

# 长江三峡地区优势植物的化学元素含量特征\*

贺金生 陈伟烈 王其兵

(中国科学院植物研究所 北京 100093)

**摘要** 分析了三峡地区 16 种优势植物 20 个元素的自然含量特征。 $>1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 Ca、K 和 Mg,  $100\sim 1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 Al、P、Si、Fe、S 和 Mn,  $10\sim 100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 Na、Sr、Zn、B,  $<10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 Ti、Cu、Ni、Cr、Mo、Cd 和 V。这些元素中, Na 含量低于所报道的范围。元素含量特点是  $\text{Ca}>\text{K}$  型。P、S、K、Ca 的频数分布为正态分布, Al、Mn 为对数正态分布。植物不同器官元素含量差异较大, 在所研究的 9 种植物中, 8 种植物地下部分具有积累 Al、Na、Fe 的作用, 地上部分具有积累 K、Ca、S 的作用。不同的植物元素含量变异较大, Al、Mn、Fe、Mg、Ni、Sr 变异系数较大, K、S、P、Cr、Cd 及 Cu 变异系数  $<60\%$ , 其中 Cu 的最小。元素间相关分析表明, Al 和 Fe、Al 和 Cr、Al 和 V、Cd 和 Sr、Cd 和 Mo、Fe 和 V、Zn 和 Cr、Ni 和 Sr、Mg 和 Ni、Mo 和 Sr、Ca 和 Sr、Cr 和 Mo、Na 和 Mg、Na 和 P、P 和 S、Al 和 Ti、Al 和 Si 相关极显著, Mo 和 Al 等之间有相关关系。根据植物中 20 个元素的资料, 对 16 种植物及 20 个元素进行了分类, 区分出不同植物中元素含量的差异。

**关键词** 三峡地区, 优势植物, 元素含量, TWINSpan 程序

## STUDIES ON THE CHARACTERISTICS OF ELEMENT CONTENTS IN THE DOMINANT PLANT SPECIES OF THE THREE-GORGES REGION IN CHINA\*

HE Jin-Sheng CHEN Wei-Lie WANG Qi-Bing

(Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

**Abstract** The characteristics of the contents of 20 elements (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, S, Si, P, Cd, Cu, Zn, Ti, Ni, Sr, Mo, Na, B, Cr, V) in 16 plant species collected from the Three Gorges Region in China were investigated. The average contents of Ca, K and Mg were higher than  $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , that of Al, P, Si, Fe, S and Mn ranged between  $100\sim 1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  and Ti, Cu, Ni, Cr, Mo, Cd and V were less than  $10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . The level of Na content was less than that of the reported. The main character of the element contents was of the  $\text{Ca}>\text{K}$  type. The contents of P, S, Ca and K in different plant samples showed a normal distribution pattern, while Al and Mn showed a elements lognormal distribution pattern. Plant species differed greatly in the element contents. On analyzing the coefficient of variation ( $C\cdot V\cdot$ , %), Al, Mn, Mg, Ni, Sr and Fe had higher  $C\cdot V\cdot$ , while the  $C\cdot V\cdot$  of K, S, P, Cr, Cd and Cu was less than  $60\%$ , and Cu had the lowest  $C\cdot V\cdot$ . The correlations between Al and Fe, Al and Ti, Al and Cr, Al and V, Cd and Sr, Cd and Mo, Fe and V, Zn and Cr, Ni and Sr, Mg and Ni, Mo and Sr, Ca and Sr, Cr and Mo, Na and Mg, Na and P, P and S were statistically significant in different plant species. The classification of the 16 plant species and 20 elements by two-way indicator species analysis (TWINSpan) method may suggest the difference in element contents of the different plant species.

\* 国家八五科技攻关(85-16-06-02)课题及中国科学院重点项目(KS85-107)资助。Supported by a project (85-16-06-02) of Five Years Key Program of the State Science and Technology Commission for Breakthrough in Science and Technology and a Key Project (KS85-107) by the Chinese Academy of Sciences.  
收稿日期: 1996-05-02 接受日期: 1996-09-25

**Key words** The Three Gorges Region, Dominant plant species, Element contents, Two-way indicator species analysis

长江三峡水利枢纽工程已于 1994 年正式开工, 长江流域自然资源的开发进入了新阶段。随着工程的提出、论证和建设, 各地和各研究部门先后开展了调查研究, 积累了大量资料<sup>[1~5]</sup>。研究工程对库区陆地生态系统的影响, 尤其对库区生态环境背景值进行定期定点的连续监测, 以获得系统资料, 对建库前后的环境状况进行对比分析, 具有重要意义。本文对三峡地区优势植物化学元素的含量特征进行了研究, 作为生态环境背景值的一部分, 可为以后的生态环境研究提供科学依据。

