

# 青海湖鸟岛水分梯度下草地生物量 分配格局初步研究

陈 骥<sup>1,2</sup>, 曹军骥<sup>1,3\*</sup>, 魏永林<sup>4</sup>, 张宝成<sup>1,2</sup>, 朱宝文<sup>5</sup>, 马宗泰<sup>4</sup>

(1. 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 西安交通大学全球环境变化研究院, 陕西 西安 710075; 4. 青海省海北州海北牧业气象试验站, 青海 海北州 810200;  
5. 青海省海北州气象台, 青海 海北州 810200)

**摘要:** 研究了青海湖鸟岛地区不同土壤水分梯度下个体与群落水平株高, 根长和地上、地下生物量的分配。旨在:(1) 在小尺度上调查不同土壤水分梯度对草地高、根长和地上、地下生物量分配的影响;(2) 在个体和群落水平上检验同速生长理论;(3) 为青海湖周边地区地下生物量估计提供数据支持, 并讨论环境因素对地下生物量与地上生物量比值(R/S)的影响。结果表明:个体水平上株高、根长、地上生物量、地下生物量都随土壤含水量的增加而降低;群落水平上地上生物量随土壤含水量的增加而增加, 而地下生物量随土壤含水量的增加而降低。青海湖流域鸟岛地区个体水平上根长、株高比值的变化范围为 0.3~6.0, 均值和中值分别为 1.6 和 1.3;个体水平地下生物量与地上生物量的比值也有较大的变化范围(0.4~11.3), 均值和中值分别为 2.5 和 1.5;群落水平地上生物量变化范围为 221.59~352.77 g·m<sup>-2</sup>, 地下生物量变化范围为 741.98~1182.20 g·m<sup>-2</sup>, 地下、地上生物量比值的变化范围为 1.4~7.1, 均值和中值分别为 3.0 和 1.9。土壤水分在个体和群落水平上都影响到了植物株高、根长以及生物量的分配。基本表现为:个体水平上株高、根长、地上生物量、地下生物量都随土壤含水量的增加而降低;群落水平上地上生物量随土壤含水量的增加而增加, 而地下生物量随土壤含水量的增加而降低。该区域草地生物量分配规律在个体和群落水平上都不支持等速生长假说。

**关键词:** 草地;生物量;等速生长, 土壤含水量;青海湖鸟岛流域

**中图分类号:** S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0202-07

## Primary study on the allocation pattern of grassland biomass under soil water gradient of Bird Island in Qinghai Lake

CHEN Ji<sup>1,2</sup>, CAO Jun-ji<sup>1,3\*</sup>, WEI Yong-lin<sup>4</sup>, ZHANG Bao-cheng<sup>1,2</sup>, ZHU Bao-wen<sup>5</sup>, MA Zong-tai<sup>4</sup>

(1. Key Lab of Aerosol Science & Technology, SKLLQG/Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;  
3. Institute of Global Environment Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;  
4. Weather Haibei Livestock Experiment Station, Haibei 810200, China;  
5. Haibei Meteorological Observatory, Haibei 810200, China)

**Abstract:** In this paper, we have investigated the height, root length from the individual and community level and the allocation of biomass above and below ground under different soil water gradient of the Bird Island area in Qinghai Lake. In order to: (1) investigate the effects of different soil water gradient to the grassland height, root length, biomass above and below ground by small scale; (2) inspect the isospeed growth theory from the individual and community level; (3) provide data support to estimate the biomass belowground for the areas around Qinghai Lake and discuss the impact of environmental factor to R/S. The results showed that: From the individual level, the height, root length and biomass above and below ground total were decreased with the increase of soil water content. From the community level, the

收稿日期:2013-11-22

基金项目:国家十一五科技支撑计划项目“流域生态和环境综合监测与评估技术”(2007BAC30B01); 国家十二五科技支撑计划项目“青海湖流域天空地生态环境监测平台与示范”(2012BAH31B03)

作者简介:陈 骥(1988—),男,陕西商洛人,博士研究生,主要从事全球变化碳循环研究。E-mail:chenji@ieccas.cn。

\* 通信作者:曹军骥, E-mail:cao@loess.llqg.ac.cn。

biomass above ground were increased with the increase of soil water content; but the biomass below ground was decreased with the increase of soil water content. From individual level, the ratio between root length and height was 0.3 to 6.0, the mean and median values was 1.6 and 1.3, respectively; and the ratio between the biomass above and below ground was 0.4 to 11.3, the median and mean values was 2.5 and 1.5, respectively, From the community level, the change range of the biomass above ground was 221.59 to 352.77  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ , the change range of the biomass below ground was 741.98 to 1182.20  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ; the ratio between the biomass above and below ground was 1.4 to 7.1, the median and mean values was 3.0 and 1.9, respectively. The soil water content has affected the height, root length and allocation of the biomass whether the individual or community level. This basically expressed as: From the individual level, the height, root length and biomass above and below ground, total were decreased with the increase of soil water content. From the community level, the biomass above ground was increased with the increase of soil water content; but the biomass below ground was decreased with the increase of soil water content. In this area, the biomass distribution rule of the grassland don't support the hypothesis of isospeed growth whether individual or community level.

