

# 青海乱海子高寒湿地植物群落结构 对土壤水分变化的响应

吕艳花<sup>1</sup>, 赵明德<sup>1</sup>, 周华坤<sup>2</sup>, 毛旭峰<sup>1</sup>, 陈哲<sup>1</sup>,  
刘攀<sup>1</sup>, 杨冲<sup>1</sup>, 豆艳<sup>1</sup>, 王文颖<sup>1\*</sup>

(1. 青海师范大学生命与地理科学学院, 青海省高寒湿地省级重点实验室, 青海 西宁 810008;  
2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810008)

**摘要:**以青海省乱海子高寒湿地为研究区,沿湿地土壤水分梯度,设置了7处采样地,采集了0~20 cm深度的土壤样品和植物样品,研究了2014年8月中旬的植物群落结构特征空间分布特征,尤其注重高寒湿地中特有的冻胀丘形成对植物群落结构和生物量的影响。研究结果表明,①沼泽化草甸0~20 cm深度土壤含水量为122.7%~280.7%,1号~6号采样地土壤含水量都显著高于距乱海子湖泊最远的7号采样地,冻胀丘0~20 cm深度的土壤含水量为160.4%~203.4%,2号~6号采样地冻胀丘0~20 cm深度土壤含水量无明显差异,冻胀丘上土壤含水量显著低于其周边的沼泽化草甸;②在乱海子湿地中,共记录了40种维管束植物,其中,有莎草科植物7种,禾本科植物7种,其它双子叶植物26种,以莎草科植物占绝对优势,尤其在沼泽化草甸中,除了7号采样地,莎草科植物的重要值都大于97%;③冻胀丘上的物种丰富度、Pielou均匀度和Shannon-Wiener物种多样性指数都高于其周围的沼泽化草甸,尤其是物种丰富度,冻胀丘上的平均物种丰富度为11.8种,而其周围的沼泽化草甸的平均物种丰富度仅为6.57种,随着土壤水分含量减少,冻胀丘植物群落的Shannon-Wiener物种多样性指数变化很小,沼泽化草甸的则波动变化;④随着土壤水分含量的减少,冻胀丘和沼泽化草甸植物群落的地上部分生物量增大,冻胀丘植物群落根系生物量波动增加,而沼泽化草甸的则波动减小。

**关键词:**高寒湿地;土壤水分梯度;冻胀丘;沼泽化草甸;植物群落结构;物种多样性;乱海子  
**中图分类号:**Q948.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5948(2017)05-697-08

青海省位于青藏高原东北部,是黄河、长江和澜沧江的发源地,有“江河源”、“生态源”之称。青海省湿地类型主要为河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工库塘,湿地总面积约为55 662.7 km<sup>2</sup>,占全省土地总面积的7.7%<sup>[1]</sup>。独特的高原气候、普遍存在的冻土层和季节性的冰雪融水促成了高原湿地的形成和发育<sup>[2-4]</sup>。

在青藏高原高寒湿地植物中,虽然许多物种在世界上广泛分布,但也有一些物种具有地带性特征,并形成特有种。例如,青藏高原湿地植物区系以北温带分布的种类为主,同时,在特殊的生境中也形成了仅在青藏高原出现的特有种,如西藏嵩草(*Kobresia tibetica*)和花葶驴蹄草(*Caltha scapo-*

*sa*),表现出一定的垂直地带性;长江源区高寒湿地中的植物包括西藏嵩草、黑褐嵩草(*Carex atrofusca*)、尖苞嵩草(*Carex microglochyn*)、青藏嵩草(*Carex moorcroftii*)等<sup>[5]</sup>。

湿地水文过程影响着湿地的发育和演化,维护和控制着湿地生态系统的功能和结构,水文条件的改变会影响湿地中植物的生长状况和空间分布格局<sup>[6]</sup>。在不同的水位状态下,植物的形态和适应特性存在差异。湿地水文状况通过调节湿地中的物种组成、丰富度、初级生产以及其它特征,改变湿地植物群落特征,进而控制湿地的物质循环过程。在以往有关青海省高寒沼泽湿地植物分布和演替规律方面的研究中,未考虑冻胀丘对植物

