

濒危药用植物八角莲生态生物学特征

李忠超^{1,2,3}, 王武源⁴

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 浙江大学生命科学院, 杭州 310029;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 江西农业工程职业学院, 江西 樟树 3312004)

摘要: 通过样地调查和相关资料分析, 对八角莲 (*Dysosma versipellis*) 生态生物学特征的研究表明, 八角莲生境群落是以热带和温带植物为主的常绿和落叶阔叶混交疏林灌丛和竹林, 上层乔灌木植物多为当地优势种。适宜生长的基质土壤为黄棕壤, pH 为 5.40-6.59, 有机质、有效 N、P、K 和全 N、P、K 养分含量高(分别为 19.36%、840 mg kg⁻¹、46 mg kg⁻¹、310 mg kg⁻¹ 和 9 970 mg kg⁻¹、1 217 mg kg⁻¹、2 603 mg kg⁻¹)。繁殖障碍、遗传结构不利等自身因素和人类过度采挖、生境破坏等是导致八角莲濒危的主要原因。因此, 其保育策略应以迁地保育和就地保育相结合, 以迁地保育为主。

关键词: 八角莲; 濒危植物; 生态生物学特征

中图分类号: Q949.746.808

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2006)03-0190-06

Ecological and Biological Characteristics of Endangered Medicinal Plant *Dysosma versipellis*

LI Zhong-chao^{1,2,3}, WANG Wu-yuan⁴

(1. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. Jiangxi Agriculture Engineering Vocational College, Zhangshu 331200, China)

Abstract: The habitats and biological characteristics of *Dysosma versipellis* (Hance) M. Cheng (Berberidaceae), an endangered medicinal plant endemic to China, was investigated. Two or three sampling plots with 5 m × 5 m each were surveyed for each of the five populations. The sampling sites were distributed in five provinces, i.e. Sichuan, Hunan, Hubei, Jiangxi and Anhui. *D. versipellis* grows mainly under evergreen and deciduous broadleaved mixed forest or in bamboo forest. Most trees in upper layer were dominant local species. The soil was yellow brown earth, pH 5.40-6.59, with rich organic matter (19.36%), and high available N, P, K and total N, P, K contents (840, 46, 310 mg kg⁻¹ and 9 970, 1 217, 2 603 mg kg⁻¹, respectively). Propagation disturbance and human overexploitation cause the plant to be endangered. *Ex-situ* in combination with *in-situ* protection is thought to be a conservation strategy for this plant.

Key words: *Dysosma versipellis*; Endangered plant; Ecological and biological characteristics

物种在其原生境的长期生活中, 与其他物种和环境之间形成协同进化和共适应; 物种自然衰退是其自身长期遗传变异所决定的, 而生境异质化起着不可忽视的作用^[1-2]。物种的成功保育在于保育物种的基因库, 即保育其最大的遗传多样性, 以提供物

种应对环境变迁的持续进化潜力^[3]。植物野生种群的遗传结构与其生态生物学特性有密切关系^[4]。但当我们对保护对象的生态学、生物学特性缺乏认识时, 我们既不知道保护什么, 也不知道如何保育。保育生物学的研究, 不仅需要研究物种生物学和遗传

收稿日期: 2005-11-29 接受日期: 2006-04-03

基金项目: 国家重大基础研究项目(G2000046806); 广东省自然科学基金项目(05006754)资助

学方面存在的问题,还应注重研究生境中不同环境因子对物种濒危所产生影响的生态学问题^[5-6]。这些研究,不但可以了解物种的濒危机制,为就地保育如何保护种群遗传基础和不同生态位的生态适应性提供依据外,还将为迁地保育和野外重建的有效性提供资料^[6-7]。

