

不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系*

刘 鹏¹ 郝朝运^{1,3} 陈子林² 张志祥¹ 韦福民² 许士珍¹

(1 浙江师范大学植物学实验室, 浙江金华 321004)

(2 大盘山自然保护区管理局, 浙江磐安 324000)

(3 安徽师范大学生命科学院, 安徽芜湖 241000)

摘 要 在对大盘山自然保护区七子花 (*Heptacodium miconioides*) 群落进行分类的基础上, 研究不同群落类型中七子花开花期器官营养元素分布及其与土壤养分的关系。结果表明: (1) 不同群落中七子花元素含量有一定的差异, 各营养元素含量的变异系数相差很大, 其中 N、P、K 元素含量的变异系数较大, 而 Ca 和 Mg 的较小。(2) 七子花不同器官元素含量大小为: N、P、K 的顺序均为叶 > 皮 > 枝 > 干, Ca 和 Mg 均为皮 > 叶 > 枝 > 干; 不同器官中, 七子花 5 种营养元素的总量由高到低依次为叶、皮、枝、干; 七子花各营养元素含量的变异系数相差较大, 其中叶、皮和枝的较高, 而干的较低。(3) 七子花植物体元素含量与土壤中的营养元素含量的相互关系有一定的规律性, 但并不明显, 说明不同群落内七子花营养元素含量的差异并不是主要由土壤中营养元素含量决定的, 而是其他生境因子影响的结果。基于以上分析认为, 土层厚度、岩石裸露率等生境条件所造成的七子花生存状态的差异是不同群落七子花元素含量变化的主要原因。

关键词 七子花; 群落; 元素分布; 土壤养分; 大盘山自然保护区

中图分类号 Q948 文献标识码 A

植物化学元素的分布特征不但是植物自身的特征, 同时也会受到所处生境的影响, 是植物生物学特性与生态环境相统一的结果^[1]。植物中不同器官的生理机能不同, 不同化学元素尤其是营养元素在植物中的分布是有差异的。由于植物体的营养元素含量主要取决于植物的种类和生长状况, 了解植物体营养元素含量可以掌握该植物营养状况, 这不但对农作物和经济林木的科学施肥具有重要意义, 也可作为受保护物种的野外种群管理与经营提供一定的指导。20 世纪 70 年代以来, 研究者从多个方面对植物化学元素进行了大量的研究, 主要涉及森林和灌丛类型的元素特征、某一地区植物营养元素的含量特征、不同群落类型下同一植物元素含量的差异、植物不同器官的元素分布、不同时期元素含量的动态过程、植物元素与土壤因子的相关性^[2~10]。

七子花 (*Heptacodium miconioides*) 是中国特有的珍稀濒危植物, 属于国家二级重点保护植物, 先后被列入中国被子植物关键类群中高度濒危种类^[11]和中国生物多样性保护行动计划中优先保护物种^[12]。

由于形态特殊, 七子花不仅在系统演化和区系分类上具有一定的学术价值, 也可作为园林和绿化树种, 但目前其分布非常狭窄, 目前仅在浙江北山、大盘山和天台山等地有成片分布^[13~15], 生境的不断恶化更加重了分布范围和种群规模不断缩小的趋势, 所以其相关研究和保护工作具有紧迫性。目前有关七子花营养元素的研究还少有报道。本文以七子花为研究对象, 对不同群落类型、不同器官 5 种主要营养元素进行了研究, 不仅可以揭示不同群落类型下七子花的营养生存状态以及与土壤养分之间的关系, 而且对于当前七子花林的保护、管理和野外新种群的人工构建等均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

大盘山自然保护区位于浙江省金华市磐安县, 大体介于 120°30' ~ 120°33' E, 28°57' ~ 29°02' N 之间, 总面积 4 558 hm², 保护区最低处海拔 300 m 左右, 最

* 浙江省自然科学基金 (399277) 和金华市科技重点项目 (2006-3-004) 资助

作者简介: 刘 鹏 (1965 ~), 男, 教授, 博士, 从事植物营养、环境生态和生理生态研究。E-mail: pliu99@163.com

收稿日期: 2006-11-01; 收到修改稿日期: 2007-01-29

高峰大盘尖海拔 1 245 m。地处华夏古陆边缘和江南古陆南侧之间的凹陷地带——钱塘江复向斜构成的盆地,是中生代侏罗纪至新生代第三纪所经历的燕山运动形成的现今地貌骨架。本区气候属亚热带季风区,温暖湿润,四季分明,雨量充沛,年平均气温 14.7,年平均降水量为 1 573 mm^[16]。地带性土壤为红壤(海拔 600 m 以下)和黄壤(海拔 600 m 以上),此外还有潮土和水稻土。境内地形条件复杂,山峦起伏,构成了气候的多层次和复杂性。虽然该区域地理跨度不大,但由于其地理位置特殊、森林覆盖率高及小区域气候复杂多样性,分布了大面积类型多样的天然次生林,保存了大量的珍稀濒危动、植物,于 2002 年被列为目前国内唯一以药用植物种质资源为保护对象的国家级自然保护区。

