao S D. Agriculture chemical analysis of soil. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 30-34.
- [24] Ma W H, Yang Y H, He J S, Zeng H, Fang J Y. The relationship of temperate grassland biomass to environmental factors in Inner Mongolia. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2008, 38(1): 84-92.

参考文献:

- [12] 韩彬, 樊江文, 钟华平. 内蒙古草地样带植物群落生物量的梯度研究. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 553-562.
- [16] 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. *中国农业气象*, 1998, 9(1): 36-38.
- [18] 陈生云, 赵林, 秦大河, 岳广阳, 任贾文, 李元寿, 赵拥华. 青藏高原多年冻土区高寒草地生物量与环境因子关系的初步分析. *冰川冻土*, 2010, 32(2): 405-413.
- [20] 王长庭, 曹广民, 王启兰, 景增春, 丁路明, 龙瑞军. 青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化. *中国科学*, 2007, 37(5): 585-592.
- [21] 马文红, 方精云, 杨元合, 安尼瓦尔·买买提. 中国北方草地生物量动态及其与气候因子的关系. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 632-641.
- [22] 鄢燕, 张建国, 张锦华, 范建容, 李辉霞. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量. *生态学报*, 2005, 25(11): 2818-2823.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999: 30-34.
- [24] 马文红, 杨元合, 贺金生, 曾辉, 方精云. 内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 2008, 38(1): 84-92.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyong, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元