**Keywords:** grassland; biomass; isometric growth; soil water content; Bird Island in Qinghai Lake

草地生态系统占陆地总面积的 1/4, 储存着全球 10% 的碳, 因而草地生态系统对全球碳循环有举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。草地生物量的 80% 以上分配在地下<sup>[2]</sup>, 地下生物量是土壤有机碳库的最主要输入源, 在草地生态系统碳循环中起着关键作用<sup>[3]</sup>。植物地下和地上生物量分配方式不仅影响植物个体的生长, 还会影响到生态系统土壤中碳输入和整个陆地生态系统碳循环<sup>[4-5]</sup>。植物的根是一个重要的竞争器官, 在有些生态系统中根对资源的竞争甚至超过了地上部分的竞争。

通常可以用以下两种方法估算得到地下生物量: 一为模型法, 即通过地上生物量和环境变量来估算地下生物量<sup>[6-7]</sup>, 但最近相关研究表明, 模型法对森林植被地下生物量的估算效果较好, 对草地而言, 地上生物量或其它环境因素对地下生物量的空间变异解释率较低<sup>[2]</sup>, 不适宜用模型方法来估算地下生物量; 第二种方法是采用地下、地上生物量比(R/S)估算地下生物量, 它主要根据特定植被类型的平均 R/S 和地上生物量来估算其地下生物量<sup>[2]</sup>。在理论上, 生物量的分配可以通过同速生长理论进行估计<sup>[6,8-9]</sup>, 这一理论认为在个体水平上植物的地上生物量和地下生物量是近于同等比例增长的, 并且这种增长不受植物种类和环境条件的限制<sup>[8]</sup>。之后的研究又证明在群落水平上也存在这一规律<sup>[10]</sup>。

R/S 是许多陆地生态系统碳循环模型的重要参数<sup>[11]</sup>, 20 世纪 90 年代以来, R/S 已被用于估算中国草地的碳储量<sup>[12]</sup>。但是, 由于根系采样等诸多困难使 R/S 还存在很大不确定性<sup>[13-15]</sup>, 目前所发表的 R/S 数据也十分缺乏, 人们只能根据少数野外观测资料大致估算地下生物量, 因而使得地下生物量和碳储量的估算存在很大的不确定性<sup>[16]</sup>。确定陆地

生态系统中 R/S 的值与环境因素之间的关系, 尤其是在草原生态系统中对于我们理解地下生物量的分配至关重要<sup>[2,17]</sup>。一些研究表明, 基于以往的研究我们高估了全球草地生态系统中的地下生物量<sup>[2]</sup>。因此我们亟需要得到更多可信的数据, 来估计地下生物量和检验同速生长理论。

根系是植物水分和养分吸收的最主要器官, 水分和养分的可利用性又决定于植物所处的环境条件, 根系的大小、形态, 以及根系竞争力<sup>[18]</sup>。植株高度和根长可以反映植物的生长、竞争以及适应能力, 根长与株高的比值是植物同化资源分配的一种体现。土壤水分显著地影响了光合产物在植物地上、地下之间的分配以及生物地上、地下的形态特征<sup>[19]</sup>, 有研究表明地上部的生长也会影响到同化物质向根系的转移<sup>[20]</sup>。降低地上部分的株高, 会减少干物质向根系的分配, 从而导致其水分吸收减少, 根冠比变小<sup>[21]</sup>。研究植物根系生长分布特征与土壤水分的关系对于揭示植物对干旱环境的适应有重要的生态学意义。

一方面, 相关的研究在我国还不多, 研究上还存在一定的空白。对我国北方温带草原和高寒草原的研究得出, 整体水平上 R/S 比世界的平均值高(6.3 vs 3.7), 并且 R/S 与年均温度和年均降水之间没有显著的相关性<sup>[22]</sup>; 对内蒙古温带草原 R/S 的研究表明, 荒漠草原、典型草原和草甸草原 R/S 中值分别为 6.7、5.3 和 5.2, 并且也与年均温、年降水和土壤含水率之间也没有显著相关关系<sup>[23]</sup>。另一方面, 我国独特的地形涉及到的生态系统类型比较复杂, 使得 R/S 有了很大的不确定性。例如相关研究表明群落生产力除受物种多样性、功能群内物种密度和均匀度的影响, 同时也受物种本身特征和外部环境

