

文章编号: 1000-0240(2003)03-0243-07

祁连山海北高寒湿地气候变化 及植被演替分析

李英年, 赵新全, 赵 亮, 王启基, 沈振西

(中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘 要: 分析了近 40 a 海北高寒湿地区域气候变化特征, 以及近期湿地退化和植被演替的情况. 结果表明: 祁连山海北地区自 1957 年以来年平均气温以 $0.157 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ 的倾向率升高, 年降水量约以 $18.59 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 的倾向率递减, 年平均地温比同期气温的增加更为迅速, 表现出海北地区气候及土壤性状均向干暖化趋势发展, 特别是土壤干暖化程度尤为明显. 由于人类活动加剧影响, 超载过牧, 原生植被遭受破坏, 草场退化严重, 地表潜在蒸散力加大. 深层的多年冻土退化, 冻胀草丘坍塌, 导致湿地植被发生变化, 使沼泽化草甸向典型草甸演替. 不同年度调查结果表明, 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. 组成植物群落的湿中生种类减少, 中生种类(如线叶嵩草)大量增加, 群落盖度相对降低, 群落生产量大幅度下降.

关键词: 气候变化; 高寒湿地; 冻土退化; 植被演替

中图分类号: P463.22 **文献标识码:** A

1 引言

全球变化、生物多样性和可持续发展是当前生态学研究的重大的核心问题, 特别是全球变化对生态系统的影响, 已引起国际生态学界的关注, 在全球不同地区同时开展研究.

被称为地球“第三极”的青藏高原, 其自然条件严酷, 生态系统极为脆弱, 易受环境条件的改变而发生变化. 高寒湿地的沼泽化草甸植被, 在青藏高原有大面积分布, 它的存在具有减少水土流失、调节气候等功能. 不少研究者证实^[1~9], 一个地区的植被分布及变化与冻土(包括季节冻土与多年冻土)具有一定的内在联系, 表现在植被的存在可减弱太阳强烈辐射对表土的直接作用, 保持较高的土壤水分, 也可降低地表面温度较差和减少进入土层的热量, 从而有利于多年冻土的保存和发育. 而冻土的发生一定意义上又表征了湿地植被存在并维持的先

决条件, 当冻土等外部条件发生改变时, 其上的植被组成也将发生一定的演替^[9~14]. 近年来, 高寒湿地植被由于气候干暖化, 及其受人类活动加剧影响, 岛状多年冻土逐步缩减, 季节冻土扩展, 致使湿地所依存的物理环境条件遭受破坏, 土壤表层蒸散力明显加大, 土壤水分散失严重, 导致地下水位下降, 多年冻土退化. 其结果改变了湿地土壤层内的水分、温度等条件, 对植物的生长和演替产生重大影响, 使湿地植物群落结构也发生明显变化, 加速了高寒草场的退化速度. 本文在多年气象观察的基础上, 根据两次湿地植被的调查资料, 对海北高寒湿地气候变化及湿地退化后植物群落演替状况给予分析.

2 材料状况

2.1 研究区概况

本文选择中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)实验区的有关高寒湿地进行研究. 海

收稿日期: 2002-08-28; 修订日期: 2002-11-28

基金项目: 国家基础研究规划项目(G1998040800); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-1-07; KZCX1-SW-01-01A5); 中国科学院海北高寒草甸生态系统开放站基金; 中国生态研究网络基金项目资助

作者简介: 李英年(1962—), 男, 青海乐都人, 副研究员, 1987年毕业于北京气象学院, 主要从事生物气象工作. E-mail: ynli@mail.nwipb.ac.cn

北站地处青藏高原东北隅,祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷地区,地理位置为 $37^{\circ}37' N$ 、 $101^{\circ}19' E$,海拔3 200 m. 依 1980 年以来的气象观测资料表明,区域年平均气温为 $-1.7^{\circ}C$,最暖月(7月)平均气温 $9.8^{\circ}C$,最冷月(1月)平均气温 $-14.8^{\circ}C$;年降水量约为 580 mm,降水主要分布于暖季的 5~9 月,占年降水量的 80%,冷季的 10 月至翌年 4 月仅为年降水量的 20%^[15].