## 1 自然环境概况

长江由西向东横穿巫山, 形成举世闻名的长江三峡。三峡地区包括宜昌南津关至奉节的长江干流及两岸地区, 北部包括大巴山以南至江边, 南部包括长江—清江分水岭至江边地段, 包括一系列的峡谷和宽谷。山地占 67.8%, 丘陵台地占 29.5%, 平地占 0.9%, 其它为 1.8%<sup>[2]</sup>。处在中亚热带和北亚热带的过渡地带, 年平均气温为 16.5~19.0 °C, 1 月平均气温 3.4~7.2 °C, 7 月平均气温达 28~30 °C, 无霜期 300~340 d。该区气候湿润, 降水丰沛, 年均降水量 1 100 mm, 4~10 月降水占全年的 80%, 但 7~8 月常有伏旱。石灰岩在三峡地区广为分布, 土壤以黄壤、红壤、黄棕壤、棕色石灰土、水稻土、冲积土和粗骨土为主<sup>[2]</sup>。

三峡地区地带性植被是以栲属 (*Castanopsis*)、楠属 (*Phoebe*) 为主的常绿阔叶林<sup>[6]</sup>。由于人类活动的巨大影响, 原始性强的自然植被只有在中山以上地段才能见到, 现在广泛分布的则是针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌丛和草丛等退化生态系统类型<sup>[7]</sup>。三峡地区的针叶林主要为马尾松 (*Pinus massoniana*) 林、柏木 (*Cupressus funebris*) 林及它们的疏林; 落叶阔叶林主要有短柄栎 (*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*) 林、栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 林等; 针阔混交林常见的有马尾松-栓皮栎混交林、柏木-栓皮栎混交林; 灌丛在三峡地区有着重要地位, 其分布面积占库区总面积的 20%, 主要有黄栌 (*Cotinus coggygria*)、木 ( *Loropetalum chinese* )、荆条 (*Vitex negundo*)、铁仔 (*Myrsine africana*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*) 等; 草丛主要有扭黄茅 (*Heteropogon contortus*)、白茅 (*Imperata cylindrica* var. *major*)、芒 (*Miscanthus sinensis*) 等。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

采集植物为群落建群种和优势种。草本植物采集地上部分和地下部分; 木本植物以枝叶为主, 地下部分根据不同径级的根分别采集混合。共采集植物地上部分样品 58 个, 地下部分样品 18 个。样品采回后, 清理混杂物、风干、粉碎后待测定。

### 2.2 样品分析

植物样品酸溶后, 用 ICP 等离子体光谱仪测定元素含量。结果以占干重表示, 元素含量除说明者外, 均指草本植物的地上部分和木本植物的枝叶。

### 2.3 数据处理

用数理统计软件 MINITAB (Windows 版)、DCA、TWINSPAN (Two-way Indicator Species Analysis) 程序<sup>[8]</sup>进行统计计算、相关分析及分类。分析结果按元素背景值的格式<sup>[9]</sup>表示。

### 3 结果和讨论

#### 3.1 三峡地区植物元素含量的特征

**3.1.1 元素含量水平** 由表 1 可以看出本区 16 种植物 58 个样品 20 个元素的含量水平。平均含量大于  $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 9 个, 从大到小的含量顺序为  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Si} > \text{S} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn}$ , 其中平均含量大于  $1000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的有  $\text{Ca}(9745 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ 、 $\text{K}(5413 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$  和  $\text{Mg}(1652 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ 。大于  $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  而小于  $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 4 个, 即  $\text{Na}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{B}$ , 从大到小的顺序为  $\text{Sr} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{B}$ 。平均含量小于  $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素有 7 个, 它们从大到小的顺序为  $\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Ti} > \text{Mo} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{V}$ 。这些元素中,  $\text{Na}$  远远低于所报道的陆生植物的含量范围<sup>[10, 11]</sup>。从整体上看, 三峡地区植物元素特点是  $\text{Ca} > \text{K}$  型的, 这和前人<sup>[11]</sup>的认识基本是一致的, 表现出与盐化土壤地区植物的显著差异<sup>[12]</sup>。

表 1 长江三峡地区 16 种优势植物的元素含量 ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占干重)

Table 1 Summary statistics of the contents ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , in DW) of elements in 16 dominant plant species collected from the Three Gorges Region in China

