

文章编号: 1006 - 446X (2007) 02 - 0017 - 06

青藏高原多年冻土区高寒草甸植物群落 主要植物化学元素含量特征

马 海^{1,2} 周国英^{1,2} 李天才¹ 张淑玲^{1,2}韩有吉^{1,2} 徐文华^{1,2} 陈桂琛¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 分析了青藏高原北麓河地区 29 种高寒植物 15 个元素含量的特征。结果表明, 这些植物中元素平均含量 $> 400 \mu\text{g/g}$ 的元素有 Ca, Mg, Na, K, Fe, $10 \sim 100 \mu\text{g/g}$ 的有 Mn, Cr, Zn, Cu, $< 10 \mu\text{g/g}$ 的有 Ni, Co, As, Pb, Cd, Hg; 种间同种元素的含量变化规律不统一。相关性分析表明, Cu 与 Cd, Fe 与 Cd 和 Hg, Cr 与 Ni, Co 和 Mg 极显著正相关, Cr 和 Ca 极显著负相关; 聚类分析表明, Na, As 元素对本区植物聚类的的影响最大, 莎草科、禾本科、菊科科内植物元素含量相似。

关键词: 青藏铁路; 北麓河; 高寒草甸; 植物群落

中图分类号: Q 946.91 **文献标识码:** A

青藏铁路的修建和全线贯通, 铁路沿线的生态环境, 特别是高寒草甸群落就一直受到国内外学者的关注。但对于沿线生态环境的研究主要集中在植被调查与群落特征研究^[1-3]和冰川冻土研究^[4-6], 而对组成高寒草甸群落植物的元素含量特征尚未见报道。北麓河位于青藏高原西北部治多县境内, 属季节性河流^[7]。该区属青藏高原干旱气候区, 寒冷干旱, 区内高寒草甸和草原类型较多, 各个群落的优势种和伴生种在青藏铁路沿线具有普遍代表性。本文研究了青藏铁路北麓河地区典型高寒草甸优势种及其主要伴生种元素含量特征, 对深入认识青藏高原高寒草甸群落, 以及对本区自然资源的开发和利用, 充实和发展冰川冻土、寒区植物的发育、演化和寒区生态学有着重要的意义, 为植物地球化学研究和冰缘植物的开发利用提供重要的科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

采样地选在青藏铁路北麓河地区, 海拔变化为 4 637 ~ 4 746 m, 地理位置为北纬 34°49'6.0" ~ 34°50'21.1", 东经 92°55'12.5" ~ 92°55'57.8" (如图 1 所示)。共采集该地区优势种和主要伴生种共 29 种, 其中莎草科(Cyperaceae) 8 种, 菊科(Compositae) 5 种, 禾本科(Gramineae) 4 种, 蔷薇科(Rosaceae) 3 种, 报春花科(Primulaceae) 和玄参科(Scrophulariaceae) 各 2 种, 蓼科(Polygonaceae)、罂粟科(Papaveraceae)、景天科(Crassulaceae)、百合科(Liliaceae) 和鸢尾科(Iridaceae) 各 1 种。

收稿日期: 2006 - 09 - 25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1 - SW - 04); 中国科学院“西部之光”人才培养项目“青藏铁路高海拔地区植物繁育及其栽培技术研究”资助