2.2 研究材料

文中采用资料:1) 沿用 1989 年王启基等^[16]对海北高寒湿地(沼泽地)植被种群结构状况的调查,及其 2000 年 8 月中旬笔者在上述同一地点区域又对草地种群结构调查的资料. 2) 海北站气象站 1980—1999 年观测资料为基础,依门源气象站资料进行延长和插补到 1957 年开始的长期气温和降水资料. 3) 1990—1993 年以及近年来零星考察的海北站在植物生长期内的土壤湿度测定值^[17]. 4) 1980—2000 年海北站气象站的地温、冻土观测资料.

3 结果分析

3.1 高寒湿地植被分布背景的基本特点及作用

高寒湿地主要分布于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. 区域受底层多年冻土层阻隔作用,使降水和冰雪消融水在这里易汇集,水分不能及时外泄和下渗,地下水位升高,甚至溢出地表,导致土壤或地表成为过湿状态^[1,2,14,16]. 这些湿地多以纤维永冻有机土(Fibric Permagelic Histosols)、纤维正常有机土(Fib-Orthic Histosols)或有机寒冻潜育土(Organic Cryic Gleysols)为主,泥炭层深厚,一般在 0.2~2.0 m 以上^[18].

高寒湿地植被种类组成主要以耐寒湿中生多年生,或混生湿生多年草本植物为主^[16]. 以藏嵩草(*Kobresia tibetica*)为主要建群种,伴生有青藏苔草(*Carex moorcroftii*)、黑褐苔草(*Carex atrorufusca*)、双柱头薹草(*Scirpus distigmaticus*)、斑唇马先蒿(*Pedicularis longiflora*)、华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*)等,形成高寒沼泽化草甸. 在青藏高原特别是江河源区有大面积分布,仅青海省有可利用草场达 $446 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占全省可利用草场面积的 14.4%.

高寒湿地在高寒草甸生态系统中占据有重要的

地位,其优势种藏嵩草为青藏高原特殊的、典型的湿中生短根茎植物. 藏嵩草草甸植物营养丰富,草质柔软,适口性良好,耐牧性强,是理想的放牧草场. 不仅如此,高寒湿地由于夏季地表常处于潮湿状况,并有大面积的积水滩,冬季又是结冰厚,面积分布广,因而有巨大的生态平衡效应,如可减少水土流失,调节气候变化的功能等^[19]. 同时高寒湿地分布区泥炭层深厚,土壤有机质含量丰富,在随温度增加的趋势下,势必产生较多的痕量气体逸出地表,释放于大气,从而对气候的变暖有一定的正反馈机制. 为此研究分析高寒湿地及其上生长植被的演替情况,具有一定的重要意义.

3.2 气候变化特征

3.2.1 近 40 a 年平均气温与年降水量变化

图 1 给出了自 1957 年以来海北站近 44 a 年平均气温及降水量的变化动态. 44 a 来海北站年平均气温呈现出波动式变暖的趋势,特别是进入 20 世纪 80 年代以来,年平均气温的增加趋势尤为明显. 以年代而论(表 1),海北站地区自 60~90 年代的 4 个年代,与 44 a 平均值相比,表现出随年代进程的推移,各年代平均气温以 $0.157^{\circ}C \cdot 10a^{-1}$ 的速率升高. 年平均气温的这种变化趋势与我国整个西北及北方地区的平均趋势是一致的^[20]. 从海北站地区近几年观测来看,进入 90 年代气温升高十分突出(如 1996—2000 年 5 a 平均气温为 $-1.20^{\circ}C$),以这个特点可认为,海北站地区 90 年代气温升高趋势表现出比全国乃至全球升温更为明显.

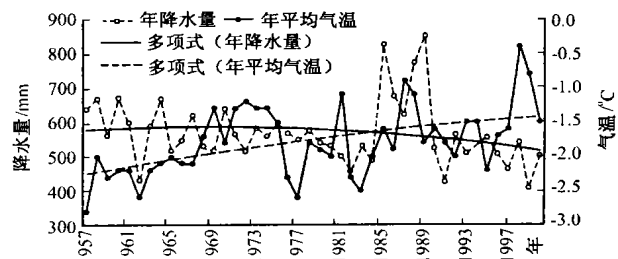


图 1 海北站近 40 a 年平均气温及降水量的动态变化
Fig. 1 Variation of annual mean air temperature and precipitation in Haibei Station during the recent 40 years

就降水分布趋势来看(图 1),自 1957 年以来的近 40 多年,海北站降水变化波动性明显. 但总的表现有随年代进程有所减少的趋势(表 1),这与青海南部地区基本相仿^[21]. 依回归方法处理表明,海北站在过去的 4 个年代降水基本约以 $18.59 \text{ mm} \cdot 10 a^{-1}$ 的倾向率递减,特别是 20 世纪 90 年代以来,年降水减少趋势尤为明显.