Element	Amount of species	Mean	Min	Median	Max	S·D·	Semean	C·V·(%)
Ca	16	10 970	2 280	9 192	26 860	6 608	1 652	60.23
Mg	16	1 792	114	1 854	5 000	1 413	353	78.85
K	16	6 191	1 450	5 508	11 330	2 545	636	40.77
Si	16	601.0	60.0	382.0	1 747	498.0	124	82.86
S	16	490.3	216	475.4	843.2	181.2	45.3	36.96
P	16	735.3	265	677.8	1 463	330.6	82.6	44.96
Al	16	472.0	82.0	228.0	2 206	550.0	137	116.5
Fe	16	357.5	121	264.8	1 264	280.0	70.0	78.32
Mn	16	230.4	16.0	124.4	1 071	278.2	69.5	120.9
Mo	16	4.832	0.268	5.378	9.491	2.391	0.598	48.00
Na	16	32.19	3.70	31.62	56.71	15.59	3.90	48.43
B	16	14.36	0.82	14.31	39.97	9.280	2.32	64.62
Cr	16	4.372	1.60	3.908	11.09	2.401	0.60	54.92
V	16	0.985 0	0.431	0.763 0	2.540	0.632 0	0.156	63.25
Cd	16	1.988	1.24	1.423	4.553	1.112	0.278	55.94
Cu	16	7.859	4.62	7.443	12.30	2.057	0.514	26.17
Zn	16	26.36	10.6	23.75	60.46	13.73	3.43	56.09
Ti	16	6.380	2.03	5.220	17.51	4.160	1.04	65.20
Sr	16	41.22	6.24	36.42	141.2	35.91	8.98	87.12
Ni	16	9.660	3.49	5.600	33.00	9.670	2.42	100.0

**3.1.2 元素含量的分布状态** 图 1 为该区 16 种植物若干元素含量频数分布图, 明显可以看出 P、S、K、Ca 为正态分布, Al、Mn 为对数正态分布。

**3.1.3 元素含量的变异** 从本区植物元素含量的变异系数看,  $\text{Al}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Ni} \geq 100\%$  (表 1), 其中 Al 最大含量是最小含量的 27 倍, Mn 为 67 倍, Ni 为 9 倍。变异系数  $< 60\%$  的有