研究区位于大盘山自然保护区核心,由于远离人类活动区,且地势险要,七子花林保存较好,从海拔 500 m 到海拔 1 100 m 沿水沟(龙岩坑、花溪等)及两侧(50 m 以内)呈连续带状分布,为目前所发现的分布面积最大、数量最集中的七子花天然林。群落分层现象不明显,但基本可以分为乔木层、灌木层和草本层 3 个层次。乔木层高度介于 5~9 m,以山胡椒(*Lindera glauca*)、水马桑(*Weigela japonic*)、七子花等为主,并伴生有苦枥木(*Fraxinus fretusa*)、大叶稠李(*Prunus wilsonii*)、山鸡椒(*Litsea cubeba*)和木荷(*Schima superba*)等树种。灌木层高度介于 1~3 m,植物种类很多,主要有毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)、伞形绣球(*Hydrangea chinensis*)和多种荚蒾属(*Viburnum*)植物等。草本层植物不发达,分布不连续,常集中生长在群落透光部位,主要有土麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、疏毛山梅花(*Philadelphus brachybotrys*)、三脉叶马兰(*Aster ageratoides*)等,和一些金星蕨科(*Thelypteridaceae*)等蕨类植物。层间藤本植物主要为菝葜(*Smilax china*)、葛藤(*Pueraria edulis*)、珍珠莲(*Ficus sarmentosa*)等种类。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 首先在野外调查的基础上查明七子花大致分布范围与资源量,随后于 2005 年 6 月底开始沿大盘山龙岩坑和花溪等水溪及两侧对有七子花分布的群落进行调查。在植被调查中,随着海拔高度的上升在具有代表性的地段依次选择样地,共设置 400 m²的样方 20 个,并以 GPS 定位,记录各样方群落类型、海拔高度、岩石裸露率、群落透光度等生境指标。在所调查的每个大样方中,以 5 m 为间隔设置 16 个 5 m × 5 m 的乔木灌木小样方,记录每种

乔木(或灌木)的个体数、盖度、胸径、高度、冠幅等指标;同时在每一个大样方的对角线上选取 4 个 2 m × 2 m 的草本小样方,记录每种草本植物的种类株(丛)数、高度、盖度和频度等指标。

1.2.2 样品采集与测定 每个样方内的植物和土壤样品为 3 重复随机采样。在每个样方内选择 3 株中等等级的七子花植株,分别采集其固定部位的成熟叶片(叶),2~3 年生枝条(枝),茎($d > 4$ cm)韧皮部(皮)和树干木质部(干)四种材料。在每个采样七子花植株四周约 1 m 距离,随机选择 5 个点采集 0~30 cm 深度的土样并加以混合,作为实验室分析土样备用。采样时间从 2005 年 6 月底开始,至 8 月初结束,该时间处于七子花的花期。将采集的植物样品在 85℃ 烘干,然后粉碎、装瓶待用;测定营养元素时,在 105℃ 烘 3 h,精确称重,经过 H₂SO₄-H₂O₂ 消化后,N 用凯氏定氮蒸馏法^[17],P 用钼锑抗比色法^[17],K 用火焰光度法^[17],Ca 和 Mg 用 ICP-AES 法^[17]测定;土壤样品经风干和研磨处理后过 100 目的筛子,元素测定同植物样。

1.2.3 数据处理与分析 分别计算每株样方乔木、灌木和草本植物的重要值:

$$\text{乔木或灌木重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3$$

$$\text{草本植物重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对盖度}) / 2$$

以不同样地为横坐标,以各物种重要值为纵坐标,构建重要值数据矩阵。乔木层是森林生态系统的主要成分,其组成成分决定了林下的灌木层和草本层的组成和结构^[18],且七子花为小乔木树种,其在林内的竞争压力主要来自于自身以及其他乔木树种的影响。因此本文选用乔木重要值进行群落分类。

利用 TWINSpan 软件^[19]来划分群落类型,程序运行时按 0~0.1、0.1~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、>0.6 将乔木层物种重要值分为 5 级,对 20 样方乔木层的植物群落进行聚类分析。

将群落内同一器官元素含量平均后,再计算不同群落同一器官元素含量的平均值并进行成对样本的 *t* 检验。分别对七子花不同器官中营养元素含量与土壤中主要营养元素含量进行相关分析。上述计算过程在 SPSS 12.0 软件中完成。

2 结果与讨论

2.1 群落的 TWINSpan 分类

应用 TWINSpan 法对所调查的 20 个样方进行

分类,结合其他优势种及环境状况,将这些植物群落划分为 5 个类型(图 1),代表 5 种物种组成和生境不相同的群落类型。

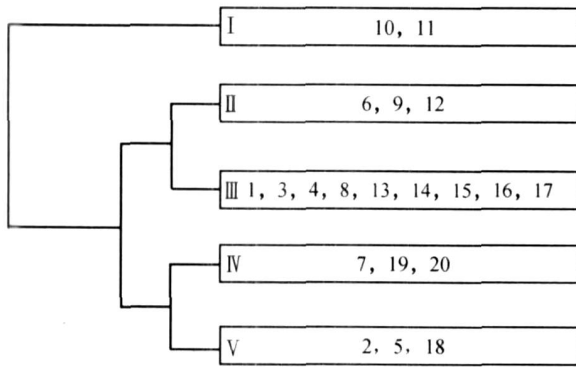


图 1 大盘山自然保护区乔木层样方的 TWINSpan 群落分类结果

Fig. 1 TWINSpan classification of 20 tree plots in the Dapanshan Nature Reserve

注:图中、、、、分别表示 5 个不同的群落类型,数字 1~20 分别表示 20 个不同的样方 Note: The Roman numerals, , , , and denote five different types of community, respectively, and the digits from 1 to 20 denote twenty different plots respectively

群落类型 为香果树 (*Emmenopterys henryi*) + 七子花林,包括 10、11 样方,大体位于海拔 800~900 m 左右。群落位于岩石裸露率很高 (>80%) 的水沟上,坡向西向偏南,光照条件不理想(光照时间短、光照强度低),这种生境条件缓解了群落物种之间的竞争压力,乔木层发达,以香果树为单优势种,同时也有一定数量的大型七子花植株。灌木和草本植物极少,主要有伞形绣球、蝴蝶英莨 (*Viburnum plicatum*)、土麦冬和蕨 (*Pteridium aquilinum*) 等种类。其独特的乔木种类组成与其他群落明显不同,所以首先被划分为一种类型。