通讯作者: 陈桂琛, E-mail: gcchen@nwipb.ac.cn

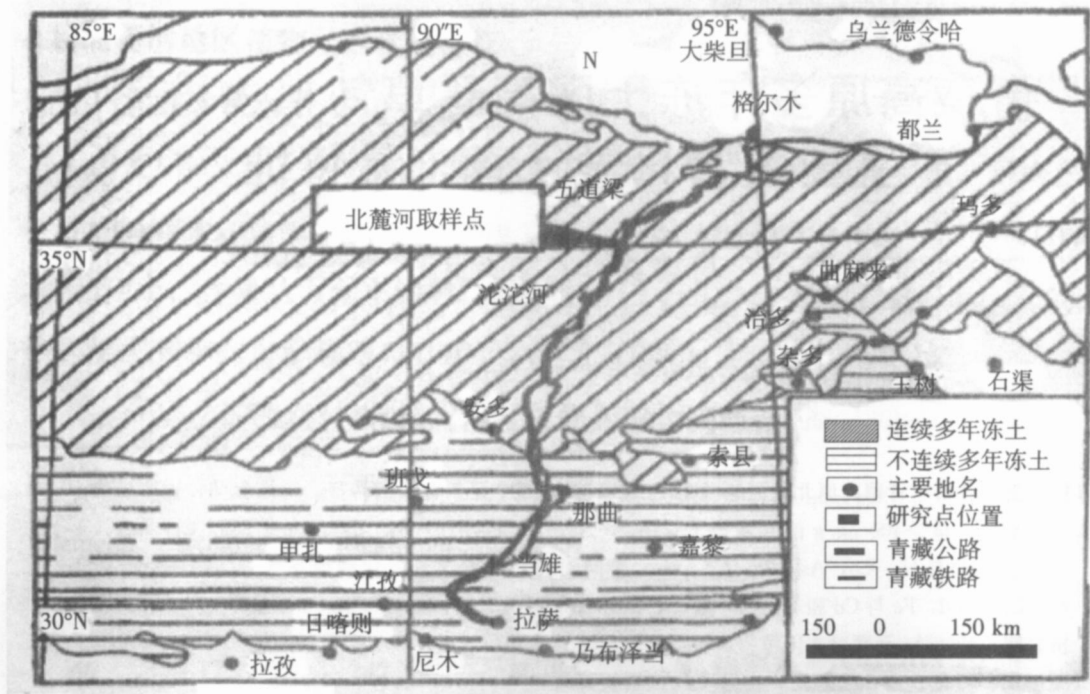


图 1 采样点位置

注：本图部分参考牛富俊. 青藏铁路北麓河试验段冻土工程地质特征及评价(2002)。

1.2 分析仪器

TAS-986 型原子吸收分光光度计 (北京普析通用公司生产), WHG-102A 型流动注射氢化物发生器 (北京皓天晖贸有限公司生产)。

1.3 样品处理

将采集的植物样品置于干燥通风处自然风干, 并分别用自来水、去离子水冲洗, 去除泥沙、粉尘等污染物, 置室内自然阴干, 于 60℃ 下烘干后用玛瑙粉碎机粉碎, 装袋, 置干燥器中, 备用。准确称取样品 5.000 g 于瓷坩锅中, 放入马弗炉内, 从低温升至 500℃, 灰化 3~4 h, 冷却后, 加入 1 mol/L HNO₃ 10 mL, 在低温电热板上加热溶解灰分, 移入 100 mL 容量瓶, 用去离子水定容, 摇匀。用 TAS-986 型原子吸收分光光度计测定 29 种植物的 Ca、Mg、Na、K、Fe、Zn、Mn、Cu、Cd、Ni、Co、Cr 元素的含量; 用 WHG-102A 型流动注射氢化物发生器测定 Hg、As、Pb 元素的含量, 均采用标准曲线法, 样品回收率为 98.3%~102.5%。

1.4 数据处理与分析

对所得的数据用数理统计方法计算, 数量分析运用植被分析软件 PCORD 中的 Cluster Analysis 完成。

2 结果与讨论

2.1 北麓河地区植物元素含量特征

2.1.1 元素含量水平 表 1 为本区 29 种植物 15 种元素的含量水平。由表 1 可见, 平均含量 >400 μg/g 的元素有 5 个, 含量从大到小的顺序为 Ca, Mg, Na, K, Fe; 10~100 μg/g 的元素有 4 个, 含量从大到小的顺序为 Mn, Cr, Zn, Cu; 平均含量 <10 μg/g 的元素有 6 个, 含量从