八角莲 *Dysosma versipellis* (Hance) M. Cheng 是我国长江流域特有的多年生草本植物,其根状茎可作药用,具清热解暑,抗毒蛇咬伤等功效,药用价值较高^[8]。近年的研究表明其活性成分对治疗食道癌、子宫癌有特效,而且花和叶较美丽,可供观赏;被第一批国家珍稀濒危保护植物名录列为三级保护植物^[9]。到目前为止,国内外学者对八角莲属及其近缘属植物的系统学、解剖学、植物化学和药理学等方面,已有一系列的研究报道^[10-12],为进一步深入研究打下了很好的基础。

2000年以来,我们对八角莲进行了资源和生态生物学的调查分析、遗传多样性研究以及基因文库的构建等工作。本文主要报道其生态生物学特征,以期八角莲就地和迁地保育提供基本资料和科学依据,为濒危植物的保育提供依据。

1 研究方法

1.1 样地设置

在查阅文献和我国各大标本馆标本的基础上,调查了八角莲整个分布区范围内有代表性的四川峨眉山(SC)、湖南天平山(HN)、湖北神农架(HB)、江西彭泽县(JX)、安徽天堂寨(AH) 5个八角莲野外种群。选取个体数量较多、分布连续的种群,设置5 m × 5 m的样方,每种群设置2-3个样方。此外,每个种群移栽10-20株于杭州浙江农业大学植物园以观察物候和繁育生物学特征等。

1.2 种群气候调查

用美国产LI-Cor188B辐射仪测量样地的光照强度(以空地光强为100%,黑暗光强为0),测定八角莲叶面处的郁闭度。根据当地气象部门和有关文献资料,得到取样种群的气温、降水量等资料。

1.3 群落学调查

测记上述样方的海拔、经纬度、坡向、坡度等生境因子。记录样方内乔木株高、盖度,灌木和草本植物分种计算个体数量、高度和盖度,计算重要值以

确定优势种。

1.4 土壤化学测定

每种群随机采集八角莲根际距地表10 cm深处的土壤500 g左右共3份,置室温通风处风干,拣除植物残体、虫体和石块石子等杂物,在木盘内用木棍滚压研细,分成两份,一份通过20目筛子,用于pH值和有机质以及速效N、P、K养分的测定;另一份通过100目筛子,用于总N、P、K养分的测定。每份重复一次,每样测定3次,结果取算术平均值。

根据《土壤农业化学分析》的方法测定土壤化学性质^[13]。土样:水=1:3于烧杯混匀溶解,静置使上清液澄清,取上清液用MPC227-PH计(梅特勒-托利多仪,上海有限公司产)测定pH值。重铬酸钾容量法-稀释热法测定有机质;碱解扩散法测定土壤速效氮;0.03 M NH₄F - 0.025 M HCl法测定酸性土壤速效磷;NH₄OAc浸提,浸提-火焰光度法测定土壤速效钾;半微量开氏K₂SO₄ - CuSO₄ - Se蒸馏法测定土壤全氮量;NaOH熔融-HClO₄ - H₂SO₄法测定土壤全磷;浸提-火焰光度法测定土壤全钾。

1.5 生物学特性分析

记录样方内八角莲的分布位置、开花个体数(以花序梗为依据)、结实个体数和个体结实数。观测移栽实验地植株生长和繁育状况。数据整理后分析物候特征、个体分布格局和有性繁殖状况。

2 结果和分析

2.1 生境的气候特点

本研究选取的5个种群气候类型相同,均属亚热带季风湿润气候,具有季节明显,温差大;降水充沛,湿度大,干湿季节明显;日照充足,郁闭度高;温度季节变化与降水月份分布基本一致的共同特点。但由于种群间地理空间大,垂直分布从海拔800 m到2400 m,差异大,因而各种群又各具特色。由表1可以看出,八角莲为典型适应亚热带山地森林环境条件的植物,喜阴湿、忌强光和干旱,但为了在有限的生长季节快速生长,又需要一定的光强和湿度。夏季乔灌木郁闭度在0.74-0.93之间。样地年平均气温5-16℃,最热月(7月)平均气温12-29℃,最冷月(1月)平均气温-5-4.5℃;绝对最高温31.7-37.8℃,绝对最低温-17.7-26℃;一般年日照时数680-1820 h或无霜期220 d左右;年降水量一般高

