

新疆南准噶尔荒漠优势植物的化学成分含量特点

孔令韶, 郭 柯*, 王其兵

(中国科学院植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

摘要:南准噶尔荒漠 62 种植物 8 种元素的含量测定结果显示, 含量算术平均值的大小顺序为 $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{P} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn}$, 与阿拉善荒漠植物元素含量的顺序一致。其中, Mn、Fe、Al、Na、S 的含量变异系数比 P、K 和 Ca 的大。植物元素含量之间相关分析结果表明, Fe 与 Al、S 与 P、Na 与 S 呈极显著正相关, 表明荒漠植物对它们的吸收是协同的, 而 Fe 与 K 显著负相关, 表明植物对它们的吸收具有拮抗作用。聚类分析和排序结果说明不同生态功能群植物都有自身的元素含量特点, 盐生植物 Na、S 含量高, 沙生植物为高 K 低 Na 含量功能群植物。

关键词:荒漠植物; 元素含量; 生态功能群; 聚类; 排序

The Characteristics of Element Content of Dominant Species in South Junggar Desert, Xinjiang

KONG Ling-Shao, GUO Ke*, WANG Qi-Bing (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1202~1210.

Abstract: The contents of 8 elements, i.e. Na, K, Ca, S, P, Al, Fe and Mn, in 62 plant species in South Junggar desert were studied. There the climate was continental arid, with an annual precipitation of 110~220mm falling mainly in the spring and summer and a potential annual evaporation of about 2000mm. Along with the various but regular topography, various types of soil occurred in the desert.

The vegetation was sparse in coverage. Dominant species of the communities were mainly of *Chenopodiaceae*, *Compositae*, *Cruciferae*, *Leguminosae* and *Graminosae*. They were *Seriphidium borotalense*, *Ceratocarpus arenarius*, and *Petresimonia brachiata* on the alluvial fans; *Reaumuria soongorica* and *Haloxyylon ammodendron* on the alluvial plain, with *Tamarix ramosissima* often occurred in the relatively low places; *Haloxyylon persicum* and some grasses on the fixed sandland; *Kalidium foliatum*, *K. caspicum*, *Halocnemum strobilaceum* and *Suaeda physophora* on saline land or salinized soil; *Phragmites australis* and *Achnatherum splendens* at the edge of alluvial fans where the groundwater was shallow and even seeps out on ground surface.

Plant materials were collected during two periods between 1959 and 1963 and between 1989 and 1993. 400 samples of above ground parts for herbaceous species and leaves or twigs for woody plants were collected. The contents of the 8 elements were determined in normal method of chemical analysis.

The results show the contents of these elements and their variations differed among the 62 species; sorted by the mean content, a sequence was $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{P} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn}$. This was quite similar to

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999043500);中国科学院植被数量生态学开放实验室基金资助项目(LP9704)

收稿日期:2001-04-07; **修订日期:**2001-08-13

作者简介:孔令韶(1936~),男,江苏沛县人,研究员。主要从事植被化学地理和指示植物的研究。

致谢:部分植物样品采集和化学分析由中国科学院植物研究所植物生态室野外工作人员和化学实验室完成,特此致谢。

* 通信联系人 Author for correspondence, E-mail: guokirk@yahoo.com

that in Alashan desert, Inner Mongolia. The variation coefficients of Mn, Fe, S, Na, Al, Ca, K and P were 1.875, 1.695, 1.392, 1.302, 1.062, 0.894, 0.683 and 0.491, respectively. The content of each of the elements also differed among samples of the same species and from different environments. The variation coefficient of P was relative large, even significantly larger than that among species. In contrast, the variation coefficients of K and Ca were relatively small. Similar to those found from the plants in Alashan desert, the contents of pairs of elements, i.e. Fe and Al, S and P, Na and S, in these species showed significantly positive correlation. It indicates that these desert plants absorbed these pairs of elements in coordination. The correlation coefficient between the contents of Fe and K was significantly negative, suggesting the two elements might repel each other in absorption. The results of clustering and ordination of 62 species and their communities, based on the element contents, also demonstrate that each ecologically functional group of species had its characteristics of element content. Saline plants had high content of Na and S. Plants preferring to grow on sandland had high content of K, and low content of Na, and lower ratios of Fe to Al than other plants.

Key words: desert plants; element content in plant; ecologically functional group; clustering; ordination
文章编号:1000-0933(2002)08-1202-09 **中图分类号:**Q948.113 **文献标识码:**A

中国温性荒漠根据其地貌结构可分为两大类型:一类是以平原为主,镶嵌有少数不大的山体,如内蒙古阿拉善荒漠,称为平原型;另一类是盆地、谷地与高大山体相结合,如新疆北疆荒漠等,称为盆、谷地-山体型^[1]。对荒漠区优势植物化学成分已进行了较多的研究^[2~5],但从植物群落及其优势植物元素含量特征、数量分析及区域分异研究的较少。本文从植被化学地理角度,利用数量生态学的研究方法,研究了新疆南准噶尔荒漠区的植物群落及其优势植物元素含量特征,并与内蒙阿拉善荒漠区优势植物元素含量的特点进行了区域分异的对比研究。对深入认识荒漠区植物元素含量特征及其植被化学地理规律,以及对荒漠区草地资源的开发利用、农牧业的发展等方面都具有一定的理论和实际意义。