收稿日期:2016-12-09;修订日期:2017-07-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0501906-1和2016YFC0501901-05)、国家自然科学基金项目(31260127和41761107)、青海省自然科学基金项目(2016-ZJ-913)和青海省创新平台建设专项项目(2017-ZJ-Y20)资助。

作者简介:吕艳花(1992-),女,陕西省榆林人,硕士研究生,从事植物生态学研究。E-mail: 1527684954@qq.com

\*通讯作者:王文颖,教授。E-mail: wangwy0106@163.com

群落结构和功能的可能影响。

本研究以乱海子湿地为研究区,该湿地由高原湖泊乱海子、沼泽、沼泽化草甸和高寒草甸过渡区构成,研究冻胀丘和冻胀丘周围沼泽、沼泽化草甸中植物群落结构对土壤水分变化的响应,以期为全球变化背景下高寒湿地水位下降可能导致的湿地植物演替研究提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区

乱海子高寒湿地(37°29'N~37°45'N, 101°12'E~101°23'E)位于青藏高原东北缘祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段,青海省门源县城西42 km的盘坡南侧,海拔3 200~3 600 m。乱海子面积超过500 km<sup>2</sup>,该湖泊周边分布着高寒沼泽、沼泽化草甸。乱海子距离中国科学院海北高寒生态系统定位站2.5 km。

在乱海子湿地中,生长着适应寒冷气候的湿生和中生多年生草本植物群落,形成了矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸、金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛草甸、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)草甸以及在坡麓潜水溢出和高山冰雪下缘等低洼地带形成的高寒沼泽—藏嵩草(*Kobresia tibetica*)沼泽等植被类型。

乱海子湿地土壤母质以洪积—冲积物、坡积—残积和古冰水沉积为主;在不同水热条件下,受植物发育影响,在滩地和阳坡,多分布有草毡寒冻锥形土;在山地阴坡,多分布暗沃寒冻锥形土;在沼泽中,大量分布有机寒冻潜育土<sup>[8]</sup>。

该区域气候寒冷,年平均气温为-2.5~-0.4℃,年降水量为560 mm,降水集中在5~9月,其降水量占年降水量的79%<sup>[7]</sup>。该区地形平缓,地下埋藏着多年冻土,形成不透水层,使大气降水、地表径流和冰雪消融水不能下渗而聚集在地表,导致土壤过湿,形成地表终年积水或季节性积水坑和湖塘,因冻融作用,地表形成高出地面20~40 cm、直径40~80 cm的冻胀草丘(图1)。冻胀丘是冻土地区一种常见的冰缘地貌,其形成是由于地层在冻结过程中发生水分积聚,水分冻结,进而产生体积膨胀,导致地表呈现锥状、丘状隆起<sup>[9]</sup>。