表 1 海北站近 44 a 年代际气温、降水动态变化

Table 1 Variation of decade mean air temperature and precipitation in Haibei Station during the recent 44 years

年 代	60 年代 (1961—1970 年)	70 年代 (1971—1980 年)	80 年代 (1981—1990 年)	90 年代 (1991—2000 年)	44 a(1957—2000 年) 平均值
年平均气温/ 与 44 a 平均比较/	- 2.01 偏低 0.23	- 1.72 偏高 0.06	- 1.68 偏高 0.1	- 1.50 偏高 0.28	- 1.78
降水量/mm 与 44 a 平均比较/mm	583.3 偏高 16.2	556.2 偏低 10.9	623.5 偏高 56.3	498.9 偏低 68.2	567.1

3.2.2 近 20 a 来海北高寒湿地附近的草毡寒冻锥形土(Mat-Crylic Cambisols)地温、土壤湿度及冻土状况

高寒湿地的地温观测较少,土壤湿度资料更具匮乏,但从邻近草毡寒冻锥形土所设的气象站(离研究湿地距离约 0.6 km)自 1980 年以来的地温和冻土深度观测资料,1990—1993 年及其近几年的有关零星考察的土壤湿度资料可进行比较分析。

毫无疑问,较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,而地表温度的变化又是气温变化的反映。在气候变暖的同时,叠加人类活动后,近几年来地温趋暖化发展明显。例如 80 年代(1981—1990 年),海北站 20 cm 地温年平均为 1.7℃,到 90 年代(1991—2000 年)增加至 2.4℃,增加了 0.7℃,这个数值比同期的年平均气温增加(由 -1.7℃ 增加到 -1.5℃)还要高 0.5℃,表现出 20 世纪 80 年代以来,地温比同期气温升高更为明显。

从土壤湿度的观测结果来看,我们对 1990—1993 年草毡寒冻锥形土土壤湿度观测发现^[17],6~8 月 0~60 cm 整层土壤湿度平均为 33.7%(占干土重的百分率,下同),而到 1998—2000 年平均约为 27.8%(曹广民提供)。同时,虽然未进行湿地的土壤湿度资料观测,但从外部景观观察发现,向干的方向发展明显,过去部分地段地下水露出带及其部分地段积水滩(坑),人难以涉及进去,现在已不复存在,其地表显得干燥。

一个地区的冻土深度既是气候寒冷的标志,又从一定意义上表述了土壤含水量的高低以及冷季维持时间的长短。在海北站地区,大多数冻土属季节性冻土,也有部分岛状多年冻土。气象站附近的草毡寒冻锥形土土壤于 9 月就进入持续的冻融阶段,日间消,清晨冻,10 月下旬开始可形成稳定的薄冻土层。以后随天气变得严寒,冻土深度不断加深,至翌年 3~4 月深层冻土达最大,次年 4 月中旬地表发生融冻过程,冻土自上而下逐渐融化,底层向

上也有融化的过程,但非常微弱,直至 7 月上旬冻土方可全部融化,表明冻土维持时间很长。

在高海拔地区,季节冻土现象似乎在年内的每个月均可发生,最暖的 7 月,由于受低气温环境影响(在海北站常出现 -4℃ 以下的低气温),偶尔也可出现土壤表层的冻结现象,常称为“湿冻”现象。“湿冻”现象对植物的影响并不严重,这是由于在该类地区,土壤湿度大,空气水汽含量丰沛,在产生冻结前,已有大量的水汽凝结于植物的叶面上,在产生冻结后其界面存在一定的水膜,从而可保护植物表面不被冻坏,相反可使植物在夜间呼吸减弱,利于干物质的积累。冬季深厚的冻土给植物根茎安全越冬将带来很大的影响,产生根茎拉断的现象,但冻土的存在会保持较高的水分,对来年牧草进入正常生长发育提供了自然降水不足的水分要求。而随温度的逐年升高,土壤表面蒸发加大,其土壤水分降低,上述的这种作用将减小,势必影响牧草的生长发育。

