

报春苣苔的生态生物学特征

任 海¹, 彭少麟¹, 张奠湘¹, 简曙光¹, 韦 强¹, 张倩媚¹, 刘 念¹,
李世晋¹, 陈文彬², 庄益智²

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650; 2. 广东省连州市林业局)

摘要:报春苣苔是苦苣苔科多年生喜 Ca 草本植物, 因分布区极窄而被列为第一批国家 I 级重点保护野生植物。基于其生态生物学特征探讨报春苣苔的濒危机制及解濒危措施。报春苣苔生于海拔约 300m 的石灰岩山洞附近的植物群落中, 群落主要由一些喜 Ca 及耐阴湿植物组成, 其伴生植物为苔藓。从洞口向里, 植物种类越来越少, 报春苣苔的数量却越来越多, 植株个体越来越小, 开花的比例也越来越少。洞口的报春苣苔种群呈均匀分布, 深处则呈集聚分布, 洞穴的壁顶的报春苣苔群落为单一种且呈集聚分布。报春苣苔需要偏碱性的硬质水才能生长。其生土土壤太薄且营养贫乏, pH 值为 7.5, 有机质、全 N、全 P 和全 K 含量分别为 1.8%、0.87%、0.16% 和 0.71%, 因而植物的生长极为缓慢, 一般一株的年生长量为 30g 左右。报春苣苔分布点 CO₂ 平均浓度为 0.09%, 高于洞外约 2 倍。其相对湿度终年保持在 97% 左右。报春苣苔仅生于相对弱的光环境下, 且只在散射光线能到达的地方出现, 大约只忍受正常光强的 1/4 以下。作为洞穴植物, 其生态分布的限制因子是光源和特殊的大气环境。生境的特殊性导致其分布狭窄, 3a 的移栽实验表明迁地保护技术目前还不成功。

关键词:报春苣苔; 濒危植物; 生态生物学特征

The ecological and biological characteristics of an endangered plant, *Primulina tabacum* Hance

REN Hai, PENG Shao-Lin, ZHANG Dian-Xiang, JIAN Shu-Guang, WEI Qiang, ZHANG Qian-Mei, LIU Nian, LI Shi-Jin, CHEN Wen-Bin, ZHUANG Yi-Zhi (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 1012~1017.

Abstract: *Primulina tabacum* Hance is a calciphilous perennial belonging to the Gesneriaceae family. It is narrowly distributed in northern Guangdong, and is listed in the "first class protected key wild plants of China". The present paper presents the results of a study on the biological characteristics and ecological factors and mechanisms that have caused its endangered status, and assesses approaches for conservation.

Primulina tabacum grows with other calciphilous and shade-tolerant plants (including bryophytes) around

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30200025); 中国科学院资助项目(STZ-01-36); 广东省自然科学基金资助项目(003031.021627)

收稿日期: 2002-12-11; 修订日期: 2003-03-17

作者简介: 任 海(1970~), 男, 湖北黄石人, 博士, 研究员, 主要从事生态系统管理, 生态系统生态学和恢复生态学研究。
E-mail: renhai@scib.ac.cn

感谢连州市林业局多位同志的帮助。

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China(30200035), Chinese Academy of Sciences grant(STZ-01-36), and research grants from Guangdong Natural Science Foundation(003031.021627)

Received date: 2002-12-11; **Accepted date:** 2003-03-17

Biography: 任海, 1970年生, 湖北黄石人, 博士, 研究员, 主要从事生态系统管理, 生态系统生态学, 和恢复生态学研究。
E-mail: renhai@scib.ac.cn

