

# 青藏高原多年冻土区高寒植被物种多样性和地上生物量<sup>\*</sup>

杨兆平<sup>1,2</sup> 欧阳华<sup>1,3,\*</sup> 宋明华<sup>1</sup> 周才平<sup>1</sup> 杨文斌<sup>1,2</sup> 刘小平<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039; <sup>3</sup>国际山地综合发展中心, 加德满都, G. P. O. Box 3226, 尼泊尔; <sup>4</sup>鄂尔多斯市环境保护中心检测站, 内蒙古鄂尔多斯 017000)

**摘要** 基于样方调查统计了青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统植物的科属组成, 计算了多样性指数和均匀度指数, 探讨了多年冻土退化对高寒草地物种多样性的影响。结果表明: 多年冻土退化过程中物种组成在属和物种丰富度上呈现降低趋势, 湿、中生植物逐渐被旱中生和旱生植物替代; 青藏高原多年冻土退化会导致高寒草地生态系统的物种多样性和初级生产力的降低, 影响高寒草地生态系统的稳定性; 物种多样性与初级生产力具有密切的抛物线型关系。

**关键词** 多年冻土退化; 高寒草地; 生态系统; 物种多样性; 地上生物量; 青藏高原  
**中图分类号** Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000 - 4890(2010)4 - 0617 - 07

**Species diversity and above-ground biomass of alpine vegetation in permafrost region of Qinghai-Tibetan Plateau.** YANG Zhao-ping<sup>1,2</sup>, OUYANG Hua<sup>1,3</sup>, SONG Ming-hua<sup>1</sup>, ZHOU Cai-ping<sup>1</sup>, YANG Wen-bin<sup>1,2</sup>, LU Xiao-ping<sup>4</sup> (<sup>1</sup> Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; <sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; <sup>3</sup> International Centre for Integrated Mountain Development, G. P. O. Box 3226, Kathmandu, Nepal; <sup>4</sup> Monitoring Station of Environmental Protection Center of Ordos, Ordos 017000, Inner Mongolia, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 617 - 623.

**Abstract:** Based on quadrat investigation, this paper studied the species composition of alpine vegetation in permafrost region of Qinghai-Tibetan Plateau, calculated the diversity index and evenness index, and approached the effects of permafrost degradation on the species diversity. During the permafrost degradation, the family number and species richness decreased, and the hygrophytes and mesophytes were gradually replaced by meso-xerophytes and xerophytes. Permafrost degradation lowered the species diversity and primary productivity, giving negative effects on the stability of alpine grassland ecosystem. There was a close parabolic relationship between species diversity and primary productivity.

**Key words:** permafrost degradation; alpine vegetation; ecosystem; species diversity; above-ground biomass; Qing-Tibetan Plateau

生物多样性与生产力的关系是近年来群落生态学中研究的中心问题(王长庭等, 2005)。研究表明, 生态系统生产力随着物种数的增加而增加, 并认为这种结果是由于生态位互补效应所致(Naeem *et al*, 1994; Timan *et al*, 2001), 而一些研究则认为

取样效应是造成生产力随着物种多样性增加而增加的主要原因(Hector, 1998)。同时, 也有研究结果认为, 多样性与生产力之间具有单峰关系(中等生产力水平多样性最大)(Guo & Berry, 1998)。尽管关于物种多样性与生产力之间关系的模式尚未得到一致的认识, 然而物种多样性对生态系统功能的影响, 以及其在维持全球和区域生态平衡、可持续发展方面的作用是毋庸置疑的(陈灵芝和钱迎倩, 1997; 王

\* 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB422005)和科技部科技基础性工作专项资助项目(2006FY110200)。

