

⑤ 367-372

部分裸子植物叶片总蛋白分析

Q949.660.6

王艇¹, 苏应娟¹, 黄超², 朱建明¹

(1. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275; 2. 湖北中医学院药理学系, 湖北武汉 430061)

摘要: 采用 SDS-PAGE 技术, 分析了红豆杉科 (Taxaceae) 植物南方红豆杉 (*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Levl.) Cheng et L. K. Fu)、穗花杉 (*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilger)、云南穗花杉 (*A. yunnanensis* Li)、白豆杉 (*Pseudotaxus chienii* (Cheng) Cheng) 以及三尖杉科 (Cephalotaxaceae)、植物三尖杉 (*Cephalotaxus fortunei* Hook. f.)、粗榧 (*C. sinensis* (Rehd. et Wils.) Li)、海南粗榧 (*C. hainanensis* Li)、篦子三尖杉 (*C. oliveri* Mast.) 和罗汉松科 (Podocarpaceae)、植物罗汉松 (*Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) D. Don)、鸡毛松 (*P. imbricatus* Bl.)、竹柏 (*P. nagi* (Thunb.) Zoll.)、陆均松 (*Dacrydium pierrei* Hickel) 共 12 种植物的叶片蛋白, 在蛋白质水平上采用定性分析方法探讨了 3 科的系统发育关系。结果表明: (1) 同意在红豆杉科内建立穗花杉属 (*Amentotaxus*) 的观点, 不支持将穗花杉属 (*Amentotaxus*) 独立成科的处理方式。(2) 白豆杉应为红豆杉科内一个属 *Pseudotaxus*。(3) 三尖杉科 (属) 分为篦子三尖杉组和三尖杉组。(4) 支持将竹柏类植物留在罗汉松科内的观点, 不支持将竹柏类植物独立成科的处理方式。(5) 三尖杉科与红豆杉科的亲缘关系比罗汉松科更近。

关键词: 红豆杉科; 三尖杉科; 罗汉松科; 叶片总蛋白; 系统发育; 叶片蛋白

中图分类号: Q949.66 **文献标识码:** A

Analysis of leaves total protein from some Gymnosperms

WANG Ting¹, SU Ying-juan¹, HUANG Chao², ZHU Jian-ming¹

(1. Life Science School, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China, 2. Department of Pharmacy, Hubei Chinese Traditional Medical College, Wuhan 430061, China)

Abstract: Leaves total protein of 12 species of Taxaceae, Cephalotaxaceae and Podocarpaceae was analysed by using SDS-PAGE. The phylogenetic relationships of three families were discussed by fixed quality method. The results generated by protein imply: (1) *Amentotaxus* is better placed in the Taxaceae than in a separated family. (2) It is supported to assign *Pseudotaxus chienii* to a separate genus in Taxagceae. (3) It is agreed that Cephalotaxaceae (Cephalotaxus) should be divided into two Sections—Sect. *Pectinatae* and Sect. *Cephalotaxus*. (4) It is unreasonable to separate nageiaoids from *Podocarpus* to establish a new family Nageiaceae. (5) Cephalotaxaceae is more closed to Taxaceae

收稿日期: 1999-03-23

作者简介: 王艇 (1969-), 男, 副教授, 从事植物分子生物学研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金 (3950013, 39700117)、广东省自然科学基金 (950099, 970176) 和广州市科委重点攻关项目。

than Podocarpaceae.

Key words: Taxaceae; Cephalotaxaceae; Podocarpaceae; leaves total protein

在裸子植物的分类和研究方面一直都存在许多困难和分歧。尽管自本世纪初以来植物学者就为此进行着不懈努力,但是至今仍然没有获得满意结果。其中在红豆杉科(Taxaceae)、三尖杉科(Cephalotaxaceae)和罗汉松科(Podocarpaceae)系统学研究中所存在的争论更为明显。目前对红豆杉科、三尖杉科和罗汉松科的比较形态学、木材显微结构、叶的解剖特征、配子体发育、胚胎发生、细胞学及植物化学^[1-5]方面的研究均有报道,但从叶片蛋白质分析3科植物系统位置的报道却非常有限。

