

不同演替阶段东方水韭群落特征初步研究

朱圣潮^{1,2}, 朱文杰², 陈欣², 唐建军^{2,①}

(1. 温州科技职业学院, 浙江温州 325006; 2. 浙江大学生命科学院, 浙江杭州 310058)

摘要: 采用“空间代替时间”的方法,对处于不同演替阶段的东方水韭(*Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang)群落进行了物种组成、群落生态学数量特征、物种多样性及繁殖方式的比较分析,结果表明,在演替初期,群落的多样性(物种丰富度、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数和 β 多样性指数)最低,群落中东方水韭的多度、盖度、重要值和生态位宽度均最大,是明显的优势种;演替中期,东方水韭的多度、盖度、重要值和生态位宽度降低,但群落的物种多样性最高,是东方水韭的顶极群落;演替后期,群落中东方水韭的多度、盖度、重要值和生态位宽度均最低,多年生草本植物细叶芒(*Miscanthus sinensis* Anderss.)和菰[*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf]等逐渐占据重要地位。随群落的演替,群落中营无性/营养繁殖方式的物种数量逐渐增加,群落的繁殖策略由有性繁殖为主转为以无性/营养繁殖为主。研究结果显示,在东方水韭群落演替过程中,群落物种组成的改变、物种多样性的提高、物种繁殖策略的变化以及生境中生化,可能是导致东方水韭种群衰退的主要原因。

关键词: 濒危物种; 东方水韭; 物种多样性; 群落演替; 繁殖策略

中图分类号: Q948.15*4 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)02-0022-06

Preliminary study on community characteristics of *Isoetes orientalis* at different succession stages

ZHU Sheng-chao^{1,2}, ZHU Wen-jie², CHEN Xin², TANG Jian-jun^{2,①} (1. Wenzhou Vocational College of Science & Technology, Wenzhou 325006, China; 2. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(2): 22-27

Abstract: Comparative analyses of species composition, community ecological quantitative characteristics, species diversity and propogation mode of *Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang communities at different succession stages were conducted by the method of space-replacing-time. The results show that at early succession stage, the community has the lowest diversity (species richness, Shannon-Wiener index, Pielou evenness index and β diversity index), and the abundance, coverage, important value and niche breadth of *I. orientalis* population are the highest, which makes *I. orientalis* the dominant species. At middle succession stage, the abundance, coverage, important value and niche breadth of *I. orientalis* population all decrease, while the community shows the highest species diversity, which makes the climax community of *I. orientalis*. At late succession stage, the abundance, coverage, important value and niche breadth of *I. orientalis* population fall to the lowest levels, and perennial herbs such as *Miscanthus sinensis* Anderss. and *Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf become dominant species. Along with the succession process, the number of species adopting asexual/vegetative propogation increases and the main propogation strategy of the community changes from sexual propogation to asexual/vegetative propogation. It is suggested that in the process of succession, the changes of species composition, species diversity, propogation strategy of species and mesophytic habitat may be the major reason to decline of *I. orientalis* population.

Key words: endangered species; *Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang; species diversity; community succession; propogation strategy

收稿日期: 2008-12-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30870405); 国家自然科学基金重点项目(30730020); 浙江省自然科学基金资助项目(Y506064)

作者简介: 朱圣潮(1964—),男,浙江浦江人,本科,副教授,主要从事蕨类植物多样性和濒危植物生态学研究。

①通讯作者 E-mail: chandt@zju.edu.cn

水韭属(*Isoetes* L.)是一个全球广布的孑遗属,主要分布在北半球,目前全世界约有150种,中国共发现5种^[1]。由于人类活动对生境的干扰,水韭属植物在中国的分布范围及种群数量日趋减少^[2-5]。东方水韭(*Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang)是近年在浙江松阳发现的水韭属新种,为中国特有种,仅分布在浙江省松阳县的2块废弃农田中,为极濒危物种,已被列为国家一级重点保护野生植物^[6]。

鉴于水韭属植物特殊的生态学意义及系统学地位,众多的研究者从遗传结构、系统学和生物地理学、种群退化、大孢子发育等方面进行了较多的研究^[7-13],并对中国分布的几种水韭属植物的地理分布、生境特征和濒危原因等也进行了研究^[14-17],还有些学者从种群生态学和濒危生态学等角度对国产水韭属植物进行了相关分析^[18-21]。刘虹和王青锋在确立了东方水韭这一新种^[6]后,对其二歧根发育特征进行了解剖学研究^[22];而朱圣潮^[23-24]和徐燕云等^[25]则对东方水韭的群落结构进行了研究(因为研究周期的原因,作者在前期部分报道中仍然沿用“中华水韭松阳居群”的说法,特此说明),但对处在不同演替阶段的东方水韭群落的物种组成特点及其对东方水韭种群的影响仍不清楚。

