

# 中国桫欏科植物叶、孢子和孢子囊环带元素的 X-射线微区成分分析

周云龙<sup>1</sup>, 李永良<sup>2</sup>, 陈晓端<sup>2</sup>, 常崇艳<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学生命科学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学测试中心, 北京 100875)

**摘要:** 用扫描电镜和 X-ray 微区分析方法测定和分析了中国产的 13 种及变种的桫欏科植物的叶、孢子和孢子囊环带中元素组成和平均质量分数。结果表明这 13 种及变种植物在叶、孢子和孢子囊环带的元素组成上彼此均有一定的差异; 在元素的平均质量分数上, 差异更加明显; 同一植物的叶、孢子和孢子囊环带元素组成大多不完全相同, 在叶中的元素种类均多于孢子和孢子囊环带的元素; 并且同一植物的叶、孢子和孢子囊环带中元素的平均质量分数差异也较大; 13 种及变种植物叶、孢子和孢子囊环带元素的平均质量分数最高的大多为 K 元素, 而孢子中质量分数最高的为 Si 元素。13 种及变种的桫欏科植物在元素组成和平均质量分数上的差异可能与其结构、生理和生态环境有关。

**关键词:** 桫欏科植物; 元素组成; X-ray 微区分析; 质量分数

**中图分类号:** Q944 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)02-0188-05

## X-ray microanalysis of the element of the leaf, spore and sporangium annulus *Cyatheaceae* plant in China

ZHOU Yun-long<sup>1</sup>, LI Yong-liang<sup>2</sup>, CHEN Xiao-duan<sup>2</sup>,  
CHANG Chong-yan<sup>2</sup>

(1. *Biology Department, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *Analytical and Testing Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

**Abstract:** The element composition and mass fraction of the leaf, spore and sporangium annulus of 13 species and their variant of *Cyatheaceae* were analyzed by SEM and X-ray microanalysis. The results show that the element composition of the leaf, spore and sporangium annulus of these plants is different each other; the mass fraction is more evidently different. The element composition of the leaf, spore and sporangium annulus of same plants is unlike, and the sort of element in the leaf is more than in the spore and sporangium annulus. The mass fraction of the leaf, spore and sporangium annulus in the same plant is also different. K is the most in the leaf and sporangium annulus, and in the spore Si is the majority. The difference of element composition and mass fraction is connected with their structure, physiology and ecological environment. But the significance of element composition and mass fraction in *Cyatheaceae* classification haven't been discovered.

**Key words:** *Cyatheaceae*; element composition; X-ray microanalysis; mass fraction

桫欏科植物属于真蕨亚门, 它是现存蕨类植物中唯一的木本蕨类植物, 具有树状直立茎, 植物体高

收稿日期: 2002-04-15; 修订日期: 2002-07-18

基金项目: 国家科委公关项目(97-B-14)

作者简介: 周云龙(1937-), 男, 河南光山人, 汉族, 教授, 从事植物学的教学和科研工作。

达 2~10 m。全世界约 500 种 (Tryon, 1982), 中国已知 14 种和 2 个变种。由于我国的变种处于该科分布区的北缘, 所以种类分布上有一定特色。1999 年 8 月 4 日国务院正式公布的《国家重点保护野生植物名录(第一批)》中将我国桫欏科的全部种类均列为国家二级保护植物<sup>[1]</sup>。在《中国植物红皮书》中还将桫欏列为渐危种, 将笔筒树列为稀有种<sup>[2]</sup>。桫欏科植物是一个古老的蕨类植物类群, 在一亿年前的中生代时期曾在地球上广泛分布, 现在他们的分布区域已大大缩小, 而且大多具有地方特有种的特征。桫欏科植物的科学价值在于他们是研究植物物种形成和植物地理分布关系的理想材料, 而且桫欏科植物形大、别致, 具有很好的园艺观赏价值<sup>[2]</sup>。

对于桫欏科的分类一直存在着异议, 我国著名的蕨类植物学家秦仁昌先生在 1978 年将该科下分为 3 个属, 即木桫欏属 (*Alsophila*)、白桫欏属 (*Sphaeropteris*) 和黑桫欏属 (*Gymnosphaera*)<sup>[3]</sup>。1989 年夏群对此分类略有变动, 将该科分为 2 个属, 保留白桫欏属, 而将木桫欏属和黑桫欏属合并为黑桫欏属, 并将其又分为桫欏亚属 (subgenus *Alsophila*) 和黑桫欏亚属 (subgenus *Gymnosphaera*)<sup>[4]</sup>。