本文研究了红豆杉科(Taxaceae)植物南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Levl.) Cheng et L. K. Fu) 穗花杉(*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilger)、云南穗花杉(*A. yunnanensis* Li)、白豆杉(*Pseudotaxus chienii* (Cheng) Cheng)以及三尖杉科(Cephalotaxaceae)植物三尖杉(*Cephalotaxus fortunei* Hook. f.)、粗榧(*C. sinensis* (Rehd. et Wils.) Li)、海南粗榧(*C. hainanensis* Li)、篦子三尖杉(*C. oliveri* Mast.)和罗汉松科(Podocarpaceae)植物罗汉松(*Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) D. Don)、鸡毛松(*P. imbricatus*)、竹柏(*P. nagi* (Thunb.) Zoll)、陆均松(*Dacrydium pierrei* Hickel)共12种植物的叶片蛋白,在蛋白质水平对3科植物的系统发育进行了探讨。

表1 材料来源

Table 1 The origin of materials

1 材料与方 法

1.1 材料来源

12种植物材料来源见表1,凭证标本藏于华南植物园和中山大学植物标本室。

1.2 主要试剂

Acr (acrylmide, 丙烯酰胺)、Bis (methylene-bisarylmide, N, N-甲叉双丙烯酰胺)、SDS (Dodecylsulfate-Na-Salt, 十二烷基磺酸钠)为 Serva 产品。TEMED (N,N,N',N'-tetramethyle Thylene-Diamine, N,N,N',N'-四甲基乙二胺)购自北京天象人有限公司。Tris (三羟甲基氨基甲烷)购自美国 SIGMA 公司(优级纯)。β-mercaptoethend (β-巯基乙醇)购自美国 SIGMA 公司(优级纯)。其余试剂为分析纯试剂。

1.3 实验方法

参见于玲等^[6]方法。称取0.25 g植物材料,加液氮迅速研磨成细粉,然后转移至1.5 ml Eppendorf 管中,加1 ml 丙酮轻轻振摇数分钟,1 000 r/min 离心数分钟,弃丙酮液。重复一次,将EP管放入干燥器中真空抽干后,加2×样品缓冲液(0.125 mol/L Tris, pH 6.8; 10% SDS; 4% β-巯基乙醇; 10%甘油; 0.02% 溴酚蓝)1 ml 研磨一段时间,15 000 r/min 离心10 min,取上清液加热(100℃, 3 min)再12 000 r/min 离心10 min 取上清液。利用垂直板进行

编号 No.	名称 Names	样品株数 Number of plants collected	采集地 Origin
1	云南穗花杉 (<i>Amentotaxus yunnanensis</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
2	穗花杉 (<i>Amentotaxus argotaenia</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
3	白豆杉 (<i>Pseudotaxus chienii</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
4	南方红豆杉 (<i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
5	三尖杉 (<i>Cephalotaxus fortunei</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
6	粗榧 (<i>Cephalotaxus sinensis</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
7	海南粗榧 (<i>Cephalotaxus hainanensis</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
8	篦子三尖杉 (<i>Cephalotaxus oliveri</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
9	罗汉松 (<i>Podocarpus macrophyllus</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
10	鸡毛松 (<i>Podocarpus imbricatus</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
11	竹柏 (<i>Podocarpus nagi</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan
12	陆均松 (<i>Dacrydium pierrei</i>)	3	华南植物园 Guangdong, Huanan

SDS-PAGE 电泳, 浓缩胶浓度 12%, 分离胶 5%, 起始稳流 30 mA 1 h, 然后稳流 40 mA, 当染料前沿距硅橡胶框底边 1.5 cm 时, 停止电泳, 关闭电源, 取出凝胶板放于培养皿中, 加固定液 (50% 甲醇 454 ml 与冰乙酸 46 ml 混均) 固定过夜, 然后将染色液 (0.125 g 考马斯亮蓝 R 250 溶于 185 ml 蒸馏水, 62.5 ml 异丙醇, 27.5 ml 冰乙酸过滤而成) 倒入培养皿中, 染色 1 h 左右, 用蒸馏水漂洗数次, 再用脱色液 (1 000 ml 水溶液中含 75 ml 冰乙酸和 50 ml 甲醇) 脱色直至蛋白区带清晰, 照相, 并计算相对迁移率。

1.4 数据分析

参照王义弘⁽⁷⁾的方法, 根据肽谱之间的相似性, 按各个种的肽谱计算出一组肽谱相似系数, 以此来确定对比种的肽谱相似程度, 并在肽谱相似系数表示的组成差别的基础之上进行双轴系统的肽谱排序。

表 2 12 种材料的不相似值总和(Σ)与 x_i , e_i , y_i 的计算结果
Table 2 The sum of dissimilarity value x_i , e_i and y_i for protein zones of 12 materials