### 1.2 采样地设置、土样采集及样品测试

沿着土壤水分(由高到低)梯度,由乱海子湖边缘的沼泽向沼泽化草甸依次设置7块采样地(图2)。每块采样地的面积为10 m×10 m,采样地间距

为100 m。



图1 研究区采样地中的冻胀草丘

Fig.1 Frost mounds in sampling sites of study area

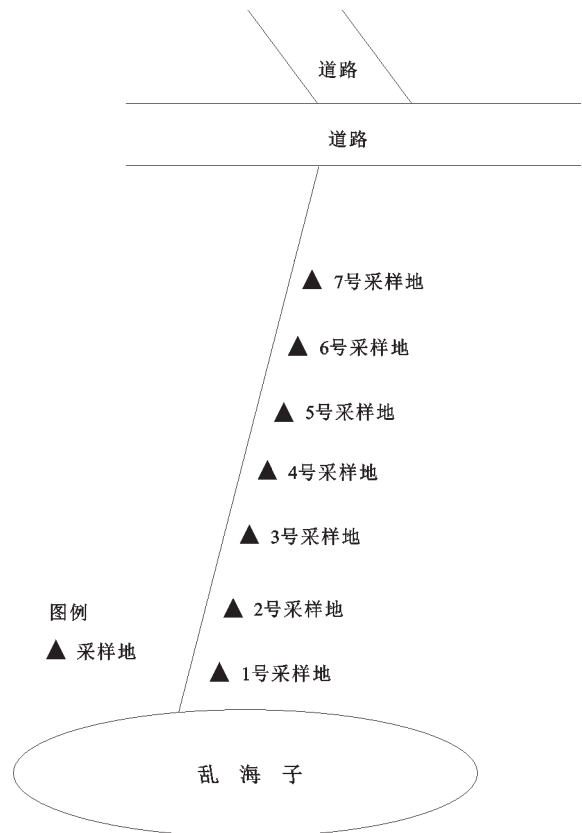


图2 采样地分布

Fig.2 Distribution of sampling sites

调查和采样时间为2014年8月17~20日。采样期间,1号采样地的淹水深度约为15 cm,其它采样地未淹水。

因1号和7号采样地中几乎无冻胀丘,故分别在2号~6号采样地的冻胀丘上和冻胀丘周边的沼泽化草甸中,用直径5 cm的土钻,取0~20 cm深度的土样各5个,即在每块采样地中共取10个

20 cm 长的土柱;在1号和7号采样地中,随机各取0~20 cm 深度的土样10个。在7块采样地中,共采集70个土壤样品,并将土样运回实验室。

在实验室中,采用烘干法(在105 °C下烘干24 h),测定土壤含水量。

### 1.3 植物群落调查

在2号~6号采样地,各随机选择5处冻胀丘及其周边沼泽,分别布设50 cm×50 cm的样方,记录每个样方中的植物物种组成、植物总盖度、植物分盖度和植株高度。在1号和7号采样地的沼泽化草甸中,随机选择5个50 cm×50 cm的样方,记录每个样方中的物种组成、植物总盖度、植物分盖度和植株高度。

### 1.4 植物群落地上和地下生物量测定

在每块样地,采用收割法,将样方中的植物沿地表剪下,用于测定植物的地上部分生物量;将采集的土柱用手掰开,过4 mm筛,分选出植物根系,然后将植物根系放在0.25 mm的筛中,用水冲洗干净,用于测定植物的地下部分生物量(根系生物量);将处理好的植物材料放入70 °C的恒温箱中,烘48 h,然后称质量。

### 1.5 计算公式及数据处理

植物重要值=(相对盖度+相对高度)/200。

选择物种丰富度、Shannon-Wiener 物种多样性指数和 Pielou 均匀度指数,研究物种多样性。物种丰富度为每块采样地中的物种数。

采用一元方差分析方法,检验各采样地变量间差异的显著性。采用t检验方法,比较冻胀丘和冻胀丘周边沼泽化草甸各变量间差异的显著性。

采用 Excel2003 软件、SPSS17.0 软件和 Origin 8 软件,进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水量

在2号~6号采样地中,冻胀丘0~20 cm 深度的土壤含水量为160.4%~203.4%(表1)。方差检验结果表明,各采样地冻胀丘土壤含水量差异不显著( $p>0.05$ )。从1号样地至7号样地,沼泽化草甸的土壤含水量为122.7%~280.7%,1号~6号采样地土壤含水量间的差异不显著,但都显著高于7号采样地( $n=35; p<0.05$ )。比较采样地冻胀丘和沼泽化草甸的土壤含水量,除2号采样地外,其它采样地都表现为沼泽化草甸的土壤含水量显著高

于冻胀丘。

表1 各采样地冻胀丘和沼泽化草甸  
0~20 cm 深度土壤含水量

Table 1 The water content of the soils of 0-20 cm depth in the frost mound and marshy meadows of sampling sites

采样地序号	土壤含水量(%)	
	冻胀丘	沼泽化草甸
1	—	(232.7±59.4) <sup>a</sup>
2	(203.4±14.0) <sup>a</sup>	(244.1±15.5) <sup>a</sup>
3	(177.0±9.9) <sup>a</sup>	(240.7±50.5) <sup>a</sup>
4	(160.4±17.1) <sup>a</sup>	(280.7±36.5) <sup>a</sup>
5	(198.4±8.0) <sup>a</sup>	(279.3±20.4) <sup>a</sup>
6	(163.1±33.5) <sup>a</sup>	(233.5±21.0) <sup>a</sup>
7	—	(122.7±5.6) <sup>b</sup>