群落类型 为七子花林,包括 6、9、12 三个样方,大体在海拔 600~900 m 之间。群落内岩石裸露率中等,光照充足,群落乔木层发达,七子花为群落中的单优势种,林内郁闭度较高,仅有少量的草本和灌木植物,以阴生种类为主,如山檀 (*Lindera reflexa*)、庐山楼梯草 (*Elatostema stewardii*) 等。

群落类型 为七子花 + 山胡椒林,包括 1、3、4、8、13、14、15、16、17 共 9 个样方,海拔跨度很大,从 500 m 到 1 000 m 均有分布。群落的乔木层发达,七子花和山胡椒等为乔木层共优势物种,灌木层和草本层也较发达,分布有毛花连蕊茶、娟眉山梅花、紫萁 (*Osmunda japonica*)。除了岩石露头率较高外,

其余生境条件和 基本相同,两者均以七子花为群落的优势物种,所不同的是 的群落组成更为复杂,聚集了更多的植物种类。

群落类型 为水马桑林,包括 7、19、20 三个样方,海拔位置较高(1 000 m 左右),达到了七子花分布的上限。群落位于水沟旁的斜坡上,岩石裸露较少、土层厚、地势较为平坦、光照充足,优越的生境条件为竞争能力强的物种提供了足够的发展空间,群落中水马桑占有绝对优势,七子花仅有一些大型个体零星分布其中。灌木层不发达,仅在水沟旁乔木层郁闭度低的地方,聚集分布一定数量的中国旌节花 (*Stachyurus chinensis*) 等种类,草本层植物也不多,以阴生种类为主,如半蒴苣苔 (*Hemiboea henryi*)、紫萁等。

群落类型 为山胡椒 + 盐肤木 (*Rhus chinensis*) 林,包括 2、5、18 三个样方,海拔跨度也较大。由于这些样方靠近人类活动频繁的区域,群落为人为干扰破坏厚的次生类型,高大的乔木层植物多被砍伐,所以群落内光照明显增强,为淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、白茅 (*Imperata cylindrica*) 等灌木层和草本层植物提供了生存机会,群落各层均聚集了较多的植物种类,但是各层优势种不明显,群落处于不稳定的状态。

2.2 不同群落类型元素含量分析

依据群落的分类结果,从每个群落类型中选择 2 个样方,测定植物和土壤样品的各项元素指标,其中七子花各器官的元素含量测定结果见表 1。

植物化学元素的分布特征一方面反映了植物自身的特征,是植物长期演化的结果;另一方面,植物中元素含量受到所处生境的影响,生境中光照条件、土壤肥力特征等均对植物的生长发育及元素分布有影响。从表 1 可见,不同群落类型中七子花各器官的元素含量存在着一定的差异,其中,不同器官 N 含量在 5 种类型群落中的排列次序具有一定的规律,叶、枝、干 3 种器官中的含量由高到低依次为 、 、 、 ,皮中的含量由高到低依次为 、 、 、 ;除 N 外,七子花各器官中其他元素在 5 种类型群落中的排列次序有些杂乱。但从整体上看,仍能发现一定的规律:七子花各器官中的 N、P、K 三种元素均以 、 、 的含量较高,以 、 中的含量较低;七子花各器官中的 Ca、Mg 两种元素与 N、P、K 的变化趋势大体相反,基本以 、 中的含量较高,以 、 、 中的含量较低。目前,有关同一种植物在不同群落类型下元素含量的研究少有报道。植

表 1 大盘山自然保护区不同群落七子花营养元素含量

Table 1 Nutrient contents in different organs of *Heptacodium miconioides* in five communities in Dapanshan Nature Reserve (g kg^{-1})

