

Table 1 Contents of chemical element of plants in the area of alpine meadow

植物种类 (Plant group)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)	Fe (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)	Mn (mg/g)
小檗草 <i>Kobresia</i>	10.23	26.02	108.00	0.02	0.02	0.02
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	7.11	83.63	69.10	0.03	0.03	0.03
线叶蒿草 <i>K. capillifolia</i>	0.92	10.30	37.30	0.03	0.03	0.03
藏草 <i>Carex</i>	14.63	33.16	54.44	0.03	0.03	0.03
平均	8.12	42.78	67.30	0.03	0.03	0.03
藏草 <i>Carex</i>	8.14	69.23	35.78	0.03	0.03	0.03
藏草 <i>Carex</i>	12.24	32.06	106.42	0.03	0.03	0.03
藏草 <i>Carex</i>	0.82	10.02	69.22	0.03	0.03	0.03
藏草 <i>Carex</i>	14.27	32.87	31.41	0.03	0.03	0.03

# 高寒草甸植物化学成分及其相互关系的初步分析\*

钟海民 杨福国 沈振西 陆国泉

(中国科学院西北高原生物研究所)

## 摘 要

本文对高寒草甸生态系统定位站地区 26 种植物体内钙、镁、铁、铜、锌和锰的含量及其相互关系进行了初步分析。6 种化学元素在植物体内含量具有明显差异，各成分平均值均比全球植物高。15 个元素对中，4 对有极显著的线性相关关系，2 对有显著的线性相关关系，大部分微量元素之间线性相关不显著。

关键词：高寒草甸；植物；化学元素。

化学成分是植物的组成部分，它在植物生长发育过程中起着重要的作用。有关植物化学成分的研究虽有很多报道 (林厚莹, 1957; Peterson, 1971; Fitter 和 Hay, 1981; 侯学煜, 1982; 陈佐忠等, 1984; 莫大伦和吴建学, 1988)，但与我们研究地区的生态环境不同。本文主要报道高寒草甸地区植物体内化学成分的含量及其相互关系，为探讨植物化学成分的组成特征，以及生态系统的物质循环提供必要参数。

## 材 料 与 方 法

本项工作于 1986 年 7—8 月，在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区进行。测定植物共 26 种。植物样品采集在植物盛花期或花后期进行。样品为植物地上绿色部分，每种样品约 500g，在 65°C 烘箱中烘至恒重后粉碎。采用 AAS-1 原子吸收分光光度计测定钙、镁、铁、锌、铜和锰的含量。所得数据以生物统计方法处理。

## 结 果 与 分 析

不同植物 6 种化学成分的含量不同 (表 1)。钙的含量最高为黑褐苔草 (*Carex atrofusca*) (1.46%)，其次为藏异燕麦 (*Helictotrichon tibeticum*) (1.32%)，线叶蒿草

\* 化学元素由本所公共实验室测定。

(*Kobresia capillifolia*) 和燕麦 (*Avena sativa*) 最低, 其含量均为 0.29%, 其它种类钙含量为 0.23—1.28%。镁的含量最高者为西伯利亚蓼 (*Polygonum sibiricum*) (0.39%), 其次为藏异燕麦 (0.29%), 最低者为燕麦 (0.01%), 其它种类镁含量为 0.02—0.27%。

表 1 高寒草甸地区植物化学元素的含量  
Table 1 Contents of chemical element of plants in the area of alpine meadow.