大到小的顺序为 Ni, Co, As, Pb, Cd, Hg。

表 1 北麓河地区植物元素含量统计

单位: $\mu\text{g/g}$

元素	最小值	最大值	平均值	SD	CV	最大值	最小值
Cu	9.544	16.378	12.489	1.776	0.142	1.716	
Zn	17.771	147.366	40.058	25.893	0.646	8.292	
Fe	95.213	2964.955	459.844	499.783	1.087	31.140	
Mn	23.448	172.072	82.430	42.557	0.516	7.338	
Cr	39.548	62.594	42.966	5.277	0.123	1.583	
Co	0.273	5.471	2.384	1.131	0.474	20.040	
Ni	4.903	17.773	9.896	3.432	0.347	3.625	
Cd	0.256	1.374	0.556	0.220	0.396	5.367	
Ca	171.954	2029.484	1721.803	378.72	0.220	11.802	
Mg	758.589	3131.226	1650.295	513.24	0.311	4.128	
Na	510.198	2264.431	1290.932	439.71	0.341	4.438	
K	460.601	1288.152	1107.686	168.484	0.152	2.797	
Pb	0.248	2.965	0.678	0.516	0.761	11.965	
Hg	0.119	0.269	0.161	0.08	0.173	2.261	
As	0.217	6.679	1.305	0.131	0.100	30.779	

2.1.2 元素含量的变异特征 种间同种元素的含量变化规律不统一。从变异系数和含量最高最低相差倍数来看, 倍数大于 10 的是 Fe、Co、Ca、Pb、As, 其中 Fe 的变异系数和相差倍数都是最大的, 分别为 1.087 和 31.140, As 的相差倍数为 30.779, 仅次于 Fe, 它们在本区植物的含量变化大于其它元素, 说明本区植物对这 5 种元素, 特别是 Fe 和 As 的累计表现的不均一。倍数介于 3~10 的是 Zn、Mn、Ni、Cd、Mg、Na。倍数小于 3 的是 Cu、Cr、K、Hg, 其中 Cr 的变异系数和相差倍数都是最小的, 分别是 0.123 和 1.583, 说明本区植物对这 4 种元素, 特别是 Cr 的累计表现的比较均一。

2.2 植物中元素含量之间的相关分析

由表 2 可见, 不同植物种类对元素吸收的状况不一样, 元素含量的差异也较大, 而且某元素吸收的多少可能会影响到另一些元素的吸收积累。因此, 元素含量之间的比值, 既可以进一步反映出植物中元素含量的特征, 亦能反映出植物中元素之间的关系以及植物对元素吸收的功能群的特征^[8]。

对北麓河地区 29 种植物 15 个元素含量进行了线性相关性分析, 其相关系数列于表 2。由表 2 可见, 植物中的 Cu 与 Cd, Fe 与 Cd 和 Hg, Cr 与 Ni, Co 与 Mg 在 0.001 水平上达到了极显著正相关; Mn 与 Ni 和 Mg, Co 与 Cd 和 Ca, Cd 与 Ca, Mg 与 Na, Na 与 As 在 0.01 水平上极显著正相关; Cu 与 Fe、Mg、Na, Mn 与 Co、Cr, Co 与 Ni、Na, Mg 与 Cd、Ca、Cu、As, Hg 与 As 在 0.05 水平上相关, 表明植物对上述配对元素的吸收是协同的。Cr 和 Ca 在 0.01 的水平上极显著负相关, 表明植物对这两种元素的吸收具有拮抗作用。