资源的影响<sup>[24]</sup>,在祁连山的研究也表明不同类型草地对环境因子的响应存在较大的差异<sup>[25]</sup>。因此对我国不同类型的生态系统或者不同环境条件下植被系统的地下、地上生物量的调查非常重要。

本文研究了青海湖鸟岛地区不同土壤水分梯度下,个体与群落水平地下、地上生物量的分配。旨在:(1)在小尺度上调查不同土壤水分梯度对草地上、地下生物量分配的影响;(2)在个体和群落水平上检验同速生长理论;(3)为青海湖周边地区地下生物量估计提供数据支持,并讨论环境因素对R/S的影响。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

青海湖鸟岛地区位于青海湖国家级自然保护区的西部,地理位置为 36°57′~37°04′N、99°44′~99°54′E,海拔 3 194~3 226 m,地势西北高而东南低。处于我国东部季风区和西北部干旱区的交汇地带,干旱、少雨、多风、太阳辐射强烈、气温日较差大,属高原半干旱高寒气候区,具有明显的大陆性气候特点。年平均气温为 -0.7℃,最热月 7 月平均气温为 12.4℃,最冷月 1 月平均气温为 -12.7℃,极端最高气温 28℃,极端最低气温 -31℃,年均降水量为 322.7 mm,集中于 6—8 月份,年蒸发量约为年降水量的 3.8 倍,年大风日数在 48 d 以上,最长达 78 d,年日照时数 3 040 h,植物生长期只有 90~100 d<sup>[26]</sup>。

### 1.2 研究样地与研究方法

由于青海湖水位从 1956—1988 年下降了 3.35

m,在鸟岛地区形成大量水位退却后的湿地和沙地生态系统。本研究位于青海湖鸟岛景区观景台以北临近青海湖湖水退缩形成的湿地与沙地生境内。研究样地为一南北走向的斜坡,坡度 6°,由于临近湖区,所以这一坡度造成了明显的土壤含水率的差别。

2011 年 8 月下旬生长季旺盛期,沿土壤水分梯度及植被情况分别选取三个 100 m×200 m 的大样方(分别为 T1、T2 和 T3,见表 1)。选取在这三个样方中共有且具有代表性的物种,本次实验定为鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、海乳草(*Glaux maritima*)和华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*),并在每个样方中分别选取 10 整株鹅绒委陵菜、海乳草和华扁穗草,分别测其地上株高、地下根长、地上生物量、地下生物量。取样时根据植物根系的生长方向、深度用铁锹挖取包含植物全部或绝大多数根系的土块(通常在每个植株的基部 10~20 cm 范围内挖取 60~70 cm 深的土块),仔细地去除附着在目标植物根系上的土壤及其它植物的根等杂质,同时去除已经处于半分解状态的死根,取样过程中保证地上部分和地下部分连在一起,并尽量保证所取根系的完整性。同时在大样方中选取 6 个 50 cm×50 cm 的小样方取其地上生物量与地下生物量,样方选取时尽量保证在每个环境梯度上各重复样方的相似性。个体和群落水平上的地上生物量和地下生物量,用冷水(<5℃)清洗干净后分别装入信封标号,在 65℃条件下烘干至恒重。

表 1 实验样地基本情况

Table 1 The basic information of the experimental sites

| 处理<br>Treatment | 主要物种<br>Species   | 土壤体积含水率/%<br>Soil water content(v/v) | 群落盖度/%<br>Coverage |
|-----------------|---|--------------------------------------|--------------------|
| T1(Treatment 1) | 鹅绒委陵菜( <i>Potentilla anserina</i> )、海乳草( <i>Glaux maritima</i> )、华扁穗草( <i>Blysmus sinocompressus</i> )、盐生风毛菊( <i>Saussurea davurica</i> )、西伯利亚蓼( <i>Polygonum sibiricum</i> )、星星草( <i>Puccinellia tenuiflora</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum mongolicum</i> )   | 7±2                                  | 80±3               |
| T2(Treatment 2) | 鹅绒委陵菜( <i>Potentilla anserina</i> )、海乳草( <i>Glaux maritima</i> )、华扁穗草( <i>Blysmus sinocompressus</i> )、西伯利亚蓼( <i>Polygonum sibiricum</i> )、星星草( <i>Puccinellia tenuiflora</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum mongolicum</i> )、直立黄芩( <i>Astragalus adsurgens</i> )、假羊茅子茅( <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> )、水葫芦苗( <i>Halerpestes cymbalaria</i> ) | 55±6                                 | 85±3               |
| T3(Treatment 3) | 鹅绒委陵菜( <i>Potentilla anserina</i> )、海乳草( <i>Glaux maritima</i> )、华扁穗草( <i>Blysmus sinocompressus</i> )、西伯利亚蓼( <i>Polygonum sibiricum</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum mongolicum</i> )   | 100                                  | 90±3               |