器官 Organ	元素 Element	群落类型 Community types				
		1	2	3	4	5
叶 Leaf	N	16.3 \pm 2.2	17.1 \pm 2.9	17.7 \pm 4.7	10.2 \pm 2.5	14.0 \pm 2.8
	P	1.49 \pm 0.19	1.19 \pm 0.16	1.32 \pm 0.14	0.742 \pm 0.168	0.940 \pm 0.152
	K	10.5 \pm 1.2	10.5 \pm 1.5	10.7 \pm 1.6	9.07 \pm 1.17	6.88 \pm 0.54
	Ca	9.98 \pm 1.47	10.4 \pm 1.0	9.78 \pm 1.51	10.8 \pm 1.8	10.9 \pm 0.5
	Mg	1.55 \pm 0.22	1.49 \pm 0.22	1.43 \pm 0.24	1.39 \pm 0.18	1.31 \pm 0.13
皮 Bark	N	8.95 \pm 1.26	9.50 \pm 1.36	9.30 \pm 1.75	8.47 \pm 1.91	7.67 \pm 0.62
	P	0.733 \pm 0.141	0.640 \pm 0.088	0.686 \pm 0.136	0.487 \pm 0.085	0.534 \pm 0.236
	K	4.39 \pm 0.63	4.01 \pm 0.62	4.28 \pm 0.47	3.71 \pm 0.39	3.56 \pm 0.17
	Ca	10.4 \pm 1.3	10.9 \pm 0.5	11.0 \pm 1.6	13.3 \pm 1.3	12.7 \pm 0.2
	Mg	1.35 \pm 0.19	1.34 \pm 0.16	1.43 \pm 0.19	1.58 \pm 0.18	1.46 \pm 0.06
枝 Branch	N	7.68 \pm 0.92	9.17 \pm 0.58	9.79 \pm 1.40	4.53 \pm 0.74	6.42 \pm 0.89
	P	0.605 \pm 0.079	0.703 \pm 0.101	0.679 \pm 0.130	0.441 \pm 0.064	0.441 \pm 0.059
	K	2.55 \pm 0.40	2.44 \pm 0.31	2.61 \pm 0.20	2.21 \pm 0.21	2.00 \pm 0.02
	Ca	7.09 \pm 0.83	7.52 \pm 0.80	6.28 \pm 0.78	7.93 \pm 0.69	8.31 \pm 0.90
	Mg	1.16 \pm 0.12	1.13 \pm 0.20	1.24 \pm 0.16	1.45 \pm 0.17	1.39 \pm 0.11
干 Stem	N	3.12 \pm 0.38	3.18 \pm 0.41	3.36 \pm 0.33	2.66 \pm 0.18	2.76 \pm 0.34
	P	0.271 \pm 0.021	0.271 \pm 0.037	0.281 \pm 0.065	0.222 \pm 0.026	0.218 \pm 0.022
	K	1.61 \pm 0.22	1.44 \pm 0.25	1.51 \pm 0.18	1.34 \pm 0.21	1.49 \pm 0.09
	Ca	1.38 \pm 0.14	1.35 \pm 0.08	1.43 \pm 0.20	1.46 \pm 0.13	1.50 \pm 0.12
	Mg	0.562 \pm 0.072	0.555 \pm 0.054	0.591 \pm 0.077	0.611 \pm 0.072	0.555 \pm 0.043

物在生长发育过程中的发育状态不同,各群落类型下七子花元素含量的差异表明同一树种由于受到生境条件的影响,对化学元素吸收利用水平有差异。

植物营养元素含量是植物在一定生境条件下吸收营养元素的能力,在一定程度上揭示植物的生长发育状况。在植物体中,N、P均是重要的结构组成元素,N能够促进植物的生长和提高光合作用,适量的N能够促进根系的发育和茎叶的生长,P能起促进植物根系发育及新器官形成的能力,并能提高植物的抗逆性和外界环境条件的能力;K虽然不是植物结构组分元素,却是植物生理活动最重要的元素之一,能够促进植物的光合作用。而且,这三种元素作为通常的“肥料”三要素,植物对它们的吸收具有共同特点,即均以主动吸收为主。而Ca和Mg虽然也都是植物的结构组成元素,是绿色植物不可缺少的,但与N、P、K相比有一个明显的不同点,植物对这两种元素的吸收均以被动吸收为主,因此植物吸收Ca、Mg与呼吸作用关系不大,而主要与蒸腾作

用有关。根据以上分析,在 、 、 中七子花各器官的N、P、K三种元素含量较高,能在一定程度上说明七子花在这3个群落类型中的生命活动较为旺盛; 、 中Ca、Mg含量较低则可能是由于群落中七子花生长速度较慢,蒸腾作用造成了这两种元素在植物体内的聚集,相对于其他3种群落而言含量较高。

从表1可以看出,4种器官中不同元素含量的高低次序有所差异,其中叶中5种元素含量由高到低依次为N、Ca、K、Mg、P,皮中依次为Ca、N、K、Mg、P,枝中依次为N、Ca、K、Mg、P,干中依次为N、K、Ca、Mg、P。总体而言,不同器官中各元素含量均以N或Ca为最高,其余依次为K、Mg、P,本文结果与以往的一些相关研究一致。何斌等^[20]对广西英罗港不同红树植物地上部分元素含量的研究显示,白骨壤(*Avicennia marina*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)的元素含量高低依次为N、Ca、K、Mg、P,而秋茄(*Kandelia candel*)、红树榄(*Rhizophora stylosa*)等的

元素含量高低依次为 Ca、N、K、Mg、P;潘开文等^[21]对连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*) 5 种营养元素含量的研究显示,各器官元素含量由高到低的次序基本为 Ca、N、K、Mg、P。但也有一些研究显示了与本文结果的不同之处^[22]。可见,不同种类植物中 N、P、K、Ca 和 Mg 这 5 种营养元素含量的高低次序不尽相同,元素含量的高低首先取决于植物遗传特性的影响。

2.3 不同器官元素含量分析

植物生长过程中各器官所起的作用不同,其生理机能和生物学特性有很大差异,对营养元素的需要量也不相同,因此各器官营养元素的含量存在着明显差异^[23]。对不同群落同一器官元素含量的平均值及标准误差的计算结果见图 2。从图 2 可见, N、P、K 三种元素在不同器官中的含量由高到低依次为叶、皮、枝、干,而 Ca、Mg 在不同器官中的分布各有特点。成对样本的 *t* 检验结果显示,除了皮-枝差异不显著外,在其余器官对 N、P 均差异显著;K 不同器官之间的差异都达到显著水平;Ca 在除叶-皮外的其他器官之间均达到显著水平;Mg 除了干和叶、皮、枝之间的差异显著外,其余器官差异不显著。总体而言,不同器官七子花 5 种营养元素的总量明显不同,由高到低依次为叶 (37.6 g kg^{-1})、皮 (23.7 g kg^{-1})、枝 (19.2 g kg^{-1})、干 (6.75 g kg^{-1}),排列顺序和以往对其他植物的研究结果一致,关联样本非参数检验的结果显示,差异极显著 (Chi-Square = 13.560, $p = 0.004$, Friedman test)。