the entrances to karst caves, below 300m altitude. Variation was observed in the communities studied along gradients from the entrance to the caves, with a decrease in the number of accompanying species as the density of *Primulina tabacum* population increase, a decrease in the size of individuals, and a decrease in the flowering ratio of individual. *Primulina tabacum* populations around cave entrances show uniform distributions, whereas populations in deep caves and on the top of the caves show aggregated distributions. *Primulina tabacum* relies on alkaline calciferous groundwater. The soil layer is thin and lacks nutrient, with a pH of c. 7.5; the organic content, total N, total P and total K are 1.8%, 0.87%, 0.16% and 0.71%, respectively. *Primulina tabacum* individuals consequently grow slowly, with a maximum growth of no more than 30 g/a. The concentration of CO₂ in its habitat is about 0.09%, which is approximately two times higher than outside the cave. The relative humidity is maintained c. 97%, and annual air temperatures vary from 19°C to 21°C through the year. *Primulina tabacum* only grows in environments with low light intensities, with scattered radiation of less than 25% of normal. As a species of cave plant, its limiting factors include light intensity and atmosphere environment; this specialized habitat has resulted in its narrow distribution. Human disturbance, such as tourist activities are threatening its survival. The 3 year ex situ conservation experiments have not succeed; further ecological and biological information is therefore needed, and more appropriate in situ conservation measures are necessary for its protection.

Key words: *Primulina tabacum* Hance; endangered plant; ecological and biological characteristics

文章编号:1000-0933(2003)05-1012-06 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

报春苣苔(*Primulina tabacum* Hance)是我国特有的多年生草本植物,属苦苣苔科(Gesneriaceae)。其分布区极窄,仅在我国广东的乐昌、阳山和连州等县有几个小的地方种群。近年来由于人类活动的影响,其种群数量和分布面积急剧减少,已成为濒危植物,并被列为第一批国家I级重点保护野生植物名录^[1]。为了探讨报春苣苔的濒危机制及解濒危措施,对其遗传多样性、生殖与传粉生物学、生态生物学特征等进行了系统的和定位的研究,本文主要报道其生态生物学特征。通过分析广东连州的报春苣苔的生态生物学特征,尤其是其分布生境中的光、温、水、土、气、生等因子,旨在揭示报春苣苔分布的生态限制因子,为濒危植物的保护提供一定的理论依据和实践指导。

1 材料与方法

本实验在广东连州市东陂地下河进行。其地理位置为 N25°00'25", E112°19'01", 海拔约 237m。当地多为低丘地势,气候温暖多雨,年均气温 19.5°C,年降雨量为 1572 mm,年平均相对湿度 78%。地带性土壤为红壤,地带性植被为南亚热带常绿阔叶林,但因人为活动的影响,现状植被除部分地方为马尾松林外,大面积为退化草坡^[2]。

该地下河为多洞口干-水混合型岩洞。目前开发有两个洞口,入口在上,出口在下,两者落差约 38m,洞内有些地方长年有流水,有些地方无水。报春苣苔主要生长于入口和出口处长年有岩缝滴水的地方。分布于附近的乐昌、阳山等地的报春苣苔的生境与此极其类似。

2002年6月进行植物调查时,由于其个体小,经种-面积曲线分析 1m×1m 足够大,因而设 4个 1m×1m 的样方,调查各个样方内的所有植物的种类、高度和冠幅,并据此计算平均高度和冠幅。光强和温湿度于 2002年1、5、6和8月各测定 2d,每天每 2h 测定 1次。光强采用美国产 LI-Cor 188B 辐射仪,温湿度采用干湿球。光强以洞外光强为 100%,内部的强度除以洞外光强为其相对值。光强和温湿度数据采集和处理方法见文献^[3]。CO₂、水、植株和土壤于 2002年6月自野外采样,为避免人为干扰,CO₂ 采样采用了远距离针筒抽气法注入气袋带回室内分析。这些样品实验室混合后测定,测定方法和数据处理方法见文献^[3-8]。