可见在地温大幅度升高的同时,土壤湿度也在向减少的方向发展。其结果势必造成土壤水分散失更为严重,那些过去湿地深层的多年冻土发生退化,斑状或岛状的多年冻土出现消退,过去由于受冻土发育形成的膨胀斑块及冻胀草丘发生坍塌,使冻层很明显地发生变化。随着人类活动加剧,家畜大幅度增加,对草地利用出现掠夺式经营,原生植被遭受破坏,草场退化严重,植被遭受破坏后,地表裸露,致使潜在蒸散力加大。如果说气候干暖化在草地植被的退化作用中是一个外部因素的话,那么在不合理的经营方式下,造成原生植被遭受破坏后,使其土壤水分加剧散失的潜在作用,将比气候干暖化所引起的作用更为严重。其结果更导致区域土壤干化,原生植被的适应环境发生改变而发生演替,那些湿生或湿中生植被将向相对旱生性植被类型发展,而被其他的植被类型所替代,终久导致植物群落的演替。

3.3 近 10 多年来海北高寒湿地植被群落结构的演替状况

1989 年王启基等^[16]在 8 月下旬调查表明(表 2),当时高寒湿地的藏蒿草沼泽化草甸植被群落生

长茂盛, 种类组成较少, 每平方米有 10~18 种, 植被总盖度约 95%。植被群落约由 23 种植物组成, 隶属 9 科 21 属。若以主要科属的重要值计, 依次为莎草科 > 菊科 > 禾本科 > 龙胆科, 这些科中莎草科重要值最大, 占 56.84%, 龙胆科为 3.34%, 下剩还有 5 科 6 属的重要值只占 6.81。同样其种群的平均值也呈相同的变化规律。在 23 个植物种类中, 藏嵩草的重要值为最大, 占 28.11, 在群落中占居绝对优势, 伴生种依次有星状风毛菊 (*Saussurea stella*) 重要值为 17.41、微药羊茅 (*Festuca nitidula*) 为 7.29、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 为 6.64、青海

风毛菊 (*Saussurea kokonorensis*) 为 5.67、黑褐苔草为 5.07、华扁穗草为 4.25、落草 (*Koeleria cristata*) 为 4.10、双柱头蔗草为 3.11 等。从而形成了以藏嵩草为优势种, 伴生种为华扁穗草、双柱头蔗草、黑褐苔草等的植被类型。

而到 2000 年 8 月在 1989 年 8 月调查的地段重行调查时发现 (表 2), 由于气候的干暖化, 该地段积水滩(坑)消退, 土壤变得干燥, 过去那种以藏嵩草草甸为主的植物景观处于演替阶段。调查发现, 至 2000 年该地区植物种类组成较 1998 年增多, 平均每平方米有 19~25 种, 调查 7 个样方共出现 29