注:表中数据为5个土样的(平均值±标准误);数据右上角字母不同,表示数据间差异显著( $p<0.05$ )。下同。

### 2.2 植物群落组成

由表2可知,在乱海子湿地,共记录40种维管束植物。其中,有莎草科(Cyperaceae)植物7种,分别为粗喙薹草、矮嵩草、藏嵩草、双柱头薹草、高山嵩草、甘肃嵩草和黑褐薹草;有禾本科(Gramineae)植物7种,分别为羊茅、垂穗披碱草、星星草、针茅、早熟禾、赖草和中华羊茅;有其它双子叶植物26种。总体上,冻胀丘上的物种数和植物盖度远高于冻胀丘周围的沼泽化草甸。随着土壤水分含量的减少,植物种类在逐渐增加。

在1号采样地的沼泽化草甸中,有4种植物,植物总覆盖度为53%,优势种为粗喙薹草,主要伴生种为双柱头薹草。

在2号采样地的冻胀丘上,有13种植物,植物总盖度为79%,优势种为矮嵩草,主要伴生种为高山嵩草和粗喙薹草。在2号采样地的沼泽化草甸中,有7种植物,植物总盖度为65%,优势种为粗喙薹草和甘肃嵩草,主要伴生种为双柱头薹草。

在3号采样地的冻胀丘上,有10种植物,植物总盖度为75%,优势种为长花马先蒿,主要伴生种为花葶驴蹄草、粗喙薹草和甘肃嵩草。在3号采样地沼泽化草甸中,有2种植物,植物总盖度为50%,优势种为粗喙薹草,主要伴生种为甘肃嵩草。

在4号采样地冻胀丘上,有9种植物,植物总盖度为95%,优势种为粗喙薹草和藏嵩草,主要伴生种为长花马先蒿。在4号采样地的沼泽化草甸中,有3种植物,植物总盖度为85%,优势种为粗喙

表2 各采样地冻胀丘和沼泽化草甸植物组成及重要值

Table 2 The plant composition and their important values in the frost mound and marshy meadows of sampling sites

物种	重要值(%)											
	1号采样地	2号采样地		3号采样地		4号采样地		5号采样地		6号采样地		7号采样地
	沼泽化草甸	冻胀丘	沼泽化草甸	冻胀丘	沼泽化草甸	冻胀丘	沼泽化草甸	冻胀丘	沼泽化草甸	冻胀丘	沼泽化草甸	沼泽化草甸
粗喙薹草 <i>Carex scabrivostris</i>	50.47	10.98	35.85	16.91	91.84	27.03	83.62	49.66	90.00		59.44	
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>		47.27	1.28	9.34		2.70		9.93		5.83		0.87
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>						27.03	3.41	22.07	7.50	54.87	18.47	35.50
双柱头薹草 <i>Trichophorum distigmaticum</i>	46.73	0.85	19.47						2.50			4.77
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>		19.41										
甘肃嵩草 <i>Kobresia kansuensis</i>			40.99	18.69	8.16	9.01	12.97			10.29		
黑褐薹草 <i>Carex atrofusca</i>										14.06	19.28	
羊茅 <i>Festuca ovina</i>		6.33										
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>		1.68						0.19				5.62
星星草 <i>Puccinellia tenuiflora</i>								0.44		1.91		1.30
针茅 <i>Stipa capillata</i>								0.19		0.21		
早熟禾 <i>Poa annua</i>								0.03			0.40	3.90
赖草 <i>Leymus secalinus</i>										0.10		0.22
中华羊茅 <i>Festuca sinensis</i>										0.69		
三裂碱毛茛 <i>Halerpestes tricuspis</i>	1.87											
杉叶藻 <i>Hippuris vulgaris</i>	0.93											
金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>								0.19				
小米草 <i>Euphrasia pectinata</i>		0.04		2.67				1.47				5.20
细叉梅花草 <i>Parnassia oreophila</i>		5.07	0.61							1.03		0.74
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>										0.51		0.87
兰石草 <i>Tibet lancea</i>		0.85	0.26	0.89		4.50		13.98		5.83		2.17
小金莲花 <i>Trollius pumilus</i>		1.27										
云生毛茛 <i>Ranunculus longicaulis</i>		0.22										
獐牙菜 <i>Swertia bimaculata</i>		0.13				2.70		1.66		0.10		
重冠紫菀 <i>Aster diplostephioides</i>		5.91	1.54			7.21				0.34		
长花马先蒿 <i>Pedicularis longiflora</i>				30.26		18.02				4.12	2.41	
湿生扁蕾 <i>Gentianopsis paludosa</i>				0.27		1.80		0.19				0.09
花葶驴蹄草 <i>Caltha scaposa</i>				19.58								
华马先蒿 <i>Pedicularis wardii</i>				1.33								0.43
三脉梅花草 <i>Parnassia trinervis</i>				0.04								
小柴胡 <i>Bupleurum tenue</i>										0.10		
尖叶龙胆 <i>Gentiana aristata</i>												4.32
唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>												3.90
甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>												2.60
美丽风毛菊 <i>Saussurea superba</i>												3.47
毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>												3.47
黑苞风毛菊 <i>Saussurea melanotrica</i>												6.92
线叶龙胆 <i>Gentiana farrer</i>												1.08
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>												6.07
褐毛橐吾 <i>Ligularia purdomii</i>												6.49
植物总盖度(%)	53	79	65	75	50	95	85	90	67	95	80	90