2 结果与分析

2.1 生物学特征

报春苣苔(*Primulina tabacum* Hance)是苦苣苔科(Gesneriaceae)多年生草本,有菸草气味。叶基生,具或长或短的叶柄;叶片卵形或三角形,长5~10cm,宽5~10cm,顶端微尖,基部浅心形,边缘羽状浅裂,上面被短柔毛,背面被腺毛和短柔毛,侧脉约3对,在叶背面稍隆起;叶柄长3~15cm,扁平,边缘有波状翅。聚伞花序伞状,1~2回分枝,具3~9花;花序梗长5~10cm,被短柔毛;苞片2,对生,狭长圆形或线状披针形,长约1.5cm,被腺毛;花梗短,长约3mm。花萼5深裂,长约6mm,萼筒长约1mm,裂片狭披针形或条状披针形,长约5mm,具小齿,两面被短柔毛。花冠紫色,外面和内面均被短柔毛;筒细筒形,长约1cm,口部直径约3mm;檐部平展,直径约1.5cm,不明显二唇形,上唇2深裂,裂片狭倒卵形,长约5mm,顶端钝,下唇3深裂,裂片狭倒卵形,长约6mm,顶端圆形。能育雄蕊2,无毛,着生于花冠筒近基部处,花丝近丝状,长约1mm,花药长圆形,长约1.5mm,连着。退化雄蕊3,不明显。花盘由2近方形的腺体组成。雌蕊被短柔毛;子房狭卵形,长约1.5mm;花柱长约0.5mm;柱头2浅裂。蒴果长椭圆球形,长3~6mm。种子暗紫色,狭圆球形。花期6~8月。特产于广东,分布于乐昌、阳山和连州等地。一般生于海拔约300m的石灰岩山地阴湿的石壁上^[1]。

2.2 植物群落结构特征

在连州地下河入口和出口处分别设立了3个和1个1m×1m的固定样方进行植物调查(由于出口处分布较少只设1个样方)。结果表明4个样方共有植物12种,除样方1外,每个样方中均以报春苣苔为优势种。报春苣苔植株平均高度和冠幅由样方1的10cm和20cm×20cm,到样方2的5cm和10cm×11cm,最后到样方3的1cm和2cm×2cm。最大株的高和冠幅分别为26cm和40cm×35cm,单株干重为120g。由此可看出,从洞口向深处,植物种类越来越少;报春苣苔的数量却越来越多;植株个体越来越小;开花的比例也越来越少。洞口的报春苣苔种群呈均匀分布,深处则呈集聚分布。此外,在洞穴的壁顶也分布有报春苣苔,但一般为单一种,较为集聚分布,而且只在散射光线能到达的地方出现。

表1 连州地下河洞穴口的植物种及其数量(1m×1m)

Table 1 The species and number of the plant communities in Lianzhou ground river

种名 Species	样方1 Quadrat 1	样方2 Quadrat 2	样方3 Quadrat 3	样方4 Quadrat 4
报春苣苔 <i>Primulina tabacum</i> Hance	48(13)	113(5)	200(9)	140
糙叶楼梯草 <i>Elatostema scabrum</i> Hall	21			
岩凤尾蕨 <i>Pteris deltoodon</i> Burm	8		6	103
白晋铁线蕨 <i>Adiantum leveillei</i> Christ	1			
对生耳蕨 <i>Polystichum deltoodon</i> Diels	8	3		
天仙果 <i>Ficus erecta</i> King	6			
四子马兰 <i>Strobilanthes tetraspermus</i> Druce	3			
水竹叶 <i>Murdannia triquetra</i> Bruckn	90			
薜荔 <i>Ficus pumila</i> Linn.		1		
乌荑莓 <i>Cayratia japonica</i> Gagnep		23		
半边铁角蕨 <i>Asplenium unilaterale</i> Lam			53	
南蛇棒 <i>Amorphophallus dunnii</i> Tutcher				8
合计 Total	185(13)	140(5)	259(9)	251

* 样方1距入洞口5m,样方2距入洞口15m,样方3距入洞口25m,样方4距出洞口15m。括号内为开花的报春苣苔个体数目 Quadrat 1 is about 5 m away from gate of cave, Quadrat 2 is about 15 m away from gate of cave, Quadrat 3 is about 25 m away from gate of cave, Quadrat 15 is about 5 m away from exit gate of cave. The number of brackets showed the number of flowering individual

在对固定样方外的植物进行普查时发现,该石灰岩洞口附近还分布有剑叶凤尾蕨(*Pteris ensiformis* Burm)、四数苣苔(*Bournea sinensis* Oliv)、绒毛崖豆(*Millettia velutina* Dunn)、风龙(*Sinomenium acytm* Rehd et Wil)、万寿菊(*Pinellia cordata* N. E. Brown)、轴脉蕨(*Ctenitopsis sagenioides* (Mett.) Ching)、十萼茄(*Lycianthus biflora* (Lour.) Bitter)、叶底珠(*Securingega suffruticosa* (Pall.) Rehd)、深山黄堇