表 2 藏嵩草沼泽化草甸植物种类组成及特征值

Table 2 Plant species and feature values of *Kobresia tibetica* marsh meadow

植物种群 Population of plant			1989 年 8 月				2000 年 8 月			
中文名	拉丁文	RC	RH	RB	IV	RC	RH	RB	IV	
藏嵩草	<i>Kobresia tibetica</i>	72.74	7.62	3.98	28.11	9.47	4.74	12.70	8.97	
黑褐苔草	<i>Carex atrofusca</i>	1.28	10.04	3.88	5.07	15.19	8.74	14.13	12.68	
双柱头蔗草	<i>Scirpus distigmaticus</i>	4.70	3.99	0.64	3.11	0.54	2.96	1.32	1.61	
华扁穗草	<i>Blysmus sinocompressus</i>	4.70	6.30	1.75	4.25	5.59	3.18	5.61	4.79	
线叶嵩草	<i>Kobresia capillifolia</i>	3.42	3.69	0.38	2.50	13.60	3.92	20.83	12.78	
垂穗披碱草	<i>Elymus nutans</i>	0.42	12.81	6.70	6.64					
细柄茅	<i>Prilagrostis concinna</i>	0.59	5.21	0.60	2.13	1.96	2.96	1.15	2.02	
微药羊茅	<i>Festuca nitidula</i>	2.56	13.00	6.31	7.29	2.68	6.51	1.90	3.70	
早熟禾	<i>Poa alpigena</i>	0.64	5.03	1.67	2.45	2.94	5.33	0.89	3.05	
落草	<i>Koeleria cristata</i>	0.42	8.65	3.34	4.10	2.61	5.33	1.45	3.13	
重冠紫菀	<i>Aster diplostephioides</i>	1.71	0.91	1.14	1.25	4.08	1.18	1.19	2.15	
星状风毛菊	<i>Saussurea stella</i>	0.68	1.80	49.74	17.41	1.07	1.48	0.82	1.12	
青海风毛菊	<i>Saussurea kokonorensis</i>	0.77	5.29	10.94	5.67					
蒙古蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	0.59	1.21	1.40	1.07					
湿生扁蕾	<i>Gentianopsis paludosa</i>	0.51	0.24	0.10	0.28					
大通獐芽菜	<i>Swertia przewalskii</i>	0.85	4.60	2.85	2.77	2.85	4.54	2.85	3.41	
线叶龙胆	<i>Gentiana farreri</i>	0.42	2.27	0.28	0.99	3.48	2.07	9.12	4.89	
兰石草	<i>Lancea tibetica</i>	0.42	0.64	1.48	0.85					
斑唇马先蒿	<i>Pedicularis longiflora</i>	0.42	1.62	1.20	1.08	0.54	0.59	0.11	0.41	
高山唐松草	<i>Thalictrum alpinum</i>	0.42	0.79	0.12	0.44	5.35	1.48	3.29	3.37	
天山报春	<i>Primula sibirica</i>	0.85	1.15	0.60	0.87					
珠芽蓼	<i>Polygonum viviparum</i>	0.34	0.70	0.10	0.38	1.81	4.40	1.48	2.56	
山地虎耳草	<i>Saxifraga Montana</i>	0.42	2.43	0.70	1.18					
三脉梅花草	<i>Parnassia trinervis</i>					1.56	2.27	1.08	1.64	
线叶垂头菊	<i>Cirsium lineare</i>					2.14	2.96	2.48	2.53	
水毛茛	<i>Ranunculus pulchellus</i>					2.07	1.28	0.50	1.28	
头花蓼	<i>Polygonum macrophyllum</i>					1.61	3.55	1.05	2.07	
小米草	<i>Euphrasia tatarica</i>					0.80	2.07	1.45	1.01	
西北利亚蓼	<i>Polygonum sibiricum</i>					2.23	1.33	1.32	1.63	
海韭菜	<i>Triglochin maritimum</i>					2.94	4.00	2.50	3.15	
棘豆	<i>Oxytropis sp.</i>					4.28	2.66	5.97	4.30	
矮嵩草	<i>Kobresia tibetica</i>					2.94	3.55	2.01	2.83	
野青茅	<i>Deyeuxia macilentia</i>					1.61	7.99	0.66	3.42	
甘肃马先蒿	<i>Pedicularis kansuensis</i>					2.14	3.84	1.68	2.55	
疏化针茅	<i>Stipa penicillata</i>					1.93	5.43	1.73	3.03	

注: RC 为相对盖度 Relative coverage (%); RH 为相对株高 Relative height (%); RB 为相对生物量 Relative biomes (%); IV 为重要值 Important value.

种植物种类组成, 隶属 11 科 23 属, 表现出高寒湿地植被在气候干暖化的加剧影响下, 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大的趋势。原生的适应寒冷、潮湿生境的藏蒿草为主的草甸植被逐渐退化, 逐渐转变为以线叶嵩草 (*Kobresia capillifolia*) 和黑褐苔草 (12.68) 为主的草甸植被, 线叶嵩草其重要值 (12.78) 达最大, 而藏蒿草重要值 (8.97) 比 1998 年明显减少, 成为主要的伴生种, 依次伴生种还有线叶龙胆 (*Gentiana farreri*) (重要值为 4.89)、华扁穗草 (重要值 4.79) 等。有趣的是在 1998 年所能观测到的青海风毛菊、垂穗披碱草、蒙古蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、湿生扁蕾 (*Gentianopsis paludosa*) 等植物种, 理应可生长在稍为干燥的地带, 而且青海风毛菊、垂穗披碱草二种植物在 1998 年还有较高的重要值, 但在 2000 年并未观测到, 这些种除由于在湿地退化过程中可能出现暂时的间歇退化现象外, 也有可能和样地的设立以及人为观测的手法有关。但可以认为, 伴随着人类活动加剧, 及其气候的干暖化, 原生湿地的有些物种在减少, 甚至消失, 而有些物种则有大量迁入, 被那些寒冷湿中生为主的典型草甸类型所替代。如 2000 年在同一地方外来迁移种增加了 12 种, 像棘豆 (*Oxytropis* sp.)、海韭菜 (*Triglochin maritimum*)、蔬化针茅 (*Stipa penicillata*)、矮嵩草 (*Kobresia tibetica*) 等不仅有所迁入, 而且有着较高的重要值, 线叶嵩草在 1998 年重要值仅为 2.50, 2000 年重要值达 12.78。

