

漠境生物土壤地球化学特点*

龚子同 顾国安 周瑞荣

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

通过聚类分析,植物的化学组分中,常量元素分为四类,微量元素分为三类。根据植物最为富集的元素,按常量元素,有四种类型;按微量元素,有六种类型。

植物的化学组成与土壤的化学成分并无直接相关,但与土壤类型特别是土壤地球化学类型有联系。漠土、盐土上的植物富 Na_2O ; 棕钙土、栗钙土上的植物富 SiO_2 。至于微量元素,棕钙土、栗钙土和其它山地土壤的植物, $\text{Mn} + \text{V} + \text{Co} + \text{Ni} + \text{Ba} + \text{Cu}/\text{Sr} + \text{B} + \text{Zn} + \text{Li} > 1$; 平原土壤上的植物,则 < 1 。盐渍土类型上的植物, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}/\text{CaO} + \text{MgO}$ 平均比值 > 1 , 碳酸盐土、硅铝土类上的植物,上述平均比值均 < 1 , 其中以碳酸盐土类型上的植物比值最小。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值以硅铝土类型的植物为最大。

漠土、盐土上植物被迫吸收更多的 Na , 而对营养元素的吸收似有抑制。其它土壤类型的植物组成表现出多样性,显示植物的生物选择吸收作用。按吸收系数大小,富 Na 类植物属于聚 Na 富 P 型;富 Si 和富 Ca 类植物属聚 K 富 P 型。富 K 类植物属于聚 K 富 P 型。

根据这些特点,对因地制宜利用当地植物资源,改良土壤和增进人类健康有重要意义。

关键词 漠土,植物,聚类分析,吸收系数,土壤地球化学

一、生 境 概 况

以新疆维吾尔自治区为代表的漠境地区,深处大陆腹地,是我国西北边境省份之一。其北、西、南分别有阿尔泰山、帕米尔高原和青藏高原为屏障,东面虽无高山阻隔,但东南季风带来的湿润气流终因路途遥远难以入疆。天山山脉横贯中部,是南、北疆的分界。南疆有塔克拉玛干沙漠,北疆有古尔班通古特沙漠。特殊的地理环境致使本区气候十分干旱,荒漠面积大(本区的荒漠面积占全疆总面积 42%)^[1],是我国的主要荒漠地区。年降雨量南疆仅数毫米至数十毫米,个别地区终年无雨,北疆稍高,但也只有 100 余毫米,蒸发量却很高,一般都在数千毫米,为年雨量的数十倍。山区雨量可增加到 400—500mm 以上。由平原到山区,荒漠化程度减弱,以致消失。山区和平原,自然条件不同,对气候、土壤和植物等方面均有着深刻的影响。

二、样 品 来 源

所用植物样品,均系以往考察中采集,共计 130 余个,分属于藜科、禾本科、豆科、怪柳

* 本文得到国家自然科学基金和中国科学院土壤圈物质循环开放实验室的资助。

科、菊科、杨柳科、麻黄科、莎草科、夹竹桃科、茄科、松科、玄参科、报春花科、杉科、柏科等十五科,其中以藜科为最多,其次是禾本科、豆科……。

采样点散布在南疆、北疆和东疆,山地区植物则主要采自新疆天山山脉南北坡。

样品通过常规处理,测常量元素:灰分、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 ;微量元素: Mn 、 Ni 、 Co 、 V 、 Ba 、 Sr 、 B 、 Li 、 Zn 、 Pb 。植物的化学组分平均含量列于表 1、表 2。

三、植物的化学特点

(一) 常量元素^[2,3]

1. 灰分含量 灰分含量与 Na_2O 和 TiO_2 呈正相关,与其它元素呈负相关,所以,含 Na_2O 高的植物,灰分含量亦高。植物与植物之间,灰分含量十分悬殊,变幅在 <1—40% 以上。一般情况,盐生植物灰分含量要高。猪毛菜、盐穗木、盐爪爪、对叶盐蓬、盐琐琐、还有小蓬、野燕麦、点地梅、蚤缀等的灰分含量均 >20%,平均含量 26.05%,达到高量级标准;角果藜、假木贼、优若藜、禾草、胡茅、芦苇、罗布麻、石梭梭、盐节木、碱蓬等灰分含量平均 15.36%,变幅为 10—20%,属中量级标准;蒿类植物、苔草、羊茅、针茅、羊胡子草、早熟禾等灰分含量最低,一般都 <10%,只够低量级的标准。乔木类植物,如落叶松、圆柏、云杉,灰分含量在 10% 以下,而平原林植物如胡杨、灰杨、杨的灰分含量在 10—20%。总的来看,似乎有平原、盐化土的植物含灰分较高,山地植物灰分较低的趋势。

2. 元素聚类 通过聚类分析,得出各元素的相关系数和枝状图(图 1)。

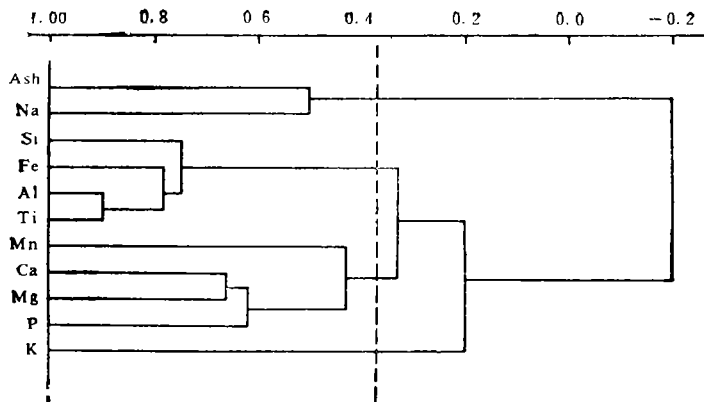


图 1 大量元素聚类分析图

Fig. 1 The cluster analysis figure of macroelements

从枝状图上可以看到,十种氧化物共分四类: I 类为 Na_2O , 属于此类的植物主要是荒漠植被中的灌木、半灌木及盐柴类植物; II 类包括 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 , 这类植物多数是荒漠草原和草原植被中的小半灌木及禾草类植物,还有一些乔木; III 类包括 CaO 、 MgO 、 MnO 、 P_2O_5 , 这类植物有乔木,也有灌木、半灌木,平原山地均有分布; IV 类只有 K_2O 单独存在,规律不明显。

