

文章编号: 1000-0240(2006)01-0076-09

祁连山海北高寒湿地植物群落 结构及生态特征

李英年¹, 赵亮¹, 徐世晓¹, 于贵瑞², 杜明远³, 王勤学⁴,
孙晓敏², 唐艳鸿⁴, 赵新全¹, 古松^{1,4}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院地理科学与资源环境研究所, 北京 100101;
3. 日本农业环境技术研究所, 筑波 3058604, 日本; 4. 日本国立环境研究所, 筑波 3058506, 日本)

摘 要: 海北高寒湿地系沼泽型和湖泊型湿地相并存. 海北高寒湿地植物种类组成较少, 从湿地中央到边缘植物优势种组成不同, 群落结构变化明显. 中部以帕米尔苔草为主要植物建群种的沼泽草甸, 边缘地带以藏嵩草为主要建群种的沼泽化草甸, 从中央到边缘地带主要有 25 种植物组成, 隶属 10 科 20 属. 高寒湿地植物有较高的地上生物量 ($349.373 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) 和地下生物量 (仅 1~40 cm 层次最高可达 $10769.301 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), 而且地下部分远高于地上部分, 地下生物量从表层到深层基本均匀下降, 与矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸区的地下生物量分布截然不同. 因湿地帕米尔苔草、藏嵩草、黑褐苔草、华扁穗草等为主的植物粗纤维高, 牲畜利用率下降, 不论地上还是地下对土壤有机物的补给均较高, 多年的积累使其海北高寒湿地有深达 2~3 m 的泥炭层, 使湿地形成一个非常重要的碳库. 在气候变暖的条件下, 这些未分解或半分解的土壤有机物质 (或残体) 将加速分解, 对大气有更多的 CO_2 、 CH_4 等温室气体的排放.

关键词: 高寒湿地; 生态系统; 植物群落; 气候特征

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A

1 引言

湿地具有很大的空间分布区域, 是地球上生物量较高. 生物多样性较为丰富的生态系统之一. 湿地不仅泥炭层深厚成为巨大的碳库, 而且因其表面保持一定的水层, 又是碳沉积的理想场所. 虽然全球湿地仅占陆地面积的 3%^[1], 但湿地在全球生态系统及全球变化中起着重要的作用. 青藏高原地域辽阔, 分布有大面积的高寒湿地, 初步统计区域沼泽湿地总面积为 $491.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[2]. 其中西藏 $187 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 四川若尔盖约 $30 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 滇西北横断山区 2.9 万 hm^2 , 在甘肃南部与若尔盖毗邻地区也有分布; 青海省所辖湿地分布部分面积最大, 约 $255.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 主要分布在青南高原的莫云滩、

旦云滩、星宿海、黄河长江的发源地以及在北部祁连山大通河上游地区^[3]. 高寒湿地是在寒冷高湿环境下形成的特殊植被类型, 是青藏高原高寒草甸生态系统初级生产者不可缺少的组成部分.

目前, 许多研究者对于湿地生态系统的研究作了不少的工作^[4-8], 王启基等^[3]、李英年等^[9]分别对青海海北藏嵩草沼泽化草甸的植物群落结构及其演替进行过报道; 陈桂琛等^[8]对青海高原湿地特征及保护措施进行了详实的概述. 但因湿地地域条件差异较大, 不同地区因受地理纬度、海拔高度、下垫面性质差异等综合因素的影响, 其湿地结构功能复杂多样, 植被类型及群落结构分布空间属性差异较大. 同时, 湿地的形成、消失以及面积的变化受环境变化的影响较大, 导致现阶段国际上对湿地生

收稿日期: 2005-07-12; 修订日期: 2005-11-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01-01A); 国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB412501); 中日合作“温带高山草原生态系统的碳素动态和温暖化影响的研究”项目; 中日合作“亚太地区环境创新战略计划项目 (APESS)”资助

作者简介: 李英年 (1962—), 男, 青海乐都人, 高级工程师, 1987 年毕业于北京气象学院, 主要从事生物气象研究工作.

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

态系统研究仍然处在片断化和零散化的研究阶段。对青藏高原高寒湿地的研究就更少,也就难以评估高寒湿地生态系统在全球变化中的作用与地位。

为了长期了解高寒湿地碳收支动态的研究工作,我们在中国科学院海拔高寒草甸生态系统定位站(海北站)东南方的高寒湿地(沼泽地)架设涡度相关法观测技术系统一套,对高寒湿地的碳通量、能量平衡、微气象等进行观测。植被-大气间碳通量研究涉及到对动物、植物、微气象、水汽、热能量分配等多方面的内容,本文对2003年所观测到有关高寒湿地的植物群落特征以及生态学意义给予分析报道,为高寒湿地碳通量的研究提供服务。

2 研究点概况及研究材料

2.1 研究地区地理、气候、植被、土壤概况

研究工作在中国科学院海拔高寒草甸生态系统定位站(海北站)附近的高寒湿地进行,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,在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 $3\ 200 \sim 3\ 600\ m$;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。受高海拔条件的制约,气温较低,按气象四季的标准划分,这里全年皆冬,无明显四季之分,仅有冷暖二季之别,干湿季分明;空气稀薄,大气透明度高。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月至翌年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 d,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^[10]的气候特征。