植物类群 Plant group	种 名 Species	常量元素 element(%)		微量元素 trace element(ppm)			
		Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
莎草类 Sedges	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	0.93	0.16	587.00	10.53	56.02	108.00
	藏嵩草 <i>K. tibetica</i>	0.89	0.15	339.00	7.11	83.69**	69.16
	线叶嵩草 <i>K. capillifolia</i>	0.19*	0.04	91.00	0.96*	10.30	37.59
	黑褐苔草 <i>Carex airo-fusca</i>	1.46**	0.27	1537.00	14.63	33.16	54.44
	平 均 Average	0.87	0.16	638.50	8.13	45.79	67.30
禾草类 Grasses	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.68	0.08	298.00	8.14	69.23	32.78
	双叉细柄茅 <i>Ptilagrostis dichotoma</i>	0.88	0.06	380.00	12.24	35.06	106.05
	致细柄茅 <i>P. concinna</i>	0.88	0.11	422.00	9.85	40.02	69.22
	藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	1.32	0.29	483.00	14.97**	22.87	31.41
	落草 <i>Koeleria cristata</i>	0.91	0.12	1041.00	9.50	43.29	114.00**
	青稞 <i>Hordeum sativum</i> var. <i>kexaslichon</i>	0.23	0.03	91.00	3.70	20.97	40.69
	燕麦 <i>Avena sativa</i>	0.19*	0.01*	153.00	2.33	8.01*	30.37*
平 均 Average	0.73	0.10	409.70	8.66	34.20	60.62	
杂类草 Forbes	矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	0.74	0.11	545.00	13.49	38.49	56.19
	高原鸢尾 <i>Iris potaninii</i>	0.89	0.15	318.00	11.21	39.45	32.78
	西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	0.69	0.39**	2734.00**	7.80	40.78	96.73
	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	0.36	0.03	422.00	4.72	11.83	43.10
	兰花棘豆 <i>Oxytropis caerulea</i>	0.38	0.03	132.00	4.04	69.23	45.1f
	乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.33	0.06	29.80*	7.80	28.97	38.28
	露蕊乌头 <i>Aconitum gymnanandrum</i>	0.38	0.02	298.00	2.67	20.97	40.69
	柔软紫菀 <i>Aster flaccidus</i>	1.28	0.15	504.00	6.09	39.45	38.28
	线叶龙胆 <i>Gentiana farreri</i>	0.40	0.06	256.00	7.45	36.59	31.41
	大通风毛菊 <i>Saussurea katochaete</i>	0.97	0.06	360.00	7.11	30.49	33.81
	星状风毛菊 <i>S. stalla</i>	0.40	0.10	649.00	9.56	28.59	48.60
平 均 Average	0.86	0.12	592.40	7.48	39.99	45.91	
灌丛类 Shrubs	西藏沙棘 <i>Hippophae thibetana</i>	0.79	0.13	504.00	8.48	38.11	40.69
	金露梅 <i>Potentill fruticosa</i>	0.27	0.02	236.00	3.70	14.68	45.16
	高山绣线菊 <i>Spiraea alpina</i>	0.62	0.15	442.00	9.50	17.54	90.54
	山生柳 <i>Salix oritrepha</i>	0.98	0.19	628.00	6.43	31.30	43.10
	平 均 Average	0.66	0.12	452.50	7.03	26.16	54.87

\* 为含量最低的植物 the lowest element content in 26 plants species.

\*\* 为含量最高的植物 the highest element content in 26 plants species.

铁含量最高亦为西伯利亚蓼 (2734.00ppm), 次为黑褐苔草 (1537.00ppm), 乳白香青 (*Anaphalis lactea*) 最低 (29.80ppm), 其它种类铁含量为 91.00—649.00ppm。铜含量以藏异燕麦为最高 (14.97ppm), 次为黑褐苔草 (14.63ppm), 线叶嵩草最低 (0.96ppm), 其它种类含铁量为 2.33—13.94ppm。锌含量以藏嵩草 (*K. tibetica*) 最高 (83.69ppm), 其次为兰花棘豆 (*Oxytropis caerulea*) 和垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) (69.29ppm),

燕麦最低 (8.01ppm)。锰的含量以落草 (*Koeleris cristata*) 最高 (114.00ppm), 次为小嵩草 (*K. pygmaea*) (108.00ppm), 燕麦最低 (30.37ppm)。黑褐苔草和藏异燕麦除锌和锰的含量在中等水平外, 其它 4 种化学元素含量均很高; 而线叶嵩草和燕麦的 6 种化学元素含量最低。这些化学元素最高和最低含量分别集中在 2 或 3 种植物 (如藏异燕麦、黑褐苔草和西伯利亚蓼元素含量较高, 而燕麦和线叶嵩草元素含量低); 另外, 燕麦和青稞为人工种植的种类, 且为混播, 它们的土壤条件和人工播种措施相同, 但 6 种化学元素的含量则有明显差异, 此与植物种类及土壤中化学元素含量有关。