表 1 八角莲种群生境因子
Table 1 Habitat conditions in populations of *Dysosma versipellis*

	湖南天平山 Tianping Mt., HN	湖北神农架 Shengnongjia Mt., HB	江西彭泽县 Pengzhe County, JX	安徽天堂寨 Tiantangzhai Mt., AH	四川峨眉山 Emei Mt., SC
生境 Habitat	落叶阔叶林 Deciduous broadleaved forest	针叶、落叶阔叶混交林 Coniferous-, deciduous broadleaved mixed forest	毛竹林 Bamboo forest	竹林和落叶阔叶林 Bamboo and deciduous broadleaved forest	竹林和常绿、落叶阔 叶混交林 Bamboo and evergreen-, deciduous broadleaved mixed forest
郁闭度 Shade density	0.83–0.93	0.90–0.92	0.74–0.80	0.85–0.88	0.78–0.85
海拔 Altitude (m)	1000	2400	800	900、1200	1200
坡度 Slope	36°	12°	25°	26°	33°
年平均气温 Average annual temperature (°C)	11.5	5–12	16.7	12.6	12–16
最热月均气温 Average temperature in hottest month (°C)	22.8	15–20	29.0	27.9	12–15
最低温度 Minimal temperature (°C)	-15	-26		-17	-5–-11
最冷月均气温 Average temperature in coldest month (°C)	4.5	-5–0	4.4	2.7	-1–3
年降水量 Annual precipitation (mm)	2105	1500–2200	1500	1916	1750–2000
气象资料文献来源 Sources of meteorological data	祁承经 ^[14]	沈泽昊等 ^[15]	徐素芬 ^[16]	沈显生 ^[17]	庄平等 ^[12]

HN, HB, JX, AH and SC represent populations in provinces Hunan, Hubei, Jiangxi, Anhui and Sichuan, respectively.

于 1 500 mm, 最高可达 2 200 mm。

2.2 群落类型

虽然八角莲对水分、土壤和郁闭度等生境条件要求较苛刻,但它多出现在具有次生植被的山腰沟谷疏林灌丛或竹林等次生群落类型中,并在群落中处于伴生种地位,其生长发育受到所在群落的制约和影响。

(1) 疏林灌丛群落类型 八角莲分布的群落一般在阳坡,在调查的种群中只有安徽天堂寨种群位于阴坡,坡度 12°到 36°不等。由于发育需要一定的光强,主要分布在落叶和常绿树混交的杂木灌丛下。群落中乔灌层主要为当地优势种,如四川种群(SC)乔木层有瓦山方竹 *Chimonobambusa szechuanensis*、润楠 *Machilus pingii*、冠盖绣球 *Hydrangea anomala*、枇杷叶荚蒾 *Viburnum rhytidophyllum*、短柄枹栎 *Quercus glangulifera*;湖北种群(HB)有巴山冷杉 *Abies fargesii*、兴山榆 *Ulmus bergmanniana*、巴山松

Pinus henryi、长叶石栎 *Lithocarpus henryi*;湖南种群(HN)有甜槠 *Castanopsis eyrei*、多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis*;江西种群(JX)有毛竹 *Phyllostachys pubescens*;安徽种群(AH)有四照花 *Cornus kousa*、小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*。灌木层多有蔷薇属 *Rosa*、荚蒾属 *Viburnum*、小檗属 *Berberis* 等。夏季乔木层盖度 45%–70%,灌木层盖度 40%–75%,草本层多以虎耳草属 *Saxifraga*、天南星属 *Arisaema*、蕨属 *Pteridium*、莎草属 *Cyperus* 和苔草属 *Carex* 等耐湿阴生植物为主,盖度 20%–40%。