3. 分组特点 各植物间化学组分含量不一,即使同一植物,其含量差异也很大,我们根据各种植物的元素含量序列进行统计,并以最高含量的元素划分类,再以此作为类别名称,总共分为四类:富 Na 类、富 Si 类、富 Ca 类和富 K 类。

(1) 富 Na 类: 此类植物主要有猪毛菜、假木贼、琵琶柴、盐穗木、盐节木、盐爪爪、盐琐琐等荒漠植物和盐柴类植物,所处地形是洪积扇、洪积冲积平原等平原地区。这些植物的灰分元素中以 Na_2O 含量最高,平均 23%,占总量的 54.5%,位于序列之首, K_2O 的含量最低,只占 7.8%, SiO_2 、 CaO 分别占 15.6%、22.1%。各氧化物的含量序列: $\text{Na}_2\text{O} > \text{SiO}_2 > \text{CaO} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{TiO}_2$ 。

(2) 富 Si 类: 富 Si 类植物,以蒿属、禾木科草类为主,属荒漠草原和草原植被类型,与富 Na 类地区比较,荒漠化程度稍弱。

灰分元素中以 SiO_2 含量最高, $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ 的平均含量之和为 31.5,占总量的 63.5%, Na_2O 含量最少,仅占总量的 1.3%,III 类和 IV 类则介于两者之间,分别占 10.2% 和 6.56%。各元素含量序列: $\text{SiO}_2 > \text{CaO} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} > \text{MnO} > \text{TiO}_2$ 。

(3) 富 Ca 类: 所属植物如灰杨、云杉、圆柏、沙拐枣、罗布麻、甘草等。这些植物的灰分组成中,以 CaO 占绝对优势,平均含量为 15.2%,III 类元素含量的总和占总量的 64.5%, K_2O 占 22%,II 类占 12.1%, Na_2O 最低,只占 6.24%。各元素含量序列: $\text{CaO} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{TiO}_2$ 。

(4) 富 K 类: 属于这一类的植物较少,现有资料中只有白刺、落叶松和防风,但作为一种类型也是客观存在的。它们的灰分组成中以 K_2O 含量最高,平均含量达到 39.5,占总量的 55.8%,II 类元素含量很低,一般都 $< 5\%$,各元素含量的序列: $\text{K}_2\text{O} > \text{SiO}_2 > \text{CaO} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{TiO}_2$ 。总的来说,此类植物在标本总数中所占比例不大。

(二) 微量元素^[6,7]

1. 元素聚类 从聚类分析的枝状图上可以看到,十一个微量元素被分为三大类: I

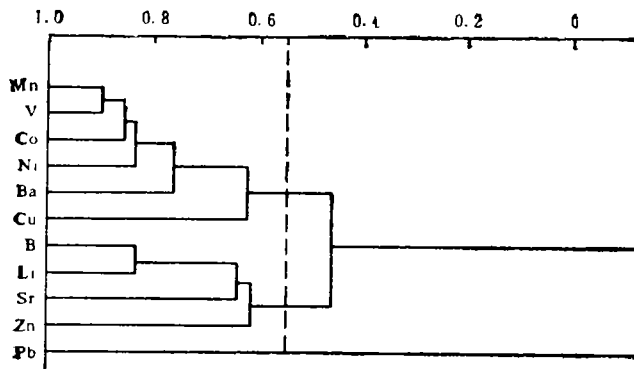


图 2 微量元素聚类分析图

Fig.2 The cluster analysis figure of microelement

表 1 中国荒漠主要植物大量元素组成 (单位: mg/kg)
Table 1 The macroelement content of main vegetation in desert region of China

名称	Name of vegetation	灰分 Ash	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	n
猪毛菜	<i>Salsola collina</i> pall	326.0	50.4	3.39	3.84	38.7	33.4	0.23	0.33	48.3	304.0	9.54	7
假木贼	<i>Anabasis</i>	206.2	47.6	3.79	4.98	60.26	35.24	0.264	0.33	37.42	173.8	4.86	5
琵琶柴	<i>Reaumuria soongarica</i>	144.0	60.7	4.02	4.51	28.7	48.9	0.26	0.187	20.6	107.0	7.71	3
盐穗木	<i>Halostachys caspica</i>	331.4	12.7	1.47	2.28	7.32	8.16	0.15	0.11	22.9	142.0	3.68	2
红柳	<i>Tamarix ramosissima</i>	187.1	34.2	3.36	3.99	64.5	44.4	0.238	0.175	26.0	33.95	10.78	3
盐爪爪	<i>Kalidium foliatum</i>	343.9	19.1	1.36	2.20	8.93	12.3	0.15	0.08	13.39	150.2	2.03	1
对叶盐蓬	<i>Girgensohnia oppositifolia</i>	233.9	30.8	2.86	3.60	14.2	13.3	0.26	0.12	15.30	60.9	3.20	1
盐节木	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	187.4	51.4	3.99	6.61	21.5	6.17	0.54	0.16	8.33	55.16	1.29	1
伊林藜	<i>Ljisia regelii</i>	224.8	20.9	1.75	2.52	14.76	8.49	0.21	0.15	25.4	74.9	1.64	1
盐珊瑚	<i>Haloxylon</i> sp.	237.1	13.2	1.41	2.21	31.8	20.6	0.18	0.09	19.6	73.9	1.57	1
梭梭	<i>Haloxylon ammodendron</i>	333.0	6.5	0.32	0.73	20.8	16.7	0.04	0.11	22.5	149.1	2.49	1
石梭梭	<i>Haloxylon</i> sp.	149.0	37.3	3.35	1.34	106.0	77.6	0.20	0.74	62.9	281.0	12.0	1
碱蓬	<i>Suaeda glauca</i>	138.2	8.9	1.02	1.37	8.99	19.9	0.13	0.04	19.5	33.5	26.3	1
小蓬	<i>Nanophyton erinaceum</i>	233.0	122.4	8.60	11.5	45.8	9.19	1.02	0.30	10.6	28.6	1.77	2
茵陈蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	99.1	272.0	19.2	22.1	65.9	20.6	1.29	2.91	87.0	4.96	25.6	2
灰(绿)蒿	<i>Artemisia glauca</i>	84.4	42.1	3.21	3.29	9.42	3.09	0.34	0.10	8.6	Tr	1.93	1
蒿	<i>Artemisia</i>	107.4	195.4	15.6	21.6	53.6	28.8	1.10	0.53	44.8	18.7	19.3	3
角果藜	<i>Ceratocarpus arenarius</i>	126.5	45.07	3.79	4.97	24.2	5.29	0.34	0.18	14.23	2.62	3.167	3
优若藜	<i>Enrota ceratoides</i>	111.3	60.9	3.22	2.92	16.3	3.15	0.36	0.15	6.3	0.26	0.51	1
苔草	<i>Carex acuta</i>	75.5	47.6	40.3	44.7	132.0	40.7	1.34	4.08	36.3	4.0	40.4	2
禾草	Gramineae	199.9	408.0	21.4	23.9	31.3	11.12	1.48	0.66	24.9	2.83	6.77	2
芦苇	<i>Phragmites communis</i>	152.6	459.0	5.47	3.31	42.5	20.0	0.29	0.61	56.4	19.1	9.23	5
胡杨	<i>Populus diversifolia</i>	141.3	36.8	2.55	3.88	22.2	4.93	0.25	0.08	23.9	17.0	1.18	2