\*\* 通讯作者 E-mail: ohua@igsrr.ac.cn

收稿日期: 2009-09-24 接受日期: 2009-12-11

永健等, 2006)。

青藏高原是全球海拔最高的一个独特地域单元(裴志勇等, 2003), 是我国重要的高山植物基因库和重要的生态安全屏障(张自和等, 2002)。青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统对发展畜牧业, 保护生物多样性和维持生态平衡, 特别是涵养水源具有重大的作用和价值(郭正刚等, 2004)。近年来, 由于全球变暖加之人类社会经济活动的影响, 青藏高原多年冻土出现了严重的退化趋势(王绍令, 1993; 李新和程国栋, 1999; 魏春玲等, 1999; 金会军等, 2000)。20世纪70—90年代, 青藏高原季节冻上和岛状多年冻土地温升高了  $0.3 \sim 0.5$ , 多年冻土年平均地温升高了  $0.1 \sim 0.3$ , 年平均地温为  $0 \sim 0.5$  的高温多年冻土正在快速升温且变薄(吴青柏等, 2005)。据预测到2100年, 青藏高原总面积的70%会被非连续多年冻土占居(Ni, 2000)。由于地下冰的存在和长期的冻融作用, 青藏高原多年冻土区具有独特的生态水文结构, 土壤水分是控制多年冻土生态系统生态过程的关键因子。青藏高原多年冻土退化改变了土壤的水分环境将会对植被生长、分布、物种组成、群落结构产生深刻的影响。对北极多年冻土的研究表明, 多年冻土退化改变了土壤水分环境导致了植物区系组成和群落结构改变(Stum *et al*, 2001; Chapin *et al*, 2005), 进而引起生态系统的大规模转变(Woo, 1992; Osterkamp *et al*, 2000)。因此, 在青藏高原多年冻土退化背景下, 开展冻土区高寒草地物种多样性研究具有重要意义。本文基于样方调查统计了青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统植物的科属组成, 计算了多样性指数和均匀度指数, 探讨了多年冻土退化对高寒草地物种多样性的影响, 其结果为研究冻土退化过程中生态系统群落结构的动态变化提供了背景参考, 有助于加深对多年冻土区高寒草地生态系统退化机理的理解。

表 1 样地基本信息

Tab 1 Basic information of sampling plots

样地	海拔(m)	植被类型	盖度(%)	土壤全碳( $g \cdot kg^{-1}$ )	土壤全氮( $g \cdot kg^{-1}$ )	土壤全磷( $g \cdot kg^{-1}$ )	土壤速效钾( $mg \cdot kg^{-1}$ )	土壤pH
昆仑山垭口	4753	高寒荒漠	5~8	7.08	0.76	0.47	158.63	7.34
66道班	4560	高寒荒漠	15~30	3.78	0.36	0.39	82.65	7.83
五道梁	4656	高寒草原	30~60	4.31	0.46	0.35	78.74	7.72
北麓河	4636	高寒草甸	30~70	13.22	1.07	0.37	128.22	7.50
风火山	4899	高寒草甸	>90	13.96	1.35	0.25	102.30	7.55
乌丽	4623	高寒草原	40~65	4.10	0.38	0.20	88.21	7.76

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

青藏高原多年冻土带主要集中分布在高原腹地的昆仑山( $35^{\circ}38'51''N, 94^{\circ}04'46''E$ )至唐古拉山南坡( $91^{\circ}52'40''N, 33^{\circ}07'07''E$ )之间的区域, 南北长度沿青藏公路约550 km(周幼吾等, 2000), 本次研究主要在昆仑山垭口至沱沱河之间进行。本区属于高原亚寒带半干旱气候, 年均气温由东向西降低, 在玛多为  $-4.1$ , 五道梁  $-5.6$ , 区域年均降水量差异较大, 由东向西减少, 一般由  $300 \sim 400$  mm至  $100$  mm以下, 但是在唐古拉山南麓的安多及巴颜喀拉山南侧的清水河分别到  $400$ 和  $500$  mm以上。研究区段的自然生态系统主要有高寒草原、高寒草甸、高寒沼泽湿地3大类型, 局部在一些河谷地带分布稀疏的水柏枝高寒灌丛, 在高大山体上部分布垫状与稀疏流石坡植被(周兴民等, 2001; Wang *et al*, 2006)。高寒草原土壤主要以钙积寒性干旱土和筒育寒性干旱土为主要类型, 高寒草甸土壤以草毡寒冻锥形土与筒育寒冻锥形土为主要类型(王一博等, 2006)。