本文对上述的分类系统未加讨论, 并按夏群的分类法对该科中 13 种及变种植物的叶、孢子和孢子囊环带中的元素组成和元素的平均质量分数进行 X-ray 微区分析和讨论, 以初步探讨桫欏科植物生理和生态上的一些特点。

表 1 中国桫欏科 13 种材料(含变种)的名称和产地  
Table 1 The name and producing area of 13 species of Cyatheaceae in China

属名 Genus	植物名 Species	产地 Locality	采集号 No. of collection	标本号 Vouchers	
白桫欏属 <i>Sphaeropteris</i>	白桫欏 <i>Sphaeropteris brunoniana</i> (Hook) Tryon	云南	846	0895255	
	海南白桫欏 <i>S. hainanensis</i> (Ching) Tryon	海南岛	5873	1352201	
	笔筒树 <i>S. lepifera</i> (Hook) Tryon	福建	12	1282134	
桫欏属 <i>Alsophila</i>	桫欏亚属 subgenus <i>Alsophila</i>	中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i> Bak.	西双版纳	—	
	桫欏 <i>A. spinulosa</i> (Wall, ex Hook) Tryon	四川	77119	1215539	
	阴生桫欏 <i>A. latebrosa</i> Wall, ex Hook	海南岛	5908	1352258	
	黑桫欏亚属 subgenus <i>Gymnosphaera</i>	毛叶桫欏 <i>A. andersonii</i> Scott ex bedd.	西藏	5043	1015122
	大叶黑桫欏 <i>A. gigantean</i> var. <i>gigantean</i> Wall, ex Hook	海南岛	5847	1352287	
	黑桫欏 <i>A. podophylla</i> Hook	广东	570350	—	
	粗齿桫欏 <i>A. denticulate</i> Bak.	浙江苍南	—	—	
	小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>metteniana</i> Hance	四川	—	289106	
	光叶小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>sabglabra</i> Ching ex. Xia	四川	—	—	
	西亚桫欏 <i>A. khasyana</i> Moore ex Kuhn	西藏	02913	—	

## 1 材料和方法

本文的研究材料共有 13 种(含 3 个变种), 每种材料的名称、分类和产地见表 1。

上述材料中, 中华桫欏由首都师范大学生物系的杜桂森提供, 黑桫欏由北京师范大学生命科学院植物标本室提供, 粗齿黑桫欏和光叶小黑桫欏由浙江大学曾汉元提供, 其余的材料均由中科院植物所张宪春提供。

材料的制备参照文献[5]和文献[6]。取每种桫欏的羽片分别切成 0.5 cm 的小段, 近轴面朝上, 粘在样品台上。再分别取有孢子囊的羽片, 其远轴面朝上, 平放在光洁的白纸上, 用解剖针将孢子和孢子

囊从羽片上拨至白纸上, 去掉残片后, 再将纸上的孢子和孢子囊均匀地撒在样品台的双面导电胶带上, 喷碳后用于扫描电镜及 X-射线微区成分分析。

扫描电镜型号为日立 X-650, 选用加速电压为 20 kV, 同时带有 EDAX-9100 能谱仪, 对样品进行微区成分分析。首先对叶片进行测定, 选择叶片的边缘、中脉以及他们之间的 3 个区域进行分析; 而孢子由于为单细胞, 各处差别不大, 所以选择 1~2 点作为测定点; 孢子囊仅选择环带部分进行测定。

## 2 结果和讨论

### 2.1 桫欏科植物叶的元素组成和平均质量分数

桫欏科 13 种及其变种植物的叶片的元素组成

和平均质量分数见表 2

从表 2 看出, 桫欏科 13 种及变种植物叶的元素组成有如下特点:

(1) EDS 检测到的元素看, 这 13 种及变种桫欏科植物叶中检测到 12 种元素, 根据其可见峰的 K 线的位置分别为 Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Fe、Cu 等, 其中 Al、Si、P、S、Cl、K、Ca 为常量元素, 在叶中含量较高, 而 Na、Mg、Ti、Fe、Cu 为微量元素, 在叶中含量低。