表 1 续

名称	Name of vegetation	灰分 Ash	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	n
羊茅	<i>Festuca ovina</i>	89.9	52.6	1.89	2.07	6.84	1.63	0.14	0.10	5.7	2.08	0.61	1
针茅	<i>Stipa capillata</i>	80.6	60.9	27.3	19.9	102.0	36.0	0.74	1.24	158.0	2.48	37.2	1
狐茅	<i>Festuca ovina</i>	128.3	109.4	1.53	1.28	7.21	2.03	0.08	0.11	5.6	Tr	1.24	1
早熟禾	<i>Poa annua</i>	62.6	395.0	12.8	11.2	79.9	36.7	0.80	1.00	300.0	6.39	51.1	1
羊胡子草	<i>Eriophorum L.</i>	77.1	592.0	41.5	49.3	94.7	36.3	2.2	1.56	96.0	11.7	31.1	1
野燕麦	<i>Avena fatua</i>	293.8	184.1	15.2	22.0	14.1	7.47	1.42	0.35	21.1	2.69	1.16	1
点地梅	<i>Androsace umbellata</i>	263.8	592.9	45.5	68.6	128.0	29.2	2.05	1.55	32.2	3.41	5.3	1
蚤缀	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	297.7	671.0	4.7	61.5	106.0	27.5	1.75	1.75	16.5	3.02	4.7	1
黑刺	<i>Lycium ruthenicum</i>	137.4	30.74	2.36	3.67	16.73	8.18	0.25	0.09	23.7	4.90	1.77	1
西伯利亚落叶松	<i>Larix sibirica</i>	50.9	294.0	21.6	23.6	151.0	66.8	0.79	1.18	220.0	5.89	96.3	1
荆三棱	<i>Scirpus yagara</i>	88.7	223.0	6.76	Tr	143.0	45.1	Tr	3.95	184.0	131.9	45.1	1
甘草	<i>Glycyrrhiza uralensis</i>	73.3	9.62	0.95	1.85	19.7	6.63	0.12	0.08	12.2	7.23	1.24	2
麻黄	<i>Ephedra</i>	92.74	11.14	3.91	4.04	235.6	24.55	0.22	0.22	36.66	8.59	7.24	2
白梭梭	<i>Haloxylon persicum</i>	101.1	11.6	0.99	Tr	205.0	150.0	Tr	0.50	172.0	93.4	18.9	1
罗布麻	<i>Apocynum venetum</i>	190.6	16.2	1.18	1.26	45.0	13.8	0.07	0.05	22.2	7.67	1.34	1
沙拐枣	<i>Calligonum mongolium</i>	72.9	30.7	1.92	0.82	187.0	53.5	0.11	0.49	75.4	58.5	12.7	2
骆驼刺	<i>Alhagi pseudalhagi</i>	80.5	56.48	2.99	1.76	183.6	69.1	0.16	1.11	68.3	33.5	6.91	2
杨	<i>Populus</i>	113.1	23.0	0.66	1.48	39.8	4.6	0.06	0.08	26.9	0.80	2.83	1
新疆圆柏	<i>Sabina pseudo-sabina</i>	56.5	71.9	23.0	19.5	389.0	49.6	1.06	1.06	168.0	8.85	69.0	1
灰杨	<i>Populus pruinosa</i>	140.3	11.1	1.25	2.49	38.46	13.9	0.11	0.10	9.34	16.65	1.85	1
云杉	<i>Picea obovata</i>	52.9	40.2	5.90	11.6	301.0	40.3	0.09	5.58	133.0	8.70	48.0	3
老鹳草	<i>Geranium</i>	88.6	70.4	5.64	Tr	274.0	62.0	0.56	0.79	267.0	6.77	84.6	1
白刺	<i>Nitraria sibirica</i>	83.4	50.7	5.81	2.70	103.2	24.3	0.15	2.69	832.5	114.7	13.1	2
马先蒿	<i>Pedicularis</i>	8.05	23.2	7.45	2.48	18.5	6.96	0.100	0.261	24.2	1.74	7.45	1
防风	<i>Saposhnikovia divaricata</i>	129.0	70.4	5.43	Tr	194.0	59.7	0.31	0.54	316.0	4.65	48.8	1

表 2 中国漠境主要植物的微量元素组成 (单位: mg/kg)
Table 2 The microelement content of main vegetation desert region of China