作者采用“空间代替时间”的方法,分析东方水韭种群对现存群落演替的响应,从群落水平上分析导致其种群缩小的可能原因,旨在通过对东方水韭群落结构和群落演替的分析,探讨东方水韭种群濒危的机制,了解东方水韭与伴生物种之间的关系,为这一极濒危植物的资源保护提供科学依据,也为东方水韭的迁地保护提供理论参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

供试的东方水韭分布于浙江省松阳县的箬寮岬,海拔1 048~1 110 m,属于中亚热带季风气候区,四季分明、温暖潮湿、光照充足。该区域年均温16℃,极端最高温37℃,极端最低温-12℃,年均日照1 168 h,年均降雨量1 769.7 mm,年均湿度79%,秋季多雾、春夏多雨。土壤为典型的黄壤土。

东方水韭自然分布地均为山溪冲积形成的湿地,该冲积区域于20世纪70年代被开垦为农田,20世纪80年代中期弃耕荒芜至今。2005年10月,东

方水韭自然分布地农田周围的杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]林被村民皆伐,造成山体水土部分流失,对东方水韭湿地生境造成一定影响。叔婆湾样地海拔1 048 m,位于东经119°16'24"、北纬28°16'19",面积约300 m²,在伴生物种相对稀少的地段,东方水韭个体分布较集中,生长状况良好;小烂湖样地海拔1 108 m,位于东经119°16'11"、北纬28°16'26",面积约200 m²,优势种类为相对高大的禾草类植物,东方水韭个体数极少,处于伴生状态。两样地相距441 m,高差约60 m。

1.2 研究方法

根据东方水韭群落的演替阶段,采用“空间代替时间”的方法,在样地内分别选择处于演替初期、演替中期和演替后期(草甸)的群落类型进行调查和分析。处于演替初期阶段的群落是在被人为干扰后的裸露湿地上演替了1 a的群落,2007年至2008年,在分布地划分出5 m×5 m的区域,去除东方水韭以外的所有其他物种,观察东方水韭在暂时没有伴生物种条件下种群的演替情况。演替中期群落是在弃耕水田边缘演替了多年的群落,以稀疏草本植物为主,该群落未进行去除实验,属于自然演替3 a以上的群落。演替后期群落已形成草甸,草本植物分布密集,局部小地形的地势相对较高,土壤蓄水量和湿度相对较小,该群落也未进行人为去除实验,从群落结构上看,该群落属于5 a以上的荒芜地。

在处于各演替阶段的群落中根据典型取样法分别设置5 m×5 m的样地,并在每个样地中划分出25个1 m×1 m的小样方进行群落学调查,分析植物的多度、密度、盖度、频度等;此外,还对群落中营有性繁殖和无性/营养繁殖的物种数量、所占比例及重要值比例进行统计分析。

1.3 数据处理

群落生态学调查参考相关文献^[26-27]进行。多度的计量以植株个体数为单位,重要值为相对多度、相对频度和相对盖度三者数值之和。

α 多样性采用 Simpson 指数(D)、Shannon - Wiener 指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)表示,计算公式分别为: $D = N(N-1) / \sum n_i(n_i-1)$; $H' = -\sum P_i \ln P_i$; $J = -\sum P_i \ln P_i / \ln S$ 。各式中, N 为物种总个体数; n_i 是第*i*种的个体数; P_i 为第*i*种的个体数占总个体数的比例; S 为样地中物种的种数。

β 多样性指数采用 Whittaker 指数表示,计算公

式为: $\beta_w = (S/ma) - 1$ 。式中, S 为群落中物种总和 (即丰富度指数); ma 为各样方的平均物种数。

生态位宽度 (B) 采用改进的 Shannon - Wiener 指数公式进行计算: $B = 1/\log_r \sum P_j \log P_j$ 。式中, P_j 为物种在资源状态上的分布比例; r 为资源状态总量。

各演替阶段不同繁殖方式物种的比例为某演替阶段营某繁殖方式的物种数目占该阶段群落物种总数的百分比; 各演替阶段不同繁殖方式物种的重要值比例为某演替阶段采用某繁殖方式的物种重要值之和占该阶段物种重要值总和的百分比。