### 1.2 样地选择

在昆仑山垭口到沱沱河的研究区段内, 选择典型的生态系统分布区作为群落调查的样地。所选样地从北到南依次为昆仑山垭口、66道班、五道梁、北麓河、风火山和乌丽。风火山和北麓河为高寒草甸, 五道梁、乌丽为高寒草原, 昆仑山垭口和66道班为高寒荒漠。各样地的详细情况见表1。

### 1.3 研究方法

在每个样地随机设置5个  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  的子样地, 在每个子样地随机设置6个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的记名样方。在青藏高原多年冻土区高寒植被生长的旺盛期2008年8月上旬进行样方调查和生物量取样。样方调查主要记录的内容包括植物种类、盖度、高度和

密度。室内准确鉴定植物标本,统计科、属、种及其组成。

重要值 ( $N$ ) 的计算方法为:

$$N = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对密度}) / 3$$

物种多样性以 Shannon-Wiener 指数 ( $H$ ) 表示:

$$H = - \sum p_i \ln p_i$$

均匀度指数 ( $E$ ):  $E = H / \ln S$

式中:  $S$  为样地的总物种数;  $p_i = N_i / N$ , 其中  $N_i$  为第  $i$  个物种的个体数目,  $N$  为样地中所有种的个体数目。

在每个样地随机设置 5 个样方,高寒草甸样方大小 0.5 m × 0.5 m,高寒草原和高寒荒漠样方大小 1 m × 1 m,用收获法测定地上生物量。

### 1.4 数据分析

对各样地物种多样性和地上生物量之间的差异显著性用 one-way ANOVA 方差分析检验。在分析前进行方差齐性检验,若方差为奇性,用 LSD 法进行多重比较。统计分析利用 SPSS 13.0 软件执行。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种组成分析

根据野外调查资料,各样地物种组成如表 2 所示。风火山有种子植物 28 种,分别属于 11 科 20 属,较占优势的科为禾本科 (6 属 6 种)、豆科 (2 属 3

种)、莎草科 (2 属 6 种)。北麓河样地有种子植物 24 种,分属 15 科 20 属,优势科为禾本科 (3 属 3 种)、蓼科 (1 属 3 种)、莎草科 (2 属 4 种)。五道梁样地有种子植物 25 种,分属于 12 科 22 属,其中优势科主要有禾本科 (5 属 5 种)、豆科 (2 属 3 种)、莎草科 (2 属 3 种)、菊科 (3 属 4 种)。乌丽高寒草原有种子植物 24 种,分属 11 科 19 属,其中优势科为禾本科 (5 属 5 种)、豆科 (2 属 4 种)、莎草科 (2 属 4 种)、菊科 (4 属 4 种)。昆仑山垭口有种子植物 22 种,分属 11 科 19 属,优势科为禾本科 (4 属 4 种)、豆科 (2 属 4 种)、十字花科 (3 属 3 种)。66 道班有种子植物 16 种,分属 7 科 10 属,较占优势的科有禾本科 (2 属 4 种)、豆科 (2 属 4 种)、莎草科 (2 属 4 种)。各样地共有的优势科为禾本科、莎草科和菊科反映出青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统科属组成上具有紧密的联系性和一致性。

研究表明,风火山高寒草甸和北麓河退化草甸物种组成上最为丰富,科属构成上最为复杂。其次是五道梁和乌丽,昆仑山垭口和 66 道班科属组成和物种数量均较小。风火山高寒草甸的建群种为高山嵩草,物种组成上以中生植物为主,主要伴生种有青藏苔草、棘豆、藏嵩草、矮嵩草、高山唐松草等。北麓河高寒草甸盖度在 30% ~ 70%,为退化草甸。北麓河退化草甸优势种为高山嵩草和矮嵩草,主要伴生