名称	Name of vegetation	Cu	Ni	Mn	Sr	V	B	Co	Zn	Ba	Li	Pb	n
假木贼	<i>Anabasis</i>	4.40	4.94	48.41	66.94	0.966	27.53	0.476	8.46	5.476	0.478	7.352	5
猪毛菜	<i>Salsola collina pall</i>	9.145	4.53	73.9	34.30	1.174	51.70	0.676	19.26	9.495	2.587	3.675	6
麻黄	<i>Ephedra</i>	12.05	26.22	285.65	343.4	16.52	8.52	8.695	13.20	3.71	0.86		2
琵琶柴	<i>Reaumuria soongorica</i>	14.14	13.19	70.05	128.1	0.97	57.6	0.493	36.02	7.42	2.64	1.917	3
骆驼刺	<i>Alhagi pseudalhagi</i>	2.205	1.525	75.82	181	0.36	37.13	0.45	11.46	9.32	1.025	2.545	2
白梭梭	<i>Haloxylon persicum</i>	4.42	0.815	39.68	63.28	0.18	35.47	0.51	18.84	3.30	0.905	3.95	2
白刺	<i>Nitraria sibirica</i>	2.37	0.61	6.36	21.59	0.45	5.14	0.25	3.25	1.63	0.36	1.03	2
沙拐枣	<i>Calligonum mongolicum</i>	2.93	0.71	18.23	169.5	0.335	11.91	0.385	4.03	2.61	0.97	2.87	2
蒿	<i>Artemisia</i>	12.83	23.36	124.4	59.53	4.39	47.25	1.76	33.15	19.82	3.05	0.513	3
茵陈蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	15.03	18.49	98.46	107.9	4.005	49.46	1.24	34.66	17.73	2.39		2
马先蒿	<i>Pedicularis</i>	5.63	5.10	99.27	27.40	0.90	24.37	1.04	31.59	45.12	0.60	2.96	1
灰(绿)蒿	<i>Artemisia glauca</i>	4.03	8.94	25.94	20.65	0.67	10.52	1.24	2.22	3.36	0.09	6.69	1
针茅	<i>Stipa capillata</i>	3.63	14.00	41.20	23.37	0.25	7.42	0.96	21.74	14.28	0.74	0.64	1
羊茅	<i>Festuca ovina</i>	2.86	45.46	68.02	40.59	0.86	24.27	0.75	9.49	19.33	0.37	0	1
梭梭	<i>Haloxylon ammodendron</i>	5.99	0.75	114.98	83.89	0	83.62	0	19.63	4.59	3.45	0	1
芦苇	<i>Phragmites communis</i>	2.67	21.22	51.64	36.92	0.525	30.15	0.833	10.79	7.122	0.35	6.24	4
甘草	<i>Glycyrrhiza uralensis</i>	9.23	3.63	16.49	217.0	0.06	30.03	0.26	273.5	1.47	2.50	4.71	2
罗布麻	<i>Apocynum venetum</i>	1.19	2.42	10.49	124.55	0	50.49	0.28	18.25	2.50	1.97	0.06	1
石梭梭	<i>Haloxylon sp.</i>	7.04	2.01	87.65	109.06	1.12	40.91	0.13	15.26	6.23	2.47	1.86	1

表 2 续

名称	Name of vegetation	Cu	Ni	Mn	Sr	V	B	Co	Zn	Ba	Li	Pb	n
老鹳草	<i>Geranium</i>	9.29	6.99	69.71	87.57	0	47.65	0.611	42.13	185.22	1.45	5.64	1
早熟禾	<i>Poa annua</i>	5.32	5.46	51.07	14.66	0.86	8.86	0.33	27.19	17.94	0.58	1.36	1
防风	<i>Saposhnikovia divaricata</i>	6.98	2.50	58.51	60.04	0.45	51.81	0.18	34.06	31.14	0	2.81	1
荆三棱	<i>Scirpus yagara</i>	10.29	0.53	371.96	56.97	0.61	33.77	0.91	34.35	40.65	1.46	7.82	1
羊胡子草	<i>Eriophorum</i> L.	11.91	28.55	106.7	30.50	3.13	14.97	1.47	22.06	18.91	2.38	0	1
点地梅	<i>Androsace umbellata</i>	19.59	31.57	329.29	109.39	10.81	68.60	4.57	40.54	204.96	7.91	0	1
西伯利亚落叶松	<i>Larix sibirica</i>	6.75	2.01	42.95	48.58	1.24	34.32	0.29	14.43	24.75	1.12	3.55	2
新疆圆柏	<i>Sabina pseudo-sabina</i>	2.95	0.25	36.77	63.46	1.08	21.59	0.63	22.24	13.01	0.55	2.43	1
苔藓		5.38	11.14	160.9	44.03	6.38	36.93	2.91	23.89	32.94	4.81	3.38	1
禾草	<i>Gramineae</i>	11.01	70.80	191.2	50.51	9.38	27.9	3.07	47.79	35.35	3.02	0.97	2
苔草	<i>Carex acuta</i>	7.01	12.13	147.99	21.19	2.48	17.25	0.92	26.33	26.52	1.27		2
灰杨	<i>Populus pruinosa</i>	2.09	1.03	28.98	320.48	0.255	100.54	1.08	9.135	2.35	4.33	1.64	2
红柳	<i>Tamarix ramotissima</i>	5.02	3.18	29.14	147.79	0.57	43.34	0.488	17.60	4.08	2.83	3.73	3
云杉	<i>Picea obovata</i>	2.89	0.495	58.26	117.07	0.11	19.81	0.27	48.73	54.09	2.23	1.56	2
角果藜	<i>Ceratocarpus arenarius</i>	9.307	17.32	118.01	69.8	3.06	52.01	0.88	36.23	71.68	1.97	3.30	3
小蓬	<i>Nanophyton erinaceum</i>	12.43	33.52	159.16	291.46	7.43	37.08	1.36	15.68	50.12	4.55	0	2
胡杨	<i>Populus diversifolia</i>	2.65	2.09	42.89	310.37	1.72	420.08	0.70	59.51	7.30	13.84	1.56	2
野燕麦	<i>Avena fatua</i>	15.21	91.21	249.3	27.45	11.74	50.20	4.84	36.94	43.65	6.43	2.52	1
伊林藜	<i>Iljinia regelii</i>	2.05	2.43	33.73	22.09	0.15	16.29	0.31	3.90	1.98	0.94	0.47	1
盐爪爪	<i>Kalidium foliatum</i>	1.47	0	0.75	2.02	0.04	0	0.27	0.42	0	0.35	0	1
盐梭梭	<i>Haloxylon</i> sp.	1.14	0.09	15.09	33.74	0.23	16.09	1.23	2.86	3.66	0.37	7.04	1

类包括 Mn、V、Co、Ni、Ba、Cu；II 类包括 Sr、B、Li、Zn；III 类仅 Pb 一个元素。根据植物中各元素的含量可将植物归纳为六类：富 Mn 类、富 Sr 类、富 Pb 类、富 B 类、富 Zn 类和富 Li 类。

(1) 富 Mn 类：这类植物主要有优若藜、灰蒿、禾草、角果藜、蒿、羊茅等。它们的化学组分中，微量元素以 Mn 含量最高， $Mn + V + Co + Ba + Ni + Cu / Sr + B + Li + Zn > 1$ ，多数植物 Ni 的含量较高。

(2) 富 Sr 类：此类植物面广量大，总的特点是含 Sr 量很高， $Mn + V + Co + Ni + Ba + Cu(I) / Sr + B + Li + Zn(II) < 1$ 。其中可分二种类型，其一，如梭梭、伊林藜、假木贼、盐积木、小蓬、盐爪爪、矮芦苇、落叶松、云杉等， $I/II = 1 - 0.5$ ，主要元素含量序列为 $Sr > Mn > B > Ba$ ，与富 Mn 类比较，B 的含量明显提高。其二，如茵陈蒿、红柳、碱蓬、罗布麻、甘草、琵琶柴、盐琐琐、骆驼刺、盐穗木、胡杨、黑刺、麻黄等，I 类元素含量进一步减少，II 类元素增加， $I/II < 0.5$ ，主要元素含量序列： $Sr > B > Zn + Mn$ 。这类植物 B 的含量明显增加，Mn 的含量已退居第四位。