(2) 不同的桫欏科植物, 叶片中检测到的元素也有一定的差异, 如白桫欏叶中检测到全部这 12

种元素, 而大叶黑桫欏叶中则仅检测到 8 种元素, 各种植物之间的元素差异主要表现在微量元素的成分上。

(3) 各种不同的桫欏科植物叶中, K 元素的平均质量分数都很高。K 是植物生长的必需元素, 在植物生命活动中具有多种生理功能, 为多种酶的活化剂, 对提高植物碳水化合物的合成和运输有重要作用。K 主要集中在植物最活动的部分, 如生长点、幼叶和形成层等<sup>[7,8]</sup>。在这 13 种及变种桫欏科植物中 K 的含量很高, 表明这些植物叶中的 K 元素有很强的富集能力。

表 2 中国桫欏科植物叶的元素组成和平均质量分数

Table 2 The element composition and mass fraction of the leaf of Cyatheaceae in China

属名 Genus	植物名 Species	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu
白桫欏属 <i>Sphaeropteris</i>	白桫欏 <i>Sphaeropteris brunoniana</i>	0.56	3.96	23.46	10.22	4.84	5.08	9.87	33.73	7.01	0.28	0.47	0.53
	海南白桫欏 <i>S. hainanensis</i>	7.14	4.53	17.54	5.46	3.28	3.85	7.58	46.37	3.39	0	0	0.88
	笔筒树 <i>S. lepiifera</i>	0.61	0.41	1.09	27.06	3.58	4.84	19.15	28.03	14.59	0	0.43	0
桫欏属 <i>Alsophila</i>	中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i>	6.45	15.02	5.38	4.20	3.67	4.99	4.12	38.81	17.37	0	0	0
	桫欏 <i>A. spinulosa</i>	1.65	2.66	6.15	15.85	1.98	5.71	20.57	37.30	7.84	0	0	0.30
	阴生桫欏 <i>A. latebrosa</i>	2.98	5.11	19.94	37.92	3.32	3.57	6.29	17.96	1.96	0	0	0.91
黑桫欏 亚属 <i>Gymnosphaera</i>	毛叶桫欏 <i>A. andersonii</i>	3.03	6.26	7.90	3.17	4.52	5.43	6.17	56.42	6.62	0	0.46	0
	大叶黑桫欏 <i>A. gigantean</i> var. <i>gigantean</i>	0	2.99	0.63	39.13	3.93	4.83	10.11	26.01	12.37	0	0	0
<i>Gymnosphaera</i>	黑桫欏 <i>A. podophylla</i>	0	0.19	0.14	60.63	3.52	3.52	5.10	25.87	0.39	0	0	0.54
	粗齿桫欏 <i>A. denticulate</i>	7.23	4.71	5.00	6.20	4.88	5.14	2.04	59.76	5.06	0	0	0
	小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>metteniana</i>	5.30	9.82	4.43	10.53	3.10	3.54	5.22	43.58	11.90	0	0	0
	光叶小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>sabglabra</i>	6.87	4.69	6.74	7.36	2.80	5.43	4.28	59.23	2.59	0	0	0
	西亚桫欏 <i>A. khasyana</i>	3.32	8.61	3.06	6.73	4.31	4.37	1.04	54.79	13.29	0.25	0.640	

(4) 阴生桫欏、大叶黑桫欏和黑桫欏的叶中, Si 的质量分数很高。Si 虽然不是植物的必需元素, 但它也广泛地存在于许多植物中, 特别在表皮里, Si 对植物具有保护作用。此外在笔筒树和桫欏的叶中 Cl 的质量分数较高, 白桫欏和阴生桫欏中 Al 的质量分数也很高, 小黑桫欏和西亚桫欏的 Mg 的质量分数较高, 这些情况表明不同的桫欏科植物对元素的需要量和富集能力上都有各自的特点。

## 2.2 桫欏科植物孢子的元素组成及平均质量分数

桫欏科 13 种及变种植物孢子的元素组成及平均质量分数见表 3。

从表 3 看出: 12 种及变种桫欏科植物孢子的元素组成和平均质量分数有如下特点:

(1) 从元素构成看, 有 5 种植物孢子的元素组成与叶片相同, 它们是海南白桫欏、中华桫欏、粗齿桫

欏、光叶小桫欏和小黑桫欏。

(2) 孢子中以 Si 元素平均质量分数最高的植物有 7 种, 它们是白桫欏、海南白桫欏、阴生桫欏、大叶黑桫欏、黑桫欏、小黑桫欏和西亚桫欏。以 K 元素平均质量分数最高的有 4 种, 分别为桫欏、毛叶桫欏、粗齿桫欏和光叶小黑桫欏。中华桫欏的孢子中 P 的质量分数最高。