### 1.3 数据处理方法

所有统计分析均利用 Excel 2003 和 SPSS13.0 完成,应用最小显著性差异(LSD)方法检验差异性,应用 origin 8.0 作图。

## 2 结果与分析

2.1 个体水平上地上株高、地下根长及根长/株高在研究区域植株高度都表现为华扁穗草>鹅绒

委陵菜 > 海乳草。华扁穗草的植株高度在三种土壤水分梯度中没有显著差异,株高平均水平为  $18.54 \pm 1.09$  cm;鹅绒委陵菜仅在 T1 和 T2、T3 之间存在株高的差异 ( $P < 0.05$ ),变化范围为 7.78 ~ 15 cm;海乳草株高在三种水分梯度下都有显著差异 ( $P < 0.05$ ),变化范围为 4.3 ~ 6.61 cm。除华扁穗草外,鹅绒委陵菜、海乳草株高都随着水分梯度的增加而下降(图 1a)。

植株地下根长除在 T2 水分梯度下表现为华扁穗草 > 鹅绒委陵菜 > 海乳草,与植株地上部分变化大体相一致。华扁穗草在 T1 和 T2、T3 之间存在根长的差异 ( $P < 0.05$ ),变化范围为 10 ~ 44.7 cm,并且在 T1 和 T2 中出现了较大的变化(从 44.7 cm 到 12.2 cm);鹅绒委陵菜也仅在 T1 和 T2、T3 之间存在根长的差异 ( $P < 0.05$ ),变化范围为 8.81 ~ 18.82 cm;海乳草根长在三种水分梯度下都达显著差异水平 ( $P < 0.05$ ),变化范围为 5.9 ~ 16.33 cm。这三种植物的地下根长随着土壤含水率的增加而减少,华扁穗草与鹅绒委陵菜、海乳草地下根长在这三种水分梯度下都达到显著差异水平,但鹅绒委陵菜和海乳草地下根长仅在 T3 中有显著差异 ( $P < 0.05$ )(图 1b)。

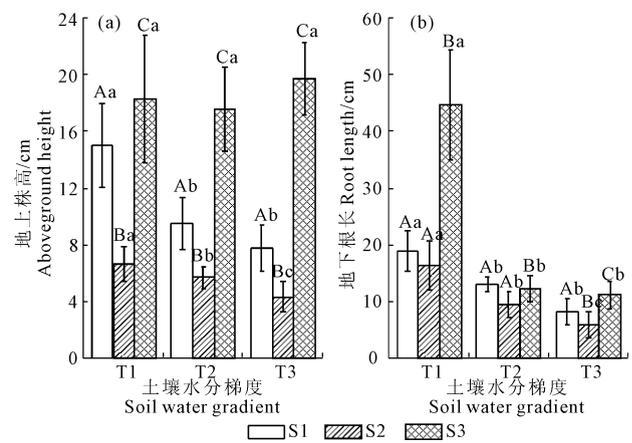


图 1 不同水分梯度下的地上株高和地下根长  
Fig.1 Aboveground height and root length in different soil water gradient

注:S1、S2 和 S3 分别指鹅绒委陵菜、海乳草和华扁穗草;不同小写字母表示同一物种在不同环境水分梯度下的差异,不同大写字母表示同一水分梯度下不同种间的差异 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: S1, S2 and S3 indicate *Potentilla anserina*, *Glaux maritima* and *Blysmus sinocompressus*, respectively. Different lowercase letters express the difference in different soil water gradient, and different uppercase letters show the difference among the same soil water gradient ( $P < 0.05$ ). The same as below.

在该区域除华扁穗草植株根长与株高比值 T2、T3 小于 1 外,鹅绒委陵菜、海乳草以及 T1 中的华扁穗草植株根长与株高比值都大于 1。鹅绒委陵菜根

长与株高的比值仅在 T1 和 T3 中显著差异,变化范围为 1.05 ~ 1.28;海乳草和华扁穗草根长与株高比值在 T1 和 T2、T1 和 T3 之间有显著差异,变化范围分别为 1.38 ~ 2.48、0.58 ~ 2.67。这三种植物的根长与株高比值都随着土壤含水率的增加呈现出下降趋势,以华扁穗草的下降趋势最为明显。在 T1 中鹅绒委陵菜和海乳草、华扁穗草之间的根长株高比有显著差异;在 T2、T3 中三个物种彼此之间的根长与株高比都存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。个体水平上根长与株高比值有较大变化范围(0.33 ~ 6.0),均值和中值分别为 1.6 和 1.3,但绝大部分都分布于 0.5 ~ 2.5 之间(80%)(如图 2)。