乔木类植物，属于富 Sr 类，Mn 的含量较低， $I/II < 1$ 。

(3) 富 Pb 类：属此类的植物不多，本文涉及的只有灰杨、胡杨、红柳、沙拐枣各一个标本。共同特点是含 Pb 量高，仅 Pb 一种元素的含量占总数 23—45.5%，各主要元素含量序列： $Pb > Zn > Sr > Mn$ ，这类植物 Sr、Mn 的含量已退居次要地位，Pb 和 Zn 的含量已占了绝对优势，Ni、Ba 均等于 0，除 Mn、Sr、Pb 外，其它元素都有出现 0 的情况， $I/II < 0.5$ 。

(4) 富 B 类：这类植物包括落叶松、猪毛菜、假木贼、芦苇、盐穗木、对叶盐蓬。主要特点是含 B 量最高。 $I/II < 1$ 。

(5) 富 Zn 类：仅有二种植物：民丰的胡杨和巴楚的灰杨，其灰分元素中以 Zn 含量为最。 I/II 分别为 0.21 和 0.19，可见第 I 类元素含量之少，有些元素的含量等于零。

(6) 富 Li 类：只有黑刺一种植物，含 Li 丰富。虽然标本只有一个，但仍代表了一个类型。

上述诸植物中，有的同种植物却分属于不同的元素含量类型；有的个别元素的特殊富集仅出现在个别地方，这些是因为地方性因子的影响，还是其它什么原因，目前尚不清楚，有待进一步的工作。

I 类和 II 类元素的含量随植物不同和生境的变异而呈有规律的消长(图 3)。从图上可以看到，由山地到平原，由草原到荒漠，荒漠化程度加强，植物化学组分中，微量元素 I 类元素含量逐渐降低，II 类元素含量增加，二者的比值 >1 、经 $1-0.5$ ，过渡到 <0.5 ，显然， $1-0.5$ 只是一个过渡地带上的过渡类型。

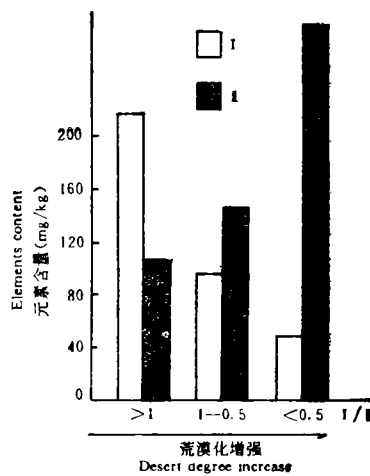


图 3 I、II 类元素含量对比

Fig. 3 The comparison of element content between group-I and-II

四、植物化学组分与土壤条件

(一) 土壤类型与植物化学组分的关系

1. 常量元素 在棕漠土、灰漠土等荒漠土上生长的植物以及盐土上的植物,都属于富 Na 类植物;在棕钙土、栗钙土、寒钙土、寒毡土、寒冻毡土上的植物,绝大多数属于富 Si 类植物。产生这样的规律性,有的是土壤化学性质的影响,有的是植物本身选择吸收的结果。

富 Si 植物所在的土壤类型,含盐量少,土壤水份状况大为改善,总的生境条件,荒漠化程度减弱甚至消失,植被类型已由荒漠植被类型逐渐过渡到干草原、草原或是草甸类型,植被组成,半灌木、小半灌木减少,禾草类增加,禾木科植物富 Si。因此,这些土壤上的植物多数富 Si,实质上这也是植物选择吸收的结果。

据本文所及资料的统计,富 Na 类植物中有 84.6% 的植物生长在荒漠土和盐土上(图 4),若把含盐的红柳林土也统计在内,则可达 90%。富 Si 类植物中有 70.32% 的植物生长在地及山前较高地区的土壤上(图 5)。

富钙类植物,涉及的土壤类型较杂,规律性不如 Na、Si 两类明显。植物本身的选择

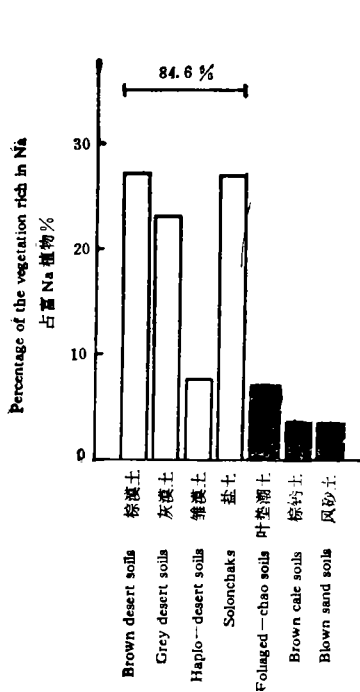


图 4 漠土、盐土上富 Na 类植物的百分比
Fig. 4 The percentage of the vegetation rich in Na on saline soils and desert soils

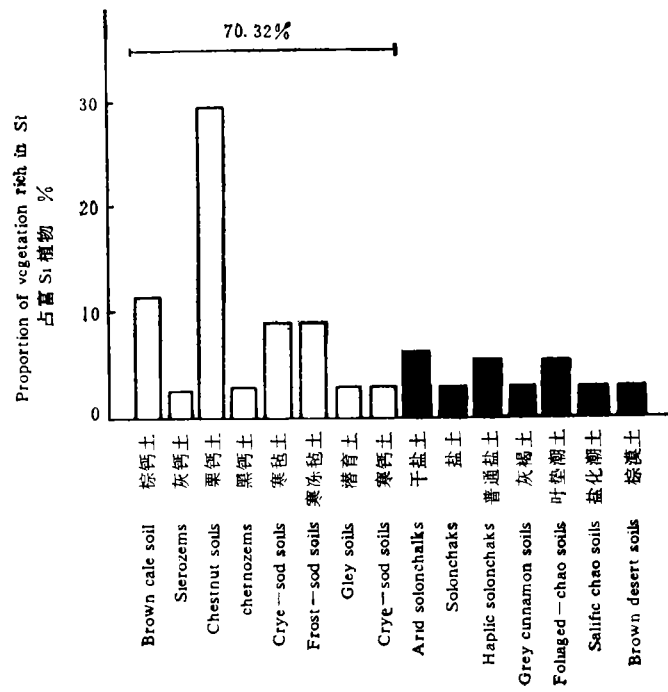


图 5 山地土壤植物中富 Si 类植物的百分比
Fig. 5 The percentage of the vegetation rich in Si in mountainous soils