1 研究地区的自然条件

新疆南准噶尔荒漠区自天山山前倾斜平原至冲积扇扇缘到古尔班通古特沙漠中部分界(北纬 45°),东西延展约 500km^[6]。中段的呼图壁县种牛场地区和玛纳斯县莫索湾治沙站为本项研究的主要地区,大致范围是东经 86.5~87°,北纬 44.2~45°。地形由东南向西北倾斜。冲积扇上部,主要由沙砾石组成的砾质倾斜平原,冲积扇扇缘常有地下水溢出,为扇缘潜水溢出带,扇缘以下为古老的冲积、淤积平原。大陆性干旱气候,年降水量 110~220mm,主要集中在春夏季,年蒸发量约 2000mm,为降水量的 10 倍以上^[6]。在此地形、气候、水文条件下发育起来的土壤有灰棕荒漠土、盐化灰漠土、盐化草甸土、盐土、荒漠化草甸土、草甸土、沙土等。

植被以荒漠为主,具有中亚荒漠的特点,表现出旱生、盐生的特征。植物种类稀少,群落结构简单。藜科、菊科、十字花科、豆科和禾本科的植物较常见。在山前冲积扇缘以蒿类荒漠为主,博洛塔绢蒿(*Seriphidium borotalense*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、对叶叉毛蓬(*Petresimenia brachiata*)等占优势。在古老冲积平原上发育的主要类型为琵琶柴(*Reaumuria soongorica*)土质荒漠,北部接近沙漠处有梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)加入,地形低处有多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)加入。固定、半固定沙区是由白梭梭(*H. persicum*)和一些禾本科植物形成的沙地植被,部分地区的盐土和盐化土壤上分布着由盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、里海盐爪爪(*K. caspicum*)、盐节木(*Halocnemum strobilaceum*)、囊果碱蓬(*Suaeda physophora*)等组成的盐生荒漠。在扇缘带低地盐化草甸土上发育着以芦苇(*Phragmites australis*)和芨芨草(*Achnatherum splendens*)为主的盐化草甸,群落覆盖度较高。局部地方有以芦苇为主的沼泽化草甸^[6]。

2 研究方法

2.1 样品采集方法

1959~1963 年、1989~1993 年分两个阶段采集了植物群落的建群种和优势种。草本植物采集地上部

分(大草本植物采集叶),木本植物以叶为主,对枝叶不易分开的植物如盐爪爪、梭梭等,采集当年生嫩枝叶。少数植物采集了植物的不同部位和不同物候期的样品。共采集植物样品 400 个,包括了 62 种植物。样品采回后,清除杂物、黄叶和病害叶,风干,粉碎,随后进行了测定。

2.2 样品分析

1959~1963 年的样品采用文献 7 的化学分析方法^[7]测定行植物元素含量;1989~1993 年的样品运用上述方法和 ICP 等离子发射光谱仪测定。测定结果以占干物质 % 表示。文中所述的植物元素含量,指当年植物营养生长期的营养部分,注明者除外。

2.3 数据处理和分析

对所得的数据用数理统计方法计算。数量分析运用“Kovach Computing Serices”公司的 MVSP-Multivariate Statistical Package 软件包 Version 3.1 中的 UPGMA 进行分类、排序。

3 结果和讨论

3.1 元素含量的特征

3.1.1 元素含量水平 南准噶尔 62 种植物与植物的元素含量及变异量列于表 1 和表 2,其中较有代表性的 18 种植物的元素含量及其变异量列于表 3。由表 1 可以看出,62 种植物元素含量的算术平均值大小顺序为 $Na > K > Ca > S > P > Al > Fe > Mn$,与阿拉善地区植物元素含量的顺序一致^[3],表明两个地区大环境的一致性。但是准噶尔地区植物的 Na 含量为 3.138%,K 含量为 2.424%,低于阿拉善地区的含量水平;Ca、S、Fe、Al、Mn、P 的含量均高于阿拉善地区^[3]。从几何平均值来看 $K > Ca > Na > S > P > Al > Fe > Mn$,与阿拉善地区植物元素含量顺序一致。与算术平均值比较 Na 含量退居第 3 位,这主要是少部分植物 Na 含量较高,使几何平均值低于算术平均值 2.6 倍。

表 1 南准噶尔荒漠区 62 种植物元素含量及变异量

Table 1 Variable of element contents(%) in 62 plants species from South Junggar desert