表 2 北麓河地区植物元素之间的相关关系

元 素	相关系数 (<i>r</i>)							
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cd
Cu								
Zn	0.074							
Fe	0.432 [*]	0.020						
Mn	0.096	-0.156	0.016					
Cr	-0.127	-0.125	0.054	0.449 [*]				
Co	0.259	-0.177	0.296	0.373 [*]	0.251			
Ni	0.023	0.012	0.173	0.554 ^{**}	0.839 ^{***}	0.453 ^{**}		
Cd	0.649 ^{***}	-0.120	0.707 ^{***}	0.081	-0.037	0.627 ^{**}	0.127	
Ca	0.247	-0.161	0.049	0.030	-0.477 ^{**}	0.486 ^{**}	-0.206	0.538 ^{**}
Mg	0.453 [*]	-0.260	0.228	0.585 ^{**}	0.068	0.639 ^{***}	0.333	0.458 [*]
Na	0.381 [*]	-0.061	0.331	0.230	0.094	0.414 [*]	0.251	0.320
K	0.332	-0.030	0.169	0.078	-0.198	-0.161	-0.247	0.040
Pb	0.011	-0.028	0.052	0.393	0.030	0.046	0.050	-0.127
Hg	0.359	0.100	0.801 ^{***}	0.108	0.120	0.252	0.195	0.573
As	0.215	-0.196	0.435	0.503	0.255	0.328	0.429 [*]	0.231
元 素	Ca	Mg	Na	K	Pb	Hg	As	
Mg	0.409 [*]							
Na	0.127	0.568 ^{**}						
K	0.040	0.155	0.342					
Pb	-0.110	0.211	-0.060	0.071				
Hg	-0.059	0.164	0.234	-0.175	0.070			
As	-0.012	0.425 [*]	0.547 ^{**}	0.055	0.165	0.421 [*]		

注: *在 0.05 水平上显著相关, **在 0.01 水平上极显著相关, ***在 0.001 水平上极显著相关。

2.3 分类和排序

29 种植物的聚类结果如图 2。从图 2 可见, 在 A 节处, 青藏苔草 (10) 以显著的差异被从 29 种植物中首先区分出来, 这是因为该植物的 Na、Co、As 的含量最高, 同时说明了该种植物对这 3 种元素的吸收能力很强。在 a 节处, 剩下的 28 种植物分为两组。第一组的 6 种植物主要是菊科和报春花科, 除了西伯利亚蓼 (8) 为蓼科, 该组植物以高的 Na、As 含量为显著特征, 可称为聚 Na、As 功能群, 在该组植物中, 矮火绒草 (1) 又以特别高的 Fe、Cd、Ag 含量区别于其它 5 种植物, 聚集元素的功能更为相似的植物为沙生风毛菊 (3)、钻叶风毛菊 (17), 垫状点地梅 (18)、唐古拉点地梅 (26)。第二组首先以次高 Na、As 含量为显著特征, 并且包含了 29 种植物中除青藏苔草 (10) 以外的所有禾本科和莎草科植物, 说明本区禾本科和莎草科的植物元素含量相似。其中 c 节处二裂委陵菜 (24) 以极高 Pb 含量区别于其它 21 种植物, 说明该植物对 Pb 有很强的吸收能力。在 d 节处高山矮嵩草 (7) 以极高的 Cr 含量和极低 Ca 含量区别于其它 20 种植物, 在 d 节处首先分离出来。在 e 节处, 剩下的 20 种植物被分成两组, 第一组的 9 种植物有 4 种为禾本科, 3 种为莎草科, 只有四裂红景天 (5) 为景天科, 矮生多裂委陵菜 (20) 为蔷薇科, 说明该组中禾本科和莎草科植物的元素含量相似。第二组在 f 处分成两组, 分别为 m 组和 l 组。m 组的四种植物以较高的 Mg、Cr 含量区别于 l 组的 7 种元素, 其中钉柱委陵菜 (9) 又以相当高的 Mn 含量区别于 m 组的三种植物。l 组的青海苔草 (21)、锐果鸢尾 (28)、镰叶韭 (29) 又以比较高的 Mn 含量区别于线叶嵩草 (6)、阿拉善马先蒿 (13)、灌木亚菊 (25) 三种植物。