2 结果和分析

2.1 不同演替阶段东方水韭群落的物种组成和数量特征

不同演替阶段东方水韭群落的物种组成及群落生态学数量特征参数见表 1。在处于演替初期、中期和后期 3 个阶段的东方水韭群落中, 物种数量分别为 9、40 和 35 种; 随群落的演替, 各样方的总盖度逐渐增加, 但东方水韭的盖度却逐渐降低, 其重要值也逐渐降低, 而群落中的灯心草 (*Juncus effusus* L.)、谷精草 (*Eriocaulon buergerianum* Koern.) 及细叶芒 (*Miscanthus sinensis* Anderss.) 的生态作用不断增加。随着演替过程的不断推进, 东方水韭的多度迅速下降, 盖度从 75% 迅速降为 15%, 重要值由 21.435% 降至 3.204%, 生态位宽度也不断下降, 由演替初期的 0.618 降至演替后期的 0.257。东方水韭盖度的降低表明其在群落中的生态重要性降低, 由优势物种逐渐演化为伴生物种。

生态位反映了物种在群落中占有的空间和种间地位, 生态位宽度越大, 物种成为优势种的可能性就越大。从表 1 可知, 演替初期, 群落中主要种类东方水韭、谷精草、灯心草、长囊苔草 (*Carex harlandii* Boott) 和渐尖毛蕨 [*Cyclosorus acuminatus* (Houtt.) Nakai] 的生态位宽度分别为 0.618、0.432、0.364、0.351 和 0.196; 演替中期主要物种东方水韭、灯心草、谷精草、水芹 [*Oenanthe javanica* (Bl.) DC.]、长囊苔草和喜旱莲子草 [*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.] 的生态位宽度分别为 0.512、0.496、0.307、0.304、0.267 和 0.267; 演替后期主要物种细叶芒、谷精草、灯心草、菰 [*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf] 和东方水韭的生态位宽度则分别为

0.653、0.501、0.487、0.384 和 0.257。可见, 东方水韭、谷精草及灯心草在所有群落中的生态位宽度都较大。随着群落的演替, 东方水韭的生态位宽度不断缩小; 在演替后期的群落中, 多年生草本植物细叶芒和菰等逐渐占据重要地位; 而在湿性较高的群落中占主要地位的长囊苔草则渐渐衰退; 不同演替阶段的优势物种呈现出变化的格局, 东方水韭在不同演替阶段的生态位宽度变化与重要值变化一致。

2.2 不同演替阶段东方水韭群落的物种多样性

2.2.1 α 多样性分析 群落中物种的 α 多样性反映了群落物种组成的丰富程度, α 多样性指数越高, 表示该群落的物种组成越复杂。不同演替阶段东方水韭群落的 α 多样性特征指数见表 2。由表 2 可见, 在演替中期, 东方水韭群落的物种丰富度、多度、Shannon - Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均最高, 而在演替初期这些指标均最低; 仅有 Simpson 指数随演替的进行逐渐增大。随演替的进行, 东方水韭群落的 α 多样性指标总体上呈先增加后降低的趋势, 说明演替中期群落是东方水韭群落的顶极群落。

2.2.2 β 多样性分析 β 多样性是度量在地区尺度上物种组成沿环境梯度从一个群落到另一个群落的变化率的一个重要而常用的指标。在所调查的 3 个不同演替阶段的东方水韭群落中, β 多样性指数沿演替初期、中期和后期渐次升高, 从演替初期到中期和后期, 群落 β 多样性的变化率分别为 0.483 和 0.627; 而从演替中期到演替后期, 群落 β 多样性的变化率为 0.359。结合表 1 结果可以看出, 在演替后期群落中, 甚至出现了与演替初期完全不同的植物种类, 群落物种组成的差异越来越大。

2.3 不同演替阶段东方水韭群落物种繁殖策略的变化

繁殖方式是植物生态对策的重要组成部分, 也是反映群落适应性发展过程的重要方面。在东方水韭群落演替的不同阶段, 繁殖方式不同的物种数量的变化见表 3。由表 3 可见, 在演替的初期、中期和后期, 营有性繁殖的物种所占比例分别为 44.44%、55.00% 和 34.29%, 重要值比例分别为 16.11%、24.53% 和 13.47%, 而营无性/营养繁殖的种类所占比例分别为 55.56%、45.00% 和 65.71%, 重要值比例分别是 83.89%、75.47% 和 86.53%。随群落的演替, 营无性/营养繁殖策略的物种数量增加, 其在群落发展过程中的重要性也不断增加。