藁草,主要伴生种为甘肃嵩草。

在5号采样地冻胀丘上,有12种植物,植物总盖度为90%,优势种为粗喙藁草,主要伴生种为藏嵩草。在5号采样地沼泽化草甸中,有3种植物,植物总盖度为67%,优势种为粗喙藁草,主要伴生种为藏嵩草。

在6号采样地的冻胀丘上,有15种植物,植物总盖度为95%,优势种为藏嵩草,主要伴生种为黑褐藁草。在6号采样地沼泽化草甸中,有5种植物,植物总盖度为80%,优势种为粗喙藁草,主要伴生种为藏嵩草和黑褐藁草。

在7号采样地无冻胀丘,在沼泽化草甸中,有22种植物,植物总盖度为90%,优势种为藏嵩草,主要伴生种为垂穗披碱草、小米草、黑苞风毛菊、黄花棘豆和褐毛橐吾。

表3显示,乱海子湿地的植物以莎草科植物占绝对优势。沼泽中莎草科植物的重要值都大于97%。随着土壤水分含量减少,7号采样地沼泽化草甸中的禾本科植物的重要值最大,为11.04%。总体上,除7号采样地外,冻胀丘上杂类草植物的重要值较大,3号采样地的重要值最大,为55.05%。

### 2.3 植物群落物种多样性

由表4可知,研究区冻胀丘物种丰富度、Pielou

均匀度指数和Shannon-Wiener多样性指数都高于沼泽化草甸。尤其是物种丰富度,冻胀丘上平均有植物11.8种,而沼泽化草甸中平均有6.6种植物。随着土壤水分含量由多至少,处于湖泊边缘的1号采样地沼泽化草甸的物种丰富度为4种,2号采样地物种丰富度为7种,3号~6号采样地的物种丰富度为2~5种,土壤水分含量最小的7号采样地的物种丰富度为22种;在2号~6号采样地中,冻胀丘上的物种丰富度变化在9~15种之间。

随着土壤水分含量的变化,各采样地植物群落的Pielou均匀度指数变化不大。冻胀丘上植物群落的Pielou均匀度指数为0.39~0.58,沼泽化草甸的为0.24~0.45。冻胀丘上植物群落的Shannon-Wiener物种多样性指数为1.39~1.83,平均值为1.63,而沼泽化草甸的为0.28~2.43,平均值为0.96。随土壤水分含量的减小,冻胀丘上植物群落的Shannon-Wiener物种多样性指数变化不大,沼泽化草甸的波动变化。

### 2.4 植物地上和根系生物量

表5显示,4号和5号采样地冻胀丘上植物群落地上部分生物量显著高于沼泽化草甸( $n=10$ ,  $p<0.05$ )。随着土壤水分含量的减少,冻胀丘上和沼泽化草甸中植物群落地上部分生物量总体在增

表3 各采样地冻胀丘和沼泽化草甸中3科植物功能群重要值

Table 3 The important values of function groups of 3 families' plants in the frost mounds and marshy meadows of sampling sites

植物类别	项目	重要值(%)						
		1号采样地	2号采样地	3号采样地	4号采样地	5号采样地	6号采样地	7号采样地
莎草科	冻胀丘		78.51	44.95	65.77	81.67	85.05	
	沼泽化草甸	97.20	97.59	100.00	100.00	100.00	97.19	41.14
禾本科	冻胀丘	—	8.02	—	—	0.85	2.91	
	沼泽化草甸	—	—	—	—	—	0.40	11.04
其它类杂草	冻胀丘		13.47	55.05	34.23	17.48	12.03	
	沼泽化草甸	2.80	2.41	—	—	—	2.41	47.81