(3) 除桫欏外, 其他 11 种桫欏及变种的孢子中均不含 Ti 和 Fe 元素。

(4) 在海南白桫欏、桫欏、阴生桫欏、黑桫欏和小黑桫欏等 5 种桫欏植物的孢子中, 含有微量元素 Cu, 其中桫欏为最高, 达到 12.28%, Cu 是多酚氧化酶和抗坏血酸氧化酶等酶的成分, 可以影响氧化还原过程, Cu 还是光合作用的电子传递体之一<sup>[7]</sup>。桫欏孢子的含 Cu 量较高, 说明该孢子对 Cu 的吸收富

集力较大,其生理意义有待进一步研究。

### 2.3 孢子囊环带的元素组成和平均质量分数

桫欏科植物的孢子囊均属于薄囊蕨型,其孢子囊的环带均为纵行。环带的结构特殊,其细胞均有

三面加厚,孢子囊的开裂与环带的结构和特点密切相关。12 种及变种桫欏科植物(笔筒树没有孢子囊,故未列内)孢子囊环带的元素组成和平均质量分数见表 4。

表 3 中国桫欏科植物孢子的元素组成及平均质量分数  
Table 3 The element composition and mass fraction of the spore of Cyatheaceae in China

属名 Genus	植物名 Species	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu
白桫欏属 <i>Sphaeropteris</i>	白桫欏 <i>Sphaeropteris brunoniana</i>	0	0	1.22	32.57	8.45	4.07	16.93	21.11	15.63	0	0	0
	海南白桫欏 <i>S. hainanensis</i>	0.94	2.11	4.00	49.84	10.20	4.81	11.24	11.17	3.21	0	0	2.01
桫欏属 桫欏亚属 <i>Alsophila</i> subgenus <i>Alsophila</i> 阴生桫欏 黑桫欏 亚属 subgenus <i>Gymno- sphaera</i>	中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i>	6.47	9.80	2.78	4.71	24.50	8.53	3.65	16.98	22.57	0	0	0
	桫欏 <i>A. spinulosa</i>	0.35	0	0	3.05	0	0	1.11	68.76	4.11	4.17	6.16	12.28
	阴生桫欏 <i>A. latebrosa</i>	0	1.38	6.76	69.24	6.76	3.20	5.28	5.75	0	0	0	0.75
	毛叶桫欏 <i>A. andersonii</i>	7.66	5.57	7.82	3.41	13.04	18.08	5.34	39.09	0	0	0	0
	大叶黑桫欏 <i>A. gigantean</i> var. <i>gigantean</i>	0	0	0	45.56	20.38	14.02	4.83	13.54	1.67	0	0	0
	黑桫欏 <i>A. podophylla</i>	0	0.30	0.0	51.08	12.01	10.24	5.06	18.73	0	0	0	2.59
	粗齿桫欏 <i>A. denticulate</i>	4.04	7.12	1.53	3.11	10.56	11.29	6.84	46.08	6.30	0	0	0
	小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>metteniana</i>	4.19	4.40	2.58	47.59	6.90	5.83	5.54	15.33	6.70	0	0	1.05
	光叶小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>sabglabra</i>	7.18	15.23	5.40	6.35	11.52	5.59	11.72	35.34	1.68	0	0	0
	西亚桫欏 <i>A. khasyana</i>	0	2.68	2.54	68.20	7.63	4.88	4.42	2.63	7.10	0	0	0

表 4 桫欏科植物孢子囊环带的元素组成和平均质量分数  
Table 4 The element composition and mass fraction of sporangium annulus of Cyatheaceae in China