2 结果

2.1 数据处理

数据处理的基本程序

如下:

(1) 计算各个种蛋白质肽谱带相似系数(c),
 $c = 2w / (a+b) \times 100\%$,

式中, a 为种 A 蛋白质肽谱带数, b 为种 B 蛋白质

肽谱带数, w 为 A、B 两种的相同谱带数。(2)

配对计算各种间的肽谱带相似系数, 与计算不相似系数 d ($d = 100 - c$) 构成一个矩阵。(3) 计算各种肽谱带不相似值总和 Σ (表 2)。(4) 确定各个肽谱在 x 轴上的位置。 $x_i = (L^2 + D_a^2 - D_b^2) / 2L$, 其中为 x_i 所求种的肽谱沿 x 轴对不相似值总和最大的种 A (白豆杉) 肽谱的距离, L 为种 A 与种 B (鸡毛松, 与种 A 最不相似) 肽谱之间的不相似值, D_a 为种 A 与所求种肽谱之间的不相似值, D_b 为种 B 与所求种肽谱之间的不相似值。(5) 确定各个种的肽谱在 y 轴上的位置。先计算出各种的肽谱在 x 轴上的吻合性差度值 (e_i) $e_i = \sqrt{D_a^2 - x_i^2}$, $y_i = ((L')^2 + (D'_a)^2 - (D'_b)^2) / 2L'$, 其中 y_i 为所求种的肽谱 y 轴对最高 e_i 值种 A' (云南穗花杉) 肽谱的距离, L' 为种 A' 与种 B' (陆均松, 与种 A' 最不相似) 肽谱之间的不相似值, D'_a 为种 A' 与所求种肽谱之间的不相似值, D'_b 为种 B' 与所求种肽谱之间的不相似值。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	x_i	e_i	y_i
1		4.3	66.0	33.3	74.5	47.5	47.5	46.7	69.5	74.2	74.2	75.0	585.7	31.9	57.8	0.0
2	4.3		65.2	32.2	46.7	46.7	46.7	45.8	69.0	73.8	73.8	74.5	578.7	31.6	57.0	0.62
3	66.0	65.2		54.3	72.2	72.2	72.2	71.4	76.5	78.4	78.4	74.2	781.0	0.0	0.0	29.8
4	33.3	32.2	54.3		46.9	46.9	46.9	45.8	66.0	68.0	68.0	68.2	576.5	28.5	46.2	13.9
5	47.5	46.7	72.2	46.9		0.0	0.0	14.3	54.2	56.9	56.9	60.0	455.6	51.8	50.3	28.5
6	47.5	46.7	72.2	46.9	0.0		0.0	14.3	54.2	56.9	56.9	60.0	455.6	51.8	50.3	28.5
7	47.5	46.7	72.2	46.9	0.0	0.0		14.3	54.2	56.9	56.9	60.0	455.6	51.8	50.3	28.5
8	53.3	52.5	71.4	54.2	14.3	14.3	14.3		48.9	52.0	52.0	54.5	481.7	48.5	52.1	29.5
9	69.5	69.0	76.5	66.0	54.2	54.2	54.2	57.4		6.1	6.1	30.2	543.4	76.3	5.50	63.6
10	74.2	73.8	78.4	68.0	56.9	56.9	56.9	60.0	6.1		7.7	30.3	569.2	100	0.0	68.1
11	74.2	73.8	78.4	68.0	56.9	56.9	56.9	60.0	6.1	7.7		21.7	560.6	78.0	7.9	71.1
12	75.0	74.5	74.2	68.2	60.0	60.0	60.0	63.6	30.2	30.7	21.7		617.7	68.5	28.5	100

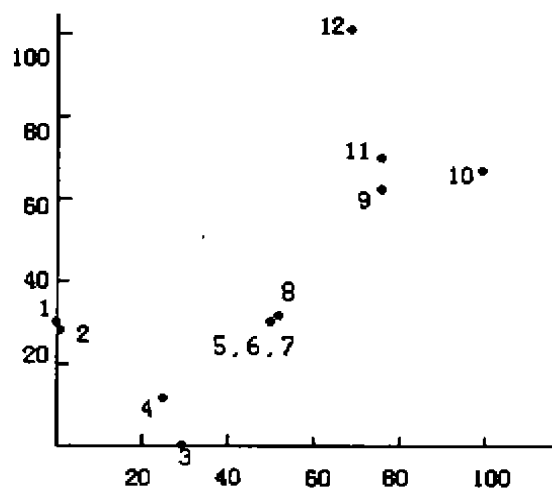


图 1 12 种材料蛋白质肽谱相似程度的二维排序
Fig. 1 The polar ordination for protein zones of 12 materials