N、P、K 在不同器官中具有相同的积累规律可能具有相同的吸收运输特点有关,三者为植物体内的活跃元素并均以主动吸收为主。何宗明等^[24]对福建柏 (*Fokienia hodginsii*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林营养元素的研究显示,福建柏 N、P、K 在不同器官中的含量由高到低依次为叶、枝、皮、干,杉木的依次为叶、皮、枝、干;李志安等^[22]对广东鼎湖山黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 元素含量的研究显示了与本文一致的结论。说明不论在哪类植物中,叶均由于其进行光合作用维持植物生长而成为吸收 N、P、K 最活跃的器官,因而这些元素在叶中的含量明显高于其他部位;而皮和枝也起着植物体输导营养的作用,所以其营养元素的含量也较高。与 N、P、K 三种元素不同,Ca 元素在不同器官中的含量由高到低依次为皮、叶、枝、干,而 Mg 在叶、皮、枝中的含量基本一致,在干中的含量稍低。这与以往的一些研究结果基本一致^[22]。分析认为,

Ca 是非活跃性元素,很难在韧皮部中运输而形成 Ca 的积累,从而导致 Ca 的含量以韧皮部中为最高;虽然 Mg 的吸收过程也主要依靠被动吸收,与 Ca 的类似,但由于其为活动性元素,在植株中有很好的移动性。

虽然不同元素在各器官中的变化趋势基本一致,但变异程度有明显不同, N、P、K 在不同器官中的含量由高到低基本呈均匀性减少,而 Ca 和 Mg 含量则在叶、皮、枝中变化不明显,在干中急剧减少,尤以 Mg 最为明显。这可能由于叶是植物体更新变动最快的器官,枝、皮其次,而干的最少,正是由于这一点,使叶和皮等更容易受到外界条件的影响而使元素含量产生较大幅度的差异。这点在川西云杉 (*Picea balfouriana*) 人工林^[25]、不同演替阶段红树植物群落^[20]等相关研究中也有所体现。

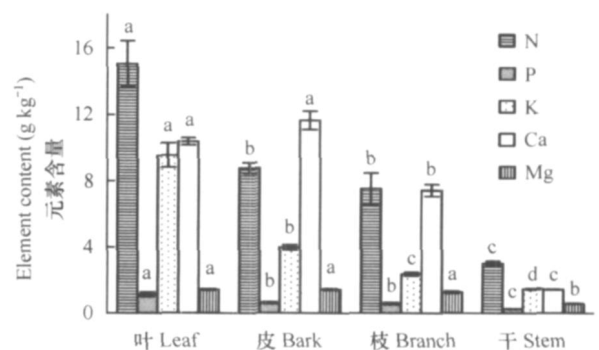


图 2 大盘山自然保护区七子花不同器官元素含量比较
Fig. 2 Comparison between different organs of *H. miconioides* in nutrient content

注:柱状图上标注不同字母表示不同器官间元素含量的差异显著 ($p < 0.05$) Note: Histograms capped with different letters indicate that the differences between organs are significant at 0.05 levels

2.4 与土壤养分的相关分析

土壤是生态系统的物质基础,林木生长所需的水分、养分和部分 CO_2 均要依赖森林土壤的供给。对七子花元素含量与土壤中主要营养元素含量进行的相关分析显示(表 2),叶中 N、P、K 三元素均与土壤中的全氮含量呈显著的正相关,叶中 Mg 含量与土壤中 Ca 含量呈显著负相关;皮中 N 含量与土壤中全氮和速效磷均显著正相关,而皮中 Ca 含量与全磷和速效氮均显著负相关;枝中 N、P、K 均与土壤中全氮呈显著正相关,Ca 与土壤中全氮显著负相关;干中元素与土壤中元素呈显著相关的仅两对。

一般来说,在土壤养分含量未达到过量之前,有效养分含量甚至总量会明显地影响植物体内的养分

含量,即土壤中有效元素(如 N、P、K 等)会与植物体内对应元素呈明显的正相关,这在以往一些关于植物元素含量与土壤养分之间关系的研究中有所体现^[20]。从本文结果看,植物体 N、P、K 含量基本均与土壤中的全氮、全磷、速效氮、速效磷、速效钾呈正相关,与以往研究结果类似。但除此之外,七子花植物体元素含量与土壤中的营养元素含量的相互关系并无明显的一致规律,可见,不同群落内七子花营养元素含量的差异并不是主要由土壤中的对应元素含量决定的,而是其他生境因子影响的结果。

从生境资料看,七子花主要分布在海拔 500 ~ 1 000 m 之间的水沟两侧,生境比较特殊固定,林内常有水流冲刷地面,林内大生境较为一致,由于海拔、经纬度、含水量、土壤类型不同所造成的生境差异可以忽略,差别主要在土层厚度、岩石裸露率、坡度、坡向。因此,那些共同的生境因子对其土壤理化性质的影响可能过于强烈而掩盖了其他因素所造成

的影响,导致土壤中营养元素含量的差异未能有效体现各群落类型的特征。同时,前文的群落分类结果表明,在岩石裸露率低、土层厚、坡度缓和的优越生境中,七子花基本呈零星分布或为群落伴生种,很难成为优势种,而在适度的恶劣生境下,七子花可以得到更多的生存空间而成为群落的优势物种。七子花喜光,林内荫蔽处的幼苗常因光合不足而死^[26~28],但是其较弱的竞争能力使其难以在优越生境中获得足够的光照,不得不退守到光照较差的生境中^[29],七子花生理、光合与能量学方面的相关研究也表明,不同的光照条件对七子花的生长和发育产生了明显影响^[29,30]。从以上分析可见,不同群落类型中七子花生长发育状态的不同导致了其元素含量的差异,而林内土壤理化性质过多地受到共同因素的影响而未能体现不同群落类型的特征,是导致七子花器官元素含量与土壤中的营养元素含量的相互关系无明显规律性的主要原因。