2.2 个体水平地上生物量、地下生物量及 R/S

植物地上、地下生物量的分配是植物资源同化分配的核心问题,在该研究区域个体植株地上、地下生物量表现出相似的变化规律:即个体地上、地下生物量都表现出华扁穗草 > 鹅绒委陵菜 > 海乳草,并且都随着土壤含水率的增加而下降。华扁穗草、鹅绒委陵菜和海乳草个体地上、地下生物量在 T1 和 T2、T3 之间有显著差异 ( $P < 0.05$ ),但在 T2 和 T3 之间没有显著差异 ( $P < 0.05$ )。华扁穗草和鹅绒委陵菜、海乳草的地上生物量在 T1、T2、T3 中都有显著差异,但委陵菜和海乳草地上生物量只在 T2 中有显著差异;委陵菜和海乳草地下生物量在不同的土壤水分梯度中没有显著差异,但都和华扁穗草有显著差异(图 3)。

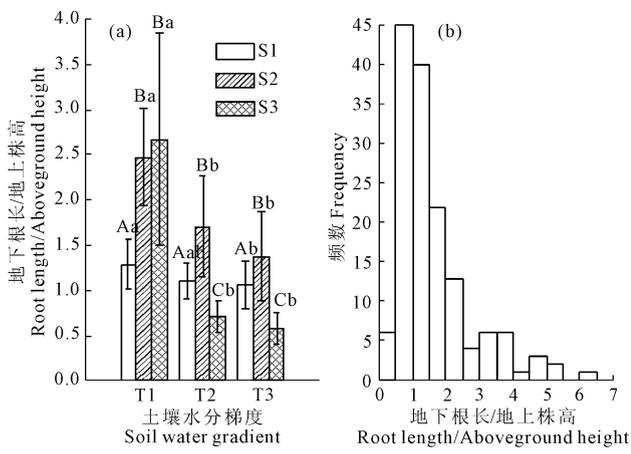


图 2 不同环境梯度下个体地上株高和地下根长比值及其频数分布图  
Fig.2 The ratio of aboveground height and root length in different soil water gradient and its frequency

地下生物量和地上生物量的比值(R/S)是计算地下生物量的一个重要途径,也是估算地下碳库的一个重要方法,在全球碳循环中有重要的作用。该

研究区域个体水平上 R/S 在 T1、T2、T3 中都表现为华扁穗草 > 鹅绒委陵菜 > 海乳草,而且除了 T1 中海乳草的 R/S 小于 1 外,其它 R/S 值都大于 1。鹅绒委陵菜在 T3 和 T1、T2 之间有显著差异,海乳草仅在 T1 和 T3 之间有显著差异,而华扁穗草在三种土壤水分梯度中都没有显著的差异;在同一土壤水分梯度中鹅绒委陵菜和海乳草之间没有显著差异,但都和华扁穗草有显著的差异。个体水平上的地下生物量与地上生物量的比值也有较大的变化范围(0.36 ~ 11.34),均值和中值分别为 2.5 和 1.5,但大部分都分布于 1 ~ 5 左右(59%)(图 4)。

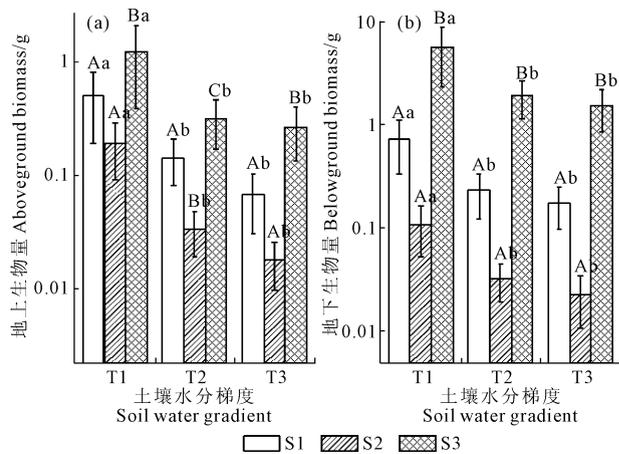


图 3 不同水分梯度下个体地上生物量和地下生物量

Fig.3 Individual aboveground biomass and belowground biomass in different soil water gradient

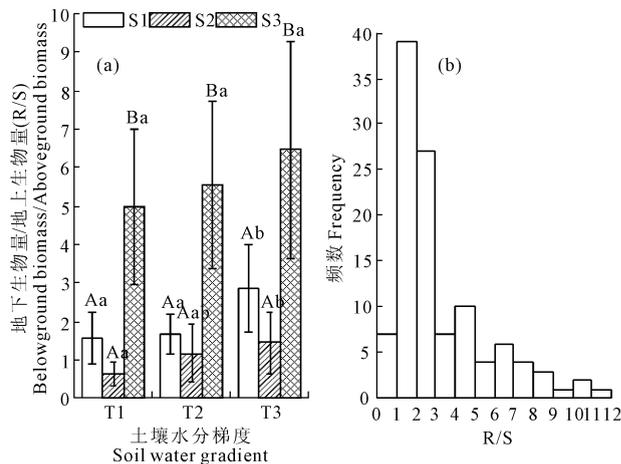


图 4 不同水分度下个体地上生物量和地下生物量比值及其频数分布图

Fig.4 The ration and of individual belowground and biomass aboveground and its frequency in different soil water gradient