表 2 植物群落的科、属组成

Tab 2 Composition of genera and families of plant communities

序号	科名	昆仑山垭口		66道班		五道梁		乌丽		北麓河		风火山	
		属数	种数	属数	种数	属数	种数	属数	种数	属数	种数	属数	种数
1	禾本科 Gramineae	4	4	2	4	5	5	5	5	3	3	6	6
2	玄参科 Scrophulariaceae	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1
3	报春花科 Primulaceae	1	1							1	1	1	1
4	菊科 Compositae	1	2	1	1	3	4	4	4	2	2	2	2
5	豆科 Leguminosae	2	4	2	4	2	3	2	4			2	3
6	唇形科 Labiatae	1	1							2	2		
7	十字花科 Cruciferae	3	3			2	2			1	1	2	2
8	莎草科 Cyperaceae	1	1	2	4	2	3	2	4	2	4	2	6
9	伞形科 Umbelliferae	2	2	1	1	1	1						
10	石竹科 Caryophyllaceae	2	2	1	1	2	2			1	1	1	1
11	大戟科 Euphorbiaceae	1	1					1	1				
12	鸢尾科 Iridaceae			1	1					1	1		
13	蔷薇科 Rosales					1	1	1	2	1	1	1	1
14	龙胆科 Gentianaceae					1	1			1	1	1	3
15	罂粟科 Papaveraceae					1	1	1	1				
16	百合科 Liliaceae					1	1						
17	蓼科 Polygonaceae							1	1	1	3	1	2
18	紫草科 Boraginaceae							1	1	1	1		
19	毛茛科 Ranunculaceae									1	1		
20	藜科 Chenopodiaceae									1	1		
	总计	19	22	10	16	22	25	19	24	20	24	20	28

种有弱小火绒草、藏芥、棘豆、扇穗茅等。高寒草原土壤水分含量较高寒草甸低,生境干旱化严重,建群种以适应干旱环境的禾本科为主,例如五道梁高寒草原以青藏苔草和早熟禾为优势种,乌丽高寒草原以紫花针茅为建群种。而昆仑山垭口和 66 道班高寒荒漠土壤环境极度干旱,旱生植物得以充分发展,垫状植被分布比较普遍。

## 2.2 物种重要值

植物种群的重要值可以用来反映其在群落中的优势地位及优势程度(周国英等, 2006),故可作为表征优势种的指标。风火山高寒草甸重要值 >4 的物种有 7 个(表 3),其中以高山嵩草最大为 34.63,其次矮嵩草,棘豆和高山唐松草依次排在 2~4 位。北麓河样地重要值排在前 4 位的分别是高山嵩草,矮嵩草,扇穗茅和早熟禾。通过风火山和北麓河 2 样地物种重要值的比较可以看出,高山嵩草的优势地位有所下降,而耐旱的矮嵩草和禾本科植物的优势度在增加。五道梁样地中,重要值比较大的物种有青藏苔草,胀萼黄芪,弱小火绒草和早熟禾,几乎全部是中旱生植物。紫花针茅在乌丽样地中的重要

值最大为 20.56,其次是弱小火绒草和二裂委陵菜。66 道班样地中,重要值大于 4 的物种有 9 个,其中以紫花针茅的重要值最大为 29.20。昆仑山垭口重要值大于 4 的植物有 8 种,其中青藏苔草的重要值最大,其次是沙生风毛菊和扇穗茅。重要值的大小也表明了物种在群落中的地位和作用,从风火山高寒草甸到北麓河退化草甸再到五道梁高寒草原、昆仑山垭口高寒荒漠,群落中起显著作用的物种分别由莎草科嵩草属植物过渡到旱生的禾本科植物,伴随着优势植物的转变,耐旱的伴生植物的种类和优势度也发生了改变。