	最小值 Min.	中 值 Median	最大值 Max.	算术平均值 Mean	几何平均值 Geomean	标准差 S. D.	变异系数 C. V.	最大 : 最小 Max : Min
Fe	0.001	0.023	0.615	0.059	0.024	0.100	1.695	615.0
Al	0.001	0.076	0.665	0.096	0.069	0.103	1.062	665.0
Mn	0.001	0.002	0.107	0.008	0.003	0.015	1.875	107.0
P	0.017	0.157	0.463	0.173	0.151	0.085	0.491	27.24
K	0.371	1.857	6.805	2.399	1.960	1.639	0.683	18.34
Na	0.059	0.984	16.61	3.141	1.203	4.089	1.302	281.5
Ca	0.150	1.658	7.679	1.775	1.267	1.587	0.894	51.19
S	0.040	0.39	6.89	1.058	0.495	1.473	1.392	172.3

3.1.2 元素含量的变异特征 由表 1 可以看出本区 62 种植物中 Mn、Fe、Al、Na、S 等含量的变化较大,变异系数为 1.062~1.875;最高、最低值相差数百倍,种间差异高于阿拉善地区。如植物中 Fe 含量较低的植物有沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、角果藜等,含量较高的植物有博洛塔绢蒿、小蓬(*Nanophyton erinaceum*)等。Al 含量较低的植物有无叶沙拐枣(*Calligonum aphyllum*)等,含量较高的植物有博洛塔绢蒿、小蓬、对叶叉毛蓬等。Na 含量较低的植物有西伯利亚冰草(*Agropyrum sibiricum*)、偃麦草(*Elytrigia repens*)等,含量较高的植物有盐生草(*Halogeton glomerathus*)、盐节木、猪毛菜(*Salsola korshinskyi*)等。S 含量较低的植物有无叶沙拐枣、西伯利亚冰草,S 含量较高的植物有猪毛菜、多枝怪柳、花花柴(*Karelinia caspica*)等。植物中 P、K、Ca 含量的的变异系数较小,最高、最低值相差 18~51 倍,与阿拉善地区相比较 P 含量的变异系数略低,K、Ca 含量的变异系数略高。P 含量较低的植物有对叶叉毛蓬、三芒草(*Aristida pennata*)、盐生假木贼(*Anabasis salsa*)等,P 含量较高的植物有博洛塔绢蒿、沙蒿(*Artemisia arenaria*)、西伯利亚白刺(*Nitraria sibirica*)等。K 含量较低的植物有膜果麻黄、西伯利亚冰草、盐爪爪等,含量较高的植物有灰藜(*Chenopodium album*)、无叶沙拐枣、草霸王(*Zygophyllum fabago*)等。Na 含量较低的植物有西伯利亚冰草、偃麦草等,含量较高的植物有盐生草、盐节木、猪毛菜等。

同一种植物在不同地点,由于环境条件的差异元素含量有所不同。由表 3 可以看出,P 含量的差异最大,有不少植物种内变异系数大于种间变异系数。如褐翅猪毛菜变异系数为 0.761、梭梭为 0.697、盐节木为 0.678、盐爪爪为 0.664 等,均超过种间变异系数 0.491(表 1)。各植物种其他元素含量的变异系数均未超过种间变异系数。其中 K、Na、Ca、S 含量的种内变异系数均显著小于种间的变异系数,在所列的 14 种植物中有 7 种植物 K 和 Ca 含量的变异系数小于 0.30。与阿拉善地区的同种植物如盐爪爪、芦苇、西伯利亚白刺等的变异系数没有大的差异。