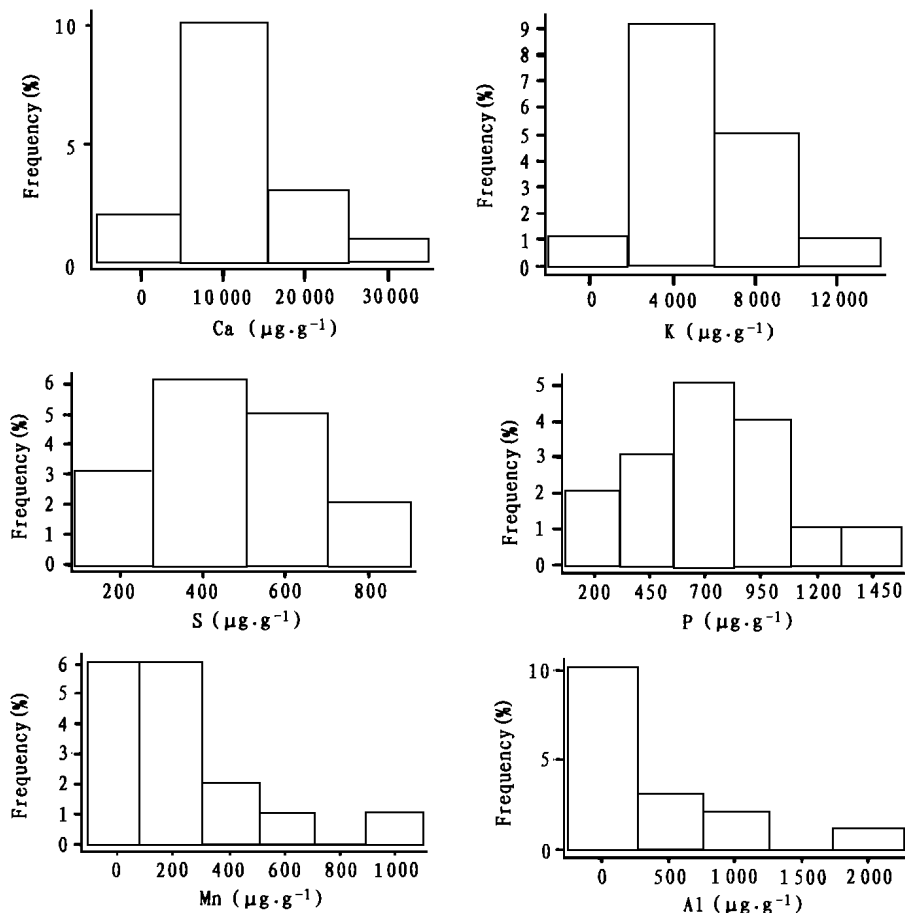


图 1 植物中几种元素含量的频数分布图

Fig. 1 Frequency distribution of some elements in the 16 plant species

K、S、Mo、P、Na、Cr、Cd、Cu、Zn，其中 Cu 变异系数最小，为 26.17%。

**3.1.4 植物不同器官元素含量的差异** 表 2 为三峡地区 9 种优势植物地上部分和地下部分元素含量的比例。可以看出不同器官间元素含量差异很大。9 种植物中，Al 元素含量地上部分小于地下部分。K 元素含量除短柄<sub>刺</sub>外地上部分大于地下部分。Na、Fe 元素除栓皮<sub>栎</sub>外，地上部分含量小于地下部分。Ca 的含量除了扭黄茅、黄<sub>芦</sub>外，其余 7 种植物地上部分大于地下部分。除了金<sub>樱</sub>子、短柄<sub>刺</sub>和白<sub>茅</sub>，有 6 种植物地上部分 S 的含量大于地下部分。说明这几种植物根部具有积累 Al、Na、Fe 的作用，地上部分具有积累 K、Ca、S 的作用。禾本科的扭黄茅、白<sub>茅</sub>，除了 Ca、K、S 和 Zn 元素外，地下部分元素含量大于地上部分。微量元素 Cd 在金<sub>樱</sub>子中地上部分远远大于地下部分。栓皮<sub>栎</sub>地上部分 Mo、Mn 的含量远远大于地下部分。和新疆盐化土壤优势植物疏叶<sub>骆驼刺</sub> (*Alhagi sparsifolia*)<sup>[13]</sup>相比，三峡地区优势植物大都表现出地上部分 K 含量高，地下部分 Na 含量高，但疏叶<sub>骆驼刺</sub>地下部分 Ca 含量高，而三峡石灰岩地区则大都表现出地上部分 Ca 含量高。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.

### 3.2 植物间元素含量的数量分类

根据植物中 20 种元素含量资料(表 3 和表 4)，把该区 16 种植物用 two-way indicator

species analysis(TWINSPAN)程序<sup>[8]</sup>进行了聚类(图 2)。

根据植物中 Al、Fe、Ti 含量的差异, 首先把样品分为 D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 两组, 而 D<sub>3</sub> 则根据 Ca、Mo 含量的差异分为 D<sub>4</sub>、D<sub>5</sub> 两组, D<sub>4</sub> 又根据 Mo 含量的差异分为 D<sub>8</sub>、D<sub>9</sub> 两组, D<sub>5</sub> 根据 Sr 差异分为 D<sub>6</sub>、D<sub>7</sub> 两组。在这 5 组(D<sub>2</sub>、D<sub>6</sub>、D<sub>7</sub>、D<sub>8</sub>、D<sub>9</sub>)植物中 D<sub>2</sub> 为石灰岩植被优势种类, 以铁仔为建群种形成石灰岩典型灌丛, 扭黄茅、芒也可作为建群种形成石灰岩地区典型的草丛, 这些植物元素含量特点是 Al、Fe、Ti 含量高, 并且 Ca 含量也较高。D<sub>6</sub> 组杉木、短柄木包、栓皮栎、木、金樱子 Ca 含量低而 Sr 含量高。杉木、短柄木包、栓皮栎均可作为建群种形成森林群落, 木、金樱子则多在砂岩及一些石灰岩地区形成灌丛类型。D<sub>7</sub> 组仅为黄栌, Ca、Sr 含量均低, 黄栌灌丛是三峡地区典型的灌丛。D<sub>8</sub> 组为马桑、马尾松、乌柏、荆条, Ca 含量高而 Mo 含量低。马尾松林是三峡地区典型的次生林, 乌柏常不形成群落建群种, 而马桑灌丛、荆条灌丛则是常见的灌丛类型。D<sub>9</sub> 为火棘和油桐, Ca 含量高而 Mo 含量低。火棘灌丛为三峡地区典型灌丛, 油桐林则为三峡地区常见的人工林。

表 2 优势植物地上部分(枝叶)与地下部分(根)元素含量之比  
Table 2 The ratios of element content in the above- and under-ground organs