表4 各采样地冻胀丘和沼泽化草甸植物群落的物种丰富度、Pielou均匀度指数和Shannon-Wiener物种多样性指数

Table 4 Species richnesses, Pielou evenness indexes and Shannon-Wiener species diversity indexes of plant communities in the frost mounds and marshy meadows of sampling sites

指数	项目	1号采样地	2号采样地	3号采样地	4号采样地	5号采样地	6号采样地	7号采样地	平均值
丰富度 (种)	冻胀丘		13	10	9	12	15		11.80
	沼泽化草甸	4	7	2	3	3	5	22	6.57
均匀度 指数	冻胀丘		0.44	0.52	0.58	0.39	0.39		0.46
	沼泽化草甸	0.41	0.43	0.28	0.34	0.24	0.45	0.54	0.38
多样性 指数	冻胀丘		1.64	1.73	1.83	1.39	1.54		1.63
	沼泽化草甸	0.82	1.22	0.28	0.53	0.38	1.05	2.43	0.96

大。因1号采样地中积水较深,无法设置样方,故未得到其植物群落地上部分生物量。

表6显示,除6号采样地外,沼泽化草甸中植物群落根系生物量显著高于冻胀丘。沼泽化草甸植物群落根系的平均生物量为4.43 kg/m<sup>2</sup>,冻胀丘植物群落根系的平均生物量为3.32 kg/m<sup>2</sup>。随着土壤水分的减少,冻胀丘上植物群落根系生物量波动增加,沼泽化草甸植物群落根系生物量波动减小。

### 3 讨论

本研究表明,乱海子湿地植物以莎草科植物为主,随着土壤水分含量减少,禾本科、杂类草在植物群落中的重要值有所增大。这与在祁连山海北高寒湿地观测到阳坡湿地优势植物由湿地中心地带的帕米尔藁草(*Carex pamirensis*)草甸向中部的藏嵩草草甸、湿地外围的矮嵩草草甸过渡<sup>[8]</sup>的结果类似;在阴坡,以藁草为主的草甸逐步向金露梅灌丛过渡<sup>[8]</sup>。可见,除土壤水分含量决定优势植物外,光照、气温、蒸发量等因素同样控制着湿地中植物的演替。这主要与植物种间关系对生境异质性的适应性有关。例如,在青藏高原高寒沼泽湿地退化梯度上,植物群落演替与植物的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率有关,其中,禾本科植物的光合速率最大,其它依次为莎草科植物、豆科植物、其它双子叶类杂草,莎草科植物的水分利用效率最大,其它依次为禾本科植物、豆科植物、其它双子叶类杂草;以其很高的水分利用率和较高的光合利用率,保证莎草科植物可以充分利用湿地资源,从而获得较高的生产力,成为

优势种;相反,在退化湿地生态系统中,莎草科植物被光合效率、水分利用率更低的双子叶杂类草替代<sup>[10]</sup>。随着土壤水分含量减少,祁连山北坡高寒湿地藏嵩草和矮嵩草群落结构存在着与本研究类似的空间分布格局,但是,将其归因于两类嵩草种间和种内相互关系改变所致,在低温、水淹的沼泽采样地中,藏嵩草具有较好的适应性和资源优势,而矮嵩草处于劣势,主要竞争关系为藏嵩草种内竞争,因此藏嵩草为了增强个体竞争力,其高度、盖度和地上部分生物量都达到最高值;相反,在湿地干旱化发展的过程中,藏嵩草受资源供给限制和种间竞争影响,种群被分割为多个小斑块,矮嵩草的竞争优势提高,同时藏嵩草生物量的减少使矮嵩草获得一定的生长空间;因此,随着湿地退化,藏嵩草和矮嵩草不仅发生了优势地位的更替,生物量也呈现此消彼长的规律<sup>[11]</sup>。