表 1 不同演替阶段东方水韭群落的物种组成及群落数量特性¹⁾Table 1 Species composition and quantitative characteristics of *Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang community at different succession stages¹⁾

演替阶段 Succession stage	主要种类 Major species	多度 Abundance	盖度/% Coverage	重要值/% Important value	生态位宽度 Niche breadth
初期 Early stage	东方水韭 <i>Isoetes orientalis</i>	221	75	21.435	0.618
	灯心草 <i>Juncus effusus</i>	15	15	3.281	0.364
	长囊苔草 <i>Carex harlandii</i>	11	5	3.167	0.351
	谷精草 <i>Eriocaulon buergerianum</i>	8	10	3.625	0.432
	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	11	3	1.108	0.087
	萤蔺 <i>Scirpus juncoides</i>	6	3	1.864	0.094
	箭叶蓼 <i>Polygonum sieboldii</i>	7	5	2.361	0.122
	渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	4	8	2.054	0.196
	假俭草 <i>Eremochloa ophiuroides</i>	7	5	1.113	0.064
中期 Middle stage	东方水韭 <i>Isoetes orientalis</i>	172	60	15.880	0.512
	长籽柳叶菜 <i>Epilobium pyrricholophum</i>	12	8	2.221	0.124
	灯心草 <i>Juncus effusus</i>	82	60	11.672	0.496
	长囊苔草 <i>Carex harlandii</i>	26	25	6.071	0.267
	谷精草 <i>Eriocaulon buergerianum</i>	40	30	6.213	0.307
	长苞谷精草 <i>Eriocaulon decemflorum</i>	15	10	1.532	0.066
	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	5	5	4.382	0.304
	薄叶新耳草 <i>Neanotis hirsuta</i>	7	5	0.951	0.115
	箭叶蓼 <i>Polygonum sieboldii</i>	12	8	1.953	0.034
	野灯心草 <i>Juncus setchuensis</i>	14	10	4.624	0.181
	牛毛毡 <i>Eleocharis yokoscensis</i>	20	3	2.891	0.036
	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	3	20	1.983	0.267
后期 Late stage	东方水韭 <i>Isoetes orientalis</i>	12	15	3.204	0.257
	长籽柳叶菜 <i>Epilobium pyrricholophum</i>	8	10	2.136	0.167
	灯心草 <i>Juncus effusus</i>	58	45	9.409	0.487
	长囊苔草 <i>Carex harlandii</i>	32	25	4.836	0.312
	谷精草 <i>Eriocaulon buergerianum</i>	55	40	9.169	0.501
	长苞谷精草 <i>Eriocaulon decemflorum</i>	13	10	2.271	0.164
	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	12	10	2.644	0.198
	薄叶新耳草 <i>Neanotis hirsuta</i>	13	5	1.711	0.086
	箭叶蓼 <i>Polygonum sieboldii</i>	9	5	1.602	0.135
	渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	13	15	2.431	0.186
	雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>	21	5	2.728	0.127
	水莎草 <i>Juncellus serotinus</i>	32	10	2.388	0.106
	细叶芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	68	70	12.478	0.653
	酸模 <i>Rumex acetosa</i>	8	10	1.736	0.031
	酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>	12	8	2.981	0.162
菰 <i>Zizania latifolia</i>	3	30	2.239	0.384	

¹⁾表中仅列出重要值大于 1 的植物种类 The table only lists the species with important value higher than 1.

表 2 不同演替阶段东方水韭群落 α 多样性特征指数Table 2 Character indexes of α diversity of *Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang community at different succession stages

演替阶段 Succession stage	丰富度 Species richness	多度 Abundance	Shannon - Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
初期 Early stage	9	290	1.028	1.702	0.192
中期 Middle stage	40	497	3.826	4.518	0.637
后期 Late stage	35	412	2.492	7.824	0.424

表3 不同演替阶段东方水韭群落中具有不同繁殖策略的物种数量变化

Table 3 The quantitative change of species with different propagation strategies in *Isoetes orientalis* H. Liu et Q. F. Wang community at different succession stages

演替阶段 Succession stage	繁殖策略 Propogation strategy	物种数 Species number	比例/% Percentage	重要值比例/% Percentage of important value
初期 Early stage	有性 Sexual	4	44.44	16.11
	无性/营养 Asexual/vegetative	5	55.56	83.89
中期 Middle stage	有性 Sexual	22	55.00	24.53
	无性/营养 Asexual/vegetative	18	45.00	75.47
后期 Late stage	有性 Sexual	12	34.29	13.47
	无性/营养 Asexual/vegetative	23	65.71	86.53