Element	Qv	L	R	C	V	H	I	M	Qg
Al	0.41	0.96	0.50	0.08	0.17	0.12	0.67	0.74	0.16
Cd	0.32	0.30	77.80	0.94	2.47	0.54	0.81	0.91	1.24
Cu	1.29	0.96	1.27	0.54	1.83	0.40	0.83	1.19	1.00
Fe	1.01	0.52	0.73	0.25	0.30	0.12	0.62	0.62	0.29
Zn	1.63	1.10	0.79	0.67	2.63	0.33	1.02	1.25	0.92
Ti	0.57	0.55	1.12	0.28	0.41	0.20	0.58	1.27	0.41
Mn	11.58	0.65	3.22	0.58	1.64	0.40	0.67	1.48	2.60
Ni	1.81	1.87	1.17	0.72	1.06	0.36	0.78	0.90	1.06
V	0.51	0.42	1.00	0.32	0.49	0.05	0.51	0.06	1.00
Sr	1.78	1.92	2.85	0.62	3.69	0.77	0.73	2.16	0.86
Mo	17.29	3.43	0.94	0.61	0.52	0.32	0.77	0.86	0.94
Ca	2.31	1.93	2.30	0.67	2.49	0.37	1.44	1.39	1.25
Mg	1.71	4.04	1.47	0.91	2.40	0.61	0.58	2.08	0.78
K	1.60	1.50	1.67	2.90	1.84	1.62	1.21	1.90	0.48
Na	1.15	0.68	0.97	0.45	0.43	0.85	0.14	0.37	0.30
P	2.47	3.55	1.40	1.66	2.65	0.81	0.80	1.72	0.73
Cr	0.67	0.48	0.55	0.34	1.11	0.22	0.68	0.63	0.55
S	1.25	1.89	0.83	3.25	3.19	1.15	0.64	1.60	0.39
Si	1.50	1.19	0.36	0.24	0.54	0.87	0.91	0.31	0.13
B	1.47	1.41	1.68	2.64	2.26	0.11	0.32	3.70	1.01

Qv· *Quercus variabilis*; L· *Loropetalum chinese*; R· *Rosa laerigata*; C· *Cotinus coggygia*; V· *Vitex negundo*; H· *Heteropogon controtus*; I· *Imperata cylindrica* var. *major*; M· *Myrsine africana*; Qg· *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*.

### 3.3 植物中元素间的相关关系

从表 5 可以看出三峡地区 16 种植物 20 个元素之间的相关关系。元素间具有显著相关关系的有 Al 和 Fe、Al 和 Ti、Al 和 Si、Al 和 Cr、Al 和 V、Cd 和 Sr、Cd 和 Mo、Fe 和 V、Zn 和 Cr、Ni 和 Sr、Mg 和 Ni、Mo 和 Sr、Ca 和 Sr、Cr 和 Mo、Na 和 Mg、Na 和 P、S 和 P; 表现出了相关关系的有 Mo 和 Al 等。这和其他地区元素之间的关系<sup>[13]</sup>有些是一致的, 如 Na 和

表 3 长江三峡地区优势植物的元素含量 ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占干重, 含量  $>100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的元素)  
Table 3 Element ( $>100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  mean contents of the dominant species collected  
from the Three Gorges Region in China (mean,  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , in dry matter)

Series No.	Species	Life form	Amount of samples	Part of plant	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	S	Si	P
1	<i>Coriaria nepalensis</i>	s	2	Twig and leaves	135.0	239.5	122.5	6 866	5 000	5 307	538.5	757.2	886.7
2	<i>Cotinus coggygia</i>	s	3	Twig and leaves	182.3	248.0	21.98	19 620	480.6	11 330	452.5	274.9	730.7
3	<i>Cunninghamia lanceolata</i>		1	Twig and leaves	245.0	305.5	277.9	11 150	1860	5 187	267.9	277.8	534.3
4	<i>Heteropogon controtus</i>	h	2	Aerial part	643.6	388.2	116.0	4935	646.7	7 450	590.7	1 747	481.3
5	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	h	2	Aerial part	2 206	1 264	49.91	5 869	494.9	8 510	498.2	1 406	316.0
6	<i>Loropetalum chinese</i>	s	4	Aerial part	687.2	266.9	16.02	16 820	164.7	4 310	315.2	815.2	717.8
7	<i>Miscanthus sinensis</i>	h	1	Aerial part	1 054	632.7	80.98	2 275	845.4	4 885	436.6	1 079	438.2
8	<i>Myrsine africana</i>	s	2	Aerial part	869.7	552.0	39.70	13 260	113.7	8 839	501.5	284.9	637.8
9	<i>Pinus massoniana</i>	t	8	Twig and leaves	183.5	124.2	382.3	6 336	1 855	5 710	682.3	119.9	1 297
10	<i>Pyracantha fortuneana</i>	s	2	Twig and leaves	101.3	121.1	131.9	19 100	3 856	5 960	843.2	156.1	936.3
11	<i>Quercus glandulifera</i>	t	6	Aerial part	82.37	146.0	189.3	8 506	878.8	1 450	216.2	59.79	265.1
12	var. <i>brevipetiolata</i> <i>Quercus variabilis</i>	t	3	Twig and leaves	218.4	380.1	1071	9 719	2 143	3 281	425.9	753.8	853.5
13	<i>Rosa laevigata</i>	s	2	Aerial part	237.7	218.6	126.3	5 276	1 852	4 864	298.7	177.5	604.5
14	<i>Sapium debiferum</i>	t	2	Twig and leaves	123.9	262.8	599.2	8 666	3 118	7 550	779.2	940.6	1 463
15	<i>Vernicia fordii</i>	t	1	Twig and leaves	412.8	351.5	411.2	2 686	2 687	4 674	368.0	448.7	587.4
16	<i>Vitex negundo</i>	s	4	Twig and leaves	175.4	219.0	50.04	10 300	2 679	9 742	629.7	314.9	1 015