在本研究中,随着土壤含水量的不断减少,乱海子湿地植物群落组成不仅表现在优势种由藁草、藏嵩草向矮嵩草、禾草(垂穗披碱草、星星草和早熟禾)及杂类草(黑苞风毛菊、黄花棘豆和褐毛橐吾)的逐步演替,而且呈现物种丰富度和多样性指数增加的趋势。可见,在植物演替过程中,优势种的优势度下降,为其它物种的入侵、定植提供了空间和资源。例如,一方面,藏嵩草生物量的减少降低了其地上部分的遮光效应,为光照竞争力弱的低矮的植物创造了有利条件;另一方面,藏嵩草地下根茎较少,为新物种入侵、种子萌发提供了立地条件。所以,湿地退化过程中植物的演替规律,实质上是湿生植物优势种的优势度不断下降,旱生植物不断占领新的空白生态位的过程。随着土壤

表5 各采样地冻胀丘上和沼泽化草甸中植物群落地上部分生物量

Table 5 The aboveground biomass of plant communities in the frost mounds and marshy meadows of sampling sites

项目	植物群落地上部分生物量(g/m <sup>2</sup> )					
	2号采样地	3号采样地	4号采样地	5号采样地	6号采样地	7号采样地
冻胀丘	(41.10±4.25) <sup>b</sup>	(43.30±14.23) <sup>b</sup>	(51.41±3.48) <sup>ab</sup>	(61.91±9.37) <sup>ab</sup>	(86.63±4.34) <sup>a</sup>	
沼泽化草甸	(62.64±0.22) <sup>bc</sup>	(40.25±9.53) <sup>c</sup>	(114.10±26.74) <sup>a</sup>	(116.62±13.26) <sup>a</sup>	(91.36±3.07) <sup>ab</sup>	(137.78±14.65) <sup>a</sup>

表6 各采样地冻胀丘上和沼泽化草甸中植物群落根系生物量

Table 6 The biomass of plant root in the frost mounds and marshy meadows of sampling sites

项目	植物群落根系生物量(kg/m <sup>2</sup> )						
	1号采样地	2号采样地	3号采样地	4号采样地	5号采样地	6号采样地	7号采样地
冻胀丘		(2.96±0.67) <sup>ab</sup>	(3.25±0.63) <sup>ab</sup>	(2.59±0.20) <sup>b</sup>	(3.43±0.82) <sup>ab</sup>	(4.37±1.09) <sup>a</sup>	
沼泽化草甸	(2.02±0.33) <sup>b</sup>	(5.74±0.32) <sup>a</sup>	(4.99±0.32) <sup>a</sup>	(5.50±0.41) <sup>a</sup>	(5.30±0.43) <sup>a</sup>	(4.34±0.31) <sup>a</sup>	(3.13±0.44) <sup>ab</sup>

水分含量减少,冻胀丘上及其周围沼泽化草甸的物种组成变化也印证了上述的植物演替规律。在沼泽化草甸中,由于土壤含水量相对较高,以莎草科植物为优势种,除了7号采样地,其它采样地其重要值都大于97%;而在冻胀丘上部,由于温度高、蒸发量大,土壤水分含量显著低于沼泽化草甸,所以2号~6号采样地间冻胀丘上植物群落由以藏嵩草为优势种或亚优势种的群落向杂类草、禾草的过渡比周边沼泽化草甸的植物群落变化更为明显;乱海子湿地冻胀丘的物种丰富度、Pielou均匀度指数和Shannon-Wiener物种多样性指数都高于沼泽化草甸;尤其是植物丰富度,冻胀丘上的平均物种数为11.8种,而周边沼泽化草甸中的平均物种数仅为6.57种。随着土壤水分减少,冻胀丘上植物群落的Shannon-Wiener物种多样性指数变化较小,沼泽化草甸的则波动变化。

土壤水分含量变化下,植物地上部分和地下部分的生物量亦发生改变。随着土壤水分含量的减少,冻胀丘和沼泽化草甸植物群落的地上部分生物量总体在增大;冻胀丘上植物群落根系生物量波动增加,而沼泽化草甸的则波动减小。

## 4 结 论

2014年8月中旬,在青海省乱海子高寒湿地中,冻胀丘上0~20 cm深度土壤含水量明显低于周围的沼泽化草甸;冻胀丘上的植物物种数和植物盖度远高于其周围的沼泽化草甸,随着土壤水分含量的减少,沼泽化草甸中的植物种类在逐渐增加;沼泽化草甸中的莎草科植物比其在冻胀丘上更具优势;冻胀丘上植物群落生物量总体上比沼泽化草甸的低。在青海省乱海子高寒湿地中,冻胀丘和土壤水分含量决定了该湿地生态系统植物群落结构和生物量积累。