吸收作用很强,只有当土壤具有象荒漠化、盐渍化这样强烈影响因子时,植物的化学成分才能充分反映出土壤的明显影响。

2. 微量元素^[7,9] 植物的微量元素含量同土壤类型之间也有明显的规律。植物体中 $Mn + Ni + Cu + V + Co + Ba/Sr + B + Zn + Li > 1$ 的植物有 95.79% 的标本均在

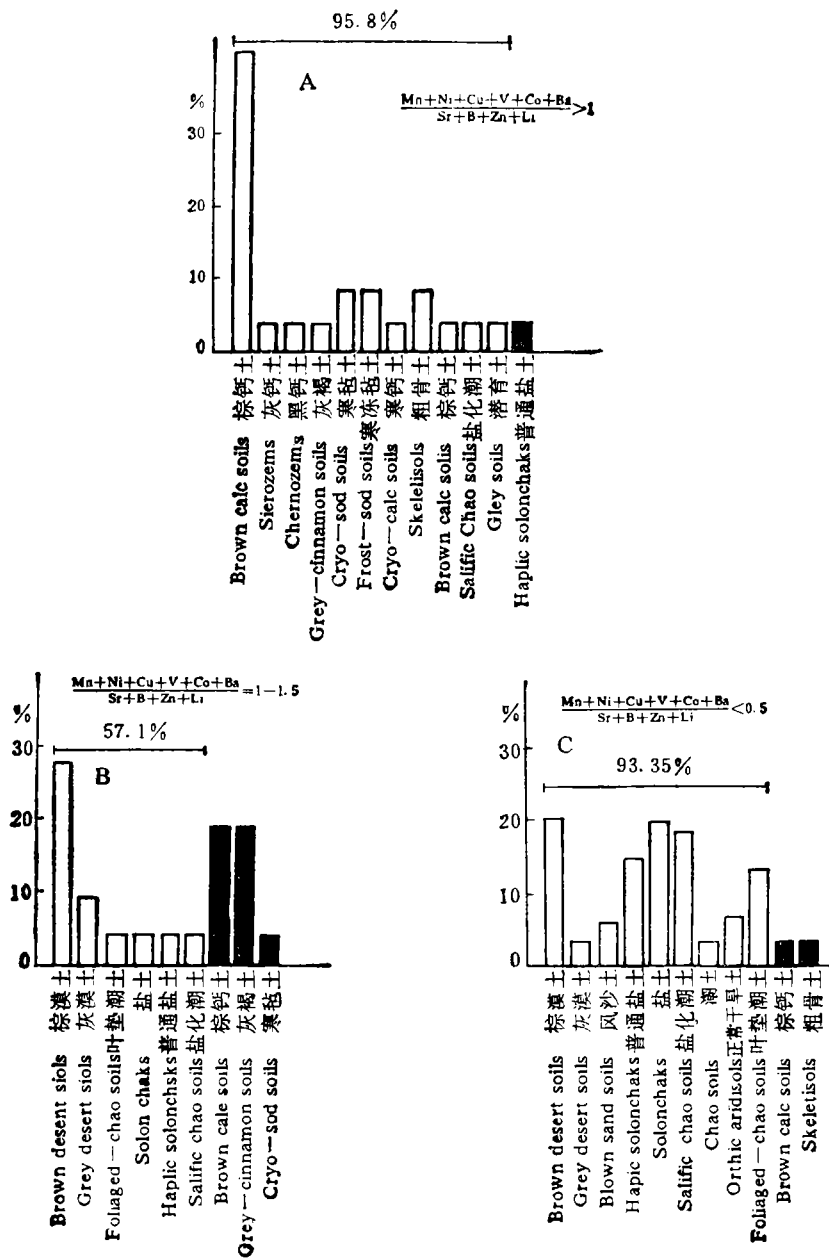


图 6 植物微量元素含量与土壤类型的关系

Fig. 6 The relationship between content of the micro elements in the vegetations and soils types

棕钙土、栗钙土和其它山地土壤上，只有一个标本是平原上的草甸盐土(图 6)。Mn + Ni + Cu + V + Co + Ba/Sr + B + Zn + Li < 0.5 的植物，93.35% 分布在荒漠土、盐土等其它洪积冲积平原地区土壤上。尤其是 Sr 的含量明显增加，Mn 的含量显著减少。Mn + Ni + V + Co + Cu + Ba/Sr + B + Zn + Li = 1 - 0.5 的植物，代表了上述二类的过渡，既有棕漠土，也有棕钙土；平原上的土壤类型，其比值 < 0.5。

(二) 植物吸收系数^[3]

1. 常量元素 植物体中元素含量的高低并不能正确反映植物对该元素的吸收能力，因此，我们采用植物吸收系数来表示。吸收系数是指植物中元素氧化物含量占灰分的%与相应的土壤中该元素氧化物含量百分数之比^[4]。经过统计和计算，得到了各种植物的吸收系数。根据吸收系数大小，分为三种吸收类型：

(1) 聚 Na 富 P 型：主要发生在山前洪积扇，洪积—冲积平原的荒漠地区，土壤为棕漠土、灰漠土、灰棕荒漠土及盐土。气候干旱，生物积累过程缓慢，生物产量低，矿化速度快，有时表土有高量的 NO₃-N 聚积。盐土中还含多量盐分。

这个类型的植物，吸收 Na 最多，对其它元素的吸收能力序列：Na₂O > P₂O₅ > K₂O > MgO > CaO > MnO > SiO₂ > Fe₂O₃ > Al₂O₃ > TiO₂。在吸收系数的曲线上出现二个吸收峰，首先是 Na₂O，其次是 P₂O₅，Na₂O 的吸收系数最高，达 15.1，SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂ 的吸收系数很低。总的来看，对各元素的吸收普遍偏低。突出了聚 Na₂O 的特点。

这些植物的聚 Na₂O 性，是由漠境的自然条件所造成。荒漠地区的植物在形态上，叶面积缩小，表面有蜡质、细毛、气孔数减少或叶片退化成鳞片状、针刺状等以减少蒸发，提高抗旱能力。在生理上必须具有较高的渗透压，才能维持正常的吸收功能，植物的聚 Na 特性可能与维持一定的渗透压有关系。看来荒漠地区生长的植物，首先要解决抗旱、耐盐，其次才是对营养物质的吸收。