属名 Genus	植物名 Species	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu
白桫欏属 <i>Sphaeropteris</i>	白桫欏 <i>Sphaeropteris brunoniana</i>	0	16.23	6.61	4.91	3.59	4.00	10.31	35.90	18.45	0	0	0
	海南白桫欏 <i>S. hainanensis</i>	0	9.31	16.25	13.37	10.93	10.94	14.27	7.46	13.14	0	0	4.33
桫欏属 桫欏亚属 <i>Alsophila</i> subgenus <i>Alsophila</i> 阴生桫欏 黑桫欏 亚属 subgenus <i>Gymno- sphaera</i>	中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i>	13.13	2.59	5.70	7.65	9.34	9.05	6.85	29.40	16.29	0	0	0
	桫欏 <i>A. spinulosa</i>	0	0	0	0	0	2.13	9.51	62.38	16.47	2.89	0	6.62
	阴生桫欏 <i>A. latebrosa</i>	5.71	3.84	17.72	13.51	11.64	7.04	10.31	29.30	0	0	0	0.93
	毛叶桫欏 <i>A. andersonii</i>	9.87	0	5.44	2.22	0.88	3.43	6.11	68.24	2.54	0	0	1.27
	大叶黑桫欏 <i>A. gigantean</i> var. <i>gigantean</i>	0	0	0	0	0	0	9.49	62.49	13.44	7.05	7.52	0
	黑桫欏 <i>A. podophylla</i>	15.30	0	0.0	3.49	0	3.54	14.37	47.26	6.65	2.35	0	7.03
	粗齿桫欏 <i>A. denticulate</i>	9.01	12.38	7.76	8.79	10.39	9.58	8.75	32.57	0.90	0	0	0
	小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>metteniana</i>	11.09	16.90	10.75	9.30	5.70	5.08	5.49	20.77	11.09	0	0	4.01
	光叶小黑桫欏 <i>A. metteniana</i> var. <i>sabglabra</i>	9.44	8.63	2.63	3.53	5.70	4.54	17.91	47.63	0	0	0	0
	西亚桫欏 <i>A. khasyana</i>	0	0	0.03	0.29	0	5.57	3.54	79.30	11.28	0	0	0

从表 4 看出,12 种及变种桫欏科植物孢子囊环带的元素组成和平均质量分数有如下特点:

(1) 各种桫欏的孢子囊环带均含有元素 Cl 和 K,其他各种元素彼此均有一定的差异。

(2) 就元素组成看,小黑桫欏中可测到的元素最多达 10 种,有 5 种桫欏测到 9 种元素,2 种桫欏及

变种测到 8 种元素,2 种桫欏含测到 6 种元素,而大叶黑桫欏仅测到 5 种元素。

(3) 从平均质量分数来看,K 的平均质量分数均很高,其中西亚桫欏高达 79.30%。

从上述结果可以看出,13 种及变种的桫欏科植物在叶、孢子和孢子囊环带中的元素组成上彼此均

有一定的差异;在元素的平均质量分数上差异更为明显;同一植物的叶、孢子和孢子囊环带中的元素组成上也大多不完全相同,而且叶中可检测到的元素种类多于孢子和孢子囊环带中的元素种类;同一植物的叶、孢子和孢子囊环带中元素的平均质量分数差异也较大。在13种及变种的桫欏科植物的叶和孢子囊环带中,大多植物的K元素质量分数最高,而孢子中,7种植物的Si元素最高。桫欏科13种及变种植物在元素组成和平均质量分数上的异同可能与其结构、生理和生态环境等有关<sup>[9]</sup>,但还看不出元素组成和质量分数在桫欏科植物的分类上有何价值。

#### 参考文献:

- [1] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑[J]. 植物杂志, 1999, (5): 3-11.
- [2] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [3] 秦仁昌. 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源[J]. 植物分类学报, 1978, 16(3): 1-19.
- [4] 夏群. 中国桫欏科植物的分类[J]. 植物分类学报, 1989, 27(1): 1-16.
- [5] Li Yongliang, Zhou Yunlong, Zhang Zhenwang. Determination of element composition of three lichens and their distribution in King George Island[J]. *Antarctica, Chinese J. of Polar Science*, 11(2): 141-146.
- [6] 常崇艳, 肖新月, 周固, 等. 卷柏属植物孢子的元素成分分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2000, 36(5): 687-690.
- [7] 周云龙, 方谨, 张崇浩, 等. 植物生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [8] 潘瑞炽, 董余得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [9] 姜在阶, 唐佩华, 周固. 莲果皮的元素组成及发育和土壤对其影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1991, 27(4): 471-474.
- 潜在危害[J]. 中国环境学报, 2000, 6: 396-399.
- [4] 曹佳, 林真, 余争平. 微核试验——原理、方法及其在人群监测和毒性评价中的应用[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2000. 156-168.
- [5] 华东师范大学生物系. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980. 86-90; 143-144.
- [6] 仪慧兰, 韩清菊. NaCl 诱导大麦细胞微核及异常有丝分裂的研究[J]. 植物研究, 2000, 20(2): 156-161.
- [7] 张毓琪, 陈叙龙. 环境生物毒理学[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993. 62-63.
- [8] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 164-187.

(上接第187页 Continue from page 187)