## 2.3 物种多样性

风火山和北麓河多样性最高,其次是乌丽高寒草原,最小的是 66 道班高寒荒漠(表 3)。均匀度是指一个群落或生境中全部种的个体数目的分配情况,它反映了种属组成的均匀程度,其值越低说明群落中优势种的作用越强。风火山样地物种均匀度高于北麓河,说明优势种的作用低于北麓河,这点从物种的重要值即可以证明。昆仑山垭口均匀度最低,说明优势种对群落结构和功能的决定性作用。

表 3 优势物种的重要值

Tab 3 Change of the importance values of dominant plants

物种	昆仑山垭口	66道班	乌丽	五道梁	北麓河	风火山
青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i>	24.52	7.54	4.77	8.44		4.06
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>					21.31	34.63
小花棘豆 <i>Oxytropis glabra</i>					5.12	6.17
藏嵩草 <i>K. tibetica</i>			4.55	7.00		4.73
矮嵩草 <i>K. humilis</i>					18.01	6.34
柔软紫菀 <i>Aster flaccidus</i>						4.01
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>						5.21
弱小火绒草 <i>Leontopodium pusillum</i>			11.89	22.19	4.05	
早熟禾 <i>Poa annua</i>	4.59			8.78	5.50	
扇穗茅 <i>Littledalea racemosa</i>	10.61			5.75	7.15	
藏芥 <i>Hedinia tibetica</i>					5.45	
阿拉善马先蒿 <i>Pedicularis alaschanica</i>	4.41					
鼠鞠风毛菊 <i>Saussurea gnaphalodes</i>	4.77					
镰形棘豆 <i>Oxytropis falcate</i>	7.91	4.70				
胀果棘豆 <i>O. stracheyana</i>	5.90		4.69			
沙生风毛菊 <i>S. arenaria</i>	10.66	12.65				
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>			7.26	5.24		
紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>		29.20	20.58			
狗娃华 <i>Heteropappus hispidus</i>			6.16			
芒洽草 <i>Koeleria litwinowii</i>			4.79			
梭罗草 <i>Kengyilia thorodiana</i>			4.53			
苔草 <i>Carex</i> spp.		8.63	4.39			
胀萼黄芪 <i>Astragalus ellipsoidens</i>				8.61		
青海鹅观草 <i>Roegneria kokonorica</i>				4.30		
蓝花棘豆 <i>Oxytropis coenuleus</i>		7.75				
青海黄芪 <i>Astragalus tanguticus</i>		7.09				
卷鞘鸢尾 <i>Iris potaninii</i>		4.77				
粗壮嵩草 <i>Kobresia robusta</i>		5.44				

表 4 各样地群落物种多样性

Tab 4 Species diversity of plant community under different sampling plots

样地	Shannon-Wiener指数	均匀度指数
昆仑山垭口	2.192 a	0.709 a
66道班	2.024 a	0.730 b
乌丽	2.570 b	0.809 c
五道梁	2.126 a	0.660 b
北麓河	2.647 bc	0.833 cd
风火山	2.706 c	0.812 d

同列不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)。

2.4 地上生物量

通过对植被生长旺盛期的地上生物量进行调查,发现各样地地上生物量具有显著的差异 (P < 0.05) (图 1)。风火山高寒草甸地上生物量最大,为 279.32 g · m<sup>-2</sup>,其次是北麓河;五道梁高寒草原和乌丽高寒草原分别为 71.72和 83.06 g · m<sup>-2</sup>;昆仑山垭口和 66道班高寒荒漠生物量相对较低。总的看来,多年冻土区高寒草地生态系统地上生物量高寒草甸最大,其次是高寒草原,高寒荒漠最小。

青藏高原多年冻土区高寒生态系统物种多样性与初级生产力具有密切的相关关系,二者之间的关系满足抛物线型的统计方程(图 2)。多样性指数受物种丰富度和均匀度的共同影响,具有低丰富度和高均匀度的群落与具有高丰富度和低均匀度的群落,都可以得到相同的多样性数值(李凯辉等, 2007)。因此,高寒草原具有高的物种丰富度的时候与低均匀度的高寒草甸具有近似的物种多样性指数,同时高寒草甸的地上生物量显著高于高寒草原,所以青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统初级生产力与物种多样性之间的相关关系满足具有二次多项式。