表 2 文中植物序号、代号和中拉名称

Table 2 Plant species number, code and names					
1Epr	膜果麻黄	<i>Ephedra przewalskii</i>	32 Nsi	西伯利亚白刺	<i>Nitraria sibirica</i>
2 Cri	柽柳沙拐枣	<i>Calligonum rigidum</i>	33 Zfa	骆驼蹄瓣	<i>Zygophyllum fabago</i>
3 Cmo	沙拐枣	<i>C. mongilicum</i>	34 Rso	琵琶柴	<i>Reaumuria soongorica</i>
4 Cle	白皮沙拐枣	<i>C. leucocladum</i>	35 Tra	多枝怪柳	<i>Tamarix ramosissima</i>
5 Cha	沙拐枣	<i>C. hashyaricum</i>	36 Lbi	二色补血草	<i>Limonium bicolor</i>
6 Cap	无叶沙拐枣	<i>C. aphyllum</i>	37 Lop	耳叶补血草	<i>L. otalepis</i>
7 Pav	扁蓄	<i>Polygonum aviculare</i>	38 Lse	狭叶鹤虱	<i>Lappula semiglabra</i>
8 Aap	无叶假木贼	<i>Anabasis aphylla</i>	39 Ale	列氏蒿	<i>Artemisia lessingiana</i>
9 Ael	高枝假木贼	<i>A. elatior</i>	40 Ste	白茎绢蒿	<i>Seriphidium terrae-albae</i>
10 Ana	盐生假木贼	<i>A. Salsa</i>	41 As	籽蒿	<i>Artemisia sphaerocephalla</i>
11 Car	角果藜	<i>Ceratocarpus arenarius</i>	42 Aar	沙蒿	<i>A. arenaria</i>
12 Cal	灰藜	<i>Chenopodium album</i>	43 Asa	苦艾蒿	<i>A. santolina</i>
13 Cor	东方虫实	<i>Corispermum orientale</i>	44 Kca	花花柴	<i>Karelinia caspica</i>
14 Hpe	白梭梭	<i>Haloxylon persicum</i>	45 Ssc	草原绢蒿	<i>Seriphidium schrenkianum</i>
15 Ham	梭梭	<i>H. ammodendron</i>	46 Acs	芨芨草	<i>Achnatherum splendens</i>
16 Ece	优若藜	<i>Eurotia ceratoides</i>	47 Asi	西伯利亚冰草	<i>Agropyron sibiricum</i>
17 Hgl	盐生草	<i>Halogeton glomerathus</i>	48 Apu	小獐茅	<i>Aeluropus pungens</i>
18 Hst	盐节木	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	49 Ape	羽状三芒草	<i>Aristida pennata</i>
19 Hha	盐豆木	<i>Halimodendron halodendron</i>	50 Cvi	虎尾草	<i>Chloris virgata</i>
20 Kf	盐爪爪	<i>Kalidium foliatum</i>	51 Ere	偃麦草	<i>Elytrigia repens</i>
21 Kca	里海盐爪爪	<i>K. caspicum</i>	52 Lpe	黑麦草	<i>Lolium perrene</i>
22 She	海蓬子(盐角草)	<i>Salicornia europaea</i>	53 Pau	芦苇	<i>Phragmites australis</i>
23 Sko	褐翅猪毛菜	<i>Salsola korshinskyi</i>	54 Sgl	沙生针茅	<i>Stips glareosa</i>
24 Sph	囊果碱蓬	<i>Suaeda physophora</i>	55 Ssu	苏丹草	<i>Sorghum sudanense</i>
25 Lpe	穿叶毒行菜	<i>Lepidium pefoliatum</i>	56 Cph	沙苔	<i>Carex physodes</i>
26 Lla	宽叶毒行菜	<i>L. latifolium</i>	57 Cpa	苔草	<i>C. pachystilise</i>
27 Tqu	四齿芥	<i>Tetracme quadricornis</i>	58 Sde	木碱蓬	<i>Suaeda dendroides</i>
28 Asp	疏叶骆驼刺	<i>Alhagi sparsifolia</i>	59 Sac	刺毛碱蓬	<i>S. acuminata</i>
29 Hed	花棒	<i>Hedysarum scoparium</i>	60 Pbr	对叶叉毛蓬	<i>Petrosimonia brachiata</i>
30 Msa	紫花苜蓿	<i>Medicago sativa</i>	61 Ner	小蓬	<i>Nanophyton erinaceum</i>
31 Tfo	葫芦巴	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	62 Sbo	博洛塔绢蒿	<i>Seriphidium borotalense</i>

3.2 元素含量之间的相互关系

3.2.1 元素含量之间的比值 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。本文选择了本区具有代表性和植物样品数较多的 18 种植物,列出了 7 对元素含量的比值于表 4。由表 4 可以看出,Fe : Al、K : Ca 比值的变异系数小于 1.000,表明植物对这两对元素的吸收较为协调。Na : S、S : P 两对元素比值的变异系数稍大,分别为 1.138、1.118。上述 3 对元素比值的平均值、变异系数均低于阿拉善地区的植物,表明该区植物对配对元素的吸收较为协调。两地区 Na、Ca 比值的变异系数都是最大。另外从表 4 中

表 3 南准噶尔荒漠区 18 种植物的元素含量(平均值,%)及其变异系数
Table 3 Element contents (Mean, %) and their variation(C. V.) of 18 plants species from South Junggar desert