s. shrub; t. tree; h. herb.

表 4 长江三峡地区优势植物的元素含量 ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占干重, 含量  $<100 \times 10^{-6}$  的元素)  
Table 4 Element mean contents ( $<100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) of the dominant species collected  
from the Three Gorges Region in China (mean  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , in dry matter)

Series No.	Species	Life form	Amount of samples	Part of plant	Cd	Cu	Zn	Ti	Ni	Sr	Mo	Na	B	Cr	V
1	<i>Coriaria nepalensis</i>	s	2	Twig and leaves	1.316	8.311	18.77	2.965	22.10	43.01	3.334	56.71	15.94	2.4730	694.4
2	<i>Cotinus coggygia</i>	s	3	Twig and leaves	1.442	5.464	12.55	4.896	3.546	13.80	5.056	18.99	39.97	1.569	1.134
3	<i>Cunninghamia lanceolata</i>		1	Twig and leaves	1.264	5.422	10.57	6.578	5.342	46.22	5.419	32.71	6.528	3.2760	958.0
4	<i>Heteropogon controtus</i>	h	2	Aerial part	1.242	4.620	24.05	7.054	3.494	9.549	5.339	30.54	0.818	3.8290	430.8
5	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	h	2	Aerial part	1.414	7.053	23.45	17.51	4.983	6.240	8.185	21.19	1.640	8.647	2.540
6	<i>Loropetalum chinese</i>	s	4	Aerial part	1.340	6.896	15.39	4.881	5.343	49.72	5.638	29.78	14.62	3.2500	869.9
7	<i>Miscanthus sinensis</i>	h	1	Aerial part	1.432	8.333	60.46	7.980	4.162	13.26	9.491	9.141	17.69	11.09	2.012
8	<i>Myrsine africana</i>	s	2	Aerial part	1.256	6.950	32.21	14.99	3.648	14.13	5.658	17.55	20.63	4.9810	782.2
9	<i>Pinus massoniana</i>	t	8	Twig and leaves	2.945	6.289	24.26	4.246	5.866	18.31	2.766	25.53	12.58	3.9870	583.6
10	<i>Pyracantha fortuneana</i>	s	2	Twig and leaves	4.491	9.467	25.83	5.772	5.872	101.3	0.315	51.43	12.56	2.428	1.629
11	<i>Quercus glandulifera</i>	t	6	Aerial part	1.598	7.812	12.38	2.031	5.958	32.68	5.416	3.699	6.226	5.2520	430.8
12	var. <i>brevipetiolata</i> <i>Quercus variabilis</i>	t	3	Twig and leaves	1.312	9.529	21.03	4.201	10.07	40.17	5.765	41.38	13.69	4.2760	462.7
13	<i>Rosa laevigata</i>	s	2	Aerial part	1.403	10.41	19.55	4.398	6.318	50.09	5.172	46.38	15.18	3.7290	430.8
14	<i>Sapium debiferum</i>	t	2	Twig and leaves	2.565	9.809	31.19	3.401	33.00	55.19	5.681	50.00	10.26	2.5280	606.5
15	<i>Vernicia fordii</i>	t	1	Twig and leaves	4.553	7.075	43.73	5.541	30.08	141.2	0.268	35.26	13.99	4.064	1.455
16	<i>Vitex negundo</i>	s	4	Twig and leaves	2.442	11.113	48.68	5.668	16.082	21.72	8.812	44.77	23.47	4.5420	744.3

s. shrub; t. tree; h. herb.

