

# 高寒植被类型及其植物生产力的监测

李英年<sup>1</sup>, 王勤学<sup>2</sup>, 古松<sup>2</sup>, 伏玉玲<sup>3</sup>, 杜明远<sup>4</sup>, 赵亮<sup>1</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 于贵瑞<sup>3</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 日本国立环境研究所, 筑波 305-8506;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 日本农业环境技术研究所, 筑波 305-8604)

**摘要:** 监测并分析了高寒草甸二种不同植被类型的生态环境条件、植物种类组成、生物量变化规律及其差异。研究表明: 距离相近且海拔高度基本相同的矮蒿草草甸和金露梅灌丛草甸二种群落内部, 由于受地形部位影响, 虽然降水基本相同, 但地表受热及蒸发量不同, 土壤湿度存在明显差异。受上述环境条件特别是受土壤温湿度条件的限制, 二种群落内的植物种类不同, 地下、地上生物量的变化也不同, 一般在山地阴坡主要分布着以金露梅灌丛为优势种外, 多以线叶蒿草、小蒿草、羊茅、及其它杂草类为伴生种的金露梅灌丛草甸植被类型, 而主要分布于滩地的矮蒿草草甸多以垂穗披碱草等植物为伴生种的湿中性植被类型, 属典型的高寒草甸植被类型。生物量监测结果的比较分析表明, 群落的地上生物量为: 矮蒿草草甸 > 金露梅灌丛草甸; 地下生物量随植被类型的不同, 其峰值与谷值出现时间不一致。年内地下净生产量为: 金露梅灌丛草甸 > 矮蒿草草甸。地下生产量周转值为: 矮蒿草草甸 > 金露梅灌丛草甸。

**关键词:** 高寒草甸; 植被类型; 生物量; 地温; 土壤湿度; 海北

## 1 引言

影响植被类型分布及植物生物量的环境因子是复杂多样的。土壤温度、湿度作为土壤环境的重要指标, 在土壤发生和发展方向、发育速率, 以及植被分类、植物生产力形成和植物群落结构、种群数量稳定和演替, 植物细胞膨润增长、营养物质迁移等过程中占据重要的地位。多年来, 国内学者对于土壤温、湿度的研究工作较多<sup>[1-4]</sup>, 但较少涉及青藏高原土壤环境因子对高寒草甸植被类型及草地生产力的影响研究。虽然我们曾对高寒草甸地区的土壤温湿度动态变化曾有过报道<sup>[5,6]</sup>, 但同一地区的不同小尺度范围的地形部位, 由于区域环境条件限制及土壤类型分布的复杂多样, 就是同一区域一定高程范围受地形条件等制约, 所受太阳辐射有较大的差异, 导致植被蒸散, 土壤水分的侧渗和下渗等物理过程错综复杂, 因而表现出同一地区不同地形区土壤温湿度时空分布有较大的差异。致使植被类型分布差异明显, 植物生产力也有所不同。在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站), 除了对矮蒿草草甸的生物量进行过长期观测外, 对其他各种不同植被类型分布区的生物量则针对课题研究的需要进行过零星的测定。王启基于 1991 年<sup>[7]</sup>、1995 年<sup>[8,9]</sup>、1998<sup>[10]</sup>年分别报道过矮蒿草草甸、金露梅灌丛草甸、小蒿草草甸、高山蒿草草甸等不同植被类型的植物地上和部分地下生物量的分布特征及其变化规律。周华坤<sup>[11]</sup>于 2002 对金露梅灌丛草甸地下生物量形成规律给予了研究分析。但由于气

收稿日期: 2003-09-16; 修订日期: 2003-11-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-SW-01-01A5); 国家 973 计划项目(2002CB412501); 亚太地区环境创新战略计划(APEIS)项目 [Foundation Item: Knowledge Innovation Project of CAS, No. KZCX1-SW-01-01A5; The National 973 Program, No.2002CB412501; The Asia-Pacific Environmental Innovation Strategy Project (ASEIS), NIES, Japan]

作者简介: 李英年(1962-), 男, 青海乐都人, 副研究员, 主要从事生物气象、全球变化研究工作, 发表论文近 60 篇。

E-mail: ynlj@mail.nwipb.ac.cn

候年景的不同, 不同植被类型地上地下生物量变化差异明显, 特别是随气候变暖的状况下, 变化规律更为复杂。2002 年海北站与日本国立环境研究所开展“亚太地区环境创新战略计划 (APEIS)”研究项目, 采用测温计 (CPt-10、CLIMATEC) 和时域反射仪 (TDR, CS615、CSI) 对不同植被类型的土壤温度和湿度进行连续观测, 数据记录的时间间隔为 15 分钟。这对探讨在环境胁迫下的不同植被类型分布、环境特征以及植物生产力的变化研究提供了很大的便利, 从而不仅能揭示高寒草甸各生态系统的结构、功能, 植物生产力形成机制等生态过程, 而且就如何对高寒草甸草场的开发、利用、管理及可持续发展等方面具有重大意义。本文采用这一最新监测系统的数据, 分析高寒草甸不同植被类型的种类组成、生物量的变化规律和差异性。