### 2.3 群落水平上地上生物量、地下生物量及 R/S

净初级生产力在地上、地下的分配影响植物的营养和水分吸收、土壤和植被中有机碳的周转以及

物种间的竞争。在群落水平上,地上生物量都随着土壤含水量的增加而增加,变化范围为 221.59 ~ 352.77  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,并且在 T3 和 T1、T2 之间有显著差异;地下生物量都高于地上生物量,分别是地上生物量的 5.4, 3.7 和 2.0 倍,其大小顺序为 T1 > T2 > T3,变化范围为 741.98 ~ 1 182.20  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,并且在 T1 和 T3 之间有显著差异,可见在 T2、T3 中水分促进了地上生物量的增加和抑制了地下生物量的增加(见图 5)。群落水平上地下生物量与地上生物量的比值有较大的变化范围(1.8 ~ 7.1),均值和中值分别为 3.7 和 3.5(表 2)。

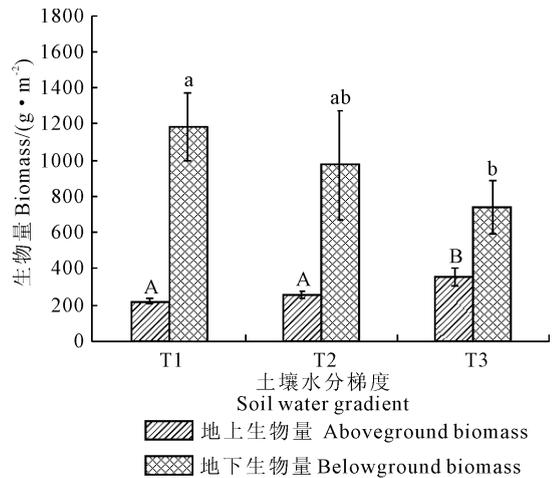


图 5 不同水分梯度下群落水平地上生物量和地下生物量

Fig.5 Aboveground and belowground biomass of community in different soil water gradient

注:不同大写字母表示群落地上生物量在不同水分梯度下的差异,不同小写字母表示群落地下生物量在不同水分梯度下的差异( $P < 0.05$ )。

Note: Different uppercase letters show the difference of AGB, and different lowercase letters express the difference of BGB in different soil water gradient( $P < 0.05$ )

## 3 讨论

研究区域主要种基本都表现为株高与根长随土壤含水量增加而降低。在毛乌素沙地的相关研究也表明土壤含水量会影响到株高、平均冠幅直径、地上生物量、叶片生物量和茎生物量<sup>[28]</sup>。这和以往的研究结果是相一致的<sup>[29]</sup>。土壤含水量也影响到了个体和群落的生物量在地上和地下的分配。相关研究表明:在一定的土壤含水量条件下,土壤含水量的增加有利于生物量的增加<sup>[30,31]</sup>,和本文中群落地上生物量随土壤含水量的增加而增加是相一致的。但个体地上生物量和地下生物量都随土壤含水量的增加而降低,这可能是由于植物自身的适应或补偿<sup>[32]</sup>。

表2 不同草地类型个体和群落水平 R/S 及地上地下生物量

Table 2 The ration of individual and community R/S and net productivity of aboveground and belowground in different grassland types