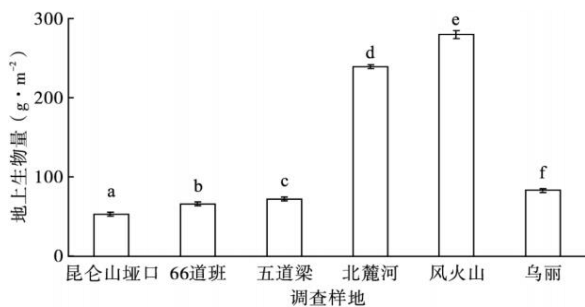


图 1 不同样地地上生物量的变化

Fig 1 Change of above-ground biomass under different sampling plots

不同字母表示数据间差异显著 (LSD法 P = 0.05)。

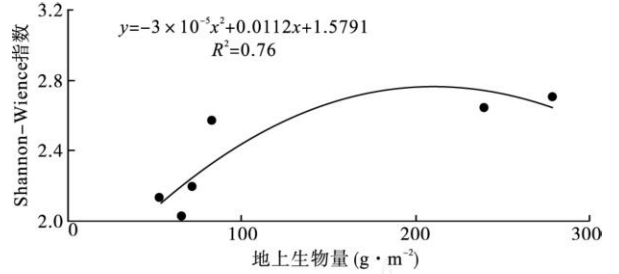


图 2 物种多样性与地上生物量的关系

Fig 2 Relationships between the species diversity and above-ground biomass

3 讨论

3.1 多年冻土退化对物种多样性的影响

寒区生态系统因多年冻土的存在对气候变化的响应变得尤为敏感,多年冻土退化改变了土壤的水热环境,显著影响了高寒草地生态系统的物种组成、多样性和演替动态(Jorgenson et al, 2001; Stum et al, 2001)。王根绪等(2001)提出了青藏高原多年冻土退化高寒草甸生态系统退化的原生演替模式,即随着多年冻土退化高寒草甸退化序列为高寒沼泽草甸、高寒草甸、草原化草甸、高寒草原、高寒荒漠。野外调查发现,所选择的样地中,风火山和北麓河高寒草甸土壤含水量大于五道梁和乌丽高寒草原,昆仑山垭口和 66道班高寒荒漠土壤含水量最低,土壤环境比较干燥。研究表明,青藏高原多年冻土退化导致最大季节融化深度增加将引起表层土壤含水量的降低(梁四海等, 2007)。因此,综合考虑多年冻土退化过程中高寒生态系统退化的演替模式,各样地表层土壤水分含量状况,基于时空替代的方式,本研究中所调查样地的冻土环境退化序列为风火山、北麓河、五道梁和乌丽、昆仑山垭口和 66道班。多年冻土退化导致表层土壤水分环境的改变,最终会引起冻土区群落物种组成的变化和群落演替的发生(Jorgenson et al, 2001; Stum et al, 2001)。对北极多年冻土的研究表明,该区植物群落的组成、分布和范围与多年冻土的退化状态和热卡斯特地貌的扩展有关(Lloyd et al, 2003)。本研究表明,各样地物种数目总体上按照高寒草甸,高寒草原,高寒荒漠呈减少的趋势。各样地的共有科莎草科和禾本科的属数、种数以高寒草甸最多,高寒荒漠最小。根据样地冻土环境退化序列推测,多年冻土退化过程中物种组成在属数和种类上的响应呈现降低趋势。从水分生态类型来看,风火山和北麓河高寒草甸表层土壤