种名代码* Species code	样品数 Number of sample	Fe		Al		Mn		P		K		Na		Ca		S	
		Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.	Mean	C. V.
Cmo ⁽¹⁾	1	0.001		0.059		0.001		0.171		3.118		0.972		1.140		0.32	
Ael ⁽¹⁾	4	0.061	0.200	0.061	0.330	0.008	0.620	0.202	0.540	1.493	0.270	4.925	0.130	1.114	0.330	0.52	0.24
Hpe ⁽¹⁾	6	0.015	1.067	0.102	0.304	0.002	0.500	0.105	0.476	3.314	0.265	1.492	0.571	2.962	0.268	0.23	0.530
Ham ⁽¹⁾	14	0.009	0.889	0.057	0.965	0.002	1.000	0.122	0.697	2.261	0.239	6.562	0.362	2.157	0.414	0.33	0.373
Hst ⁽¹⁾	6	0.093	0.336	0.067	0.321	0.010	0.373	0.262	0.678	1.003	0.275	12.30	0.253	0.369	0.081	3.07	0.243
Hha ⁽²⁾	5	0.057	0.34	0.051	0.25	0.007	0.47	0.256	0.37	1.351	0.31	0.357	0.56	0.967	0.14	0.90	0.21
Kf ⁽¹⁾	10	0.043	0.581	0.031	0.613	0.009	0.667	0.262	0.664	1.298	0.384	9.290	0.416	0.383	0.188	3.15	0.387
Kea ⁽¹⁾	3	0.070	0.54	0.057	0.74	0.010	0.59	0.274	0.57	0.748	0.21	11.61	0.37	0.403	0.40	1.43	0.64
Sko ⁽¹⁾	7	0.098	0.510	0.070	0.571	0.007	0.857	0.234	0.761	2.096	0.333	13.38	0.322	0.538	0.368	6.89	0.506
Nst ⁽²⁾	13	0.066	0.409	0.056	0.286	0.012	0.500	0.256	0.602	1.432	0.483	5.880	0.420	1.208	0.526	1.59	0.526
Tra ⁽¹⁾	7	0.073	0.33	0.060	0.32	0.008	0.44	0.201	0.51	0.973	0.34	3.949	0.56	1.260	0.28	5.46	0.37
Rso ⁽²⁾	7	0.089	0.517	0.087	0.356	0.004	0.750	0.158	0.015	0.973	0.188	6.559	0.467	0.581	0.184	3.21	0.336
Ate ⁽¹⁾	4	0.020	0.450	0.111	0.459	0.001	0.000	0.111	0.189	1.276	0.353	0.381	0.457	0.759	0.353	0.27	0.422
Ssc ⁽¹⁾	3	0.195	0.59	0.151	0.60	0.013	0.13	0.219	0.05	1.346	0.06	1.385	0.61	0.675	0.29	0.56	0.24
Sho ⁽¹⁾	1	0.615		0.490		0.031		0.455		1.142		0.255		1.025		0.61	
Pau ⁽²⁾	13	0.040	0.650	0.013	0.692	0.055	0.745	0.218	0.583	1.269	0.327	0.346	0.789	0.464	0.330	1.08	0.522
Acs ⁽²⁾	2	0.023		0.017		0.004		0.084		0.920		0.202		0.314		0.24	
Ape ⁽²⁾	2	0.016		0.122		0.001		0.041		1.662		0.783		1.054		0.10	

* 种名代码对应的植物名称见表 2 Species names matching the codes see table 2. (1) 样品为枝和叶 Sample parts are branches and leaves of plants. (2) 样品为叶 Sample part is leaves of plant. C. V., coefficient of variation

可以看出几种沙生植物的 Fe、Al 比值最小,不超过 0.200,大大小于平均值(1.030);沙生植物、禾本科和某些菊科植物的 Na、K、Na、Ca 比值,亦在 1.00 以下,这些结果除了说明植物对配对元素吸收的协同作用外,也表明了这些植物的功能群的特征。

表 4 南准噶尔 18 种植物元素含量之间比值

Table 4 The ratios of element content in 18 plants species from South Junggar desert

植物名称 Plant species	Fe : Al	Na : K	Na : Ca	Na : S	K : Ca	Ca : P	S : P
沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	0.017	0.312	0.853	3.038	2.735	6.667	1.871
羽状三芒草 <i>Aristida pennata</i>	0.131	0.471	0.743	7.830	1.577	25.70	2.439
白梭梭 <i>Haloxyylon persicum</i>	0.147	0.450	0.504	6.487	1.119	28.21	2.190
博洛塔绢蒿 <i>Seriphidium borotalense</i>	1.255	0.223	0.249	0.418	1.114	2.253	1.341
梭梭 <i>Haloxyylon Ammodendron</i>	0.158	2.902	3.042	19.88	1.048	17.68	2.705
高枝假木贼 <i>Anabasis elatior</i>	1.000	3.299	4.421	9.471	1.340	5.515	2.574
盐节木 <i>Halochnum strobilaceum</i>	1.388	12.26	33.33	4.007	2.718	1.408	11.72
盐豆木 <i>Halimodendron halodendron</i>	1.118	0.264	0.369	0.397	1.397	3.777	3.516
盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i>	1.378	7.157	24.26	2.949	3.389	1.462	12.02
里海盐爪爪 <i>K. caspicum</i>	1.228	15.52	28.81	8.119	1.856	1.471	5.219
褐翅猪毛菜 <i>Salsola korshiskyi</i>	1.400	6.384	24.87	1.942	3.595	2.214	28.35
西伯利亚白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	1.179	4.106	4.868	3.698	1.185	4.719	6.211
多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	1.217	4.059	3.134	0.723	0.772	6.269	27.16
琵琶柴 <i>Reaumuria soongorica</i>	1.023	6.471	11.29	2.403	1.675	3.677	20.23
白茎绢蒿 <i>Seriphidium terrae-albae</i>	0.180	0.299	0.502	1.411	1.681	6.900	2.432
草原绢蒿 <i>S. schrenkianum</i>	1.291	1.029	2.052	2.473	1.994	3.082	2.557
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	3.077	0.273	0.746	0.320	2.735	2.128	4.954
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	1.353	0.220	0.643	0.842	0.930	3.738	2.857
平均值 Mean	1.030	3.645	8.038	4.245	1.937	7.048	7.797
几何平均值 Geomean	0.642	1.433	2.541	2.367	1.762	4.464	4.831
标准偏差 Standard deviation	0.728	4.471	11.33	4.832	0.865	8.156	8.716
变异系数 Coefficient of variation	0.707	1.225	1.409	1.138	0.446	1.157	1.118