## 参考文献

- [1]陈桂琛,黄志伟,卢学峰. 青海高原湿地特征及其保护[J]. 冰川冻土, 2002, **24**(3): 254-259.
- [2]张继平,张懿铨,刘峰贵,等. 长江源区当曲流域高寒湿地类型划分及分布研究[J]. 湿地科学, 2011, **9**(3): 218-226.
- [3]杨英,耿玉清,黄桂林,等. 青海小泊湖区沼泽化草甸、草甸和沙

- 地的土壤酶活性[J]. 湿地科学, 2016, **14**(1): 20-26.
- [4]吴建普,罗红,朱雪林,等. 西藏湿地分布特点分析[J]. 湿地科学, 2015, **13**(5): 559-562.
- [5]高永恒,曾晓阳,周国英,等. 长江源区高寒湿地植物群落主要种群间关系分析[J]. 湿地科学, 2011, **9**(1): 1-7.
- [6]Baldwin A H, Egnotovitch M S, Clarke E. Hydrologic change and vegetation of tidal fresh water marshes: field, greenhouse, and seed-bankexperiment[J]. Wetlands, 2001, **21**(4): 519-531.
- [7]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.
- [8]李英年,赵亮,徐世晓,等. 祁连山湖北高寒湿地植物群落结构及生态特征[J]. 冰川冻土, 2006, **28**(1): 76-84.
- [9]吴吉春,盛煜,曹元兵,等. 青藏高原发现大型冻胀丘群[J]. 冰川冻土, 2015, **37**(5): 1217-1228.
- [10]李宏林,徐当会,杜国祯. 青藏高原高寒沼泽湿地在退化梯度上植物群落组成的改变对湿地水分状况的影响[J]. 植物生态学报, 2012, **36**(5): 403-410.
- [11]党晶晶,赵成章,董小刚,等. 藏嵩草和矮嵩草种群空间分布格局对水分的响应[J]. 生态学杂志, 2014, **33**(7): 1734-1740.

## Response of Plant Community Structure to Soil Water Content in Luanhaizi Alpine Wetlands, Qinghai Province

LU Yanhua<sup>1</sup>, ZHAO Mingde<sup>1</sup>, ZHOU Huakun<sup>2</sup>, MAO Xufeng<sup>1</sup>, CHEN Zhe<sup>1</sup>,

LIU Pan<sup>1</sup>, YANG Chong<sup>1</sup>, DOU Yan<sup>1</sup>, WANG Wenyong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Alpine Swamp in Qinghai Province, College of Geography and Life Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, Qinghai, P.R.China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area in Qinghai Province, Xining 810008, Qinghai, P.R.China)

**Abstract:** Along the water content of the soil, 7 sampling sites were set in Luanhaizi alpine wetlands in Qinghai province, the structure of plant communities was researched, and the effect of frost mounds on the structure of plant communities was focused in the study. The results showed that the soil water contents of 0-20 cm depth in the marshy meadows around the frost mounds were 122.7%-280.7%, and those of No.1 to No.6 sampling sites were significant higher than that in No.7 sampling site. The soil water contents of 0-20 cm depth in the frost mounds were 160.4%-203.4%, and they were no significant difference among sample sites. The soil water contents of 0-20 cm depth in the frost mounds were significantly lower than those in the marshy meadows. There were 40 plant species were recorded in the study area, among these plants, 7 species belonged to Cyperaceae, 7 species to Gramineae, and the remaining 26 species to dicotyledons. The important values of the species from Cyperaceae in the marshy meadows were more than 97% in No.1 to No.6 sampling sites especially. Species richness, Pielou evenness index and Shannon-Wiener species diversity index in the frost mounds were much higher than those of the marshy meadows. In particular, the species richness was 11.8 species in the frost mounds, and there was 6.57 species in the marshy meadows. With decrease of the soil water content, the aboveground biomass of plant communities was increased both in the frost mounds and marshy meadows; the root biomass of plant communities increased in the frost mounds, but that decreased in the marshy meadows

**Keywords:** alpine wetlands; soil water gradient; frost mound; marshy meadows; plant community structure; species diversity; Luanhaizi