过去的研究发现^[22], 高寒草甸植被在一定的区域和高程范围内, 不同植被类型的分布与土壤湿度分异有很大的对应关系。如: 在海北站地区, 一般在山地阳坡(南坡)土壤湿度低的区域, 多以小嵩草 (*Kobresia littledalei*)、羊茅 (*Festuca ovina*) 等植物为主的草原化高寒草甸植被类型, 灌丛似乎不能发育生长; 土壤湿度适中的滩地多以矮嵩草、垂穗披碱草等植物为主的湿中性高寒草甸植被类型, 湿度相对较高的局部地区还可生长发育着金露梅灌丛 (*Formation Dasiphora fruticosa*); 而在土壤湿度高的阴坡(北坡)地带, 则以线叶嵩草、金露梅灌丛和矮嵩草为主的植被类型; 在湿度更高的沼泽地, 土壤湿度常年处于超饱和状态, 地表长久积水, 植被类型则以藏蒿草、华扁穗草、双柱头蕨草等为主的植被类型。从湿地植被近几年的演替来看, 线叶嵩草逐渐增多, 种类组成加大, 表现出湿地植被类型

在向阴坡(北坡)地带性典型植被类型发展。

可以认为, 海北高寒湿地的沼泽化草甸植被, 在短短的 10 多年时间随湿地的退化当中也发生了明显的演替过程, 植物种类组成发生改变, 致使植物群落的湿中生种类减少, 而中生种类 (如线叶嵩草) 大量增加, 群落盖度相对降低, 1998 年群落总盖度达 95%, 到 2000 年下降到 60%~80%。同时群落的层片及垂直结构也发生变化, 1998 年地上生物量在 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和 40 cm 以上分别占总生物量的 71.70%、20.73%、5.31%、1.78% 和 0.47%, 而到 2000 年这种垂直分布格局有所变化, 地上生物量在 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 和 30~40 cm 分别占总生物量的 73.43%、21.57%、3.82% 和 1.18%, 植物很难达 40 cm 以上的高度。不仅如此, 在湿地退化过程中, 植物的年总生产量也出现大幅度下降, 如 1998 年测定为 518.40 g·m⁻², 2000 年仅达到 350.00 g·m⁻², 这不仅与各气候年景的不同而有所不同, 但与湿地沼泽化草甸植被退化, 外来种迁入, 植被变得稀疏的影响更为明显。

4 结果与讨论

适应是生物赖以生存的基本特征, 当环境发生变化时, 植物将在遗传等基础上发生新的适应能力, 与变化了的生境形成新的协调。变化后的生境将使原维持的种群不会持续太久, 甚至会使之消亡。植被的变化与冻土具有一定的联系, 是多年冻土的指示计。多年冻土层的退化改变了土壤层内的水分、温度等物理条件, 必然对植物的生长和演替产生影响, 加速了高寒草场退化的速度。

生态学家认为, 一个地区的植被分布类型, 将有相结合的一系列气候、土壤等物理性状^[23~25], 其主要植被类型表现有植物对主要气候类型的反应。气候、植被类型相互作用, 相互制约, 气候决定了植被类型和分布规律, 而植被又是气候的反映和标志。植被的存在可减弱太阳强烈辐射对表土的直接作用, 保持表层土水分, 可减少地表的温度较差, 和进入土层的热量, 有利于多年冻土的保存和发育。在高寒湿地分布区, 多年冻土的存在能为植物生长提供充足的水分及独特的生态环境, 可使湿地植被赖以生存的环境得以保持。但当其环境条件发生变化, 不仅使土壤结构发生变化, 而且其上生长的植被也将随之发生演替。

祁连山海北地区自 1957 年以来年平均气温基

本以 $0.157 \cdot 10a^{-1}$ 的倾向率升高, 年降水量约以 $18.59 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$ 的倾向率递减, 年平均地温比同期气温的增加更为迅速. 表现出海北地区气候及土壤性状均向干暖化趋势发展, 特别是土壤干暖化程度尤为明显. 加之人类活动加剧影响, 超载过牧, 原生植被遭受破坏, 草场退化严重, 地表潜在蒸散力加大. 过去深层的多年冻土退化, 冻胀草丘坍塌, 导致湿地植被发生变化, 使沼泽化草甸向典型草甸演替. 通过 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, 中生种类(如线叶嵩草)大量增加, 群落盖度相对降低, 群落生产量大幅度下降.