特殊的自然环境及青藏高原隆起过程,造就了适应寒冷湿生中的多年生草本植物群落,形成了以矮蒿草(*Kobresia humilis*)草甸(土壤湿度较低的滩地、阳坡)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛草甸(土壤湿度较高的滩地、阴坡)、小蒿草(*Kobresia pygmaea*)草甸(土壤湿度更低的阳坡和缓坡地段)、以及坡麓潜水溢出和高山冰雪下缘等低洼地带形成的高寒湿地~藏蒿草(*Kobresia tibetica*)沼泽草甸等不同的高寒草甸植被类型。牧草生长低矮,群落结构简单,初级生产力低^[11]。土壤母质以洪积~冲

积物、坡积~残积及古冰水沉积为主,在不同水热条件下,受植被改造发育在滩地和阳坡多有草毡寒冻雏形土(Mat-Cryic Cambisols)、山地阴坡多分布暗沃寒冻雏形土(Mol-Cryic Cambisols)、以及沼泽地的有机寒冻潜育土(Organic Cryic Gleysols)大量分布,土壤发育年青,土层浅薄,有机质含量丰富等特征^[11,12]。本文所涉及研究点的是沼泽地的有机寒冻潜育土。

2.2 研究材料

海北站在矮蒿草甸分布区的气象站自1980年开始就连续进行基本气象资料和草地生物量的观测^[10,13],但对湿地的有关资料只有零星的考察资料^[9],1991—1993年进行过土壤温度的观测^[14]。2002年9月开始中国科学院知识创新工程重大项目及国家重点基础研究发展规划项目的实施,利用涡度相关观测技术系统,对高寒湿地碳通量、能量平衡、微气象要素等项目进行观测。

涡度相关观测技术系统架设在海拔高寒湿地的中央地带,植物群落调查在9月4~5日以中央点为中心,按西北-东南方向向边缘地带每间隔40 m取 $25\ cm \times 25\ cm$ 大小的样方一个,进行群落结构及生物量的调查,共获得16个样方资料。季节地上生物量测定是在植物生长期每月15日和月低最后一日前后随机选择6个 $50\ cm \times 50\ cm$ 的样方,用剪刀齐地面剪下装入纸袋。地下生物量因湿地积水重不能向很深层取样,故在每月15日前后经取过地上生物量 $50\ cm \times 50\ cm$ 的样方内再随机选择 $25\ cm \times 25\ cm$ 的二级样方,垂直用铁铲和切刀分层取到0~10 cm、10~20 cm和20~40 cm深度3个层次的土墩,3次重复。取回土墩经风吹、日晒,再细心松散土壤,用筛子筛选挑选出草根装入布袋,分样冲洗干净。恒温控制在 $65^{\circ}C$ 的烘箱,烘干至恒重后称重,单位取 $g \cdot m^{-2}$ 。

3 结果与分析

3.1 高寒湿地分布类型、季节景观和放牧利用

高寒湿地主要分布在土壤通透性差的河畔、湖滨、盆地,以及坡麓潜水溢出和高山冰雪下缘等地带,也多分布在岛状冻土的边缘地带^[15]。分布区气候寒冷,地形平缓,一般地下有多年冻土发育形成的不透水层。在海北站东南方2.5 km处分布有“乱海子”沼泽地(不包括湖泊)，“乱海子”是一个南北长约2.5 km,东西宽约1.5 km,面积约为 $3.8\ km^2$ 左右的山间凹地,地下水出露汇集于中央。上游2

km 处为一面积约为 2.5 km² 的湖泊, 年内有地表径流水的补给. 陈桂琛等^[8] 根据青海高原湿地水文、生物、土壤等组成要素的基本特点, 将湿地类型定义为包括自然湿地和人工湿地两大类. 自然湿地可以划分为湖泊型湿地(Lacustrine)、河流型湿地(Riverine)和沼泽型湿地(Palustrine) 3 个基本类型. 在海北站附近的高寒湿地所处区域地表除部分面积极小的岛状草丘外, 大部分区域被积水长期所覆盖. 湿地西部边缘有一条较大的小溪, 中央和东部边缘各有一条很小的溪水, 积水向下游有缓慢流动, 但一般流速 $< 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 这些水流及地表积水的存在使土壤水常呈饱和或过饱和状态, 故可认为海北所属的高寒湿地系沼泽型和湖泊型湿地相并存.

由于气候季节变化, 海北高寒湿地在不同季节其外表景观冬夏二季截然不同. 初春冰雪融化后, 融化水及时流走, 外来水不能及时补给, 致使湿地地表处于全年最干燥时期. 该时期植被进入萌动发芽初期, 地表经冬季封冻影响, 残留的枯黄植被较多, 在枯黄植被下面才能见到刚返青的绿色幼苗, 牲畜涉入后觅食鲜嫩的植物幼苗. 夏季到秋季阶段, 上游水补给充分, 湿地地表长久积水, 植物生长繁茂, 但积水多, 牲畜难以涉进, 湿地基本处于不放牧时期, 有也则是边缘地带, 即夏秋季对湿地植被的放牧利用率低. 秋季后期到冬季阶段, 湿地地表水结冰, 并随时间的推移而加厚, 部分地区甚至厚达 50 ~ 80 cm, 秋季中后期为全年放牧最重(多)时期, 放牧主要以马和牦牛为主. 但受植物粗纤维高的影响, 适口性差, 被采食的植物量也是有限的, 终久还有大量的枯黄牧草留存于地表, 直至夏季来临自动脱落植物根茎, 残留于地面. 这也是高寒湿地具有较高的碳储存量和很厚泥炭层的重要原因之一.