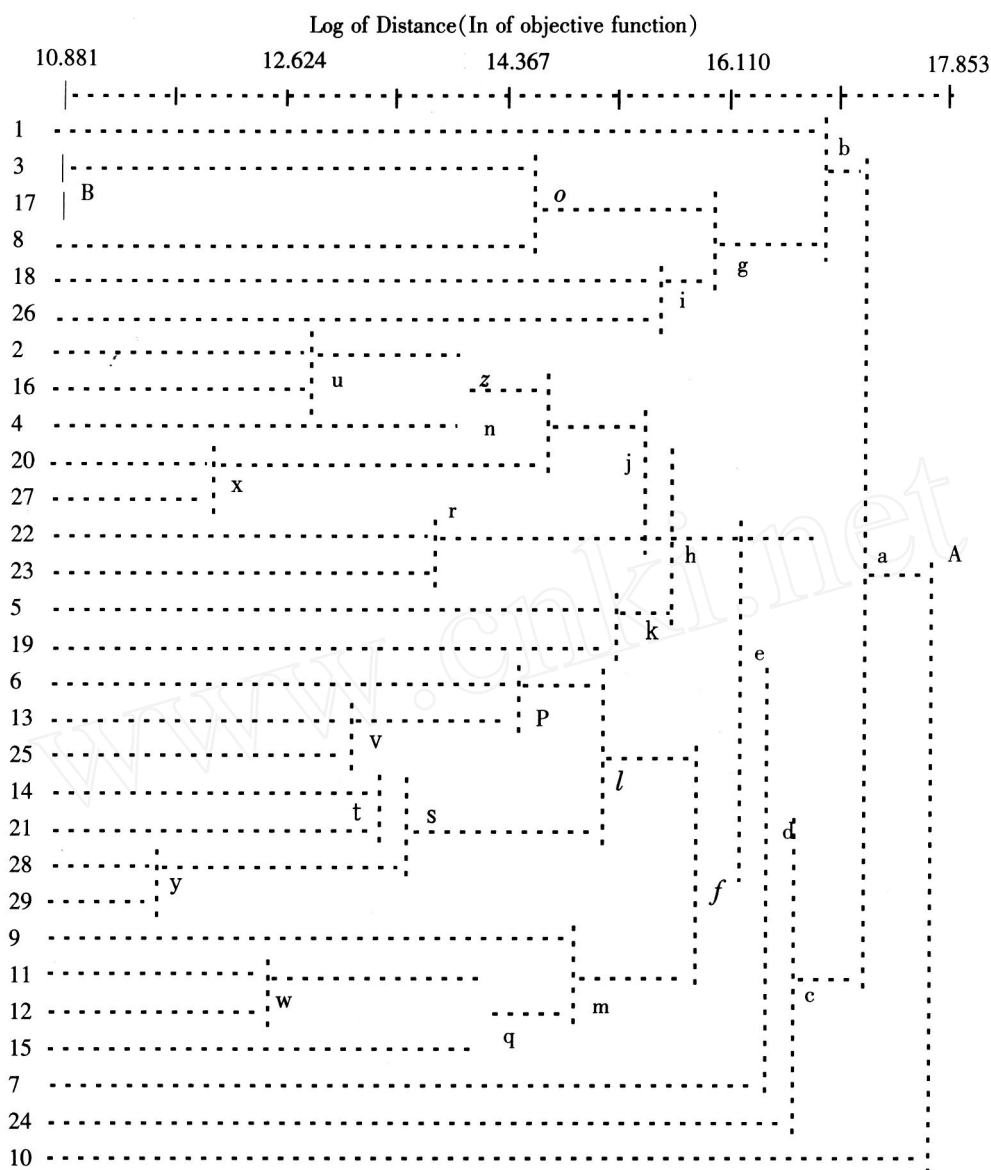


图 2 15 个元素对 29 种植物的 Cluster Analysis 聚类图

1. 矮火绒草 *Leontopodium nanum*; 2. 矮生蒿草 *Kobresia humilis*; 3. 沙生风毛菊 *Saussurea arenaria*; 4. 西藏蒿草 *Kobresia tibetica*; 5. 四裂红景天 *Rhodiola quadrifida*; 6. 线叶蒿草 *Kobresia capillifolia*; 7. 高山矮蒿草 *Kobresia pygmaea*; 8. 西伯利亚蓼 *Polygonum sibiricum*; 9. 钉柱委陵菜 *Potentilla saundersiana*; 10. 青藏苔草 *Carex moorcroftii*; 11. 矮丛风毛菊 *Saussurea eopygmaea*; 12. 叠裂紫堇 *Corydalis dasyptera*; 13. 阿拉善马先蒿 *Pedicularis alaskanica*; 14. 小钩毛苔草 *Carex microglochis*; 15. 短穗兔耳草 *Lagotis brachystachya*; 16. 扇穗茅 *Littledealea racemosa*; 17. 钻叶风毛菊 *Saussurea subulata*; 18. 垫状点地梅 *Androsace tapete*; 19. 紫花针茅 *Stipe purpurea*; 20. 矮生多裂委陵菜 *Potentilla bifurca* var. *humilior*; 21. 青海苔草 *Carex ivanovae*; 22. 早熟禾 *Poa annua*; 23. 梭罗草 *Kengyilia thorodiana*; 24. 二裂委陵菜 *Potentilla bifurea*; 25. 灌木亚菊 *Ajania fruticulosa*; 26. 唐古拉点地梅 *Androsace tangulanshanensis*; 27. 粗壮蒿草 *Kobresia robusta*; 28. 锐果鸢尾 *Iris goniocarpa*; 29. 镰叶韭 *Allium carolinianum*。

由聚类结果分析可见，Na、As 元素对本区植物聚类的影响是最大的；本区莎草科、禾本

科、菊科科内种间植物元素含量相似，其中莎草科和禾本科科间植物元素含量相似。

参考文献：

- [1] 郭正刚, 王根绪, 沈禹颖, 等. 青藏高原北部多年冻土区草地植物多样性[J]. 生态学报, 2004, 24 (1): 149 - 155.
- [2] 张自和. 青藏铁路建设沿线的草地植被恢复与重建[J]. 草地科学, 2003, 11 (3): 246 - 255.
- [3] 周国英, 陈桂琛, 陈志国, 等. 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[J]. 冰川冻土, 2006, 28 (2): 240 - 248.
- [4] 时环生. 青藏铁路巴嘎岛状多年冻土的成因[J]. 水文地质工程地质, 2002 (6): 48 - 50.
- [5] 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.
- [6] 高钦, 刘争平, 张弛. 青藏铁路格拉段多年冻土上限的确定方法[J]. 岩土工程技术, 2002 (6): 315 - 318.