## 2 研究区概况

本研究工作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的青海海北藏族自治州门源回族自治县境内, 祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段, 地理位置为  $37^{\circ}29' \sim 37^{\circ}45'N$ ,  $101^{\circ}12' \sim 101^{\circ}23'E$ , 站区地形开阔, 海拔在 3 200~3 600 m。该地区位于亚洲大陆腹地, 具明显的高原大陆性气候, 东南季风及西南季风微弱。高海拔条件制约, 气温极低, 无明显四季之分, 仅有冷暖二季之别, 干湿季分明; 地区年平均气温  $-1.7^{\circ}C$ , 最暖的 7 月平均气温  $9.8^{\circ}C$ , 最冷的 1 月平均气温  $-14.8^{\circ}C$ ; 年降水量 580 mm 左右, 降水主要集中于暖季的 5~9 月, 占年降水量的 80%, 冷季 10 月~翌年 4 月仅为年降水量的 20%。年内无绝对无霜期, 相对无霜期约为 20 天左右, 在最热的 7 月仍可出现霜冻、结冰、降雪 (雨夹雪) 等冬季所能有的天气现象。表现出冷季寒冷、干燥、漫长, 暖季凉爽、湿润、短暂<sup>[12]</sup>。

特殊的自然环境及青藏高原隆起过程, 造就了适应寒冷湿中生的多年生草本植物群落—高寒草甸植被类型, 形成了在土壤湿度适中的平缓滩地、山地阳坡多以矮蒿草 (*Kobresia tibetica*) 草甸为主; 土壤湿度较高的山地阴坡和滩地多为金露梅灌丛 (*Formation Dasiphora fruticosa*) 草甸; 在土壤湿度较低的山地阳坡还发育有小蒿草 (*Kobresia pygmaea*) 草甸; 而在高山冻土集中分布的地势低洼, 地形平缓, 排水不畅, 土壤潮湿, 通透性差的河畔、湖滨、山间盆地, 以及坡麓潜水溢出和高山冰雪下缘等低洼的潮湿地带多分布有藏蒿草 (*Kobresia tibetica*) 沼泽草甸为主的各种不同植被类型。因受低温环境的影响, 这里的植被生长低矮, 植物初级生产力普遍较低。土壤则是以洪积—冲积物、坡积—残积及古冰水沉积母质在不同水热条件下, 受植被改造发育而成的。在平缓滩地或山地阳坡为草毡寒冻雏形土 (*Mat-Cryic Cambisols*)、山地阴坡为暗沃寒冻雏形土 (*Mol-Cryic Cambisols*)、沼泽地为有机寒冻潜育土 (*Organic Cryic Gleysols*), 具有发育年轻、土层浅薄、有机质含量丰富等特征<sup>[12]</sup>。

## 3 资料与方法

中日合作项目 (APEIS) 于 2002 年在海北站对不同植被类型分别测定不同地形部位的土壤温度和湿度, 以及植物生长期内的地上、地下生物量, 植物群落种类的组成等。本文主要讨论广布于青藏高原的矮蒿草草甸和金露梅灌丛草甸 2 种植被类型情况。土壤温度和湿度采用测温计 (CPt-10、CLIMATEC) 和时域反射仪 (TDR, CS615、CSI), 数据记录的时间间隔为 15 分钟; 地上、地下生物量在植物生长期每月的 15 日和 30 日前后 3 日内测定, 地上生物量测定在各点随机选择 6 个  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  的样方, 用剪刀齐地面剪下装入纸袋; 地下生物量在不同地点经取过地上生物量  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  的样方内再随机

选择 25 cm×25 cm 的二级样方，垂直按 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 3 个层次，用铁铲和切刀分层取出，并及时用筛子筛选挑选出草根装入布袋，再到河边分样冲洗至干净。然后在 65 °C 恒温控制的烘箱内烘干至恒重后称重，单位取 g/m<sup>2</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 2种植被类型土壤温、湿度的变化特征

**4.1.1 土壤温度** 地温的季节变化表现有一高一低的单峰式曲线变化过程，这种变化地表最为明显。而在土壤较深层，暖季热量自上而下传播，冷季土壤表面因长波辐射首先冷却，热量自下而上散失。表现出深层地温与地表温度年变化相联系，是由地表温度高低波动来决定，变化规律与地表温度的变化相似，但自上而下最高、最低出现时间(位相)滞后，年变化振幅(年较差)减小。然而在同水平高度，距离相近的不同地形部位土壤温度变化存在有很大的区别。

从 2002 年海北站 2 种植被类型土壤 0~20 cm 层次地温月际变化可以看出(图 1a)，矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸地温年变化趋势大致相同，但数值存在差异。