(*Corydalis tashini* Mak)、抱茎拔葵(*Smilax ocreata* A. DC)等。但可以发现,凡有这些植物分布的地方就没有报春苣苔生长。这从另一角度也说明报春苣苔在与这些植物的竞争中处于劣势,最终不得不退出群落。

报春苣苔主要分布在地面石笋、斜地面、壁顶等 3 种生境上。在距洞口相同深处,分布于地面石笋上的植株个体明显大于斜地面的,而分布于壁顶的最小。植株向阳生长,而花柱头也向阳倾斜。从总体上看,在该石灰岩山洞内,植物群落主要由一些喜 Ca 及耐阴湿植物组成。洞穴植物群落环境由于直接与外界环境相连,由于种子雨、风带入、动物带入等原因直接从外界获得种源,种子或孢子的来源丰富,所以生长的植物种类和数量还是相对较多的。在光线充足的地方,植物体特化不明显,仅为植株较矮小、纤细,表现出营养不良。有的植株匍匐地面向洞口方向生长。在光线较弱的地方,植物体特化明显。

2.3 生境特征

2.3.1 水环境 连州地下河为多洞口干-水混合型岩洞,内部现开发有一条约 1.5km 长的地下河,水深约 1~7m。在无水的地方,也比较潮湿(如表 3)。地下河的水质分析如表 2。其水质偏碱性,硬度大。虽然这些水不直接灌溉到报春苣苔,但从现场观察发现,报春苣苔生长地点多有从洞顶滴下的水,但在积水处不长报春苣苔,只在滴水处附近生长。这表明报春苣苔可能需要偏碱性的硬质水才能生长。

表 2 连州地下河的水质

Table 2 The water quality of Lianzhou ground river

地点 Site	阳离子 Cation (mg · L ⁻¹)							阴离子 Anion (mg · L ⁻¹)				pH	硬度 Rigidity	水温 Tem. of water
	SiO ₂	Fe	Al	Ca	Mg	K	Na	PO ₄	HCO ₃	SO ₄	Cl			
I	4.40	0	—	55.5	4.8	0.3	0.5	0	157	25.9	2.9	7.70	8.76	19
II	4.40	0	—	45.5	7.6	0.3	0.3	0	170	3.7	2.8	7.60	8.22	19

I: 地下水出口洞 Exit entrance of ground water river; II: 地下水明流段 Outside entrance of ground water river

表 3 连州地下河报春苣苔分布区的小生境

Table 3 The micro-habitat of distribution region of *Primulina tabacum* Hance in Lianzhou ground river

	洞口呆 ^①	洞口报春苣苔 分布极限处 0m ^②	距洞口约 10m 处 ^③	距洞口约 15m 处 ^④	距洞口约 25m 处, 分布极限 ^⑤
光 Light (%)	100.0	24.1	9.0	2.9	1.5
温度 Temperature (°C)	25.1	20.4	19.9	19.3	20.2
湿度 Relative humidity (%)	94	97	97	97	97
CO ₂ 浓度 CO ₂ concentration (%)	0.03	0.05	0.09	0.11	0.09

① Outside entrance of cave; ② Entrance of cave, where is the high-point distribution of *Primulina tabacum* Hance;

③ About 10m away from entrance of cave; ④ About 15m away from entrance of cave; ⑤ About 25m away from entrance of cave, where is the high-point distribution of *Primulina tabacum* Hance

2.3.2 土壤 报春苣苔生长于石灰土上,这种土壤的形成和发育是石灰岩长期风化和生物富集过程的结果。连州石灰土的剖面构型主要是 AF-D 型,即属于初始期的石灰土。这种土是石灰岩风化残留物形成的少数细土粒与植物凋落物和根系交织在一起腐解后形成棕黑色的 AF 层,其下即为成土母岩。这种土层一般为 0.1~2cm,表层为黑色,呈团粒状和核状结构,质地为重壤至轻粘。本研究测定表明,报春苣苔分布点的土壤混合样的 pH 值为 7.5,有机质、全 N、全 P 和 K 含量分别为 1.8%、0.87%、0.16% 和 0.71%。