水分含量较高,群落组成以中生植物为主,在局部低洼积水处出现青藏嵩草等湿生植物。高寒草原土壤水分含量较高寒草甸低,生境干旱化严重,旱生、中生种类如紫花针茅、弱小火绒草、二裂委陵菜、青藏苔草、早熟禾等分布广泛。66道班表层土壤粗粒化严重,持水性较差,土壤环境极为干旱,植被生长环境差,旱生植物得以充分发展如粗壮嵩草、沙生风毛菊等。昆仑山垭口尽管多年冻土年平均地温较低,活动层厚度较小,表层土壤水分含量高于66道班,但是其土壤为湖相沉积,不利于植被生长,物种种类和盖度较低,植被矮小、垫状植被分布普遍。通过以上的分析,可以推知青藏高原多年冻土退化将导致物种种数和数量减少,湿、中生植物逐渐被旱中生和旱生植物替代。

由于多年冻土退化是随着温度升高而逐渐进行的,植被对于多年冻土退化的响应应该是渐变的动态过程。对于高寒草地物种多样性对多年冻土退化的这种动态响应过程,理论上最适合的研究方法是基于样方调查的长时间的动态观测研究。然而,关于青藏高原多年冻土区高寒草地物种多样性对冻土退化响应的长期定位研究尚未报道。建议在青藏高原多年冻土区建立长期的定位观测和研究体系,在此基础上探讨多年冻土退化过程中的物种组成和多样性变化。

### 3.2 多年冻土退化对生产力的影响

多年冻土对植被生长具有积极的作用,首先,多年冻土作为广泛分布的弱透水层能有效阻止地表水和土壤水分的下渗迁移,使植被根系层维持较高水分;其次,多年冻土能够使活动层淋溶或淋滤的多种营养成分在此聚集,并维持土壤的低温条件而易于有机质积累本。因此,多年冻土退化将对植被的生长产生重要的影响,进而影响到生态系统的生产力。地上生物量是初级生产力的重要组成部分和表现形式。研究发现,生物量在高寒草甸最大,而高寒荒漠最小,结合样地冻土环境退化序列可知多年冻土退化将导致青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统初级生产力的降低。冻土退化引起的生态系统生产力降低主要原因可能是由于随着冻土退化,季节融化层增厚会出现区域地下水位及生态水位下降,水分不再被局限于地表的深度,使植物可利用水分大为减少,导致短根系植物枯死,导致生产力下降(彭轩明等,2003;张森琦等,2004)。

青藏高原多年冻土退化改变了土壤的水分环

境,降低了表层的土壤水分含量,导致物种丰富度和物种数量的降低。冻土退化过程中,湿、中生植物的优势度逐渐降低,而旱中生和旱生植物的生态优势度逐渐增大,湿、中生植物逐渐被旱中生和旱生植物替代。青藏高原多年冻土对于维持表层土壤水分含量和土壤养分的供给具有积极地作用,多年冻土退化将导致青藏高原多年冻土区高寒草地生态系统初级生产力的降低。