矮蒿草甸地温大于金露梅灌丛草甸，0~20 cm 整层年平均分别温度分别为 3.15 °C

和 1.83 °C(图 1)。年内月平均最高均出现在 7 月，分别为 14.08 °C 和 12.57 °C；而月平均最低均出现在 1 月，分别为 -7.58 °C 和 -9.47 °C；2 种植类型年平均相差 1.32 °C，其中冷季差异明显，最大达 2.22 °C(2 月)。由于金露梅灌丛草甸处在山地阴坡，太阳辐射小于矮蒿草甸，加之金露梅灌丛草甸在冬季放牧较重，多以放牧牛马为主，矮蒿草甸区一般为后冬及前春放牧母畜及羔羊而准备，多为放绵羊草场。在金露梅灌丛草甸区重度放牧的情况下，随时间推移，经牲畜反复采食和践踏，并经多风的吹动，地表在 2 月已完全裸露。滩地矮蒿草甸不像坡地，牲畜采食相对较弱，地表仍保持较高的植被覆盖度，植被对气温波动变化及热量传输起“缓冲”作用，从而使地温在 2 种植被类型存在

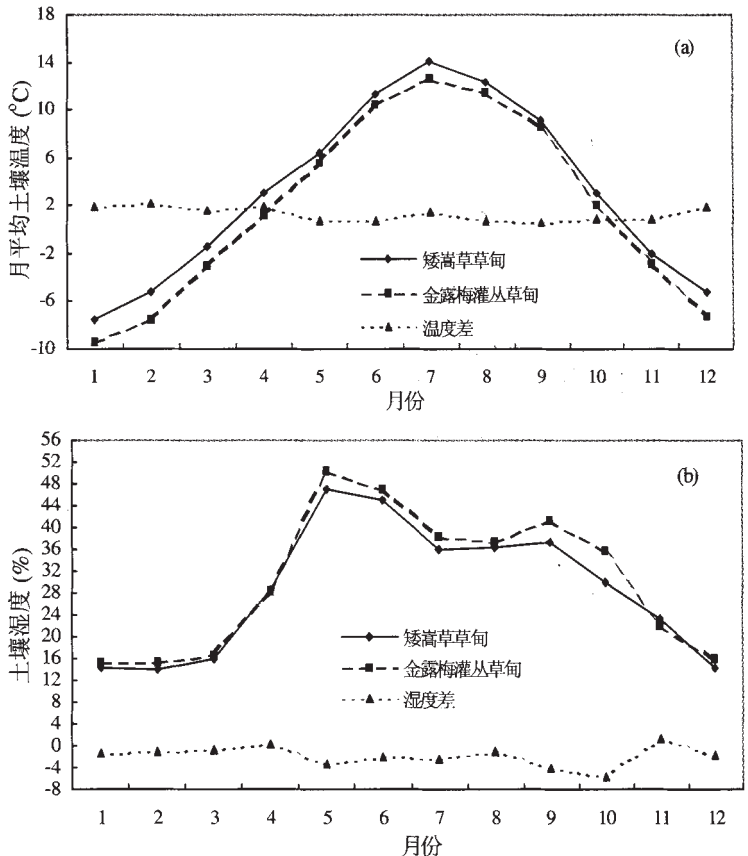


图 1 矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸 0~20cm 地温 (a) 和土壤湿度 (b) 月变化比较

Fig. 1 The comparison between *Kobresia humilis* meadow and *Potentilla fruticosa* shrub (0-20cm) for monthly changes of soil temperature (a) and soil humidity (b)

较大的差异。

**4.1.2 土壤湿度的不同分布** 由于不同地形部位接受太阳照射时间长短不一, 加之植被类型的分布差异, 虽然降水量基本保持相同, 但因地表受热不均及蒸发力不同, 土壤湿度将发生明显的差异(图 1b)。从中可以看出, 金露梅灌丛草甸的土壤湿度和矮蒿草草甸的土壤湿度均表现极为相同的变化规律, 且保持在较高的水平, 特别是植物生长期的 5~10 月期间月平均值在 30% 以上, 这是由于该地区年降水量高, 植物生长发育好, 植被盖度达 90% 以上, 土壤 0~20 cm 层次植物根系盘根错节, 根系极为发达, 形成一定厚度的“毡状”结构, 致使土壤表层具有较高的持水和滞水能力。

金露梅灌丛草甸的土壤湿度大于矮蒿草草甸, 年平均分别为 30% 和 28%。土壤湿度最高时期均出现在 5 月, 分别为 50% 和 47%。这是因为进入 5 月为雨季来临初期, 日均气温稳定通过  $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 牧草返青, 但植物生长又并不茂盛, 叶面积较小, 地表有一定的植被盖度, 地表温度变化平稳, 地表蒸发不强, 径流不发育, 蒸散量较小, 底层冻土仍维持, 出现于 50~90 cm 到 210 cm 左右, 深层冻土不但阻碍冻水的渗漏损失, 而且使其冻融水通过毛管引力补偿迁移给上层土体。降水易下渗贮存于土壤, 易使土壤水分得到提高。而 0~20 cm 层次的土壤湿度较低值出现于冷季的 12 月到次年的 3 月间, 这是由于冬季降水极少, 气候干燥, 风力较大, 致使土壤表面蒸发加剧所导致的结果。