3.2 海北高寒湿地植物群落结构及生物生产力

3.2.1 湿地的植物群落结构

高寒湿地沼泽草甸是在过湿或多水的生境下形成的, 以水生、沼生以及湿生草本植物为优势种, 或混生有湿中生多年生草本植物的草甸植被类型, 外貌整齐, 植被均匀. 其植物群落的组成比较简单, 结构简单, 总盖度高, 一般均可达 95 % 左右. 据有关报道^[8, 16], 高寒湿地植物种类丰富, 在青海高原湿地有种子植物约 428 种, 隶属 146 属、39 科. 在我们所调查的研究区域, 从中央到边缘植物群落结构变化复杂, 植物群落结构中央地带植物种

类组成少、单一、简单, 植株较高; 边缘地带植物种类增加, 植株高度反尔降低. 从中央到边缘主要植物优势种组成不同, 中央部以帕米尔苔草(*Carex pamiensis* Marsh) 为主要植物建群种的沼泽草甸, 边缘地带以藏嵩草为主要建群种的沼泽化藏嵩草草甸. 从中央到边缘的空间分布来看, 植被在较小的过渡尺度内其种类组成、群落结构等变化明显, 形成了以苔草属(*Carex*) 和嵩草属(*Kobresia*) 相互交叉并存和演变的高寒湿地植物类型.

群落调查是从中央开始到边缘地带结束, 其总的趋势是中央植被高、种类组成少; 边缘区植被高度低, 物种比中央带丰富. 调查表明, 该群落主要有 25 种植物组成, 隶属 10 科 20 属(表 1). 草群高为 10 ~ 50 cm 不等. 从重要值分析, 群落的优势种为帕米尔苔草, 次优势种有华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*)、藏嵩草, 伴生种有为黑褐苔草(*Carex atrofusca*)、黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)、杉叶藻(*Hippuris vulgaris*)、斑唇马先蒿(*Pedicularis longiflora* var. *tubiformis*)、祁连獐芽菜(*Swertia przewalskii*) 等. 在边缘带还有大量的矮嵩草、星状风毛菊(*Saussurea stilla*)、青藏苔草(*C. moorcroft*). 可以看到矮嵩草也有较高的重要值, 它主要分布于沼泽湿地边缘的藏嵩草草甸区域, 这种现象常表现在湿地向干燥类型植被的过渡带产生, 说明沼泽地植物群落也在发生演替^[9], 向较为干燥的植被类型过渡.

3.2.2 湿地植被空间过渡演替状况

从研究样带自中央湖度相关观测系统观测塔附近到湿地边缘地带, 每间隔 40 m 样方延伸调查发现, 自中央到边缘地带其植被类型分布差异也较大. 中央部位因地表有积水, 但流动缓慢, 多为沼泽植被. 边缘地带因有一条小溪的存在, 水生植被明显. 再边缘地带, 积水明显减少, 地表显得相对干燥, 但土壤常处于饱和状态, 其植被则为沼泽草甸类型, 尔后将向矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸过渡. 图 1 给出了海北高寒湿地“乱海子”植被类型分布状况.

从图 1 看到, 从中央到边缘地带随地势的抬高, 植被类型由中央向边缘地带过度过程中, 靠阳坡方向出现: 帕米尔苔草草甸 藏嵩草草甸 + 帕米尔苔草草甸 藏嵩草草甸 矮嵩草草甸 + 藏嵩草草甸 矮嵩草草甸; 向阴坡方向出现: 帕米尔苔草草甸 藏嵩草草甸 + 帕米尔苔草草甸 藏嵩草草甸 矮嵩草草甸 + 金露梅灌丛草甸 金露梅灌丛草甸.

表 1 海北高寒湿地植被植物群落调查统计

Table 1 The plant community of alpine wetland in the Haibei area

物种名	相对高度/ %	相对盖度/ %	相对重量/ %	重要值
垂穗披碱草 (<i>Elymus nutans</i>)	18.61	3.92	3.61	8.71
华扁穗草 (<i>Blysmus sinocompressus</i>)	13.34	0.76	0.11	4.74
黑褐苔草 (<i>Carex atrofusca</i>)	21.44	0.89	0.22	7.52
洽草 (<i>Koeleria cristata</i>)	6.76	1.70	0.23	2.90
山地早熟禾 (<i>Poa orinosa</i> Keng)	11.89	3.32	1.60	5.60
青藏苔草 (<i>Carex moorcroftii</i> Falc)	7.76	22.13	24.85	18.24
帕米尔苔草 (<i>Carex Pamirensis</i>)	62.36	63.21	53.46	59.68
矮嵩草 (<i>Kobresia humilis</i>)	19.13	35.25	68.90	41.09
藏嵩草 (<i>Kobresia tibetica</i>)	21.88	47.83	58.83	42.75
星状风毛菊 (<i>Saussurea stilla</i>)	1.93	18.58	14.53	11.68
柔软紫菀 (<i>Aster flaccidus</i>)	2.12	6.04	0.53	2.90
二柱头薹草 (<i>Scirpus distigmaticus</i>)	7.05	6.04	1.76	4.95
繁缕 (<i>Stellaria media</i>)	1.55	4.70	0.04	2.09
雅毛茛 (<i>Ranunculus pulchellus</i>)	1.13	1.21	0.07	0.80
甘肃马先蒿 (<i>Pedicularis kansuensis</i>)	0.99	8.05	0.46	3.17
斑唇马先蒿 (<i>Pedicularis longiflora</i>)	9.17	21.63	26.91	19.24
喉毛花 (<i>Comastoma pulmonarium</i>)	19.04	0.50	0.08	6.80
紫花地丁 (<i>viola? yedoensis</i>)	0.62	11.75	0.87	4.42
黄帚橐吾 (<i>Ligularia virgaurea</i>)	34.18	30.34	23.12	29.21
祁连獐芽菜 (<i>Swertia przewalskii</i>)	2.90	1.55	0.70	17.20
獐牙菜 (<i>Swertia tetraptera</i> Maxim)	19.04	6.04	0.47	8.52
三脉梅花草 (<i>Parnassia trinervis</i> Drude)	9.03	0.70	0.33	3.36
杉叶藻 (<i>Hippuris vulgaris</i>)	26.43	12.94	17.06	18.81