### 参考文献

- 陈灵芝,钱迎倩. 1997. 生物多样性科学前沿. 生态学报, 17(6): 565 - 572
- 郭正刚,王根绪,沈禹颖,等. 2004. 青藏高原北部多年冻土区草地植物多样性. 生态学报, 24(1): 149 - 155
- 金会军,李述训,王绍令,等. 2000. 气候变化对中国多年冻土和寒区环境的影响. 地理学报, 55(2): 161 - 173
- 李新,程国栋. 1999. 高海拔多年冻土对全球变化的响应模型. 中国科学(D辑), 29(2): 185 - 192
- 李凯辉,胡玉昆,阿德力·麦地,等. 2007. 天山南坡高寒草地物种多样性及地上生物量研究. 干旱区资源与环境, 21(1): 155 - 159
- 梁四海,万力,李志明,等. 2007. 黄河源区冻土对植被的影响. 冰川冻土, 29(1): 45 - 52
- 裴志勇,欧阳华,周才平. 2003. 青藏高原高寒草原碳排放及其迁移过程研究. 生态学报, 23(2): 231 - 236
- 彭轩明,吴青柏,田明中. 2003. 黄和源区地下水位下降对生态环境的影响. 冰川冻土, 25(6): 667 - 671
- 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 2005. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究. 生态学杂志, 24(5): 483 - 487
- 王根绪,程国栋,沈永平,等. 2001. 江河源区的生态环境变化及其综合保护研究. 兰州: 兰州大学出版社
- 王绍令. 1993. 近数十年来青藏公路沿线多年冻土变化. 干旱区地理, 16(1): 1 - 8
- 王一博,王根绪,程玉菲,等. 2006. 青藏高原典型寒冻土壤对高寒生态系统变化的响应. 冰川冻土, 28(5): 633 - 641
- 王永健,陶建平,彭月. 2006. 陆地植物群落物种多样性研究进展. 广西植物, 26(4): 406 - 411
- 魏春玲,武生智,李东庆,等. 1999. 花石峡气候变化与多年冻土退化的关系预测. 兰州大学学报(自然科学版), 35(1): 206 - 210
- 吴青柏,陆子建,刘永智. 2005. 青藏高原多年冻土监测及近期变化. 气候变化研究进展, 1(1): 26 - 28
- 张森琦,王永贵,赵永真,等. 2004. 黄河源区多年冻土退化及其对环境反映. 冰川冻土, 26(1): 1 - 6
- 张自和,郭正刚,吴素琴. 2002. 西部高寒地区草业面临的问题与可持续发展. 草业学报, 11(3): 29 - 33
- 周国英,陈桂琛,陈志国,等. 2006. 青藏铁路沿线高寒草甸植物群落特征对人为干扰梯度的响应——以风火山高山嵩草草甸为例. 冰川冻土, 28(2): 240 - 248

- 周兴民, 王启基, 师生波, 等. 2001. 中国嵩草草甸. 北京: 科学出版社.
- 周幼吾, 邱国庆, 郭东信, 等. 2000. 中国冻土. 北京: 科学出版社.
- Chapin III FS, Stum M, Serreze MC, *et al* 2005. Role of land-surface changes in Arctic summer warming *Science*, **310**: 657 - 660.
- Guo QF, Berry W. 1998. Species richness and biomass: Dissection of the hump-shaped relationships *Ecology*, **79**: 2555 - 2559.
- Hector A. 1998. The effects of diversity on productivity: Detecting the role of species complementarity *Oikos*, **82**: 597 - 599.
- Jorgenson MT, Racine CH, Walters JC, *et al* 2001. Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska *Climatic Change*, **48**: 551 - 579.
- Lloyd AH, Yoshikawa K, Fastie CL, *et al* 2003. Effects of permafrost degradation on woody vegetation at arctic treeline on the Seward Peninsula, Alaska *Permafrost and Periglacial Processes*, **14**: 93 - 101.
- Naeem S, Tompson LJ, Lawler SP, *et al* 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystem. *Nature*, **368**: 734 - 737.
- Ni J. 2000. A simulation of biomes on the Tibetan Plateau and their responses to global climate change *Mountain Research and Development*, **20**: 80 - 89.
- Osterkamp TE, Viereck L, Shur Y, *et al* 2000. Observations of the tundra and its impact on boreal forests in Alaska, U. S. A. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, **32**: 303 - 315.
- Stum M, Racine C, Tape K. 2001. Increasing shrub abundance in the Arctic *Nature*, **411**: 546 - 547.
- Tilman D, Reich PB, Knops J, *et al* 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment *Science*, **294**: 843 - 845.
- Wang GX, Li YS, Wu QB, *et al* 2006. Impacts of permafrost changes on alpine ecosystem in Qinghai-Tibet Plateau *Science in China Series D: Earth Sciences*, **49**: 1156 - 1169.
- Woo MK. 1992. Impacts of climatic variability and change on Canadian wetlands *Canadian Water Resources Journal*, **17**: 63 - 69.
- 
- 作者简介 杨兆平,男,1980年生,博士研究生。主要从事生态系统生态学和景观生态学研究。E-mail: yangzp04@163.com
- 责任编辑 刘丽娟
-