事实上在冬季土壤深层仍保持较高的含水量<sup>[13]</sup>, 在土壤出现自上而下的季节冻土发生时, 初始的反复冻融过程将出现早晨温度降至  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下时, 土壤冻结, 冻结层出现水分集结和冰冻, 将造成土壤水分张力的改变, 体积膨胀将对周围土体产生压力, 出现较大土壤空隙, 当温度升高后冻结水融化, 这些孔隙部分将被水分所饱和, 再次发生冻结时这些孔隙再被扩大和稳定, 这给土壤水分的高积聚又提供了良好环境条件。出现稳定的冻结层后, 冻土自上而下加厚, 这时候出现土壤上层温度小于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冻结层和下部土壤温度高于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的非冻结层的环境温度梯度, 这种条件下, 底层水分(毛管水)将以土壤热力状况为载体, 由相对暖和的土层向低温的冻土层运行, 不断向土壤冻结层迁移, 首先出现短时的过冷凝结水, 尔后使水滴进一步凝结成冰晶而成为水汽的凝结核, 形成一定状况的“冰晶”层, 而且随冻结深(强)度加厚(强), “冰晶”含量在水分不断的积聚下也随之增加和长大, 直到其下部土层温度再降低并接近冰点以下而使土壤呈现稳定冻结为止<sup>[14]</sup>。这一过程表示冻结土壤中具有丰富的凝结水。只是我们所观测的土壤层次为地表 0~20 cm, 故在冬季其土壤水分含量显的较低, 更深层次的冬季土壤水分变化情况有待进一步观测和探讨。

金露梅灌丛草甸的土壤湿度比矮蒿草草甸普遍较高(图 2), 但在 4 月和 11 月例外, 是由于该时期地表裸露, 当有降水产生时, 金露梅灌丛草甸由于所处位置在坡麓地带, 裸露地表易产生较大的地表径流, 导致金露梅灌丛草甸的土壤湿度小于矮蒿草草甸土壤湿度。就年平均来看, 金露梅灌丛草甸的土壤湿度比矮蒿草草甸的土壤湿度大 2%。

## 4.2 环境因素胁迫下不同植被类型的分布

生态环境条件的差异性

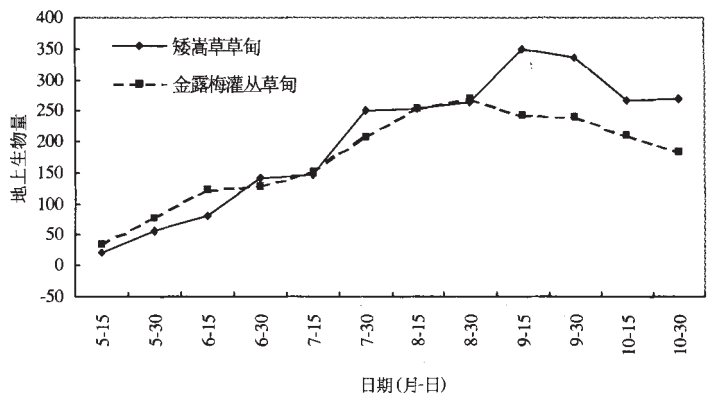


图 2 2 种植被类型地上生物量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) 的季节变化

Fig. 2 Above-ground biomass seasonal changes of 2 types of vegetations

是形成植物群落结构特征、植物生产力和物种多样性分布格局差异的重要原因之一。由于在不同地形区域,其气候有较大的差异,特别是土壤温度、湿度和土质的硬实度差异尤为明显。从而在同一大气环境下,其植被类型、土壤环境条件等有着不同的分布。就是在一定相近的区域和高程范围内,其植被类型也有较大的分布差异。由上述分析发现,海北站地区的金露梅灌丛草甸和矮蒿草草甸这两种植被类型,其土壤温、湿度均有显著的不同,特别是土壤湿度在植被类型的分布中起着重要的作用。金露梅灌丛草甸多生长在山地阴坡或滩地土壤湿度很高的地区。我们曾在植物生长的5~10月用土钻法观测0~60 cm土体<sup>⑧</sup>,整层平均湿度约为56.9%,且土质比较松软;而在平缓的滩地多为矮蒿草草甸,该地段地温适中,土壤湿度比金露梅灌丛草甸地带低,0~60 cm土层约为36%左右,土质较金露梅灌丛硬实。可以认为这2种植被类型的不同分布及发育需要不同的气候条件,不同地区的气温、辐射、土壤湿度、土壤温度及土壤的硬实度的差异是植被类型发展不同的基本条件。正是地形部位的不同,导致土壤温湿度的差异,从而造成不同地形部位有其不同的植被类型分布及其物种多样性的差异。

在2002年度对2种植被类型调查发现,海北站地区的金露梅灌丛草甸除优势种为金露梅灌丛外,伴生种多为线叶蒿草(*Kobresia capillifolia*)、针茅(*Stipa sp.*)、羊茅(*Festuca ovina*),以及其它杂草类等植物为主的植被类型。在滩地矮蒿草草甸植被类型,伴生种多为垂穗披碱草等植物为主的湿中性植被类型,属典型的高寒草甸植被类型。