注：重要值 = [相对高度 (%) + 相对盖度 (%) + 相对重量 (%)] / 3.

这种变化规律与土壤湿度变化有着密切的关系^[13]，一般在山地阳坡(南坡)灌丛似乎不能发育生长，这里土壤湿度最低，一般在 18%~44%之间，平均为 31.7%，地表接受太阳辐射强烈，受密集植物根系有较强持水和滞水能力的影响，有降水产生时土壤湿度在短时内急剧增高，当遇几日少降水(一般 < 5 mm)或无降水时，受强辐射及高蒸发作用，土壤湿度迅速降低，地表就显得干燥，多为矮嵩草草甸，部分地区也有较大密集的小嵩草草甸。在滩地多以矮嵩草、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 等植物为主的湿中性植被类型，属典型的高寒矮嵩草草甸植被类型，土壤湿度相对较高的局部地区还可生长发育着金露梅灌丛。该类地区的土壤湿度适中，居于北坡与南坡之间，土壤湿度基本在 28%~45%之间，平均为 36.0%，土壤湿度变化较南坡相对平稳。而

在土壤湿度高的阴坡(北坡)地带，则以矮嵩草和金露梅灌丛为主的植被类型，这里由于地表接受太阳辐射较弱，蒸发力亦较低，土壤湿度长年保持有较高的水平，接近土壤最大持水量，有时甚至达超饱和状态，土壤湿度一般在 38%~78%之间，平均为 56.9%。在湿度更高的高寒湿地，土壤湿度常年处于超饱和状态，地表长久积水，植被类型则以帕米尔苔草、藏嵩草、华扁穗草等为主的植被类型。表现出在不同地形部位因土壤湿度的差异性导致植物种类组成及植被类型等有所不同。

3.2.3 高寒湿地植物群落地上、地下的生物量

一般高寒草甸有日均气温稳定 0 时，牧草即可萌动发芽。而后依温度回升降水增加，植物依次进入返青、旺盛生长、稳定和停止生长等阶段^[17]。但湿地植物除萌动发芽初期时间滞后外(一

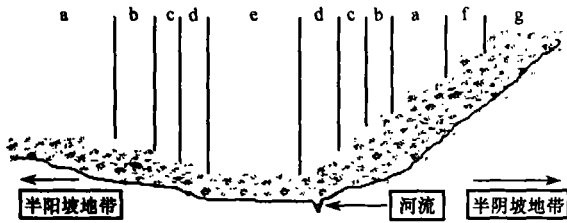


图 1 海北站“乱海子”高寒湿地区域植被空间格局的分布状况

a. 矮蒿草甸; b. 矮蒿草甸 + 藏蒿草甸; c. 藏蒿草甸; d. 藏蒿草甸 + 帕米尔苔草甸; e. 帕米尔苔草甸; f. 矮蒿草甸 + 金露梅灌丛草甸; g. 金露梅灌丛草甸

Fig. 1 Distribution pattern of vegetation spaces in the “Luanhaizi” alpine wetland at Haibei Station

般日均气温稳定 3 时萌动发芽), 其它物候发生时间段基本与矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸区基本相一致(图 2). 由图 2 可以看出自植物萌动发芽开始到 6 月中旬, 植物地上生物量积累缓慢, 6 月中旬到 7 月中旬左右生物量为积累最快时期, 7 月中旬到 9 月中旬阶段, 地上生物量基本保持稳定, 以后后逐渐下降. 这里值得一提的是, 在 5 月初, 高寒湿地冬季所覆盖的结冰层刚刚融化, 植物萌动发芽开始, 此时地上生物量可由两部分组成, 一部分为植物萌动发芽生长的部分, 而另一部分则因帕米尔苔草(其它植物未发现)在前冬当地表水结冰时, 上部受冷空气影响已枯黄, 其下部因受积水作用, 仍保持绿色状况而夹裹在冰层内部. 等到春季冰雪融化植物进入萌动发芽乃至生长时, 帕米尔苔草靠近地表基部的上年度已拔节的植物绿色部分也可成为活体而进入正常的生长阶段, 这样在初春地上生物量较同时期的矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸地上生物量要高. 如 2003 年 5 月 15 日测定湿地地