各个种肽谱在两轴排序系统的位置分别由 x 轴和 y 轴坐标表示(图 1)。

2.2 蛋白质肽谱

各种材料所呈现的蛋白质谱带数目不等,除白豆杉谱带较少外(11条),其余谱带数目均较多,其中云南榧谱带多达36条,各谱带迁移率(Rf值)在0.026~0.987之间。根据蛋白质谱带的迁移率,可将蛋白质谱带划分为3个区段,第一区段Rf=0.026~0.282,此区段的特点是蛋白质谱带相似性程度较高,数目较少;第二区段Rf=0.282~0.615,此区段除白豆杉外,其余蛋白质谱带相似性程度较高,数目较多;第三区段Rf=0.615~0.987,此区段蛋白质谱带特点是特异性较高。

3 讨论

3.1 总蛋白质的提取

从植物叶片中直接提取总蛋白质进行电泳往往会因为谱带背景过深而得不到理想的实验结果甚至根本无法看清谱带,本实验也遇到了类似的问题,为了解决这一问题,试用了将样品加液氮研磨后分别用丙酮、丙酮+三氯乙酸及提取液中加入PVP进行处理,结果发现,用丙酮处理两次然后再进行提取就能解决谱带背景过深的问题。另外,我们也对比了嫩叶与老叶的谱带,发现它们之间没有区别。

3.2 红豆杉科

红豆杉科(Taxaceae)是裸子植物的一个重要科,我国有4个属:红豆杉属(*Taxus*)、白豆杉属(*Pseudotaxus*)、穗花杉属(*Amentotaxus*)和榧树属(*Torreya*)。有关白豆杉属(*Pseudotaxus*)和穗花杉属(*Amentotaxus*)的系统位置一直存在明显的分歧。

穗花杉属是否归属红豆杉科及其在红豆杉科内的分类等级还有争议。穗花杉属是Pilger根据模式种*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilger于1916年建立的。此种最早被作为罗汉松属(*Podocarpus*)的一个成员,后被移入三尖杉属,最终又独立为穗花杉属。Pilger^[8]根据雄球果的复合性把穗花杉属和三尖杉属归入三尖杉科。但是Kudo观察雌球果后认为它不应放在三尖杉科而应成立新穗花杉科(*Amentotaxaceae*)。而Koidzumi^[9]认为穗花杉属和三尖杉属有联系,主张把红豆杉科和三尖杉科置于同一科内,两者均降至亚科地位。Florin认为应把穗花杉属从三尖

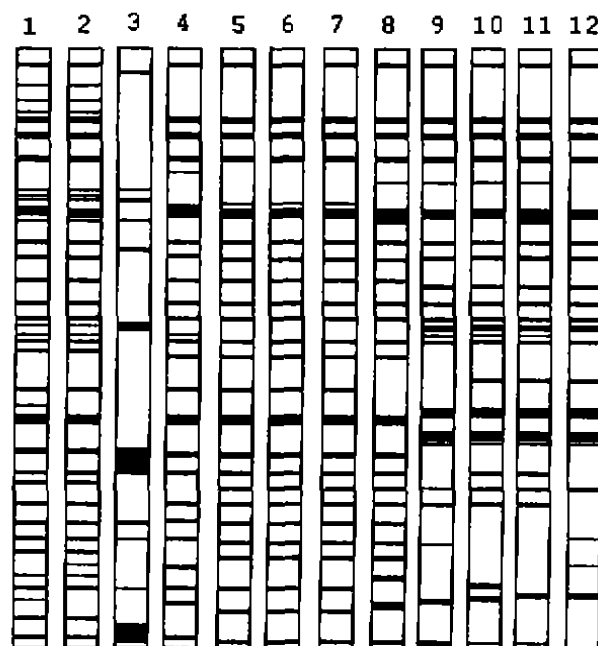


图2 红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科部分植物的叶片总蛋白电泳图

Fig. 2 The SDS electrophoretogram of leaves total protein of some plants of Taxaceae, Cephalotaxaceae and Podocarpaceae