### 4.3 不同地形部位植物群落种类组成及生物量

**4.3.1 不同植被类型植物群落种类情况** 植物群落的种类组成,主要取决于环境条件(温度、水分)的分布,以及建群种对环境的适应性。环境条件的变化又可通过植物本身的生长发育反映出来,从而在不同的环境条件下,其植物建群种有较大的不一致性。为了最大可能观察出不同植被类型的所有植物种类,作者于2002年8月25日~30日期间在不同地点在较大范围地选取了11个重复样方,全面系统地进行了植物群落种类结构的调查。发现金露梅灌丛草甸和矮蒿草草甸2种不同植被类型其植物种类较多,植物种类分别达72和50种,植物种类数表现为金露梅灌丛草甸 > 矮蒿草草甸。在金露梅灌丛草甸其湿度条件适中,土壤的理化条件有利于多种植物的生存和繁衍,因而种类较为丰富,具有较高的多样性。本文所研究的矮蒿草草甸分布区由于该草地曾于20世纪60年代被开垦,次后因不易农作物生长而撂荒,以后随时间进程逐渐恢复为矮蒿草草甸(至目前仍还未完全恢复),植被的总盖度稍低,植物种类明显少于原生的矮蒿草草甸,而且杂草类占有较大的比例。由于杂草类有丰硕而喜食的植物根茎,对鼠类活动与繁衍提供了良好的食物来源,从而加剧了该类区域的鼠类活动,草场破坏严重,植被恢复缓慢,其植物群落的种类组成相对较少,土壤相对干燥。

**4.3.2 不同植被类型的生物量的季节动态及比较** 毫无疑问,2种不同植被类型分布区其植被生长发育的种类组成差异由于受环境条件分布的限制变化较大,而且由于不同植被类型所建群种对环境的适应性不一致,将会导致植物光合作用的强度不同,干物质积累有着较大的差异,有些植被区植物光合作用强,有些植被类型区光合作用弱,有些植被类型干物质积累迅速,有些则比较缓慢。同时由于植被类型不同,物候期出现时间差异较大,干物质积累停止时间有先有后,必然要影响到植被生物量的形成。通过2002年5月到9月的观测发现,不同植被类型分布区,其植被的生物量差异也较为明显(图1)。高寒草甸由于受青藏高原高海拔和寒冷气候条件的限制,植物群落结构简单,层次分化不明显。在金露梅灌丛草甸可分为二层,一层即为金露梅所处的高度,其多年生生殖条一般最高可达60~80 cm,低层多以矮蒿草、线叶蒿草、针茅、羊茅、以及其它杂草类等植物组成的草本植物,高度在30 cm左右。值得说明的是,由于青藏高原被称为地球第三极,生态系统极为脆弱,遭受破坏的草场很难在短期内得以恢复,甚至需要十几年或几

十年的恢复过程才能见效。为此, 我们所作实验的研究地上的矮蒿草草甸, 其群落的高度平均也仅在 25 cm 左右, 甚至还要低些。

从生物量的月际动态可以看出 (图 2), 两种不同的植被类型的群落生物量的最大值为: 矮蒿草草甸 ( $348.3 \text{ g/m}^2$ ) > 金露梅灌丛草甸 ( $269.3 \text{ g/m}^2$ )。

另外从 2 种植被类型生物量的季节变化中发现, 在各时期生物量变化的幅度 (即相对增长率)、生物量达最高的时间均有所不同。矮蒿草草甸植物群落生长最快约在 6 月中旬到 8 月中旬之间, 在 9 月 15 日前后达最高; 金露梅灌丛草甸生长最快约出现在 7 月中旬到 8 月中旬, 并于 8 月 30 日前后达最高。不论何种植被类型, 其生长过程均遵循逻辑斯蒂曲线增长过程, 表现出缓慢积累—快速增加—相对稳定—折损减少等 4 个不同阶段。只是不同植

被类型所处的位置不同, 光照、土壤等环境条件也随之不同, 所产生的萌动发芽、返青、强度生长、成熟、进入枯黄等出现的时间略有差异, 从而导致生长过程曲线不同, 主要表现在各主要生长阶段出现的时间发生提前和滞后。

2 种植被类型地下生物量按 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 层次以及 0~40 cm 整层状况测定 (图 3)。由 2 种不同植被类型的生物量比较可发现, 在 5 月到 9 月间 0~40 cm 整层 2 种植被类型地下生物量的变化均出现“N”字型变化规律, 均表现出较高的水平, 但随植被类型的不同, 其峰值与谷值出现时间较不一致。其中, 矮蒿草草甸的最高值出现在 9 月 30 日左右, 金露梅灌丛草甸最高值出现在 8 月 15 日左右, 分别达到  $2122.8 \text{ g/m}^2$  和  $2758.2 \text{ g/m}^2$ 。值得一提的是, 金露梅灌丛草甸由于其根茎属木本, 观测时由于随机取样, 对于所测定的结果势必造成较大的误差, 矮蒿草草甸由于植物群落整齐, 地下根系多为草本, 分布均匀, 对其变化观测的结果具有较高的可信度。不论何种植被类型, 在进入冬季的 10 月, 由于天气转冷, 地温下降严重, 10 月比 9 月 0~20cm 地温要降低  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  以上, 降至  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  以下, 对植物根系生长不利, 从而导致生物量下降。