(2) 竹林 除了湖南天平山种群,其他种群在竹林下有八角莲亚种群分布。但组成竹林的竹子各不相同,如四川种群为瓦山方竹 *Chimonobambusa szechuanensis*、江西种群为毛竹 *Phyllostachys pubescens*、湖北种群为箭竹 *Sinarundinaria nitida*。各种竹子高度不同,通常组成单优群落,也可在林下组成灌木层,盖度在 50%–90%。

2.3 土壤特性

八角莲生长地区的基质土壤是以沉积岩、花岗岩、片麻岩和玄武岩为母质的典型黄棕壤,各种群土壤性质差异不大,有机质丰富,养分含量高,透水、保水性好,近中性偏酸(pH值5.40–6.59)(表2)。由于八角莲生长于枯枝落叶丰富的林下,根系入土很浅,根系土多为腐殖土,pH值、有机质、有效N、P和K平均值分别为6.03、19.36%、840 mg kg⁻¹、

46 mg kg⁻¹和310 mg kg⁻¹;全N、P和K平均值分别为9 970 mg kg⁻¹、1 217 mg kg⁻¹和2 603 mg kg⁻¹。土壤各项养分含量均很高(有效N>60 mg kg⁻¹为高含量;有效P>20 mg kg⁻¹为高含量,3–7 mg kg⁻¹为低;有效K>160 mg kg⁻¹为高含量^[13]),这满足了八角莲萌发和生长要求的营养。但有效P含量相对较低,与N、K含量比例失调,且在种群间差异高达2–12倍。

表2 各种群取样点土壤分析结果

Table 2 Soil property in populations

种群 Populations	土壤类型 Soils	pH	有机质 Organic matter (%)	有效N Available N (mg kg ⁻¹)	有效P Available P (mg kg ⁻¹)	有效K Available K (mg kg ⁻¹)	全N Total N (mg kg ⁻¹)	全P Total P (mg kg ⁻¹)	全K Total K (mg kg ⁻¹)
HB	腐殖土 Humus Soil	6.34	28.13	1055	96	291	13820	1440	3640
HN	腐殖土 Humus Soil	6.59	33.33	1451	53	270	23700	2520	3910
JX	腐殖土 Humus Soil	5.40	8.88	289	8	389	3720	150	1820
AH	黄壤 Yellow soil	5.64	17.09	566	26	362	8030	1740	3390
SC	粘壤土 Clay loam	6.19	9.55				582	234	253
平均 Mean		6.03	19.36	840	46	310	9970	1217	2603

2.4 生物学特性

2.4.1 物候观察

八角莲为多年生宿根草本,地上部分在冬季枯死,以地下休眠芽越冬。幼苗只有一片叶,经过5–8 a的营养生长后性成熟而具有2–3片叶。性成熟的植株在开花前一年的7–9月间就已分化好次年将要开放的花,但大小孢子尚要到第二年萌发后才进行减数分裂^[11]。

八角莲生长发育节律受气温控制,如种群所在地区气温相对较高,则八角莲发育期较早。海拔和纬度对八角莲生长发育节律的影响也通过气温关联,通常在低海拔地区发育期为8–10个月,在高海拔或高纬度地区物候期后移且发育期缩短。野外观察发现,八角莲先端活动芽于3月初(HN、JX、AH)至4月中旬(SC、HB)萌动出土;花期在4–5月份,每朵花花期5–7 d,由于同一植株的花为次第开放,株花期长的可达30 d;果期在6–10月。

而移栽于杭州的八角莲在2月中旬即开始萌

动,比野外各种群活动均早;且栽培于林下的安徽天堂寨八角莲种群11月下旬仍未消苗;栽培于温棚的四川峨眉山八角莲种群经年生长,休眠期消失。但引自湖北神农架的种群,由于原生长海拔较高(2 400 m),原生境与引种地气候差异太大,虽然在2000–2001年生长很好,但后来逐渐枯死,检查发现其根状茎腐烂成为空壳,可能是植株不能很快适应低海拔的环境,未能生长出能够吸收营养的新根,而只是依靠原根状茎的营养维持生长。