表 2 大盘山自然保护区七子花元素含量与土壤主要营养元素的相关性

Table 2 Relationship between nutrient contents of *H. moconoides* and soil nutrient contents in Dapanshan Nature Reserve

器官 Organ	元素 Element	全氮 Total N	全磷 Total P	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	钙 Ca	镁 Mg
叶 Leaf	N	0.492 *	0.046	0.061	0.175	- 0.135	- 0.170	- 0.060
	P	0.527 **	0.152	0.026	0.313	- 0.227	- 0.194	- 0.191
	K	0.581 **	0.070	- 0.020	0.379	- 0.201	- 0.328	- 0.203
	Ca	- 0.099	0.212	0.268	0.116	0.341	- 0.222	- 0.059
	Mg	0.264	0.135	0.019	0.213	- 0.032	- 0.488 *	- 0.328
皮 Bark	N	0.404 *	0.021	- 0.063	0.496 **	0.122	- 0.359	- 0.129
	P	0.374	0.227	0.262	0.244	0.116	- 0.299	0.038
	K	0.382	0.156	0.302	0.155	0.168	- 0.235	- 0.198
	Ca	- 0.208	- 0.494 *	- 0.393 *	- 0.285	- 0.127	0.296	- 0.253
枝 Branch	Mg	0.066	- 0.254	- 0.373	- 0.111	- 0.100	0.186	- 0.013
	N	0.543 **	0.314	0.265	0.288	- 0.027	- 0.234	0.210
	P	0.530 **	0.132	0.022	0.390 *	- 0.213	- 0.350	0.022
	K	0.510 **	0.054	0.092	0.200	- 0.188	- 0.269	- 0.307
	Ca	- 0.427 *	- 0.197	- 0.219	- 0.057	0.298	0.152	- 0.064
干 Stem	Mg	- 0.213	- 0.111	- 0.007	- 0.049	0.363	- 0.006	- 0.177
	N	0.312	0.002	0.086	0.166	- 0.273	- 0.416 *	0.051
	P	0.318	- 0.104	- 0.159	0.185	- 0.255	- 0.258	- 0.266
	K	0.504 **	0.051	- 0.038	0.288	- 0.179	- 0.226	- 0.296
	Ca	- 0.266	- 0.247	- 0.105	- 0.218	0.217	0.077	0.194
	Mg	0.043	- 0.183	0.070	0.028	0.461 *	- 0.104	0.007

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

3 小结与建议

1) 基于物种重要值数据矩阵应用 TWINSpan 分类法可将所调查的 20 个样方分为 5 种群落类型。不同群落类型的海拔高度范围没有明显区分,有些出现了重叠的现象,说明海拔高度对群落类型的影响有限。分析认为,七子花主要分布在海拔 500 ~ 1 000 m 之间的水沟两侧,生境比较特殊固定,由于海拔、含水量、土壤类型不同所造成的生境差异可以忽略,这些共同的生境因子对不同样地的群落特征相似性产生了重要影响。我们对群落乔木层植物重要值与环境因子的去趋势对应分析 (DCCA) 的结果也支持上述观点 (另文发表)。

2) 植物中元素含量会受到所处生境的作用,光照条件、土壤肥力特征等均对植物的生长发育及元素分布有一定影响。本研究显示,不同群落类型中七子花各元素含量存在着一定的差异,其中 N、P、K 的变化趋势具有一定的相似性,在七子花各器官中均以 C、H、O 的含量较高,以 N、P、K 中的含量较低;而 Ca、Mg 和 N、P、K 的变化趋势基本相反。不同群落类型七子花元素含量的差异表明同一树种由于受到生境条件的影响,对营养元素的吸收利用水平是有差异的。七子花各营养元素含量的变异系数相差很大,N、P、K 元素含量的变异系数较大,而 Ca 和 Mg 的较小。

3) 植物中化学元素含量是植物生物学特性与生态环境相统一的结果,同时由于植物中不同器官的生理机能不同,不同化学元素尤其是营养元素在植物中的分布有所差异。七子花各器官的平均元素含量存在明显差异,不同元素在各器官中的变化趋势基本一致,除了 Ca 和 Mg 以皮中的含量最高外,其余元素在不同器官中的含量由大到小依次为叶、皮、枝、干。但不同元素含量在各器官中的变异程度有明显不同,N、P、K 元素含量由高到低基本呈均匀性减少,而 Ca 和 Mg 含量则在干中急剧减少。各元素含量由高到低依次为 N、Ca、K、Mg、P,其中除了 N 和 Ca 之间的差异不显著外,其余元素对的差异均达到极显著水平。

4) 对七子花元素与土壤中元素含量的相关分析显示,植物体 N、P、K 含量基本均与土壤中的全氮、全磷、速效氮、速效磷、速效钾呈正相关,与以往研究结果类似。但除此之外,七子花植物体元素含量与土壤中的营养元素含量的相互关系并无明显的

一致规律,表明不同群落内七子花营养元素含量的差异并不是主要由土壤中的对应元素含量决定的,而是其他生境因子影响的结果。

5) 通过以上分析认为,由于光照条件不同所造成的生存状态的差异可能是不同群落类型中七子花元素含量变化的主要原因,这种光照条件的不同最终取决于当地小生境的土层厚度、岩石裸露率等生境指标。基于以上分析结果,建议在对七子花进行保护时应注意以下两点: 在选择七子花保护点时,应充分考虑当地的生境条件和七子花的生存能力,切不可选择七子花难以得到充分生存发展空间的优越生境; 在七子花的保护点或者在野外人工构建七子花种群时,在确定林内无其他受保护的物种的情况下,可适当砍伐地段内高大的其他乔木树种,增加群落透光率,改善七子花的生存条件。