参考文献(References):

- [1] 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.]
- [2] Wang Shaoling. Frozen ground and environment in the Zoige Plateau and its surrounding mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1997, 9(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, 9(1): 39 - 46.]
- [3] Wang Genxu, Cheng Guodong, Liu Guangxiu, *et al.* The features of landscape ecology and the landscape ecological process in High Asia periglacial regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(1): 29 - 35. [王根绪, 程国栋, 刘光 12, 等. 论冰缘寒区景观生态与景观演变过程的基本特征[J]. 冰川冻土, 2000, 22(1): 29 - 35.]
- [4] Wang Genxu, Shen Yongping, Cheng Guodong. Eco - environmental changes and causal analysis in the source regions of the Yellow River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(3): 200 - 205. [王根绪, 沈永平, 程国栋. 黄河源区生态环境变化与成因分析[J]. 冰川冻土, 2000, 22(3): 200 - 205.]
- [5] Shen Yongping, Liu Guangxiu, Ding Yongjian, *et al.* Impact of soil moisture variation on grassland ecological environment in the Source Region of the Yangtze River [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 12(Suppl.): 79 - 84. [沈永平, 刘光 12, 丁永建, 等. 长江源区土壤水分对草地生态环境的影响[J]. 地球科学进展, 1998, 12(增刊): 79 - 84.]
- [6] Lunardini V J. Climate warming and degradation of warming permafrost [J]. Permafrost and Periglacial process, 1996, 7(4): 311 - 320.
- [7] Liu Qingren, Sun Zhensheng, Cui Yongsheng, *et al.* Study of the law of the distribution of permafrost and vegetation in Da Hingan Ling [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1993, 15(2): 246 - 251. [刘庆仁, 孙振声, 崔永生, 等. 大兴安岭林区多年冻土与植被分布规律研究[J]. 冰川冻土, 1993, 15(2): 246 - 251.]
- [8] Wang Shaoling, Luo Xiangrui, Guo Pengfei. The distribution patterns of multi-annual frozen soils in Qinghai - Tibet Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1991, 13(2): 131 - 140. [王绍令, 罗祥瑞, 郭鹏飞. 青藏高原东部多年冻土分布特征[J]. 冰川冻土, 1991, 13(2): 131 - 140.]
- [9] Wang Shaoling, Zhao Xinmin. Analysis of the ground temperatures monitored in permafrost regions on the Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21(2): 159 - 163. [王绍令, 赵新民. 青藏高原多年冻土区地温监测结果分析[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 159 - 163.]
- [10] Li Shuxun, Cheng Guodong, Guo Dongxin. The future thermal regime of numerical simulating permafrost on Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, China, under climate warming [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 342 - 347. [李述训, 程国栋, 郭东信. 气候持续转暖条件下青藏高原多年冻土变化趋势数值模拟[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(4): 342 - 347.]
- [11] Zhu Linnan, Wu Ziwang, Liu Yongzhi. Permafrost degradation in eastern regions of Qinghai-Xizang Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, 17(2): 120 - 124. [朱林楠, 吴紫汪, 刘永智. 青藏高原东部的冻土退化[J]. 冰川冻土, 1995, 17(2): 120 - 124.]
- [12] Wang Shaoling, Zhao Xiufeng, Guo Dongxing, *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(增刊): 157 - 165.]
- [13] Tong Changjiang, Wu Qingbai. The effect of climate warming on Qinghai-Tibet Highway, China [J]. Cold Region Science and Technology, 1996, (2): 221 - 223.
- [14] Yuan Jiuyi, Yan Shuiyu, Zhao Xiufeng, *et al.* The relation between permafrost degradation and *Kobresia* meadow change on the southern piedmont of the Tangula Range [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1997, 19(1): 47 - 51. [袁九毅, 闫水玉, 赵秀峰, 等. 唐古拉山南麓多年冻土退化与高草草甸变化的关系[J]. 冰川冻土, 1997, 19(1): 47 - 51.]
- [15] Li Yingnian, Shi Shengbo, Cao Guangmin, *et al.* Studies on characteristics of microclimate in Haibei alpine meadow regions at Qilian Mountain [J]. 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[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 512 - 519.]
- [16] Wang Qiji, Zhou Xingmin, Shen Zhenxi, *et al.* The structure of plant community and utilization in alpine *Kobresia tibetica* swamp meadow [A]. Alpine Meadow Ecosystem, 4 [C]. 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[A]. 高寒草甸生态系统, 第 4 集 [C]. 北京: 科学出版社, 1995. 91 - 100.]
- [17] 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. 寒草甸区土壤水分动态的模拟研究[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 78 - 83.]
- [18] Li Yingnian, Bao Xinkui, Cao Guangmin. Comparison of the