2.4.2 种群结构和有性繁殖分析

由于受到严格适应阴湿环境的选择和人们采挖的压力,八角莲只在地形复杂、人类不易到达的地方,才能够良好生长;当果实落到地上,其中的多枚种子同时萌发;这样就形成了八角莲个体在种群内的集群式分布(图1)。另外,八角莲野外通常只萌发一枚越冬芽,一年形成一节横生节形根状茎,同时1–4枚休眠芽常不萌动,但在营养和气候条件较好时,可以从根状茎上先后萌发2–3个芽或通过

其横走根状茎进行营养繁殖,形成丛生状。由于个体较大的成年八角莲植株易被人们发现而遭到采挖,调查的 3 个种群 8 个样方只在安徽种群发现有成年植株,表现出成年个体少、幼年个体多的特点,种群扩展缺乏足够的成年个体,而生长中的幼龄植株可能遭到人类的再次采挖,因而种群呈现缓慢增长趋势(图 1)。

八角莲一般有 5-10 个花蕾簇生于叶下,只有较早发育的 5-8 朵能得到良好发育,发育迟缓的花蕾在植株开花早期就衰败脱落,其中只有 1-5 朵能发育成为成熟的果实^[1]。

在调查的 5 个野外种群中,四川峨眉山种群和安徽天堂寨种群中几乎成年植株都具有宿存的花序梗,但未发现结果(果实脱落);湖南天平山种群和江西种群虽有少数植株结果,但果实染病腐烂现象严重。移栽植株也发现果实在膨大的前中期大量

脱落,最终不能成熟。从历次调查来看,八角莲野外结实率极低。这与应俊生、庄平等和马绍宾等八角莲“自花授粉,结实率较高”的结论有较大差距^[10-12]。原因可能是其进化过程中还未形成自交亲和机制,导致花的结构和发育与传粉方式不相适应,如:(1)大孢子和柱头发育成熟时,小孢子还未发育成熟,花药有效期短,造成两性花花粉与柱头的花期不遇;(2)花下垂,且花瓣和雄蕊较长,花开放后在柱头前包围了柱头,花药与柱头间存在一定间隔,散落的花粉不能落在柱头上,致使花不能正常授粉,也阻碍了传粉昆虫进入,造成败育;(3)花无蜜腺,花开放时散发出恶臭味,不能吸引传粉昆虫(仅观察到有很少的苍蝇在花上停留);(4)营养供应不足,下一朵花的发育与子房膨大竞争营养,使子房不能很好发育膨大。