将海北高寒草甸地区植物化学元素含量的平均值与海南岛 86 种植物 (莫大伦和吴建学, 1988) 及全球植物平均值 (维尔纳茨基, 1962) 进行比较 (表 2)。高寒地区植物体内 6 种化学元素含量的平均值均高于全球植物相应化学元素的平均值, 此与高寒地区气温较低, 植物代谢缓慢, 昼夜温差大, 植物白天积累多, 夜间消耗少, 营养物质含量高有关。与海南岛植物比较, 高寒地区植物钙、镁、铁的含量均低, 而锌的平均含量则高, 铜的含量略高。高寒地区植物钙、镁、铁的平均含量低于海南岛植物, 可能与高寒地区气温低, 土壤微生物活动能力低, 分解出可被植物直接吸收的速度养分少有关。

表 2 不同地区植物化学元素的比较

Table 2 Comparison of chemical element contents of plants in different regions.

地 区 Region	常量元素 element(%)		微量元素 trace element(ppm)			
	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
高寒草甸地区 26 种植物平均值 Average of 26 plants species in the area of alpine meadow	0.78	0.17	532.28	7.80	36.54	57.18
海南岛 86 种植物平均值 Average of 86 plants species in Hainan Island	0.87	0.40	770.00	7.40	28.73	—
全球植物平均值 Average of plants species in the world	0.50	0.04	100.00	2.00	5.00	—

高寒地区, 小嵩草、黑褐苔草、藏异燕麦、矮火绒草等 21 种植物化学元素含量的序列为,  $Ca > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu$ , 此种序列与大多数高等植物体内化学元素的浓度序列相似。与全球和海南岛植物元素含量的序列也较为接近。而藏嵩草、垂穗披碱草、兰花棘豆和线叶龙胆 (*Gentiana farreri*) 6 种的元素含量序列则为,  $Ca > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$ 。另外, 乳白香青的 6 种元素含量序列为,  $Ca > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu$ 。

植物体内化学元素间的相互关系包括拮抗作用 (antagonism action) 和协合作用 (synergism action)。拮抗作用为某一元素的存在能抑制其它元素的吸收和运转; 而协合作用则为某一元素的存在能够促进其它元素的吸收和利用。若元素之间存在负相关关系为拮抗作用, 若元素之间存在正相关为协合作用。

高寒地区 26 种植物体内 6 种化学元素含量相关关系不同 (表 3)。15 个元素对之间均为正相关, 其中钙和锌、钙和锰、镁和锌、镁和锰、铁和铜、铁和锌、铜和锌、铜和锰、锌和锰相关不显著 ( $P > 0.05$ ), 而仅有钙和铁、铁和锰达到显著 ( $P < 0.05$ ), 钙与镁、钙与铜、镁与铁、镁与铜有极显著的正相关 ( $P < 0.01$ )。

表3 26种植物6种化学元素间的相关分析

Table 3 Correlation analysis of 6 chemical elements in 26 plants.

	相关系数 Correlation coefficient						回归方程 Regression equation
	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	
Ca		0.725	0.388	0.717	0.340	0.235	$Y_{Ca} = 1496.07 + 689.04X_{Cu}$
Mg	**		0.773	0.570	0.210	0.273	$Y_{Mg} = 511.93 + 1.32X_{Fe}$
Fe	*	**		0.336	0.178	0.477	$Y_{Mg} = 79.35 + 142.12X_{Cu}$
Cu	**	**	0		0.245	0.343	$Y_{Mg} = -101.87 + 0.19X_{Ca}$
Zn	0	0	0	0		0.249	$Y_{Ca} = 5600.28 + 2.53X_{Fe}$
Mn	0	0	*	0	0		$Y_{Fe} = -22.47 + 9.93X_{Mn}$

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

6种化学元素中仅钙和镁属常量元素,其它为微量元素。两种常量元素之间存在极显著的正相关 ( $P < 0.01$ ) (图1)。

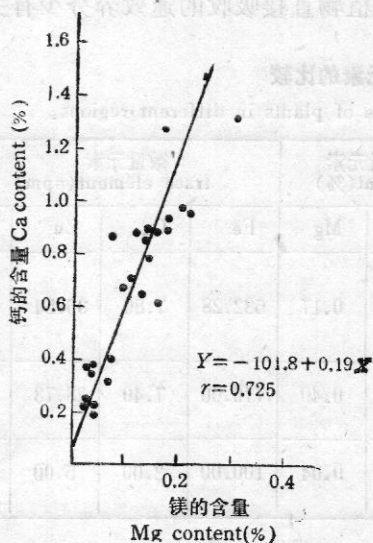


图1 26种植物镁和钙的线性相关关系  
Fig. 1 Linear correlation between Mg and Ca in 26 plant species of alpine meadow.