从 0~10 cm 和整层 0~40 cm 地下生物量的分布趋势来看, 其 0~10 cm 的生物量占绝对大的比例, 一般要占 82% 以上, 这也是高寒草甸地带的一大特征。这是由于高海拔地区, 土壤热通量极小, 一般也只是占净辐射的 3.4% 左右。而且, 土壤热量变化主要发生在地表 0~10 cm 层次, 更深层次热量传播缓慢, 日变化极小, 造成更深层次的热量不足, 限制了植物根茎的向下再生长。

作者曾分析发现<sup>[5]</sup>, 高寒草甸地下生物量的升高—降低—升高的变化规律, 与土壤

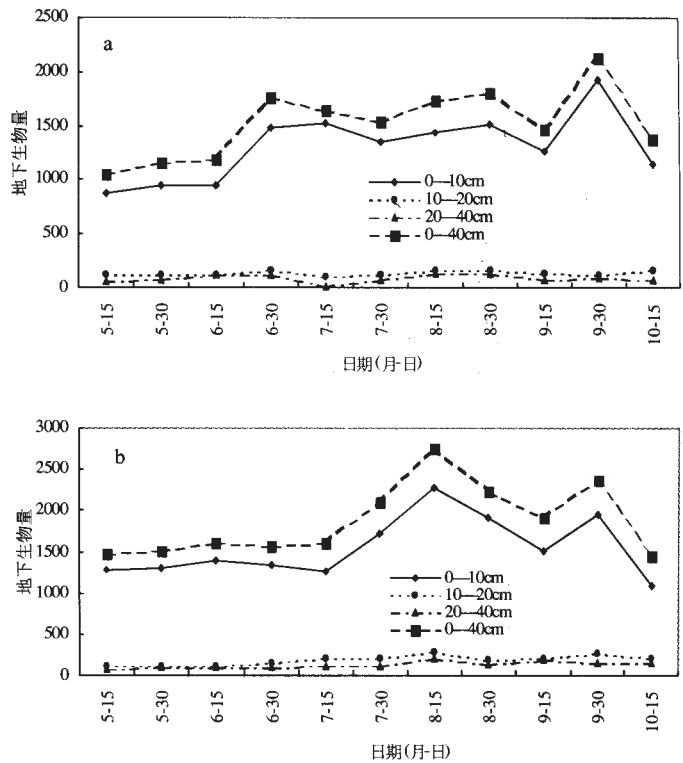


图 3 矮蒿草草甸 (a) 金露梅灌丛草甸 (b) 地下生物量 ( $\text{g/m}^2$ ) 的季节变化

Fig. 3 Underground biomass seasonal changes of 2 types of vegetations

水分含量的滞后呈明显的正相关,基本表现出当月地下生物量与前月土壤含水量变化趋势相一致的过程。同时研究还表明,同期降水较小,气温较低时,地下生物量较高。这是因为良好的天气气候条件下,植物地上部分生长发育迅速,植物在进行光合作用的同时,要消耗大量的土壤水分,在植被发生蒸腾过程中也要消耗大量的能量,相应要从地下根系中得到大量的能量来补充,致使地下生物量不断消耗能量而折损降低。相反,在气温低,降水少的时间,植物地上部分生长受到抑制,地下根系能较多地贮存能量,可满足地下根系的发育,有利地下生物量的提高。

从其年内地下净生产量<sup>[16]</sup>(这里定义为植物生长期最高值与最植物生长初期测定值的差)来看,金露梅灌丛草甸(1294.0 g/m<sup>2</sup>)大于矮蒿草草甸(1075.2 g/m<sup>2</sup>)。不难理解,金露梅灌丛草甸其金露梅的根茎较粗壮,而且扎根较深,在一定面积内所占的比重也较高,地下净生物量较高。矮蒿草草甸由于其杂草类居多,杂草类的植物根茎也是较为粗大且生长较深,繁殖生长也较迅速,从而该类草甸的地下净生物量虽也较高,但小于金露梅灌丛草甸。

从地下生产量的周转值<sup>[15, 16]</sup>(地下生产量增加量与最高生物量的比值)来看,矮蒿草草甸(0.5065) > 金露梅灌丛草甸(0.4691), 2种植被类型的地下生产量周转值均较温性草原低<sup>[12]</sup>,这与高海拔地带温度较低,环境恶劣等有关。同时如前所述,矮蒿草草甸和金露梅灌丛草甸由于杂草类居多,其根茎有较大的含水量,冬季寒冷的环境条件可使金露梅及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不能复活而死亡,甚至被腐蚀,但随暖季的到来,金露梅及杂草类在生长过程中新的根茎又加速生长,致使二者地下生物量周转值相应较高。联系过去的测定结果比较发现,一般在气候条件好的年景,如温度高,降水丰富等,其地下生物量周转值也较高,当然不同地形部位由于植被类型差异较大,其周转值的差异也较明显。