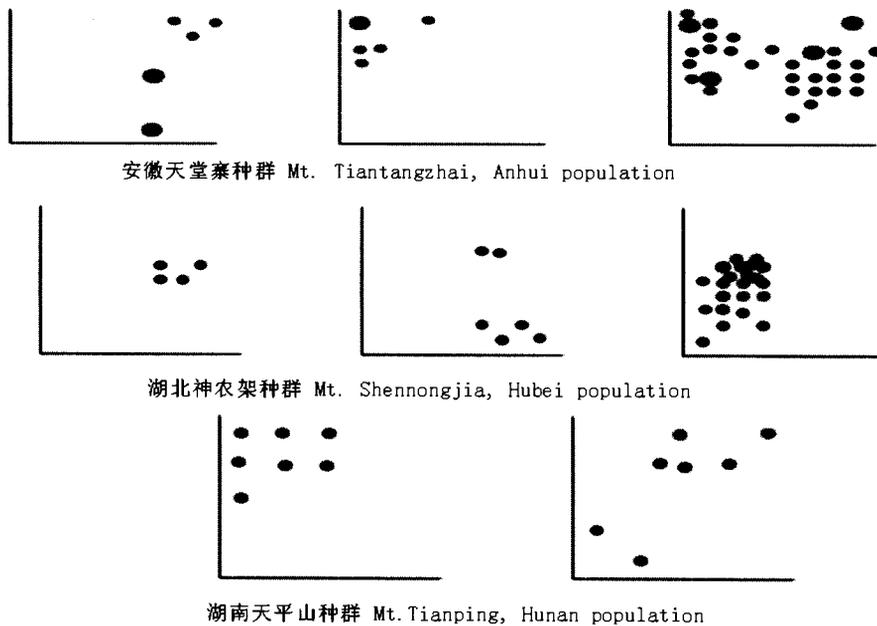


图 1 八角莲个体在不同种群样地的分布格局

Fig. 1 Distribution patterns in populations of *D. versipellis*

●: 成年植株 Adult individuals; ●: 幼龄植株 Juvenile individuals

3 讨论

虽然八角莲分布地均属亚热带季风湿润气候,具有很多共性,但对分布海拔差异较大种群的引种工作仍需循序渐进。而营养元素的缺乏或过剩都可能导致植物的“假生态幅狭窄”的濒危机制,在“气候相似”的前提下,土壤对活植物迁地保育的成功

与否起着不可忽视的作用^[18]。黄仕训等发现,石山植物尤其是石山特有植物迁移到邻近的酸性少钙土壤环境后,有的能正常生长发育,有的则不能;有的虽营养生长正常,但不能开花结果^[19]。磷元素可以提高植物生根、结实、抗病、抗逆等能力,以保护生物多样性已有大量研究^[20]。土壤磷含量的失调可能致了八角莲生长发育障碍,可能是其濒危的重要因

素之一,有待进一步研究。

在资源调查过程中发现,八角莲在野外就地保护未能收到明显效果,不但不能扩大种群数量和规模,反而加速了其衰退和灭绝的速度。八角莲复壮关键是要促进基因流动,增加远交机会,提高遗传多样性水平,减少自交衰退,提高其繁殖能力和繁殖效率。其种群间较高的遗传分化也要求只有迁地保育才能保存其最大的遗传多样性^[21]。从生态学特性看,八角莲对生境要求严格,生长于肥沃、近中性的黄棕壤和潮湿遮荫、干扰较少的环境;土壤及气候分析表明,种群间具有很高相似性,生境相对简单;为迁地保育生境的模拟提供了方便。从生物学特性看,自然种群的八角莲由于存在有性生殖障碍,必须借助人工授粉,才能增大种群内和种群间的基因流和进行有效的有性繁殖。另外,八角莲具有多个休眠芽,在野外通常只萌发一个,但据观察,其在温室培养条件下休眠芽全部都能萌发,而且无休眠现象,可连续生长,大大提高了增殖的效率,可以为野外回归提供材料基础。因此,迁地保育对于八角莲具有更直接、更重要的意义。

致谢 本研究野外采集得到武汉大学生命科学院郭友好、王青峰教授;四川峨眉山生物站李泽宏同志;湖南八大公山国家级自然保护区李迪友处长、田连成同志、刘元池站长;湖北神农架国家级自然保护区的领导和同志;江西九江师专廖亮、方亮老师;安徽天堂寨国家级自然保护区桂先群副主任、程增林科长等同行和单位的帮助和支持。土壤分析实验在浙江大学生命科学院生态研究所陈欣教授、马琨博士指导下完成。在此一并表示感谢!