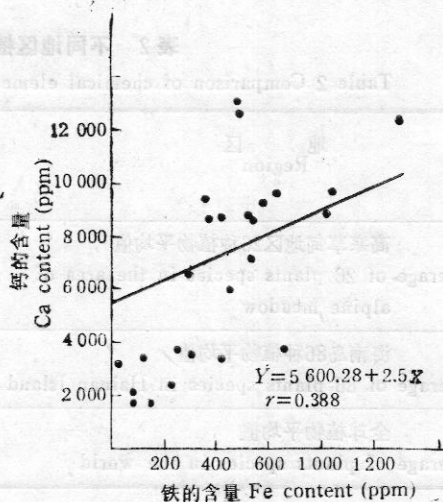


图2 26种植物铁和钙的线性相关关系  
Fig. 2 Linear correlation between Fe and Ca in 26 plant species of alpine meadow.

在常量元素和微量元素中,钙和铁之间有显著的正相关 ( $P < 0.05$ ) (图2);钙和铜、镁和铁、铜和镁之间有极显著的正相关 ( $P < 0.01$ ) (图3、4、5) 钙与锌、钙与锰、镁与锌、镁与锰之间的相关均不显著 ( $P > 0.05$ )。

在4种微量元素中,仅铁和锰之间达到显著的正相关 ( $P < 0.05$ ) (图6),其它元素之间的相关均不显著。

上述结果说明,高寒草甸地区植物体内钙、镁、铁、铜、锌和锰的平均含量不仅与全球植物和海南岛86种植物的平均值有明显的差异,且不同种类6种化学元素的含量变化较大。就同一元素而言,不同植物的含量相差甚大,可见不同植物对化学元素的选择和吸收不同。

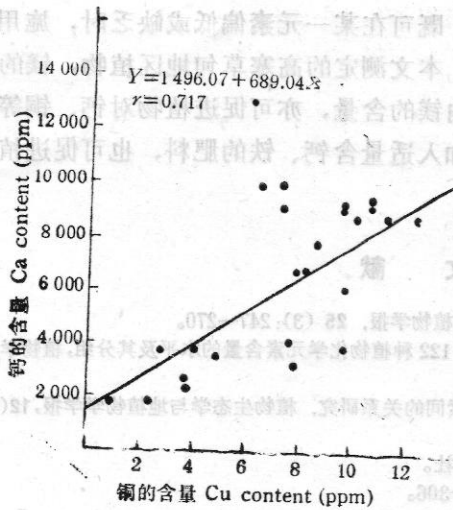


图3 26种植物铜和钙的线性相关关系  
Fig.3 Linear correlation between Cu and Ca in 26 plant species of alpine meadow.

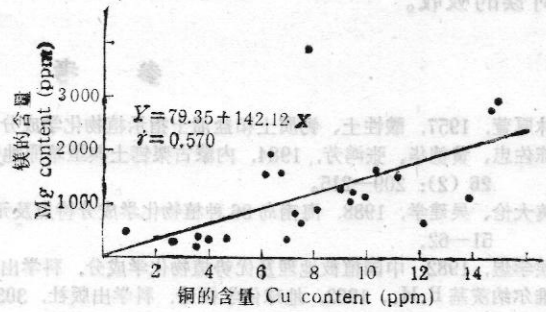


图4 26种植物铜和镁的线性相关关系  
Fig. 4 Linear correlation between Cu and Mg in 26 plant species of alpine meadow.

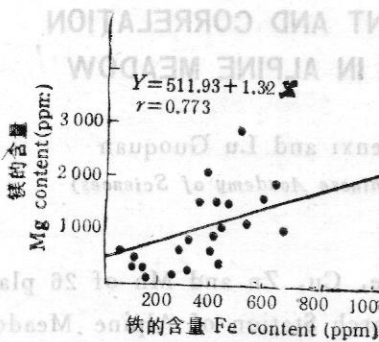


图5 26种植物铁和镁的线性相关关系  
Fig. 5 Linear correlation between Fe and Mg in 26 plant species of alpine meadow.