1. 穗花杉 2. 云南榧花杉 3. 白豆杉 4. 南方红豆杉 5. 三尖杉
6. 粗榧 7. 海南粗榧 8. 篦子三尖杉 9. 罗汉松
10. 鸡毛松 11. 竹柏 12. 陆均松
1. *Amentotaxus argotaenia* 2. *Amentotaxus yunnanensis* 3. *Pseudotaxus chinensis*
4. *Taxus chinensis* var. *marrii* 5. *Cephalotaxus fortunei* 6. *Cephalotaxus sinensis*
6. *Cephalotaxus hainanensis* 8. *Cephalotaxus oliveri*
9. *Podocarpus macrophyllus* 10. *Podocarpus imbricatus*
11. *Podocarpus nagi* 12. *Dacrydium perretii*

杉科移到红豆杉科。Keng^[10] 也认为穗花杉属放在红豆杉科比放在三尖杉科或是独立成科更好, 并且认为红豆杉科可能是通过穗花杉属和三尖杉科相联系。席以珍^[11] 对穗花杉 (*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilger)、云南穗花杉 (*A. yunnanensis* Li) 花粉外壁的超微结构进行了研究, 支持把穗花杉属从红豆杉科分离出来建立穗花杉科。管启良等^[12] 报道了穗花杉 (*A. argotaenia* (Hance) Pilger) 雌株和雄株的染色体数目、核型, 认为穗花杉均不同于红豆杉科其它属和三尖杉科, 而接近罗汉松科罗汉松属的某些种, 赞同将穗花杉属归于罗汉松科。由二维排序结果可知, 穗花杉 (*A. argotaenia* (Hance) Pilger)、云南穗花杉 (*A. yunnanensis* Li) 与红豆杉科其它两种植物的亲缘关系较近, 因此穗花杉属 (*Amentotaxus*) 应置于红豆杉科内, 不支持将穗花杉属 (*Amentotaxus*) 独立成科的观点。

白豆杉属 (*Pseudotaxus*) 是郑万均^[13] 建立的, 是我国裸子植物的特有属之一。本属仅有白豆杉 (*Pseudotaxus chienii* (Cheng) Cheng) 一种, 它的胚胎发育类似于红豆杉属^[14]。花粉形态的研究显示应把白豆杉由红豆杉属分离出来成为一新属, 而且应将白豆杉属上升为白豆杉族 (*Pseudotaxaceae*) 和红豆杉族并列^[15]。张君增等^[16] 根据白豆杉和红豆杉属的化学成分有很大的区别, 支持白豆杉属上升为白豆杉族的观点。在二维排序图上, 白豆杉一方面和红豆杉科其它三种植物聚为一类; 另一方面又与这三种植物之间有一定的距离, 因而支持白豆杉是红豆杉科内一个属的观点。

3.3 三尖杉科

一般认为三尖杉科 (*Cephalotaxaceae*) 仅包括三尖杉属 (*Cephalotaxus*) 一属。胡玉熹^[3] 在光镜与扫描电镜下比较了三尖杉属植物叶片构造与叶表面角质层的特征, 发现篦子三尖杉 (*Cephalotaxus oliveri*) 和三尖杉属的其余种类相似特征独特, 建议将三尖杉属分为三尖杉组 (*Sect. Cephalotaxus*) 和篦子三尖杉组 (*Sect. Pectinatae*)。傅立国^[17] 对三尖杉属的分类作了订正, 认为三尖杉属宜分为篦子三尖杉组 (*Sect. Pectinatae*) 和三尖杉组 (*Sect. Cephalotaxus*) 及 9 个种, 对篦子三尖杉的胚胎学研究发现它与三尖杉属的其它种相比有不少共性但是也存在明显差异, 赞同将篦子三尖杉在本属中另立一组^[4]。

席以珍^[11] 对三尖杉科的花粉形态及其外壁超微结构进行了研究。支持在该属中分别成立篦子三尖杉组 (*Sect. Pectinatae*) 和三尖杉组 (*Sect. Cephalotaxus*) 的意见。总蛋白肽谱表明, 三尖杉、粗榧、海南粗榧相互之间亲缘关系较近, 在蛋白质水平上未能分开, 但篦子三尖杉跟这三种植物亲缘关系相对较远, 支持在三尖杉科内成立篦子三尖杉组和三尖杉组。