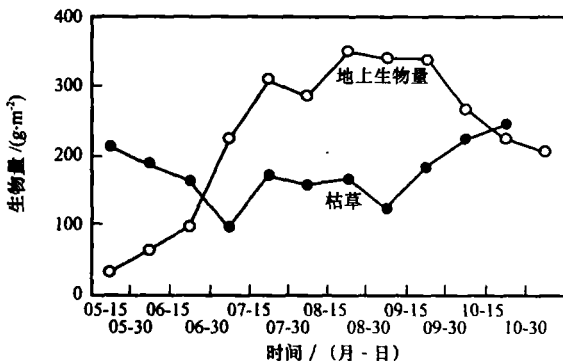


图 2 海北高寒湿地植物生长期(5~9月)地上和枯草生物量变化

Fig. 2 Biomass change of growing season(May to September)in the above-ground and withered herbage of alpine wetland in Haibei area

上生物量为 $28.604 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 而同期矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸的地上生物量分别为 $14.595 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $16.504 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 分别高出 49% 和 42%.

从全年的情况来看, 高寒湿地植物有较高的地上生物量, 2003 年最高可达 $349.373 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 与矮蒿草甸(约 $348.185 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)和金露梅灌丛草甸($339.594 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)地上生物量相比略高, 但可认为在误差范围内. 这与过去的观测有所不同, 究其原因可能与观测取样时的留茬多少及其人为误差等原因有关, 或实际情况确实如此, 对此有待进一步观测分析.

图 2 看到, 湿地植物枯草的季节变化除植物生长期的前期和后期高外, 自植物萌动发芽开始逐渐减少, 在植物旺盛生长的 6 月最低, 其总的趋势是在植物生长期为一“U”结构, 这合乎正常规律. 但受多方面因素的影响, 6 月底到 8 月末之间变化复杂, 也有待进一步观测和研究. 可以肯定的是高寒沼泽湿地, 具有较高的枯草量, 日久年长将给湿地土壤带来很高土壤有机物质, 甚至在湿地土壤可存在大量的未分解或半分解的有机残体. 笔者 20 世纪 90 年代初参加中国土壤系统分类课题时, 与课题组人员于 1992 年 8 月 22 日进行该地土壤剖面挖掘时也曾发现(未发表), 在土壤坍塌的地方深约 1.8 答 m 的层次有大量的植被物, 见光和风后短时刻内被风化, 表明在湿地有机残体不易分解而长久留存于土壤.

高寒湿地因地表长久积水, 季节冻土虽没有矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸区域深厚, 但较深层(30 cm 以下)土壤的季节性冻土比矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸区的季节冻土全部融化时间要推迟. 为此对于湿地地下生物量的测定较为困难, 限于条件我们仍采用挖掘法对湿地植物群落地下 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 分 3 层次的生物量进行了测定(图 3). 从测定的季节变化过程来看, 与矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸的地下生物量^[12]季节变化规律有一定的差异性, 可能是观测挖掘时与取样难度、方法等影响有关. 也许实际情况确实如此, 有待进一步研讨. 但从现阶段所观测的资料仍可有较多意义的结果.

图 3 表明, 高寒湿地地下生物量从 5 月开始, 逐渐升高, 在 6~7 月最高, 以后下降, 于 10 月达最低, 呈现一倒“U”型的分布特征, 这种变化与矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸的地下生物量呈“N”性变化有一定的区别. 矮蒿草甸和金露梅灌丛草甸

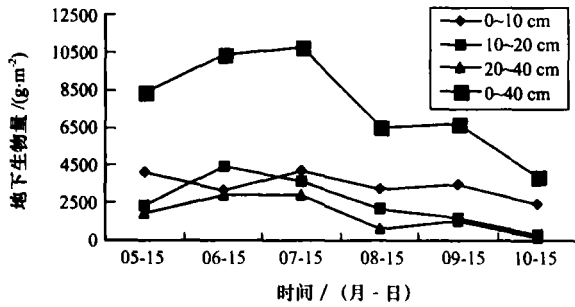


图3 海北高寒湿地植物生长期(5~9月) 0~40 cm 地下生物量变化

Fig. 3 Biomass change of growing season (May to September) in the below - ground (0~40 cm) of alpine wetland in Haibei area

的地下生物量呈“N”型变化与地上植物的季节生长中地下根茎与地上植物能量转换以及土壤温度的变化有关^[11-12]，高寒湿地的倒“U”型的分布除与植物季节生长中地下根茎与地上植物能量转换以及土壤温度的变化有关外，与湿地水体物理特性的影响有很大的联系。在5~7月间，气温回升，土壤逐渐解冻，与矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸分布区土壤不同的是，湿地土壤融化慢，冻结层在5月中旬融化深度仅到40~50 cm，而矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸区土壤融化在同时期可融化到100 cm左右，湿地整个季节冻土层土壤完全融化要到8月底到9月初，而矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸区季节冻土可在6月底到7月初完全融化。湿地土壤季节冻土融化的快慢与地表积水的热容量、导热率有关。湿地土壤最大冻结深度在80~100 cm左右，这从笔者过去对地温的观测可得到证实(表2)^[18]。高寒湿地温变化比距离相近海拔高度相同区的矮嵩草草甸地温变化平稳，年较差小。同时表现出，冷季湿地地温高于矮嵩草草甸土，如1月平均地温在40 cm和80 cm层次均要高4.8℃；而在暖季则相反，如7月矮嵩草草甸土同层次温度明显高于高寒湿地，40 cm和80 cm层次地温要分别高6.8℃和5.5℃。