## 5 讨论及小结

距离相近,海拔高度基本相同的矮蒿草草甸和金露梅灌丛草甸由于受地形部位影响,受太阳照射及日照时间长短不一致,虽然降水基本相同,但地表受热及蒸发量不同,土壤湿度发生的差异明显。监测结果表明,两种不同植被类型0~20 cm的土壤温、湿度的季节变化有着相同的变化规律。月极值出现时间基本一致。但是,0~20cm土层的土壤体积分含水量的年内平均值为:矮蒿草草甸(28%)比金露梅灌丛草甸(30%)稍低;而热量条件为:矮蒿草草甸区(年均温3.15℃)比金露梅灌丛草甸区(1.83℃)稍好。

受环境条件特别是受土壤温湿度条件的限制,两种植被类型内部的植物种类不同,而且地下、地上生物量的变化也不同,一般在山地阴坡,土壤潮湿、温度相对较低,分布着以金露梅灌丛为优势种,以线叶蒿草、小蒿草、羊茅、及其它杂草类为伴生种的金露梅灌丛草甸植被类型,而在滩地则分布着以矮蒿草草甸为优势种、以垂穗披碱草等植物为伴生种的湿中性植被类型,属典型的高寒草甸植被类型。

从生物量观测结果分析得出,群落的地上生物量为:矮蒿草草甸(348.3g/m<sup>2</sup>) > 金露梅灌丛草甸(269.3g/m<sup>2</sup>);地下生物量在5月到9月间0~40 cm整层两种植被类型地下生物量的变化均出现“N”字型变化规律,并且表现有较高的水平,分别达到2122.8 g/m<sup>2</sup>和2758.2 g/m<sup>2</sup>,但随类型的不同,其峰值与谷值出现时间不一致。其中,矮蒿草草甸的最高值出现在9月30日左右,金露梅灌丛草甸最高值出现在8月15日左右。年内地下净生产量为:金露梅灌丛草甸(1294.0 g/m<sup>2</sup>)大于矮蒿草草甸(1075.2 g/m<sup>2</sup>)。地下生产量的周转值为:矮蒿草草甸(0.5065) > 金露梅灌丛草甸(0.4691)。