| 草地类型<br>Grassland types     | 个体 R/S         |              |             | 群落 R/S       |             | AGB<br>/(g·m <sup>-2</sup> ) | BGB<br>/(g·m <sup>-2</sup> ) | 参考文献<br>References |
|-----------------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
|                             | 样本数<br>Samples | 中值<br>Median | 范围<br>Range | 中值<br>Median | 范围<br>Range |                              |                              |                    |
| 本研究 T1 This study T1        | 59             | 1.0          | 0.4~8.2     | 5.1          | 4.2~7.1     | 221.6                        | 1182.2                       | 本研究 This study     |
| 本研究 T2 This study T2        | 38             | 2.0          | 0.4~9.4     | 3.5          | 2.9~4.9     | 259.0                        | 970.8                        | 本研究 This study     |
| 本研究 T3 This study T3        | 48             | 2.3          | 0.4~11.4    | 2.1          | 1.8~2.3     | 352.8                        | 742.0                        | 本研究 This study     |
| 温带草地<br>Temperate grassland | 106            | 0.8          | 0.3~12.5    | 6.3          | 0.4~32.2    | 135.3                        | 775.2                        | [12,17,27]         |
| 荒漠草原 Desert steppe          | 25             | 1.4          | 0.3~12.5    | 6.7          | 2~32.2      | 56.6                         | 301.0                        | [12,17,27]         |
| 典型草原 Typical steppe         | 47             | 0.7          | 0.3~8.2     | 5.3          | 0.4~19.9    | 133.4                        | 688.9                        | [12,17,27]         |
| 草甸草原 Meadow steppe          | 34             | 1.1          | 0.3~5.4     | 5.2          | 1.9~14.7    | 136.7                        | 1385.2                       | [12,17,27]         |
| 高寒草地 Alpine grassland       | 101            | 0.7          | 0.2~17.7    | 5.8          | 0.8~13.0    | 59.3                         | 317.2                        | [12,17,27]         |
| 高寒草甸 Alpine meadow          | 65             | 0.5          | 0.2~17.7    | 5.2          | 0.8~13.0    | 100.4                        | 645.8                        | [12,17,27]         |
| 高寒草原 Alpine steppe          | 36             | 1.7          | 0.3~10.2    | 6.8          | 1.4~12.7    | 40.5                         | 201.3                        | [12,17,15]         |
| 全国 China                    | 324            | 0.6          | 0.1~7.3     | 4.5          | 0.8~26.0    | 44.1                         | 271.14                       | [12,17,14]         |

该区域草地生物量分配规律在个体和群落水平上都不支持等速生长假说。已有的生长理论认为,如果维管植物满足三个假设:(1) 植物根和茎的密度在发育过程中基本不变;(2) 根、茎的有效水力截面积相同;(3) 植物株高和根长大致按同比例增长,那么地上生物量和地下生物量大致等速生长<sup>[8,33]</sup>。在本研究中,无论是在个体水平上还是在群落水平上,该区域地上、地下生物量分配都不支持等速生长假说,即同一物种在不同土壤水分梯度中和同一水分梯度下不同物种地下与地上生物量比值均有显著差异,和已发表的在青藏高原的相关研究相一致<sup>[33]</sup>。这可能是由于:(1) 实验所采植物样品的区域较小,可能植物群落组成、土壤质地等其它因素影响到了植物地下地上的分配<sup>[22]</sup>;(2) 研究区域明显受到由于坡度造成的土壤水分等的影响,对植物株高和根长的分析也证明了这一点,即在 T2、T3 中土壤水分条件明显限制到了植物的生长尤其是地下部分的生长和积累,在 T1 中由于缺少水分,促进了根向更深的地方生长,因而增加了地下生物量的累积。相关研究表明根冠比随水分可获取性的增加而降低<sup>[27]</sup>,在矮草草原长达 13 a 的研究也证明生物在地下的分配与降水之间存在负相关<sup>[34]</sup>;(3) 本研究区域是青藏高寒草地,许多草本植物并不具有木本植物那样的分形结构,并且根、茎长度和生物量的增加并非总是同比例变化,许多植物会在生长季后期长出基生叶来支持生长。我们的结果和以往实验室对冬小麦的培养实验得到的结果是相一致的,即土壤含水量影响到了干物质在根冠间的分配,水分胁迫降低了干物质在地上的分配<sup>[29]</sup>。

与中国其它地区的草地生态系统相比较,本研究的地上生物量和地下生物量都略高于其它类型的草原以及全国的平均值;地下生物量与地上生物量比值的中值在个体水平上略高于其它类型的草原以及全国的平均值<sup>[35]</sup>,但在群落水平上基本低于其它类型草原和全国的平均值(表 2)。这可能是由于:(1) 本研究采样于生物量最大时的 8 月进行,因此地上生物量和地下生物量都比较大;(2) 在个体水平上由于只选取了在研究区域具有代表性三种优势种,而没有考虑到其它非优势种,这可能是导致个体水平偏高的主要原因;(3) 数据来源不同,不同的草原类型,尤其是温带草原和高寒草原之间的 R/S 值本身就存在差异<sup>[33]</sup>;(4) 草地群落本身存在差异,由于全球各地区草原所处的气候、土壤等自然环境条件差异巨大,导致物种组成和群落结构具有较大差异。无论是本研究还是已有的其它区域的研究都表明:草地地下生物量与地上生物量在同一类型草地中的比值都有较大的变化范围,但基本都是地下生物量大于地上生物量。因此,研究该区域的碳循环问题时要重视地下生物量的分配,估计地下生物量时要考虑到土壤水分等其它环境因子对 R/S 的影响。

## 4 结 论

1) 土壤水分在个体和群落水平上都影响到了植物株高、根长以及生物量的分配。基本表现为:个体水平上株高、根长、地上生物量、地下生物量都随土壤含水量的增加而降低;群落水平上地上生物量随土壤含水量的增加而增加,而地下生物量随土壤