如表 4 所列,石灰土土壤中植物营养元素含量较低的元素如 P 和 K 生物吸收系数高,而土壤中含量较高的元素如 Fe、Al 和 Si 生物吸收系数低。这表明石灰土一方面受石灰岩母岩所制约,另一方面受植被的生物富集作用影响。植物虽然有选择吸收能力,但在石灰土上则又被迫接收土壤中某些过量元素,因此在石灰土上的植物体中的元素与酸性土壤上的植物体中的元素相比,表现出明显的差异。

分布于石灰土上的报春苣苔的灰分含量为 8.5%,Ca 含量为 1.23%。这表明报春苣苔是喜 Ca 植物。由于土壤太薄,营养数据,报春苣苔根系不能伸展,再加上营养不足,因而植物的生长极为缓慢。从植物群落结构特征可知,样方 1 为报春苣苔个体长得最好的样方,测定了 5 株 1 年生的个体,其平均重量变化于 18

~40g,平均重 30g 左右。

2.3.3 大气 由于洞穴的类型、洞口的方向、位置、空间不同,导致洞穴环境的气候特征和 CO_2 浓度各不相同。经测定,地下河的入洞口的风速为 $0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,在洞口深 30m 处为 0。随着洞的深入,气温逐渐趋于恒定,夏季温度为 19.6°C 左右。洞内 CO_2 平均浓度为 0.09% ,高于洞外约 2 倍。其相对湿度终年保持在 97% 左右。这表明该洞穴是一个湿度相对较高、较恒定,温度相对稳定, CO_2 浓度相对较高的地下世界,它们为报春苔提供了生存的特殊大气生境。

表 4 连州地下河石灰土上元素的生物吸收、归还系统与顺序

Table 4 The biological absorption, return system and order of elements of limestone soil in Lianzhou ground river	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	N
植物 Plant	2.75	0.015	0.055	1.33	0.64	1.11	0.164	1.26
土壤 A 层 A layer of soil	40.24	3.88	9.68	7.43	4.39	0.15	0.03	0.63
生物吸收系数 Coefficient of organism absorbance	6.5	0.5	0.6	16.0	14.3	611.3	636.0	163.5
吸收顺序 Order of absorbance: $\text{P}_2\text{O}_5 > \text{K}_2\text{O} > \text{N} > \text{CaO} > \text{MgO} > \text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$								
植物凋落层 Litter layer	5.44	0.15	0.21	1.51	0.52	0.07	0.08	1.03
土壤 A 层 A layer of soil	40.24	3.88	9.68	7.43	4.39	0.15	0.03	0.63
生物归还系数 Coefficient of organism return	12.6	3.8	2.92	1.01	2.14	3.5	256.5	126.1
吸收顺序 Order of absorbance: $\text{P}_2\text{O}_5 > \text{N} > \text{K}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{SiO}_2 > \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Al}_2\text{O}_3$								

2.3.4 伴生植物 调查发现,但凡有报春苔分布的地方,都有苔藓植物分布,两者总是同时出现。这是因为苔藓植物作为先锋植物之一,附生于裸露的岩石上,通过其繁多如丝状的假根,一方面分泌有机酸等物质,加速岩石的风化成土过程,另一方面起到富集土壤的作用。同时,苔藓植物在岩石面上丛集或形成垫状,增加了岩面的粗糙度,滞留落于其上的植物种子。而且苔藓植物吸水量大,植株间的毛细管作用强大,为种子萌发提供了水分条件。

2.3.5 阳光 报春苔生长于外部环境向洞穴环境过渡地带,阳光直射的地方未见有植株分布。随着光线逐渐减少,温度、湿度也趋向恒定。

据夏天的测定,洞口附近的样方 1 每天日照时数仅为 $2\sim 3\text{g}$,其余均为散射。如表 3 所示,报春苔在相对光强为洞外的 24% 左右开始有分布,在 1.5% 的相对光强处为分布极限。这表明报春苔仅适于相对弱的光环境生长,它大约只忍受正常光强的 $1/4$ 以下。

3 讨论

已有研究表明,洞穴植物生态分布的限制因子是光源,在连州地下河考察过程中也发现了光源充足的地方植物不仅种类丰富、数量较多,生长也较好。随着光线的减弱,植物密度减少,植株变得矮小且缺乏活力^[4~8]。