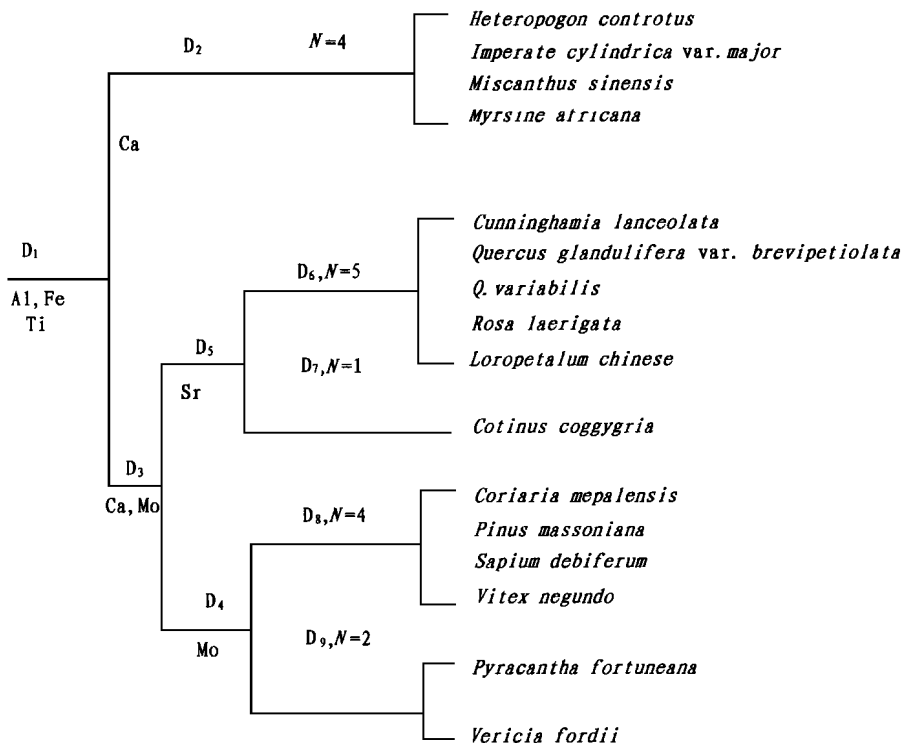


图 2 16 种植物 TWINSpan 分类树状图

Fig. 2 A dendrogram of 16 plant species with TWINSpan classification

表 5 长江三峡地区 20 个元素之间的相互关系 (16 种植物)

Table 5 A matrix of correlations between the 20 elements in the 16 plant species

	Al	Cd	Cu	Fe	Zn	Ti	Mn	Ni	Sr	Mo	Ca	Mq	K	Na	S	Si	B	P	Cr
Cd	-0.179																		
Cu	-0.253	0.128																	
Fe	0.680**	0.297	-0.158																
Zn	0.219	0.237	0.380	0.126															
Ti	0.867**	-0.164	-0.231	0.560*	0.208														
Mn	-0.319	0.058	0.200	-0.184	-0.036	-0.329													
Ni	-0.259	0.299	0.203	-0.150	0.175	-0.323	0.467*												
Sr	-0.358	0.589**	0.199	-0.275	0.111	-0.332	0.263	0.602**											
Mo	0.547*	-0.753**	-0.083	0.208	0.084	0.394	-0.072	-0.319	-0.692**										
Ca	-0.246	0.307	-0.117	-0.350	-0.044	-0.089	0.034	0.274	0.692**	-0.543*									
Mq	-0.519*	0.254	0.495*	-0.426	0.087	-0.457*	0.309	0.600**	0.534*	-0.524*	0.137								
K	0.192	-0.256	-0.047	-0.110	0.148	0.421	-0.315	-0.111	-0.305	0.138	0.191	-0.059							
Na	-0.407	0.314	0.496*	-0.150	-0.058	-0.343	0.268	0.474*	0.452	-0.520	0.080	0.771**	0.011						
S	-0.094	0.379	0.253	-0.055	0.281	0.043	0.070	0.193	0.033	-0.320	-0.035	-0.440	0.431	0.454					
Si	0.591**	-0.300	-0.234	0.338	0.194	0.348	0.016	0.093	-0.294	0.500*	-0.354	-0.177	0.156	-0.027	0.142				
B	-0.325	-0.054	0.176	-0.311	0.131	-0.157	-0.181	-0.096	-0.014	-0.115	0.441	0.046	0.498*	-0.006	0.074	-0.441			
P	-0.506*	0.234	0.375	-0.389	0.083	-0.394	0.396	0.430	0.149	-0.353	0.079	0.546*	0.248	0.575**	0.701**	-0.192	0.263		
Cr	0.716**	-0.174	0.047	0.469*	0.581**	0.538*	-0.153	-0.278	-0.3550	0.631**	-0.456*	-0.395	-0.116	-0.565*	-0.194	0.376	-0.263	-0.497*	
V	0.645**	0.467*	-0.1090	0.790**	0.308*	0.915	0.321	0.411	0.038	0.049	0.011	0.215	0.019	0.156	0.077	0.768	0.087	0.348	0.511*