3.4 罗汉松科

罗汉松属是罗汉松科 (*Podocarpaceae*) 中的一个颇为引人注目的类群, 罗汉松属内的竹柏类植物因叶脉和生殖器官的构造特殊, 分类地位和进化也一直存在许多争议。De Laubenfels 修订罗汉松科时将竹柏类独立成属, Page 确认了 *Nageia* 属名的合法性并指出竹柏类是极自然的类群。傅德志^[18] 进一步主张将竹柏属从罗汉松科中分离出来建立单属新科竹柏科 (*Nageiaceae* D. Z. Fu)。在蛋白质二维排序图上, 罗汉松 (*Podocarpus macrophyllus*)、鸡毛松 (*Podocarpus imbricatus*)、竹柏 (*Podocarpus nagi*) 三种植物亲缘关系相对较近, 而陆均松与罗汉松科其它植物亲缘关系较远, 这一方面说明陆均松属是一个自然类群, 支持在罗汉松科内成立陆均松属, 另一方面则不支持将竹柏属从罗汉松科中分离出来建立单属新科。

3.5 红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科之间的关系

红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科是研究裸子植物系统发育的焦点之一, 红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科是一个特殊类群。本世纪初 Pilger 根据这些类群具包裹种子的肉质结构和极为减化的珠鳞, 把

三尖杉科和罗汉松科包括在红豆杉科内。Neger认为三尖杉属的雌球花极为特殊,与红豆杉科区别显著,首次建立三尖杉科,只包括三尖杉属。Takhtajan认为红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科之间的关系密切,它们共同置于松杉目内。郑万均^[13]在《中国植物志》中把三尖杉科置于红豆杉科和罗汉松科之间,共属于松杉纲。

由二维排序结果可知,12种材料按科聚为三大类群,即红豆杉科、三尖杉科及罗汉松科三科之间蛋白质谱带有较明显的区别,而科内各材料之间蛋白质谱带相似性程度较高。说明红豆杉科、三尖杉科和罗汉松科是自然类群,并且,三尖杉科与红豆杉科、罗汉松科之间亲缘关系较后两科之间亲缘关系近,支持郑万均^[13]等将三尖杉科置于红豆杉科、罗汉松科之间。

参考文献:

- (1) 桂耀林,胡玉熹. 红豆杉属叶子的表皮特征与分类的关系[J]. 植物分类学报, 1974, 12(3): 329~334
- (2) 周 峯,姜笑梅. 木材构造特征在裸子植物系统学中的意义[J]. 植物分类学报, 1992, 30(5): 405~414
- (3) 胡玉熹. 三尖杉属植物叶片结构的比较观察[J]. 植物分类学报, 1984, 22(4): 289~296
- (4) 李 莹,王伏雄,陈祖铨. 篦子三尖杉的胚胎学及其系统位置的探讨[J]. 植物分类学报, 1986, 24(6): 411~422
- (5) 马忠武,何关福,印万芬. 三尖杉属植物的双黄酮成分及其化学分类的研究[J]. 植物分类学报, 1990, 28(2): 122~128
- (6) 于 玲,何丽霞,李嘉钰等. 牡丹野生种间蛋白质谱带的比较研究[J]. 园艺学报, 1998, 25(1): 99~101
- (7) 王义弘. 介绍几种植被分析方法[J]. 东北林学院学报, 1982, (1): 153~158
- (8) Pilger R. Gymnosperms [A]. in: Engler, A. Prantl, K. Prantl. (eds) Die Nat. 1926.
- (9) Kordum G. Notes on Amentotaxaceae [J]. Acta Phytotax. Geobot., 1932, 1: 185
- (10) Keng, H. (耿 焯). Aspects of morphology of *Amentotaxus formosana* with a note on the taxonomic position of the genus [J]. Jour. Arnold Arb., 1969, 50: 432~448
- (11) 席以珍. 三尖杉科的花粉形态及其外壁超微结构的研究[J]. 植物分类学报, 1993, 31(5): 425~431
- (12) 管启良,林 立,俞仲格. 白豆杉的核型和性染色体的研究[J]. 遗传学报, 1993, 20(2): 155~158
- (13) 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第7卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1978
- (14) 陈祖铨,王伏雄. 白豆杉的胚胎发育及其系统位置的商榷[J]. 植物分类学报, 1978, 16(2): 1~10
- (15) 席以珍. 中国红豆杉科花粉形态的研究[J]. 植物分类学报, 1986, 24(4): 247~252
- (16) 张君增,方起程,梁晓天等. 从化学成分探讨白豆杉属的系统位置[J]. 植物分类学报, 1996, 34(3): 282~287
- (17) 傅立国. 三尖杉属的研究[J]. 植物分类学报, 1984, 22(4): 277~288
- (18) 傅得志. 裸子植物一新科—竹柏科[J]. 植物分类学报, 1992, 30(6): 515~528