(2) 聚 P₂O₅ 富 K₂O 型：包括富 Ca 和富 Si 二类植物。这里的水湿状况大为改

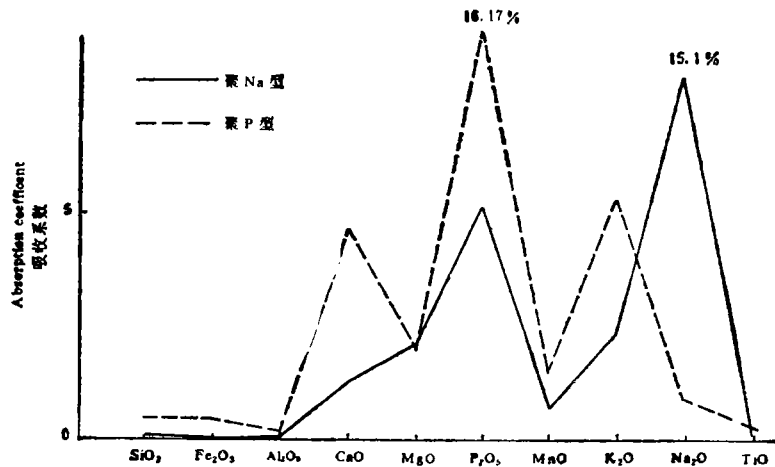


图 7 聚钠聚磷植物的吸收系数

Fig. 7 Absorbition coefficient of the vegetation accumulating Na and P

善,干旱的威胁得到缓解或基本消失,土壤类型多数是棕钙土、栗钙土、黑钙土及草甸土等。生物积累有所加强,并有钙化过程,土壤剖面的一定深度有 CaCO_3 、 CaSO_4 聚集。植物以 P_2O_5 吸收系数最高,其次是 K_2O 、 CaO 。在吸收系数曲线上有三个吸收峰: P_2O_5 、 K_2O 、 CaO ,其余元素依次为 $\text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MnO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3$ 。很明显,对 Na 的吸收减少了。其它元素的吸收能力均高于聚 Na 型的植物,也许荒漠条件对植物的营养吸收有抑制作用,对 Na 的吸收又有促进作用。

富 Si 类植物,多数属于荒漠草原或干草原、草原植被类型,以禾本科植物为多,所以含 SiO_2 高。

(3) 聚 K 富 P 型: 此类植物不多,所处自然条件与聚 P 型相仿。各元素的吸收序列为: $\text{K}_2\text{O} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{CaO} > \text{MgO} > \text{MnO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3$ 。

2. 微量元素 由于土壤的微量元素只测定了 Cu、Zn、V、Ni、Co,比植物的微量元素测定结果少了六个元素,尤其是含量较多的 Mn 和 Sr 的缺失,以致难以看出它们之间总的规律。就现有 5 个元素的吸收系数来看,绝大多数的植物对 Cu、Ni、Zn 吸收系数较高,一般都在 1×10^{-1} , Ni 次之, V 最低,多数植物 V 的吸收系数在 1×10^{-2} — 10^{-3} 。山地栗钙土上的茵陈蒿和典型盐土上的芦苇对 Ni 的吸收系数特别高,都 >1 。一般禾草类植物对 Ni 的吸收系数较高。

不同土壤上的相同植物对微量元素的吸收能力大不一样。盐化草甸土上的猪毛菜,除 V 的吸收系数为 1×10^{-2} 外,其余 4 个元素的吸收系数均在 1×10^{-1} ; 漠土上的猪毛菜只有 Cu、Zn 吸收系数为 1×10^{-1} ,其余三个元素都在 10^{-2} — 10^{-3} ,尤其棕漠土的猪毛菜, V、Co 的吸收系数为“0”。假木贼亦有类似情况。这是植物本身的差异还是土壤的影响,现在还不能断定,有待进一步的研究。

(三) 土壤地球化学类型与植物化学组成关系

植物的化学组成与相应的土壤之间,看来没有固定的关系。因为土壤是一个复杂的体系,影响植物对土壤的元素吸收的因素很多,其中除元素的总量外,还有元素的有效性以及植物的选择吸收能力。所以,土壤中含量高的元素,植物体中含量不一定高; 土壤中含量低的元素,植物体中又不一定低。但从土壤地球化学类型来看,植物和土壤之间都有一定联系。

荒漠地区的土壤,从土壤地球化学观点看,不外乎三大类型: 即盐渍土类型、碳酸盐土类型和硅铝土类型。在这些土壤上生长的植物,其元素组成上有各自的特点。如表 3 所示。

三种土壤地球化学类型上生长的植物,其 a 值有明显的差异,盐渍土类型上的植物,多数 a 值 >1 ,总平均值为 3.48,其它二个类型上的植物,平均比值 <1 ,且碳酸盐土类型的比值更小。这说明盐渍土类型上的植物中 K、Na 含量远高于 Ca、Mg,其余两个类型的植物,则 Ca、Mg 的含量超过 K、Na,而且碳酸盐土类型的植物含 Ca、Mg 更多些。在碳酸盐土类型和硅铝土类型的植物中,就个体而言,也有少数标本的 a 值 >1 ,不过,凡此,均因为含 K 量特别高的缘故,这与盐渍土类型上植物 a 值 >1 的情况不同。在碱金属中, b 值以盐渍土类型的植物最低,总平均 1.46,碳酸盐土类型和硅铝土类型则分别高达

表 3 植物化学组分与土壤地球化学类型的关系

Table 3 The relationship between the chemical composition of the vegetation and soil geochemical types

土壤地球化学类型 Soil geochemical types		灌木 Shrub	半灌木、草本等 Sub shrub and grass		乔木 Trees		
		a $K_2O \cdot Na_2O / CaO \cdot MgO$	b K_2O / Na_2O	c CaO / MgO	a $K_2O \cdot Na_2O / CaO \cdot MgO$	b K_2O / Na_2O	c CaO / MgO
硅铝土类型	\bar{x}	0.906	23.37	3.336	0.584	24.15	6.57
	s	0.745	22.8	0.796	0.313	9.8	2.43
	n	9	9	9	7	7	7
碳酸盐土类型	\bar{x}	0.744	10.14	3.438	—	—	—
	s	0.311	10.13	1.224	—	—	—
	n	18	18	18	—	—	—
盐渍土类型	\bar{x}	3.481	1.461	2.161	0.918	1.110	2.506
	s	4.207	2.49	2.024	0.710	0.543	0.238
	n	39	39	39	3	3	3