冷暖转换的春秋两季，二种地区地温差异也有存在，但不如冷暖季明显。可以认为，因湿地土壤冻结浅薄，且地温高于0℃，致使植物根茎可在冬季也有在深层继续生长的可能。

从测定的结果来看，海北高寒湿地具有很高的生物量，仅0~40 cm层次的根茎(活根与死根之和)最高要达10769.301 g·m⁻²，最低也在6563.434 g·m⁻²，远高于矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸的地下生物量^[11-12]。这还不包括湿地在进行土壤根茎分选时所流失的大量的碎渣，湿地土壤中植物碎渣占有很高的比例，是由长久积累地上地下的物质残体留存的有机物，因土壤潮湿温度地而不易分解所造成。

可以看到，湿地地下生物量垂直分布不象矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸的垂直分布。在矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸区，0~10 cm地下生物量要占0~40 cm生物量的80%以上；而湿地不同，如7月15日0~10 cm地下生物量占0~40 cm层次生物量的39%。随深度加深，不同层次所占的比例降低，但相互差异不大，10~20 cm和20~40 cm占0~40 cm的比例分别为34%和27%。说明在高寒湿地地下生物量分布深度厚，而且分布量巨大。

4 讨论及结语

海北高寒湿地泥炭层深达2~3 m，常年积水，植物生长茂密，具有较高的地下、地上生物量。因处在冬春草场的边缘区，且地势低洼，夏秋季因降水丰富，地表积水严重，牲畜难以涉入，放牧轻，有也则是边缘地带，放牧利用率很低。在冬春季，虽降水较少，但湿地表面大面积结冰，家畜虽可涉入腹地，仅仅啃食露出结冰上部的部分，再者帕米尔苔草、藏嵩草等湿地植物当枯黄后其植物纤维含量高，而被牲畜采食量低，大多植物残体将留存在地表，将有70%的地上部生物量最终将凋落在地表及

表2 高寒湿地土壤温度与高山草甸土分布区月平均地温比较

Table 2 Monthly mean ground temperatures in the cryic wet land and the alpine wetland

		月 份												年均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
40 cm	湿地/	-3.5	-2.6	-1.2	-0.3	-0.1	1.5	3.0	3.6	4.0	3.7	2.1	0.0	0.9
	滩地/	-8.3	-4.9	-1.0	0.8	5.0	8.3	11.3	11.8	9.6	5.1	1.1	-3.2	3.0
80 cm	湿地/	0.4	-0.1	-0.2	-0.1	0.6	2.0	2.6	3.6	4.4	4.2	3.1	1.0	1.8
	滩地/	-4.4	-4.1	-1.5	-0.7	1.8	5.7	9.1	10.2	9.1	5.9	2.4	-0.1	2.8

土壤. 这与其它植被类型的情况有所不同, 如矮嵩草草甸区放牧利用普遍, 植物地上部分大多数被采食消耗, 未采食部分在频繁大风影响下易风蚀损失, 或被风吹至地势低洼区后大部分随地表水发生径流而带走, 对土壤有机质的补偿能力也较低, 只有少部分以凋落物归还土壤. 高寒湿地区域植被是以多年湿生中生的根茎密丛性植物为建群种, 植物种类组成简单, 植株生长稠密、生草过程强烈, 根系极为发达, 因地上植物利用率很低, 又处在湿度较大的湿地, 苔鲜生长也很旺盛. 可以认为, 在高寒湿地分布区土壤有机物的补给源, 不仅依赖于植物根系, 也依赖于植物地上部分和地表苔鲜生长.

湿地是一种多功能的生态系统, 是陆地生态系统的重要组成部分, 与陆地、大气圈、水圈作用的绝大部分生物地球化学通量有关. 湿地生态系统是各类生态系统中生产力最高的一种, 由于其有很高的生产力及氧化还原能力, 而成为极其重要的生物地球化学活跃的场. 湿地又是一个非常重要的碳库, 储藏在不同类型湿地中的碳约占地球陆地碳总量的 1%^[19]. 青藏高原被称为地球“第三极”, 自然条件严酷, 生态系统极为脆弱, 对环境条件的变化极为敏感. 过去人们普遍认为广布于青藏高原的高寒草甸分布地区气候寒冷, 有利于土壤有机碳的积累, 不利于它的矿化分解. 但随气候变暖这些未分解或半分解的土壤有机物质(或残体)将加速分解, 对大气释放更多的 CO₂、CH₄等温室气体, 对气候变暖起到重要的作用. 研究表明^[20], 温度增加可能产生的呼吸作用强度大大高于光合作用强度, 但当湿地水位持续下降而积水变干后, 泥炭将不断被分解, 产生大量的 CO₂而进入大气中. 根据我们采用涡度相关法技术对海北高寒湿地近地表(下垫面)与大气 CO₂通量交换的测定与统计表明, 在 2003 年 7 月 1 日 - 2004 年 6 月 30 日的一周年时间内, 海北高寒湿地 CO₂地表与大气之间交换量最大吸收率为 16.57 μmol · m⁻² · s⁻¹, 最大排放率为 18.67 μmol · m⁻² · s⁻¹; 年内高寒湿地向大气排放 CO₂约为 608 g CO₂ · m⁻². 与矮嵩草草甸和金露梅灌丛草甸(近地表层从大气吸收分别为 282 g CO₂ · m⁻²和 53 g CO₂ · m⁻²)为碳“汇”截然相反, 表现有高寒湿地具有一个较高的排放潜能, 揭示了高寒湿地草甸是一个明显的碳“源”. 也表明高寒湿地具有很高的碳释放源.