参考文献

- [1] 史瑞和. 植物营养原理. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 217 ~ 398. Shi R H. Plant Nutrient Principles (In Chinese). Shanghai: Jiangsu Science and Technology Press, 1989. 217 ~ 398
- [2] Brington M. Litter-fall, stemflow, and throughfall nutrient fluxes in an alluvial swamp-forest. *Ecology*, 1980, 61(4): 827 ~ 835
- [3] Grubb P J. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. The distribution of mineral elements in the above ground material. *Journal of Ecology*, 1982, 70: 623 ~ 629
- [4] 陈灵芝, 胡肄慧, 孔繁志, 等. 人工油松林的化学元素特征. *植物学报*, 1987, 29(2): 302 ~ 308. Chen L Z, Hu S H, Kong F Z, et al. The chemical elements of planted forest of *Pinus tabulaeformis* (In Chinese). *Acta Botanica Sinica*, 1987, 29(2): 302 ~ 308
- [5] Kimmins J P. *Forest Ecology*. Macmillan, New York, 1987
- [6] 贺金生, 陈伟烈, 王其兵. 长江三峡地区优势植物的化学元素含量特征. *植物学报*, 1998, 40(5): 453 ~ 460. He J S, Chen W L, Wang Q B. Studies on the characteristics of element contents in the dominant plant species of the three gorges in China (In Chinese). *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(5): 453 ~ 460
- [7] Song J, Wang B S, Peng S L, et al. The storage and cycling nutrient of *Ixonanthes chinensis* in south subtropic broad-leaf evergreen forests, Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 223 ~ 225
- [8] 王文卿, 林鹏. 红树植物秋茄和红海榄叶片元素含量及季节动态的比较研究. *生态学报*, 2001, 21(8): 1 233 ~ 1 238. Wang W Q, Lin P. Comparative study on seasonal changes in element concentrations in leaves of *Kandelia candel* and *Rhizophora stylosa* at Jiulongjiang estuary (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1 233 ~ 1 238
- [9] 管东生, 罗琳. 海南热带植物叶片化学元素含量特征. *林业科学*, 2003, 39(2): 28 ~ 32. Guan D S, Luo L. Chemical element concentrations of tropical plant leaves in Hainan Province (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(2): 28 ~ 32