\*  $P \leq 0.05$ ; \*\*  $P \leq 0.01$ .

Mg、Ca和Sr、Al和Fe等,有些则不同,如在昆仑山地区Na和Mg表现出显著相关<sup>[14]</sup>,而在三峡地区 and 新疆呼图壁种牛场地区<sup>[12]</sup>则不相关。

**致谢** 参加野外工作的还有首都师范大学胡东先生、武汉植物研究所黄汉东先生。孔令韶研究员审阅了初稿并提出重要修改意见,路鹏先生帮助计算机录入,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 Yang Qi-Xiu(杨启修). The impact of the Three Gorges Project on vegetation resources and preserving strategies. In: Leading Group of Chinese Academy of Sciences for Research Projects on the Impact of the Three Gorges Project on Ecological Environment ed. Impact of the Three Gorges Project on Ecological Environment. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese)
- 2 Chen Guo-Jie(陈国阶). Studies on the Impact of the Three Gorges Project on Ecological Environment. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese)
- 3 Jin Yi-Xing(金义兴), Chen Zhuo-Liang(陈卓良), Zheng Zhong(郑重), Xu Tian-Quan(许天全). Studies on the vegetation and water and soil conservation strategies in the Three Gorges Region, western Hubei Province. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), 1983, 1: 189~198 (in Chinese)
- 4 Jin Yi-Xing(金义兴), Chen Zhuo-Liang(陈卓良), Zheng Zhong(郑重), Xu Tian-Quan(许天全). A report on the expedition of vegetation and environment in Changjiang Sanxia (Gorges of Yangtze River) reservoir region. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物研究), 1984, 2(Suppl.): 1~100 (in Chinese)
- 5 Chen Wei-Lie(陈伟烈), Zhang Xi-Qun(张喜群), Liang Song-Jun(梁松筠), Jin Yi-Xing(金义兴), Yang Qi-Xiu(杨启修). Plants and complex agricultural ecosystems in the Three Gorges Region, Yangtze River. Beijing: Science Press, 1994. (in Chinese)
- 6 Wu Zheng-Yi(吴征镒). Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980. (in Chinese)
- 7 He Jin-Sheng(贺金生), Chen Wei-Lie(陈伟烈). The degraded ecosystem in subtropical China: the types, composition, distribution and approaches to recovery. In: Chen Ling-Zhi(陈灵芝), Chen Wei-Lie(陈伟烈) eds. Studies on Degraded Ecosystem of China. Chapter 4. Beijing: China Science and Technology Press, 1996. (in Chinese)
- 8 Hill M O. TWINSpan—A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes. Ithaca, New York: Section of Ecology and Systematics, Cornell University Press, 1979.
- 9 Environment Monitoring Center of China ed. Background Values of Soil in China. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1990. (in Chinese)
- 10 Isacc R A. Atomic absorption methods for analysis of soil extracts and plant tissue digests. *J Assoc Anal Chem*, 1980, 63: 793~801
- 11 Hou Xue-Yu(侯学煜). Vegetation geography and chemical composition of dominant plants in China. Beijing: Science Press, 1982. (in Chinese)
- 12 Kong Ling-Shao(孔令韶), Ma Mao-Hua(马茂华), Pan Dai-Yuan(潘代远). Characteristics and quantitative analysis of K, Na, Ca, Mg and S contents in the dominant plant species on the Hutubi Cattle Stock Farm Area, Xinjiang. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1994, 36: 627~635 (in Chinese)
- 13 Jin Qi-Hong(金启宏). A study on the characters of content and distribution of K, Na, Ca and Mg elements in *Alhagi sparsifolia*. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 1996, 20: 80~84 (in Chinese)
- 14 Kong Ling-Shao(孔令韶), Li Bo-Sheng(李渤生), Guo Ke(郭柯), Ma Shao-Hua(马少华). Characteristics of element contents in plant species of the Karakorum and Lunlun Mountains. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 1995, 19: 13~22 (in Chinese)