湿地作为独特的自然生态系统, 具有涵养水源, 调蓄水量, 调节气候, 以及保护物种多样性,

维系生态平衡等方面的生态功能和作用. 随全球气候温暖化和人类活动的综合影响, 不同地区其湿地出现明显变化, 湖泊水位下降, 面积萎缩, 河流出现断流, 高寒湿地退化已成为青藏高原生态环境退化的重要标志^[21-23]. 我们曾报道^[9]海北藏嵩草草甸高寒湿地在 10 a 尺度上植物群落结构在气候变化中的变化, 结果表明: 在气候变暖的情况下, 湿地水分向干的方向演变, 与之相对应的是植物群落结构变化明显. 2 次相距 10 多年植被结构调查结果表明, 高寒湿地植被在气候干暖化趋势的加剧影响下, 植物群落组成发生变异, 物种多样性、生态优势度均比湿地原生植被的物种有增多的趋势. 原生适应寒冷、潮湿生境的藏嵩草为主的草甸植被类型逐渐退化, 有些物种甚至消失, 而被那些寒冷湿中生为主的典型草甸类型所替代. 同时, 组成湿地植物群落的湿中生种类减少, 中生植物种类, 群落盖度相对降低, 群落生产量大幅度下降等.

参考文献(References):

- [1] Zang Y, Li C, Trettin C C, *et al.* Modelling soil carbon dynamics of forested wetlands [C]// Symposium 43. Carbon Balance of Peatlands. Jyväskylä: Finland International Peat Society, 1999.
- [2] Lu Jianjian. Wetlands in China [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1990: 1 - 177. [陆键键. 中国湿地 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1990: 1 - 177.]
- [3] Wang Qiji, Zhou Xingmin, Shen Zhenxi, *et al.* The structure of plant community and utilization in alpine *Kobresia tibetica* swamp meadow [C]// Alpine Meadow Ecosystem, Vol. 4. Beijing: Science Press, 1995: 91 - 100. [王启基, 周兴民, 沈振西, 等. 高寒藏嵩草沼泽化草甸植物群落结构及其利用 [C]// 高寒草甸生态系统 (4). 北京: 科学出版社, 1995: 91 - 100.]
- [4] Lang Huiqing. Wetland Vegetation in China [M]. Beijing: Science Press, 1999: 1 - 387. [郎惠卿. 中国湿地植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1 - 387.]
- [5] Jin Huijun, Cheng Guodong, Xu Baiqing, *et al.* Studies on CH₄ release of alpine wetland in Huashixia Frozen Soil Research Station in Qinghai - Tibet Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, 20(2): 172 - 174. [金会军, 程国栋, 徐柏青, 等. 青藏高原花石峡冻土站高寒湿地 CH₄ 排防研究 [J]. 冰川冻土, 1998, 20(2): 172 - 174.]
- [6] Yin Kangqian, Ni Jinren. Review of wetland studies [J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(5): 539 - 546. [殷康前, 倪晋仁. 湿地研究综述 [J]. 生态学报, 1998, 18(5): 539 - 546.]
- [7] Yang Yongxing, Wang Shiyan, He Tairong, *et al.* Study on plant biomass and its seasonal dynamics of typical wetland ecosystem in the sanjiang Plain [J]. Grassland of China, 2002, 24(1): 1 - 7. [杨永兴, 王世岩, 何太蓉, 等. 三江平原典型湿地生态系统生物量及其季节动态研究 [J]. 中国草地, 2002, 24(1): 1 - 7.]
- [8] Chen Guichen, Huang Zhiwei, Lu Xuefeng, *et al.* Characteristics of wetland and its conservation in the Qinghai Plateau