10 和 23。显然,盐土类型上的植物, Na 的含量高于 K, 这可能与土壤中主要含 Na 盐有关,硅铝土类型上的植物 b 值远远高于碳酸盐土类型的植物,最高可达 40 以上。从平原到山地, K 的含量大幅度增加, Na 的含量明显减小。C 值的情况,三个土壤地化类型的植物平均 >1,其中,盐渍土类型的植物, Ca、Mg 含量差异较小,有 20% 标本的 C 值 <1。一般都在 1—2。碳酸盐土类型和硅、铝土类型植物的 C 值 >1,一般达到 2—3 以上。在碳酸盐土和硅铝土两类型之间,植物的 C 比值差异不大。

乔木和非乔木比较,乔木的含钙量明显提高,以硅、铝土类型的植物含量最高。盐渍土类型的乔木中胡杨的 a 值高于灰杨, b 比值的情况与其它类型植物一致。

可见,植物的化学组成与土壤地球化学类型之间有一定联系,其程度又因类型而异

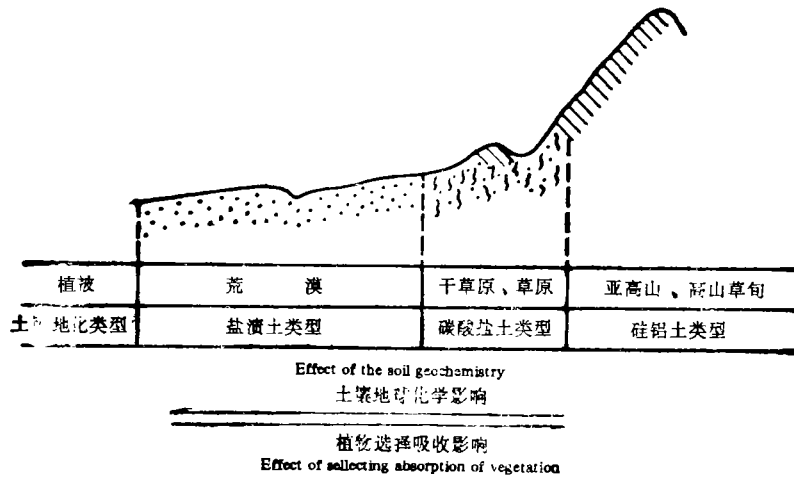


图 8 土壤地球化学类型与植物群落

Fig. 8 The soil geochemical types and their vegetation

(图 8)。

总之,漠境地区植物的化学组成有其本身的特点,元素之间也有一定相关性,土壤条件与植物组成之间虽无固定的相关,但也有明显的联系。根据这些特点对因地制宜利用当地植物资源,改良土壤和增进人类身体健康都有重要意义。

五、生物吸收在成土过程中的作用

在土壤形成过程中,植物作用的大小,取决于作物的覆盖度。荒漠地区植被稀少,覆盖度很低,一般都 $<5\%$,只有在荒漠灰钙土上才达到 $15-20\%$,而且大部分木质化,每年凋落的物质有限,其生长量亦少,所以,在荒漠土壤的形成过程中,植物的作用甚微,但从生物地球化学角度看,倒是独具特色。

由平原到山区,从南疆到北疆,植被类型由荒漠向草原、草甸过渡,其覆盖度也逐渐增加到 $15-20\%$, $30-60\%$,甚至更高,参与循环的物质更多,生物地球化学活动更趋活跃。

参 考 文 献

1. 中国科学院新疆综合队、中科院植物研究所主编,1978: 新疆植被及其利用。科学出版社。
2. 侯学煜著,1982: 中国植被地理及优势植物化学成分。科学出版社。
3. 国家环境保护局主持,中国环境监测总站主编,1990: 中国土壤元素背景值。中国环境科学出版社。
4. [苏] B. B 多布罗沃利斯基著,1987: 微量元素地理学。科学出版社。
5. 龚子同等,1985: 土壤地球化学进展和应用。土壤地球化学进展和应用(1),科学出版社。
6. 彼列尔曼著(龚子同等译),1977: 后生地球化学。科学出版社。
7. Kubota, J. 1980: Regional Distribution of Trace element Problems in North America "Applied Soil trace element" 441-446. John Wiley & Sons Ltd.
8. Siegel, F. R. 1974: Biogeochemical prospecting, in book Applied Geochemistry 121-151, A Wiley-Interscience Publication.
9. Likens, G. E. et al, 1977: Bio-geo-chemistry of a Forested Ecosystem Springer-Verlag New York Inc.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF VEGETATION IN THE DESERT REGION OF CHINA

Gong Zitong, Gu Guoan and Zhou Ruirong
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

Summary

By the use of cluster analysis, the micro-elements of the vegetation can be sorted into 4 categories and the microelements into 3 categories. Based on the accumulated state of macro or micro-elements, the vegetation can be divided into 4 or 6 types.

The chemical composition in vegetation is not directly related to the chemical composition of soils, but is closely related to the soil types and soil geochemical types. The vegetation on desert soils and saline soils belongs to Na-enriching categories, whereas Si-enriching vegetation is mostly distributed on Chestnut soils and Brown calc soils. For microelements, the ratio $(\text{Mn}+\text{V}+\text{Co}+\text{Ni}+\text{Ba}+\text{Cu})/(\text{Sr}+\text{B}+\text{Zn}+\text{Li})$ is more than 1 on Brown calc soils, Chestnut soils and mountainous soils but less than 1 on flat soils; as regard of the ratio $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/(\text{CaO}+\text{MgO})$, it is more than 1 on saline soils, but less than 1 on Siallisols and Carbonate soils, of which reaches minimum value on Carbonate soils. As for the ratio $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, it gets maximum value on Siallisols.

It is found that the vegetation on desert soils and saline soils is forced to uptake more Na, but depress other nutrients. On other soils, the vegetation varies in composition. It may be related to the selecting absorption. According to the absorption coefficient, the Na-enriching vegetation belongs to the Na-P accumulating type, the Si, Ca-enriching vegetation to the K-P accumulating type and the K-enriching vegetation to the K-P accumulating type.

Based on these characteristics, it is of important concern for utilizing local resources and improving soils and people's health.

Key words Desert soils, Vegetation, Cluster analysis, Absorption coefficient, Soil geochemical type