今后,我们将尝试利用模型方法来模拟在不同地形部位的自然条件差异及其所造成

的不同植被类型的生产力的差异性。本文的结果将有助于对模型的修正和对其模拟结果的验证。

## 参考文献(References)

- [1] Kang Shaozhong. Stochastic modeling of dynamic process of soil moisture. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(4): 18-24. [康绍忠. 土壤水分动态的随机模拟研究. *土壤学报*, 1990, 27(1): 17-24.]
- [2] Yang Meixue, Yao Tandong, Wang Shaoling et al. The features of soil temperature and moisture on northern Tibetan plateau. *Geographical Research*, 1999, 18(3): 312-317. [杨梅学, 姚檀栋, 王绍令等. 藏北高原土壤的温湿特征. *地理科学*, 1999, 18(3): 312-317.]
- [3] Qiu Huamin, Deng Zhenyong, Fang Debiao. Research on the soil moisture variation rule in the dry land in the east gansu. *Plateau Meteorology*, 1996, 15(3): 334-341. [仇化民, 邓振镭, 方德彪. 甘肃省东部旱作区土壤水分变化规律的研究. *高原气象*, 1996, 15(3): 334-341.]
- [4] Li Shaoliang. The growth of plants at grassland and the water condition in the chestnut soil(A). In: *Research on Grassland Ecosystem (2) (C)*. Beijing: Science Press, 1988. 10-19. [李绍良. 栗钙土的水分状况与牧草生长. 见: *草原生态系统 (第2集) (C)*. 北京: 科学出版社, 1988. 10-19.]
- [5] Bao Xinkui, Li Yingnian, Cao Guangmin. The dynamic variation of time and space for cryo-sod soil moisture and its application (A). In: *Alpine Meadow Ecosystem (4)*. Beijing: Science Press, 1995. 19-26. [鲍新奎, 李英年, 曹广民. 寒毡土(亚高山草甸土)湿度的时空动态及其应用. 见: *高寒草甸生态系统 (第4集)*. 北京: 科学出版社, 1995. 19-26.]
- [6] Li Yingnian, Shen Zhenxi, Zhou Huakun. The coresponding analysis between soil moisture and main vegetation types of The Mat-Crylic cambisols at different topographic positions in Haibei area. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(3): 220-225. [李英年, 沈振西, 周华坤. 寒冻雏形土不同地形部位土壤湿度及其与主要植被类型的对应关系. *山地学报*, 2001, 19(3): 220-225.]
- [7] Wang Qiji, Zhou Xingmin. The growth rhythm of the grasses populations and their adaptability of environment in *Kobresia humilis* meadow. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(2): 168-176. [王启基, 周兴民. 高寒矮蒿草甸禾草种群的生长发育节律及环境适应性. *植物生态学与地植物学报*, 1991, 15(2): 168-176.]
- [8] Wang Qiji, Zhou Xingmin, Zhang Yanqing et al. Structure characteristics and biomass of *Potentilla fruticosa* shrub in Qinghai-Xizang Plateau. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 1991, 11(4): 333-340. [王启基, 周兴民, 张堰青等. 青藏高原金露梅灌丛的结构特征及其生物量. *西北植物学报*, 1991, 11(4): 333-340.]
- [9] Wang Qiji, Zhou Xingmin, Zhang Yanqing et al. Community structure and biomass dynamic of the *Kobresia pygmaea* steppe meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(3): 225-235. [王启基, 周兴民, 张堰青等. 高寒小嵩草草原化草甸植物群落结构特征及其生物量. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 225-235.]
- [10] Wang Qiji, Wang Wenyong. The dynamics of biomass and the allocation of energy in alpine *kobresia* meadow communities, Haibei region of Qinghai province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 222-230. [王启基, 王文颖. 青海海北地区高山嵩草草甸植物群落生物量动态及能量分配. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 222-230.]
- [11] Zhou Huakun, Zhou Li, Zhao Xinquan et al. Study of formation pattern of below-ground biomass in *Potentilla fruticosa* shrub. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2): 59-65. [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. *草业学报*, 2002, 11(2): 59-65.]
- [12] Li Yingnian, Shi Shengbo, Cao Guangmin et al. The observational studies on characteristics of microclimate in Haibei alpine meadow regions of Qilian mountain. *Plateau Meteorology*, 2000, 19(4): 512-519. [李英年, 师生波, 曹广民等. 祁连山海北高寒草甸地区微气候特征的观测研究. *高原气象*, 2000, 19(4): 512-519.]
- [13] Li Yingnian. Simulation studies on dynamics of soil water content in alpine meadow area. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, 6(2): 77-83. [李英年. 高寒草甸地区土壤水分动态的模拟研究. *草地学报*, 1998, 6(2): 77-83.]
- [14] Bao Xinkui, Cao Guangmin, Gao Yixin. Formation environment and genetic mechanism of matic epipedon. *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32(suppl.): 45-52. [鲍新奎, 曹广民, 高以信. 草毡表层的形成环境和发生机理. *土壤学报*, 1995, 32(增刊): 45-52.]
- [15] Li Yingnian. Analysis of the relationship between underground biomass and meteorological factors in alpine meadow and its turnover value. *Agricultural Meteorology*, 1998, 19(1): 36-38. [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, 19(1): 36-38.]
- [16] Chen Zuozhong, Huang Dehua. A measurement to underground productivity and turnover value of *aneurolepidium chinense* and *stipa grandis* grassland, at the Xilin river valley, Inner Mongolia (A). In: *Research on Grassland Ecosystem (2)*. Beijing: Science Press, 1988. 132-138. [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(A). *草原生态系统 (2)*. 北京: 科学出版社, 1988. 132-138.]



## Integrated Monitoring of Alpine Vegetation Types and its Primary Production

LI Yingnian<sup>1</sup>, WANG Qinxue<sup>2</sup>, GU Song<sup>2</sup>, FU Yuling<sup>3</sup>, DU Mingyuan<sup>4</sup>,  
ZHAO Liang<sup>1</sup>, ZHAO Xinquan<sup>1</sup>, YU Guirui<sup>3</sup>

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810001, China;

2. National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-0053, Japan;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

4. National Institute for Agro-Environmental Science, Tsukuba 305-8604, Japan)

**Abstract:** In this paper, species composition, biomass change pattern and differences of 2 types of alpine vegetations in the northeastern part of Qinghai were analyzed. Monitoring results showed that there were significant differences in soil humidity moisture and evaporation between *Kobresia humilis* meadow and *Potentilla fruticosa* shrub which grew in the same regions with similar altitudes and precipitation but different topography. The species constitute 2 types of alpine vegetations which are different due to limitations of environmental factors, especially soil temperature and moisture. With respect to the general biogeography of the region, the *Potentilla fruticosa* shrubs, dominated by *Potentilla fruticosa* and accompanied with *Kobresia capillifolia*, *Kobresia pygmaes*, *Festuca ovina* and some forbs, are found on the northern slopes. The *Kobresia humilis* meadows, typical alpine meadow dominated by *Kobresia humilis* and accompanied with *Elymus mutans*, are widely distributed along the valley floor. The above-ground biomass of *Kobresia humilis* meadow is greater than that of *Potentilla fruticosa* shrub. As for underground biomass (0-40 cm), both types of vegetations maintained relatively great values during the period from May to September, but the occurrence time of its peak value and the lowest value differs from each other for the 2 types of vegetations. The annual net underground production of *Potentilla fruticosa* shrub is greater than that of *Kobresia humilis* meadow, whereas, the turnover value of underground production of *Kobresia humilis* meadow is greater than that of *Potentilla fruticosa* shrub.

**Key words:** alpine meadow; vegetation type; biomass; soil temperature; soil moisture; Haibei