- earth temperature between fiborthic histosols and Mat - Cryo cambisols in Tibetan Plateau [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, **38**(2): 145 - 152. [李英年, 鲍新奎, 曹广民. 青藏高原正常有机土与草毡寒冻雏形土地温观测的比较研究[J]. *土壤学报*, 2001, **38**(2): 145 - 152.]
- [19] Li Yingnian, Bao Xinkui, Cao Guangmin. Observation of soil temperature regime in cryo - wetland at the depth of 40 ~ 80 cm at Haibei, Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(2): 151 - 158. [李英年, 鲍新奎, 曹广民. 祁连山海北高寒湿地 40 ~ 80 cm 土壤温度状况观测分析[J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(2): 151 - 158.]
- [20] Wang Shaowu. Diagnostic studies on the climate change and variability for the period of 1880—1990 [J]. *Acta Meteorological Sinica*, 1994, **52**(3): 261 - 273. [王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. *气象学报*, 1994, **52**(3): 261 - 273.]
- [21] Zhang Guosheng, Li lin, Wang Qingchun, *et al.* Climate change of south of Qinghai-Tibet Plateau and its effect on the growth of herbage in alpine meadow [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, **8**(3): 1 - 10. [张国胜, 李林, 汪青春, 等. 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长影响的研究[J]. *草业学报*, 1999, **8**(3): 1 - 10.]
- [22] Li Yingnian, Shen Zhenxi, Zhou Huakun. The corresponding analysis between soil moisture and main vegetation types of the mat-cryo cambisols at different topographic position in Haibei area [J]. *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[J]. *山地学报*, 2001, **19**(3): 220 - 225.]
- [23] Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. China climate in global changing: vegetation classification research [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1996, **38**(1): 8 - 17. [周广胜, 张新时. 全球变化中的中国气候—植被分类研究[J]. *植物学报*, 1996, **38**(1): 8 - 17.]
- [24] Li Yingnian, Shen Zhenxi, Chen Bo, *et al.* Effects of global warming on the production patterns of agriculture and livestock husbandry in Qinghai [A]. Zheng Du, *et al.* Formation and Evolution, Environmental Changes and Sustainable Development on the Tibetan Plateau [C]. Beijing: Science Press, 2000. 327 - 332.
- [25] Niu Jianming. Relationship between main vegetation types and climatic factors in Inner Mongolia [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(1): 47 - 52. [牛建明. 内蒙古主要植被类型与气候因子关系的研究[J]. *应用生态学报*, 2000, **11**(1): 47 - 52.]

Analysis of Vegetation Succession and Climate Change in Haibei Alpine Marsh in the Qilian Mountains

LI Ying-nian, ZHAO Xin-quan, ZHAO Liang, WANG Qi-ji, SHEN Zhen-xi

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810001, China)

Abstract: The regional climate change features of Haibei alpine marsh during the recent 40 years and its possible impacts on marsh degradation and vegetation succession are analyzed. It is found that annual mean air temperature of Tibetan Autonomous Prefecture of Haibei in the Qilian Mountains has increased in the rate of $0.157 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, annual precipitation has decreased in the rate of $18.59 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ since 1957, and the increasing rate of annual mean soil temperature was higher than that of air temperature. A drying and warming trend takes place both in climate and soil in the prefecture, especially in soil. Additionally, intensive human activity and overgrazing bring about some consequences, such as primordial vegetation destruction, grassland degradation and upper transpiration increase. Marsh vegetation change shows marsh

meadow transforming into typical meadow, resulting in ancient permafrost degrading and frozen grassy hillock collapsing.

Study results indicate that plant community of alpine marsh vegetation is changing under the impact of climate drying and warming. There is an increasing trend of biodiversity and ecological predominance as compared with marsh primordial vegetation. The primordial meadow vegetation dominated by *Kobresia tibetica*, which is adaptive to shivery and moist environment, is degrading piece by piece and is substituted by some typical meadow, even some species dies away. Species of moist plant decrease and neutral species (*Kobresia capillifolia*) increase, community coverage reduces relatively and productivity declines largely.

Key words: climate change; alpine marsh; vegetation degradation