- [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 254 - 259. [陈桂琛, 黄志伟, 卢学峰, 等. 青海高原湿地特征及其保护[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(3): 254 - 259.]
- [9] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Zao Liang, *et al.* Analysis of vegetation succession of and climate in Haibei alpine marsh in the Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(3): 243 - 249. [李英年, 赵新全, 赵亮, 等. 祁连山海拔高寒湿地气候变化及植被演替分析[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(3): 243 - 249.]
- [10] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Cao Guangmin, *et al.* Analysis of climate, vegetational productivity background and their correlation of Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station [J]. *Plateau Meteorology*, 2004, **22**(4): 558 - 567. [李英年, 赵新全, 曹广民, 等. 海拔高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析[J]. *高原气象*, 2004, **22**(4): 558 - 567.]
- [11] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Wang Qinxue, *et al.* The comparison studies of community biomass and environmental condition of five vegetational types in alpine meadow [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, **21**(3): 257 - 264. [李英年, 赵新全, 王勤学, 等. 高寒草甸五种植被类型生物量及环境条件的比较研究[J]. *山地学报*, 2003, **21**(3): 257 - 264.]
- [12] Li Yingnian, Wang Qinxue, Fu Yuling, *et al.* The observation and analysis of alpine vegetation types and primary production [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, **59**(1): 40 - 48. [李英年, 王勤学, 伏玉玲, 等. 高寒植被类型及其植物生产力的监测[J]. *地理学报*, 2004, **59**(1): 40 - 48.]
- [13] Li Yingnian, Sheng Zhenxi, Zhou Huahun. The corresponding analysis between soil moisture and main vegetation types of the Mat - cryic cambisols at different topographic position in Haibei area [J]. *Journal of mountain science*, 2002, **19**(3): 220 - 225. [李英年, 沈振西, 周华坤. 寒冻锥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[J]. *山地学报*, 2001, **19**(3): 220 - 225.]
- [14] Li Yingnian. Simulation studies on dynamics of soil water content in alpine meadow area [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, **6**(2): 77 - 83. [李英年. 高寒草甸区土壤水分动态的模拟研究[J]. *草地学报*, 1998, **6**(2): 77 - 83.]
- [15] Zhou Youwu, Guo Dongxin, Qiu Guoqing, *et al.* *Geocryology in China* [M]. Beijing: Science Press, 2000. [周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. *中国冻土*[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [16] Liu Shangwu. *Flora Qinghaiica*, Vol. 1 - 4 [M]. Xinning: Qinghai People's Publishing House, 1996, 1997, 1999. [刘尚武, *青海植物志* (1 - 4 卷) [M]. 西宁: 青海人民出版社, 1996, 1997, 1999.]
- [17] Li Yingnian, Zhou Huakun, Shen Zhenxi. The association analysis of herbage yield and meteorological factors in alpine meadow [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2001, **9**(3): 232 - 238. [李英年, 周华坤, 沈振西. 高寒草甸牧草产量形成过程及与气象因子的关联分析[J]. *草地学报*, 2001, **9**(3): 232 - 238.]
- [18] Li Yingnian, Bao Xinkui, Cao Guangmin. Observation 40 ~ 80 cm soil temperature regime of cryic - wetland at Hainei, Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(2): 151 - 158. [李英年, 鲍新奎, 曹广民. 祁连山海拔高寒湿地 40 ~ 80 cm 土壤温度状况观测分析[J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(2): 151 - 158.]
- [19] Franzen L G Can. The Earth afford to lose the wetlands in the battle against the increasing greenhouse effect [C]// *Proceedings of International Peat Congress*. Uppsala: International Peat Society 1992: 1 - 8.
- [20] Gorbam E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climate change [J]. *Ecological Applications*, 1991, **1**(2): 182 - 195.
- [21] Wu Qingbai, Shen Yongping, Shi Bin. Relationship between frozen soil together with its water - hear process and ecological environment in the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(3): 250 - 255. [吴青柏, 沈永平, 施斌. 青藏高原冻土及水热过程与寒区生态环境的关系[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(3): 250 - 255.]
- [22] Wang Shaoling, Zhao Xiufeng, Guo Dongxin, *et al.* Response of permafrost to climate change in the Qinghai - Xizang Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, **18**(Suppl.): 157 - 165. [王绍令, 赵秀峰, 郭东信, 等. 青藏高原冻土对气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 1996, **18**(Suppl.): 157 - 165.]
- [23] Wang Shaoling. Frozen ground and environment in the Zoige Plateau and its surrounding mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, **19**(1): 39 - 46. [王绍令. 若尔盖高原及其周围山地的冻土和环境[J]. *冰川冻土*, 1997, **19**(1): 39 - 46.]

Plant Community Structure and Ecological Characteristics of the Alpine Wetland in Haibei Area of Qilian Mountains

LI Ying-nian¹, ZHAO Liang¹, XU Shi-xiao¹, YU Gui-rui², DU Ming-yuan³, WANG Qin-xue⁴,
SUN Xiao-min², TANG Yan-hong⁴, ZHAO Xin-quan¹, GU Song^{1,4}

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810001, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100001,

China; 3. National Institute of Agror Environmental Sciences, Tsukuba 3058604, Japan;

4. National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 3058506, Japan)

Abstract: Both swampy and lacustrine wetlands co-exist in the Haibei area of the Qilian Mountains. There is few plant species in the plant community of alpine wetland in the Haibei area. From center to fringe of the wetland there is a significant difference in dominate species and the structure of plant community changes obviously. There are Carex pachyrrhiza meadow dominated by Carex pamirensis at the center area, and Kobresia tibetica meadow dominated by Kobresia tibetica distributed at the fringe area. There are 25 species (of 10 families and 20 categories) from the center area to the fringe. Both aboveground ($349.373 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) and belowground have higher biomass ($10769.301 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ just from 1 to 40 cm), and belowground biomass is higher than that of aboveground. The belowground biomass decreases almost equally from

surface to deep. Alpine meadow is significantly different from Kobresia humilis meadow and Potentilla fruticosa shrub. The proceeds ration to livestock is low for higher crude fibre content in some wetland plants such as Carex pamiroalaica, Kobresia tibetica, Carex afroscusa, and Blysmus sinocompressus. Due to the higher replenishment to soil organic matter both by aboveground and belowground, there appears a turf level, 2~3 m deep, in the alpine wetland in the Haibei area, after many years accumulation. Alpine wetland is an important carbon sink. The decomposition of all the half-decomposed and no-decomposed soil organic matter will accelerate as the climate warming, and more greenhouse gases such as carbon dioxide and methane release.

Key words: alpine meadow; ecosystem; plant community; climatic characteristics