3.2.2 植物中元素含量之间的相关性 对南准噶尔 62 种植物中各元素含量之间进行了线性相关分析,其相关系数列于表 5。由表 5 可以看出,植物中的 Fe 与 Al、S 与 P、Na 与 S 之间在 0.001 水平上达极显著相关,Ca 与 K 在 0.01 水平上显著相关,表明植物对上述配对元素的吸收是协同的。Fe 与 K 在 0.01 水平上呈显著负相关,表明植物在对这两种元素的吸收上具有拮抗作用。与阿拉善地区相比较,植物中的 Fe 与 Al、Na 与 S 的显著相关是一致的,表明这两大温性荒漠类型的植物在对这四个元素的吸收的关系上具有较一致的特征。

表 5 南准噶尔 62 种植物中 8 种元素含量之间的相关系数

Table 5 The correlation coefficients between element contents in 62 plants species from South Junggar Desert

	Fe	Al	Mn	P	K	Na	Ca
Al	0.766 ³⁾						
Mn	0.209	0.046					
P	0.323 ¹⁾	0.037	0.139				
K	-0.331 ²⁾	-0.074	0.093	-0.151			
Na	0.039	-0.045	0.006	0.140	-0.171		
Ca	-0.074	-0.012	0.077	-0.242	0.379 ²⁾	-0.226	
S	0.064	-0.141	0.055	0.479 ³⁾	-0.236	0.496 ³⁾	-0.245

1) $\alpha \leq 0.05$; 2) $\alpha \leq 0.01$; 3) $\alpha \leq 0.001$

3.3 分类和排序数据

3.3.1 聚类分析 62 种植物的聚类分析结果表示在图 1。可以明显看出,在欧氏距离 11.223 处的 61 节,

以极其显著的差异把 62 种植物分为两个大组,即 57 节的 7 种植物为第 1 组和 60 节的 55 种植物为第 2 组。

第 1 组的 7 种植物均为藜科植物,并且是典型的盐生植物,以高的 Na、S 含量为显著特征,可称为聚 Na、S 功能群植物。在这一组中盐生草(17)又以特别高的 Na 含量(欧氏距离 6.264)区别于另外 6 种植物;聚集元素的功能更为相似的植物为盐节木(18)、海蓬子(22)、囊果碱蓬(34)、里海盐爪爪(21)。第 2 组在欧氏距离 6.904 处,又分为两组(58 节和 59 节),58 节的 12 种植物均为耐盐植物,其中包括了 8 种藜科植物,2 种桉柳科植物,菊科、蒺藜科各一种。这一类群植物为次高 Na、耐盐碱功能群植物,其中灰藜(12)以极高的 K 含量显著区别于其他 11 种植物。这一功能群植物以较高的 Na 含量与前一功能群植物相靠近;这两个功能群植物,包括了所列 62 种植物中的 20 种藜科植物的 15 种。从图 1 中可以看出 43 节、44 节和 45 节 3 个有相似性又有差异的 3 个功能群植物。43 节的 11 种植物多为沙生植物,为高 K、低 Na 功能群植物;44 节的 7 种植物,以较高的 Ca 含量区别于另外两个类群;45 节的 16 种植物以较低的 Ca 含量为特征。此外,第 52 节的 8 种植物,多为砾生、沙生植物,具有较高的 K、Ca 含量,为聚 K、Ca 功能群植物。膜果麻黄(1)以极高的 Ca 含量和较低的 K 含量,显著的区别于其他植物。

与阿拉善地区 39 种植物的聚类分析结果相比较,相似的地方为第一大组都主要是藜科、聚 Na、S 功能群植物。差异为阿拉善地区的 8 种禾本科植物在欧氏距 1.492 处就被聚为一组,除獐毛草含 Na 高一些外,为低积累 Na 元素功能群植物,而本区的 9 种禾本科植物在欧氏距 2.830 处就开始分开,分散在各个功能群植物中。

30 个植物群落的聚类分析(根据建群种和优势种的元素含量数据)结果表示在图 2。可以看出,在欧氏距离 8.433 处,首先将盐节木+盐爪爪群落划分出来,显示出该群落的建群植物具有很高的 Na、S 含量特征。在欧氏距离 7.197 处,又将含 K、Ca 量最高和 Fe、Al 含量最低的无叶沙拐枣群落区分出来。其余的 28 个群落,在欧氏距离 5.384 处,分为两大类群。第一个大类群的 11 个群落以沙生、砾生荒漠的群落为主;该类群在欧氏距离 1.958 处又分为差异较大的两个小类群,一是以沙生植物沙拐枣、白梭梭、三芒草、苦艾蒿、沙苔等为建群植物的 6 个沙生植物群落;另一小类群为耐盐禾本科植物獐茅草、芨芨草、芦苇等为主的 5 个盐生草甸植物群落和山前冲积砾质平原上的博洛塔绢蒿+角果藜群落荒漠。第二大类群的 17 个植物群落,在欧氏距离 3.147 处又分为两个小类群,一个小类群是以琵琶柴、盐爪爪、梭梭、对叶叉毛蓬等为建群种的 7 个盐化荒漠和盐土荒漠群落,群落间差异较大;另一个小类群除以梭梭、木碱蓬、琵琶柴为建群种的 3 个群落(27、19、1)以较显著的差异被分外出,其余的 7 个群落均为盐生荒漠类型,其中盐节木、盐爪爪两个群落(5、9),在本分类系统中欧氏距离最小(0.511),Na 含量最高,被分为一组。