- [7] 牛富俊, 张建明, 张钊. 青藏铁路北麓河试验段冻土工程地质特征及评价[J]. 冰川冻土, 2002, 24 (3): 264 - 269.
- [8] 孔令韶, 郭柯, 王其兵. 新疆南准噶尔荒漠优势植物的化学成分含量特点[J]. 冰川冻土, 2002, 24 (3): 264 - 269.

Studies on the Characteristic of Element Content of Main Plant Species in Alpine Meadow community in Permafrost Region of Qinghai Tibet Plateau

MA Hai^{1,2}, ZHOU Guoying^{1,2}, LI Tiancai¹,
ZHANG Shuling^{1,2}, HAN Youji^{1,2}, XU Wenhua^{1,2}, CHEN Guichen¹
(1. Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810001, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract : The characteristics of the content of 15 elements in 29 plant species collected from Beiluhe area of Qinghai - Tibet Plateau were investigated. The results showed that average content of Ca, Mg, Na, K and Fe was higher than 400 $\mu\text{g/g}$, that of Mn, Cr, Zn and Cu ranged between 10 and 100 $\mu\text{g/g}$, and that of Ni, Co, As, Pb, Cd and Hg was less than 10 $\mu\text{g/g}$. The variation of same element content among different species was not consistent. The analysis of relativity demonstrated that the correlation between elements of Cu and Cd, Fe and Hg, Cd, Cr and Ni, Co and Mg were positive significantly; Cr and Ca was negative significantly. The analysis of clustering demonstrated that the clustering in this region was affected largely by Na and As; the element content of plant species of those families that were Cyperaceae, Gramineae and Compositae was similar in family.

Key words : Qinghai - Tibet Plateau; Beiluhe area; alpine meadow community