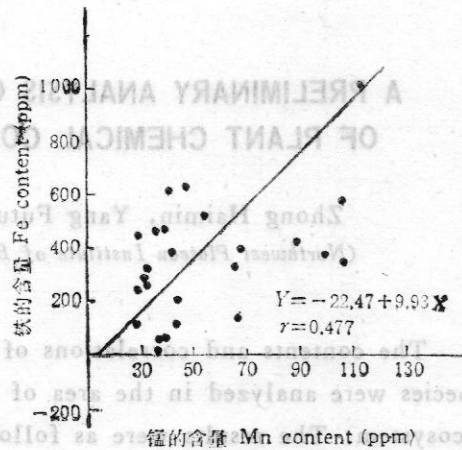


图6 26种植物锰和铁的线性相关关系  
Fig. 6 Linear correlation between Mn and Fe in 26 plant species of alpine meadow.

相同土壤条件不同植物的化学成分亦有明显差异。混播的燕麦和青稞，土壤条件和人工栽培措施完全相同，但青稞体内6种化学元素除铁外均高于燕麦，燕麦含钙量仅为0.19%，但在同一条件下黑褐苔草钙含量高达1.46%，说明土壤钙并不缺乏。由此可见，植物体内化学成分除与土壤环境中这些化学元素的含量有关外，更与植物体本身的吸收水平有关。

高寒草甸地区的植物在吸收钙、镁、铁、铜、锌和锰的过程中，这些元素的拮抗作用不明显（元素间不存在负相关关系）；虽然元素间都有协合作用（即正相关关系），但多数元素间这种作用不明显（相关性检验不显著），这些元素为微量元素，可能与它们的含量极微有关。元素间协合作用主要存在于常量元素之间，以及常量与微量元素之间。在微量元素中仅铁和锰的协合作用较为明显。

阐明和掌握植物化学元素的含量及其关系,既可在某一元素偏低或缺乏时,施用有关肥料加以补充,以促进植物对某元素的吸收。本文测定的高寒草甸地区植物,镁的含量均偏低,若施用含镁肥料,则可提高植物体内镁的含量,亦可促进植物对钙、铜等元素的吸收。另外,若在施用含镁肥料的同时,加入适量含钙、铁的肥料,也可促进植物对镁的吸收。

### 参 考 文 献

- 林厚萱, 1957, 酸性土、钙质土和盐渍土指示植物化学成分, 植物学报, 25 (3): 247—270。  
陈佐忠、黄德华、张鸿芳, 1984, 内蒙古栗钙土典型草原地带 122 种植物化学元素含量的水平及其分组, 植物学报, 26 (2): 209—215。  
莫大伦、吴建学, 1988, 海南岛 86 种植物化学成分特点及元素间的关系研究, 植物生态学与地植物学学报, 12(1): 51—62。  
侯学煜, 1982, 中国植被地理及优势植物化学成分, 科学出版社。  
维尔纳茨基 B.И., 1962, 地球化学概论, 科学出版社, 303—306。  
Fitter, A. H. and R. K. M. Hay, 1981, Environmental physiology of plants, Academic Press, 200—231, 355。  
Peterson, P. J., 1971, Unusual accumulations of elements by plants and animals, *Science Progress*, 59: 505—526。

## A PRELIMINARY ANALYSIS OF CONTENT AND CORRELATION OF PLANT CHEMICAL COMPOSITION IN ALPINE MEADOW

Zhong Haimin, Yang Futun, Shen Zhenxi and Lu Guoquan  
(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

The contents and correlations of Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn of 26 plant species were analyzed in the area of Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem. The results were as follows:

The contents of 6 chemical element in 26 plant species differ greatly. The highest content among chemical elements is 3—90 times than the lowest content.

The chemical element contents of 26 plant species in the area of Haibei Research Station are all higher than the average of plant species in the world.

These correlations between Ca and Mg, Ca and Cu, Mg and Fe, Mg and Cu are highly significant. The correlation between Ca and Fe, Fe and Mn are significant. These correlations between the nine element pairs are insignificant.

**Key word:** Alpine meadow; Plant; Chemical element.