3.3.2 排序 利用植物群落中 8 个元素含量的资料,对 30 个植物群落进行排序,结果表示在表 6 和图 3。元素含量主分的重要性可根据它们的特征值来判断^[8]。贡献率是一个百分数,它表示所定义的主成分在整个数据分析中所承担的主成分意义占多大的比重,累计贡献率越大可靠性越大,一般情况下,累计贡献率在 70% 以上事物的基本面貌就可以得到反应^[9]。

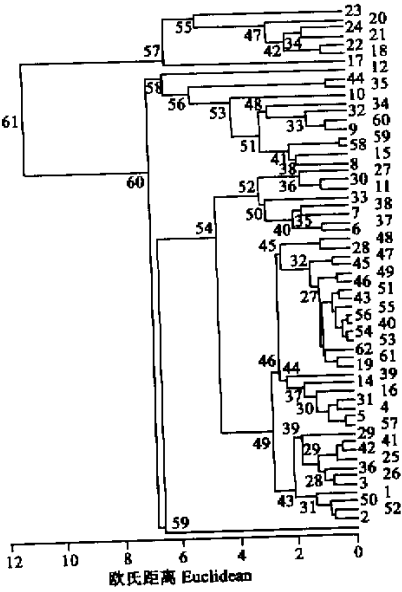


图 1 8 个元素对 62 种植物的 TWINSpan 聚类分析 (图右侧编号对应植物种名见表 2)

Fig. 1 The TWINSpan classification of plant species by 8 elements (plants species names matching the numbers on right see table 2)

表 6 植物群落中 8 个元素含量的特征值、贡献率和变量分量

Table 6 Eigenvalues, percentage and variable scores of 8 elemental contents in 30 communities

	轴 1	轴 2	轴 3
	Axis 1	Asix 2	Asix 3
特征值 Eigenvalues	0.305	0.063	0.017
贡献率 Percentage	64.691	13.369	3.611
累计贡献率 Cum. percentage	64.691	78.060	81.670
变量分量 Variable scores			
Fe	0.692	-1.507	-1.162
Al	0.896	-0.509	-1.196
Mn	0.454	-1.334	0.173
P	0.987	-1.220	-2.101
K	1.629	0.972	0.882
Na	-0.266	1.371	-0.114
Ca	1.907	0.476	-0.007
S	-0.155	-0.661	1.541

由表 6 可以看出,植物群落中 8 个元素前两个轴的特征值分别为 0.305、0.063,累计贡献率达到 78.06%,在排序的 1、2 轴上已经反映出事物的全貌;第一轴贡献率达到 64.691%,显然在整个事物中处于举足轻重的位置,各变量的分量 K、Ca 为正向,分量最大,为 1.629 和 1.907;Na、S 为负向,分别为 -0.266、-0.155,这 4 个元素在第 1 轴上起到特征作用。第 2 轴贡献率为 13.369%,Fe、Mn、P 为负向分量较大,K、Na、Ca 为正向,分量值 Na 最大为 1.371;显然 Fe、Mn、P、Na 在第 2 轴上具有一定的特征作用。第 3 轴 P 为 -2.101、S 为 1.541,它们也具有一定的意义。

由图 3A 可以看出,在 1 轴的最低位置、2 轴的中间位置有 15 个植物群落为第 1 组(G1),该组的绝大部分群落为盐生荒漠或盐化荒漠类型,为高 Na、S 植物群落类型;在 1 轴最高位置的 6 个群落为第 2 组(G2),均为沙质荒漠类型,为高 K、Ca 植物群落类型。在 1 轴中间位置松散分布的,13、14、15、17 四个群落,又位于 2 轴的中下部可为第 3 组(G3),主要是盐生草甸植物群落类型;3、26、27 三个群落位于 2 轴的中偏上部为第 4 组(G4),主要为盐化荒漠类型。前者 Fe、Mn、P 含量稍高些,后者 Na 含量稍高些。在 1 轴的较高位置有两个群落,2 号群落为砾质荒漠、28 号群落为沙质荒漠群落,它们与第 2 组的类型相靠近。图 3B 显示了 30 个群