参考文献

- [1] Bijlsma R, Loescheke V. Environmental stress, adaptation and evolution: an overview [J]. *J Evol Biol*, 2005, 18 (4): 744-749.
- [2] Purugan M, Gibson G. Merging ecology, molecular evolution, and functional genetics [J]. *Mol Ecol*, 2003, 12(5): 1109-1112.
- [3] Lande R. Genetics and demography in biological conservation [J]. *Science*, 1988, 241: 1455-1460.
- [4] Hamrick J L, Godt M J W. Allozyme diversity in plant species [A]. In: Brown A H D, Clegg M T, Kahler A L, et al. *Plant Population Genetics, Breeding, and Genetic Resources* [M]. Sunderland, Massachusetts USA: Sinauer, 1990.
- [5] Ren H(任海), Peng S L(彭少麟), Zhang D X(张奠湘), et al. The ecological and biological characteristics of an endangered plant, *Primulina tabacum* Hance [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2003, 23 (5): 1012-1017. (in Chinese)
- [6] Zhou S L(周世良), Ye W G(叶文国). The genetic diversity and conservation of *Sinocalycanthus chinensis* [J]. *Biodiv Sci(生物多样性)*, 2002, 10(1): 1-6. (in Chinese)
- [7] Mattner J, Zawko G, Rossetto M, et al. Conservation genetics and implications for restoration of *Hemigenia exilis* (Lamiaceae), a serpentine endemic from Western Australia [J]. *Biol Conserv*, 2002, 107: 37-45.
- [8] Chen Y H(陈毓亨). Studies on the Guijiu resources in China [J]. *Acta Pharm Sin(药学报)*, 1979, 14(2): 101-107.
- [9] Fu L G(傅立国). *China Plant Red Data Book Vol. 1* [M]. Beijing: Science Press, 1992. (in Chinese)
- [10] Ying J S(应俊生). On *Dysosma* Woodson and *Sinopodophyllum* Ying, gen. nov. of the Berberidaceae [J]. *Acta Phytotax Sin(植物分类学报)*, 1979, 17(1): 14-23. (in Chinese)
- [11] Ma S B(马绍宾), Hu Z H(胡志浩). A contribution to the geographical distribution and phylogeny of Podophylloideae (Berberidaceae) [J]. *Acta Bot Yunnan(云南植物研究)*, 1997, 19 (1): 48-56. (in Chinese)
- [12] Zhuang P(庄平), Guan H(关荭), Wu J L(邬家林). Study on ecologic and biologic characters of the genus *Dysosma* in Emei Mountain [J]. *J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究)*, 1993, 11(2): 41-46. (in Chinese)
- [13] Nanjing Agriculture University(南京农业大学). *Agricultural and Chemical Analysis of Soil* [M]. Nanjing: Nanjing Agriculture University Press, 1992. (in Chinese)
- [14] Qi C J(祁承经), Yu X L(喻勋林), Cao T R(曹铁如). Flora of Hunan Badagongshan Mountains and its phytogeographical significance [J]. *Acta Bot Yunnan(云南植物研究)*, 1994, 16(4): 321-332. (in Chinese)
- [15] Shen Z H(沈泽昊), Hu H H(胡会峰), Zhou Y(周宇), et al. Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shennongjia, Hubei, China [J]. *Biodiv Sci(生物多样性)*, 2004, 12(1): 99-107. (in Chinese)
- [16] Xu S F(徐素芬). The *ex-situ* conservation of rare endangered plant [J]. *J Jiangxi For Sci Techn(江西林业科技)*, 1997, 6: 5-10. (in Chinese)
- [17] Shen X S(沈显生). The study on the flora of the Tiantangzhai Mountains of the Dabie Mountains, Anhui Province [J]. *Acta Bot Sin(植物学报)*, 1986, 28(6): 657-663. (in Chinese)
- [18] Wan K Y(万开元), Chen F(陈防), Chen S S(陈树森), et al. On plant nutrition in *ex situ* conservation strategies for rare and endangered plants [J]. *Biodiv Sci(生物多样性)*, 2006, 14(2): 172-180. (in Chinese)
- [19] Huang S X(黄仕训), Li R T(李瑞棠), Luo W H(骆文华), et al. Variation in characteristics of rare and threatened plants after *ex-situ* conservation [J]. *Biodiv Sci(生物多样性)*, 2001, 9(4): 359-365. (in Chinese)
- [20] Martin J W, Harry O V, Elena D L, et al. Endangered plants persist under phosphorus limitation [J]. *Nature*, 2005, 437: 547-550.
- [21] Qiu Y X, Zhou X W, Fu C X, et al. A preliminary study of genetic variation in the endangered, Chinese endemic species *Dysosma versipellis* (Berberidaceae) [J]. *Bot Bull Acad Sin*, 2005, 46(1): 61-69.