- [10] Lin Y M, Peng Z Q, Lin P. Dynamics of leaf mass, leaf area and element retranslocation efficiency during leaf senescence in *Phyllostachys pubescens*. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(11): 1 316 ~ 1 323
- [11] 陈灵芝主编. 中国的生物多样性—现状及其保护对策. 北京: 科学出版社, 1994. 47 ~ 53. Chen L Z. ed. Current Situation of Chinese Biodiversity and Their Conservation Countermeasure (In Chinese). Beijing: Science Press, 1994. 47 ~ 53
- [12] 中国生物多样性保护行动计划总报告编写组. 中国生物多样性保护行动计划. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 75 ~ 80. General Report Compile Group of China Biological Diversity Protection Action Plan. China Biological Diversity Protection Action Plan (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1994. 75 ~ 80
- [13] 金则新. 浙江天台山七子花群落特征的初步研究. 广西植物, 1996, 16(1): 25 ~ 34. Jin Z X. A preliminary study on phytocoenosis features of *Heptacodium miconioides* community in Tiantai mountains of Zhejiang Province (In Chinese). *Guihaia*, 1996, 16(1): 25 ~ 34
- [14] 刘鹏, 郭水良, 赵铁桥, 等. 浙江北山七子花群落及生物多样性保护. 华东森林经理, 1997(11): 16 ~ 19. Liu P, Gao S L, Zhao T Q, et al. A study on community characteristics and species diversity of the *Heptacodium miconioides* community in the Beishan mountain of Zhejiang Province (In Chinese). *East China Forest Management*, 1997(11): 16 ~ 19
- [15] 郝朝运, 刘鹏, 邬周伟. 浙江中部七子花种群结构与空间分布格局的研究. 林业科学研究, 2006, 19(6): 778 ~ 784. Hao C Y, Liu P, Wu Z W. Study on *Heptacodium miconioides* population structure and spatial distribution pattern in the central Zhejiang Province (In Chinese). *Forest Research*, 2006, 19(6): 778 ~ 784
- [16] 李鸣, 顾洁, 张欣, 等. 浙江大盘山濒危植物七子花的种群结构. 华东师范大学学报(自然科学版), 2004(4): 117 ~ 121. Li M, Gu J, Zhang X, et al. Population structure of *Heptacodium miconioides*, an endangered species, in Dapan mountain of Zhejiang Province (In Chinese). *Journal of East China Normal University (Natural Science Edition)*, 2004(4): 117 ~ 121
- [17] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. ed. Analytical Methods of Soil and Agrochemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [18] 赵淑清, 方精云, 宗占江, 等. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布. 生物多样性, 2004, 12(1): 164 ~ 173. Zhao S Q, Fang J Y, Zong Z J, et al. Composition, structure and species diversity of plant communities along an altitudinal gradient on the northern slope of Mt. Changbai, Northeast China (In Chinese). *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 164 ~ 173
- [19] Hill M O. TWINSPLAN-AFORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes. Ithaca, Cornell University, 1979
- [20] 何斌, 温远光, 梁宏温, 等. 英罗港红树植物群落不同演替阶段植物元素分布及其与土壤肥力的关系. 植物生态学报, 2002, 26(5): 518 ~ 524. He B, Wen Y G, Liang H W, et al. Element distribution and its relationship with soil fertility in different succession stages of a mangrove community in Yingluo bay, Guangxi (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5): 518 ~ 524
- [21] 潘开文, 刘照光. 连香树人工幼林群落营养元素含量、积累分配和循环. 林业科学, 2001, 37(2): 1 ~ 12. Pan K W, Liu Z G. The distribution and circulation of nutrient element contents and accumulation in the young artificial *Cercidiphyllum japonicum* community (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(2): 1 ~ 12
- [22] 李志安, 王伯荪, 孔国辉, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林黄果厚壳桂群落植物元素含量特征. 植物生态学报, 1999, 23(5): 411 ~ 417. Li Z A, Wang B S, Kong G H, et al. The element content of plants in *Cryptocarya concinna* community in Dinghushan evergreen monsoon broad leaf forest (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(5): 411 ~ 417
- [23] 黄建辉, 陈灵芝. 北京百花山附近杂灌丛的化学元素含量特征. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 224 ~ 233. Huang J H, Chen L Z. A study of chemical contents in a mixed shrubland near Baihuashan mountain in Beijing (In Chinese). *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(3): 224 ~ 233
- [24] 何宗明, 张任好, 邹双全, 等. 福建柏和杉木人工林营养元素积累与分配. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(3): 205 ~ 210. He Z M, Zhang R H, Zou S Q, et al. Nutrient accumulation and distribution in *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata* plantations (In Chinese). *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(3): 205 ~ 210
- [25] 刘兴良, 宿以明, 刘世荣, 等. 四川西部川西云杉人工林非同化器官营养元素含量与分布. 生态学报, 2003, 23(12): 2 573 ~ 2 578. Liu X L, Su Y M, Liu S R, et al. Macronutrients and their allocations in non-photosynthetic organs in the *Picea balfouriana* in western Sichuan (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2 573 ~ 2 578
- [26] 柯世省, 金则新, 李钧敏, 等. 七子花苗期光合生理生态特性研究. 武汉植物学研究, 2002, 20(2): 125 ~ 130. Ke S S, Jin Z X, Li J M, et al. Study on the characteristics of photosynthetic physiocology in leaves of *Heptacodium miconioides* seedlings (In Chinese). *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2002, 20(2): 125 ~ 130
- [27] 柯世省, 金则新. 七子花幼苗光合特性的温度响应. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(4): 328 ~ 334. Ke S S, Jin Z X. Photosynthetic response to temperature in *Heptacodium miconioides* seedlings (In Chinese). *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2002, 10(4): 328 ~ 334
- [28] 刘鹏, 徐根娣. 在生境片断化中光对七子花生理特性的影响. 林业科学, 2003, 39(4): 43 ~ 48. Liu P, Xu G D. Effect of light in the site fragmentation on physiological characteristics of *Heptacodium miconioides* (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(4): 43 ~ 48
- [29] 郝朝运, 张洁净, 刘鹏. 七子花的研究进展及其保护对策. 浙江林业科技, 2003, 23(5): 48 ~ 53. Hao C Y, Zhang J J, Liu P. Development of the research on *Heptacodium miconioides* and protection strategies (In Chinese). *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2003, 23(5): 48 ~ 53

- [30] Liu P, Yang YS, Xu GD, *et al.* Physiological response of rare and endangered plant, Severn-son Flower (*Heptacodium miconioides*) to light stress under habitat fragmentation. *Environment Experimental Botany*, 2006, 57: 32 ~ 40

NUTRIENT ELEMENT DISTRIBUTION IN ORGANS OF HEPTACODIUM MICONIOIDES IN DIFFERENT COMMUNITIES AND ITS RELATIONSHIP WITH SOIL NUTRIENTS

Liu Peng¹ Hao Chaoyun^{1,3} Chen Zilin² Zhang Zhixiang¹ Wei Fumin² Xu Shizhen¹

(1 *Key Laboratory of Botany, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China*)

(2 *The Administration Bureau of Dapanshan Nature Reserve, Pan'an, Zhejiang 324000, China*)

(3 *College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China*)

Abstract Based on investigations and results of Twinspan classification, 20 plots in the Dapanshan Nature Reserve were sorted into five different kinds of communities. To well understand nutrient element distribution of *Heptacodium miconioides* and its relationship with soil nutrients in those five communities, five nutrient elements in five organs of *H. miconioides* sampled during its anthesis were measured. Results show: 1) Nutrient contents in the plant differed somewhat from community to community, but the differences were not significant by related samples nonparametric test ($p > 0.05$). And the variation coefficients of N, P or K were higher than of Ca or Mg. 2) Among the organs N, P or K content declined in the order of leaf > bark > branch > stem, while Ca or Mg in the order of bark > leaf > branch > stem, and the total content of the five elements was in the order of leaf > bark > branch > stem. The differences were significant by related samples nonparametric test ($p < 0.01$). The variation coefficient of the mean content of the same element in different organs was in the order of leaf > bark > branch > stem. 3) No close relationship was found between soil nutrient contents and the five elements in *H. miconioides*, indicating the variation of the nutrient contents in the plant in different communities was not dominated by the soil nutrient contents, but by other habitat conditions, like thickness of the soil layer, exposure of rocks, etc.

Key words *Heptacodium miconioides*; Community; Element distribution; Soil nutrients; Dapanshan Nature Reserve