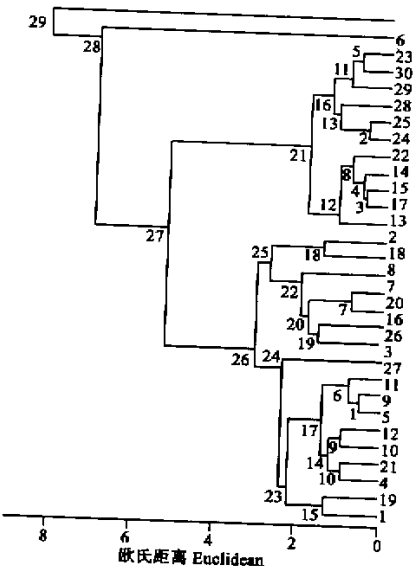


图 2 30 个植物群落的 TWINSpan 聚类分析(图右侧编号对应植物群落如下,种名见表 3)

Fig. 2 The TWINSpan classification 30 plant communities by 8 elements (communities matching the numbers on the right are as following, species names and their codes see table 3)

1. *Suaeda dendroides* + *S. acuminata* community, 2. Abo* + Car community, 3. Pbr community, 4. Sph community, 5. Hst community, 6. Hst + Kf community, 7. Hst + Pco community, 8. Kf + Pco community, 9. Kf + Acs community, 10. Kf + Apu community, 11. Kca + Ael community, 12. Kca + Rso community, 13. Acs + Asp community, 14. Apu community, 15. Pau + Apu community, 16. Hha community, 17. *Camphorosma monspeliace* community, 18. Rso + Nsi community, 19. Rso + Ham community, 20. Rso + Ael community, 21. Rso + *Salsola subcrassa* community, 22. Hpe + Cri community, 23. Cap community, 24. Hpe + Aar community, 25. Ece + Cap community, 26. Ham + Asa community, 27. Ham community, 28. Ape community, 29. Cle + Cph community, 30. Aar + Asa community

落在 1、3 轴上的分布状况,P、S 在第 3 轴虽有一定的意义,但图中各植物群落在该轴上的分布距离,比较集中在 3 轴的较低位置,差距不大,同时由于 1 轴各元素的作用显著,所以 3 轴上元素的排序作用就不明显。综上所述,在 1 轴上从右至左可以清楚的看出,30 个植物群落的顺序,分别为沙(砾)质荒漠、盐化荒漠、

盐生草甸、盐生荒漠类型;在元素含量上 K、Ca 由高到低,Na、S 由低到高,各群落都有一定的位置。

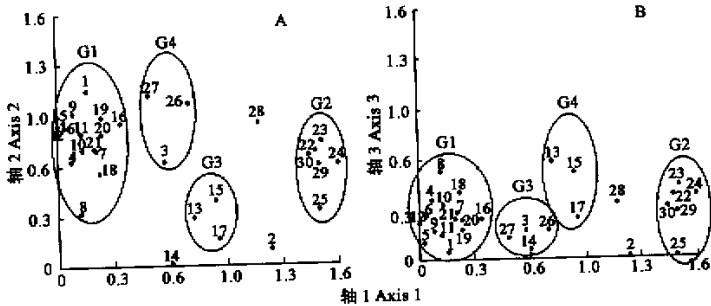


图 3 30 个植物群落基于 8 种元素含量的排序结果(A, 轴 1 对轴 2;B,轴 1 对轴 3)

Fig. 3 The ordination results of 30 communities based on their contents of 8 elements (A, Axis 1 vs Axis 2; B, Axis 1 vs Axis 3)

参考文献

[1] Xu P(许鹏). Ecological characteristics and problems and developmental strategy of plain desert in Northern Xinjiang. *Acta Prataculturae Sinica*(in Chinese)(草业学报),1997,6(4): 6~10.

[2] Hou X Y(侯学煜). *Vegetational Geography and Chemical Element Contents of Dominant Plant in China* (in Chinese). Beijing: Science Press,1982.

[3] Kong L S(孔令韶), Wang Q B(王其兵),Guo K(郭柯). Characteristics and quantitative analysis of elements in plants in Alashan area, Nei Mongol. *Acta Botanica Sinica* (in Chinese)(植物学报), 2001,43(5):534~540.

[4] Kong L S(孔令韶), Li B S(李渤生), Guo K(郭柯), *et al.* Characteristics of element contents in plant species of the Karakorum and Kunlun Mountains. *Acta Phytocologica Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1995, 19(1): 13~22.

[5] Qu Y L(曲亚玲). A comparative study on the contents of mineral elements of soil and herbage between two desert areas. *Acta Prataculturae Sinica*(in Chinese)(草业学报), 1999, 8(1): 69~72.

[6] Xu P(许鹏). *Grassland and water-salt-plant system in the desert of Xinjiang and the ecologically optimized model* (in Chinese). Beijing: Science Press,1998.

[7] Hou X Y(侯学煜),Lin H X(林厚萱),Zhang H L(章慧麟). *Chemical constitute and analysis methods of 150 plant species in China* (in Chinese). Beijing: High Education Press, 1959.

[8] Chen L Z(陈灵芝), Lindley D K. Nutrient cycling in hampshell bracken grassland ecosystem, England. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1983, 25(1): 67~74.

[9] Xu K X(徐克学). *Quantitative Taxonomy*(in Chinese). Ji Long (Tai-wan): Aquaculture Press, 1996.