含水量的增加而降低。

2) 该区域草地生物量分配规律在个体和群落水平上都不支持等速生长假说。

#### 参考文献:

- [1] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(8):736-753.
- [2] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(1):84-96.
- [3] 杨婷婷, 吴新宏, 王加亭, 等. 中国草地生态系统碳储量估算[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(3):127-130.
- [4] Kuzyakov Y, Domanski G. Carbon input by plants into the soil[J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2000, 163(4):421-431.
- [5] Litton C M, Raich J W, Ryan M G. Carbon allocation in forest ecosystems[J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(10):2089-2109.
- [6] Niklas K J. Modelling below-and above-ground biomass for non-woody and woody plants[J]. *Annals of Botany*, 2005, 95(2):315-321.
- [7] Gill R, Kelly R, Parton W, et al. Using simple environmental variables to estimate below-ground productivity in grasslands[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2002, 11(1):79-86.
- [8] Enquist B J, Niklas K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants[J]. *Science*, 2002, 295(5559):1517-1520.
- [9] Niklas K J. A phyletic perspective on the allometry of plant biomass-partitioning patterns and functionally equivalent organ-categories[J]. *New Phytologist*, 2006, 171(1):27-40.
- [10] Cheng Dongling, Niklas K J. Above-and below-ground biomass relationships across 1534 forested communities[J]. *Annals of Botany*, 2007, 99(1):95-102.
- [11] Wilson J B. A review of evidence on the control of shoot - root ratio, in relation to models[J]. *Annals of Botany*, 1988, 61(4):433-449.
- [12] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4):491-498.
- [13] Yang Yuanhe, Fang Jingyun, Ji Chengjun, et al. Above-and below-ground biomass allocation in Tibetan grasslands[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(1):177-184.
- [14] 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.
- [15] 贺金生, 王政权, 方精云. 全球变化下的地下生态学:问题与展望[J]. *科学通报*, 2004, 49(13):1226-1233.
- [16] 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.
- [17] Hui Dafeng, Jackson R B. Geographical and interannual variability in biomass partitioning in grassland ecosystems: a synthesis of field data[J]. *New Phytologist*, 2006, 169(1):85-93.
- [18] 王政权, 张彦东, 王庆成. 氮、磷对胡桃楸幼苗根系生长的影响[J]. *东北林业大学学报*, 1999, 27(1):2-5.
- [19] 张晓芳, 贾志宽, 朱翠林, 等. 水分胁迫对大豆结荚期光合生理及生物量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(4):97-104.
- [20] 杨贵羽, 罗远培, 李保国, 等. 不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3):104-109.
- [21] Zhang Xiyang, Chen Suying, Sun Hongyong, et al. Root size, distribution and soil water depletion as affected by cultivars and environmental factors[J]. *Field Crops Research*, 2009, 114(1):75-83.
- [22] Yang Yuanhe, Fang Jingyun, Ma Wenhong, et al. Large-scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(2):268-277.
- [23] 马文红, 方精云. 内蒙古温带草原的根冠比及其影响因素[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(6):774-778.
- [24] 王长庭, 曹广民, 王启兰, 等. 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[J]. *中国科学(C辑:生命科学)*, 2007, 37(5):585-592.
- [25] 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.
- [26] 张宝成, 曹军骥. 短期 OTC 处理对鹅绒委陵菜健康影响的研究初报[J]. *地球环境学报*, 2010, 1(3):226-229.
- [27] Coupland R T. *Grassland Ecosystems of the World: Analysis of Grasslands and Their Uses*[M]. London: Cambridge Univ Pr, 1979.
- [28] 安 慧, 王俊波, 安 钰. 灌丛密度对毛乌素沙地南缘沙柳生长及土壤水分动态的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(1):197-203.
- [29] 冯广龙, 罗远培, 刘建利, 等. 不同水分条件下冬小麦根与冠生长及功能间的动态消长关系[J]. *干旱地区农业研究*, 1997, 15(2):76-82.
- [30] 刘秀位, 王艳哲, 陈素英, 等. 不同种植方式对棉田土壤温度、棉花耗水和生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1):14-19.
- [31] 王 皓, 李子忠. 坝上地区老芒麦草地土壤水分和生物量变化特征[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(3):90-95.
- [32] 山 仑. 植物抗旱生理研究与发展旱地农业[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(1):1-5.
- [33] 王 亮, 牛克昌, 杨元合, 等. 中国草地生物量地上 - 地下分配格局:基于个体水平的研究[J]. *中国科学*, 2010, 40(7):642-649.
- [34] Milchunas D G, Lauenroth W K. Belowground primary production by carbon isotope decay and longterm root biomass dynamics[J]. *Ecosystems*, 2001, 4(2):139-150.
- [35] 马文红, 韩 梅, 林 鑫, 等. 内蒙古温带草地植被的碳储量[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(3):192-195.