已有研究表明,在不同的环境条件下,同一物种的个体间会表现出一定的空间结构差异,这种差异的产生可能是由于个体本身基因型的差异,也可能是环境饰变^[9]。对连州地下河这个洞穴植物群落而言,从洞口向里伸展时,在群落物种多样性的空间分布格局中,物种多样性随洞口的梯度变化。光强梯度在一定程度上主宰着一个重要的资源生产力的梯度。但是其它因子对光梯度进行着再修饰。群落的物种多样性与环境的资源水平之间存在着密切的关系。当前主要有单调关系和单峰关系两种学说。单调关系是指群落中随着资源生产力的增加群落物种多样性亦增加,反之则降低。单峰关系说认为,在生产力较低时,多样性随生产力的增加而增加,但当生产力达到足够高时多样性会下降^[10]。本文中,就报春苔群落而言,如果资源生产力以光强梯度衡量,则群落物种多样性与资源生产力的关系是单调关系。

为了保持报春苔,当地林业局的同志于 1999 年曾用盆栽法进行移植,从地下河挖了近百株,带土壤、砾石,并模拟岩洞生境在阳台种植,虽然精心照料,但 2a 后仅剩下 12 株,第 3 年剩 5 株。目前这 5 株都

能开花,且花期早于原生地植株,但未见第二代个体出现。华南植物园也曾引种过 1 次,不出 1a 就全部死亡。这主要是引种前对报春苣苔缺乏研究,尤其是其生态学特性所致。目前当地对报春苣苔的保护主要通过禁止采集的方式进行。但由于当地已开放为旅游区,据当地林业局长期观测人员说,目前越来越少了。在旅游开发与植物保护中寻求一个平衡点将是下一步的工作重点。

从报春苣苔的数量及分布可以看出,其分布范围狭窄,分布点仅 3 个左右,面积小,个体数量极少,充分说明了该物种对环境要求的严格程度及自身对环境适应的脆弱性。其致濒危原因主要是石灰岩特殊生境,生境的破坏也是本种濒危的原因。为加强保护,建议在本种的分布区建立保护区或保护点,维持本种的生态环境,同时进行模拟原生生境的引种栽培实验,进行迁地保护。

References:

- [1] Peng S L, Cheng W C. *Rare and endangered plants in Guangdong*. Beijing: Science press, 2002. 87.
- [2] He D Q, Ao H X, Wu H M. *Mountain vegetation in Guangdong*. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1999. 18~23.
- [3] Peng S L and Ren H. *Studies on ecological energetics of forest ecosystem in lower subtropics*. Beijing: Meteorology press, 1998.
- [4] Bar, T C Jr. Observations on the ecology of caves. *Amer. Naturalist*, 1967, **101**:475~491.
- [5] Bar, T C Jr. Ecological studies in the Mammoth Cave system of Kentucky. *Ann. Speleo.* 197, **26**:47~96.
- [6] Zhang D. Weather characteristics and climate zone of Karst cave in Guizhou. *Chinese Rock Cave*, 1985, **4**(1):140~148.
- [7] Yuan DG. *Environment of Rock and Cave*. Chongqing: Chongqing Science and Technology Press, 1988.
- [8] Zhu S Q. *Ecological research on Karst forest(II)*. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1997.
- [9] Jiang Z G, Ma K P, Han X G. *Conservation biology*. Zhejiang: Zhejiang Science and Technology Press, 1997.
- [10] Abrams, P A. Monotonic or unimodal diversity-productivity gradients; what does competition theory predict? *Ecology*, 1995, **76**(7):2019~2027.

参考文献:

- [1] 彭少麟,陈万成. 广东珍稀濒危植物. 北京:科学出版社, 2002.
- [2] 何道泉,敖惠修,伍辉民. 广东山区植被. 广州:广东科技出版社, 1999.
- [3] 彭少麟,任海. 南亚热带森林生态系统的能量生态学研究. 北京:气象出版社, 1998.
- [6] 章典. 贵州喀斯特区域的气候特征与气候带. 中国岩溶, 1985, **4**(1):140~148.
- [7] 袁道光. 岩溶环境学. 重庆:重庆科技出版社, 1988.
- [8] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II). 贵阳:贵州科技出版社, 1997
- [9] 蒋志刚,马克平,韩兴国. 保护生物学. 浙江:浙江科技出版社, 1997.