3 结论和讨论

3.1 东方水韭种群变化对群落演替的响应

群落演替将使群落的物种组成和群落环境发生变化,也将对群落内各物种种群的发展产生影响。Wen 等^[28]指出,中华水韭(*Isoetes sinensis* Palmer)种群的下降与水质变差有关; Rhazi 等^[29]报道,在 *Isoetes setacea* 的分布区,随群落的演替,一些灌木物种的侵入降低了 *I. setacea* 种群的优势度,而枯枝落叶的堆积对 *I. setacea* 种群也会产生负面影响,清除灌木丛和枯枝落叶, *I. setacea* 种群显著增加。研究表明,随群落演替的自然进程,东方水韭种群逐渐趋于衰退。在演替初期,东方水韭种群的多度最高、出现频度最高、重要值最大,是明显的优势种;随着群落的演替,原为原生地东方水韭主要伴生种的一些物种,如灯心草、谷精草、长囊苔草和箭叶蓼等,由于繁殖力强,种群发展明显比东方水韭快,并逐渐成为优势种;演替后期,群落逐渐形成草甸,生境逐渐中生化,群落中出现一些高大的、地下组织发达的草本物种(如细叶芒、谷精草、长囊苔草、水莎草、酸模叶蓼、菰等),使群落遮蔽度增加、地下表层生存空间受限。此外,随着演替的进程,东方水韭群落的 β 多样性指数逐渐提高,表明在群落转变过程中,物种更替越来越快。可见,随着生境的改变、物种的更替以及其他物种生长的竞争,东方水韭种群的发展受到限制,生态位宽度变小,这可能是东方水韭种群衰退的主要原因之一。

从群落的角度来说,物种多样性有利于群落的稳定,但对于东方水韭种群而言,群落物种多样性却对东方水韭种群的发展不利。东方水韭比较适合生长在物种多样性较低的生境中,大量伴生物种的出

现使东方水韭种群的生长受到限制,在与其他多年生植物的竞争中往往处于不利地位,具体原因有待进一步探索。因此,对于处于极濒危状态的东方水韭,分析其现存群落的演替规律,找到导致其种群缩小的可能原因,就可以根据生态学原理去影响和控制群落的演替,使逐年缩小的东方水韭种群得到恢复,扩大其生存和分布范围,这对于东方水韭的保护有重要意义。

3.2 群落物种繁殖策略的变化对东方水韭种群的可能影响

植物繁殖策略是影响种群扩张的重要因素之一,植物在不同生境下可能采取不同的繁殖策略以获得种群的最佳发展,同一环境条件下具有不同发展策略的植物的竞争力也可能有所不同^[30]。一般认为,无性繁殖和营养繁殖有利于提高种群的适合性(fitness),有利于稳定条件下种群的持续增长;而有性繁殖则能提高物种的适应性(adaptability),有利于变化条件下种群的增长^[31]。随群落的演替,东方水韭群落物种的繁殖策略发生变化,在演替初期和中期,营有性繁殖方式的物种与营无性/营养繁殖方式的物种的比例相对均匀,但进入演替后期的草甸群落阶段,能进行无性/营养繁殖的物种数明显增加,群落的繁殖策略由有性繁殖为主转为以无性/营养繁殖为主。在水湿条件逐渐中生化的群落中,以无性繁殖为主要繁殖方式并对中生性环境具有更好适应性的物种种群,如细叶芒、谷精草、长囊苔草及水莎草等,进入快速发展状态,从而成为群落的优势种。虽然东方水韭同时具备有性和无性2种繁殖方式,但是环境逐渐中生化的变化过程改变了群落内物种间的地位,引发了生殖策略的改变,使得群落内的非优势种逐渐成为优势种,从而降低原来具有优势地位的东方水韭种群的竞争力,导致东方水韭种

群不断衰退。

参考文献:

- [1] 浙江植物志编辑委员会. 浙江植物志(第1卷)[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 1993.
- [2] 郝日明, 黄致远, 刘兴剑, 等. 中国珍稀濒危保护植物在江苏省的自然分布及其特点[J]. 生物多样性, 2000, 8(2): 153 - 162.
- [3] 傅立国. 中国植物红皮书(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [4] 刘星, 王勇, 王青锋, 等. 中国水韭属植物的染色体数目及其分类学意义[J]. 植物分类学报, 2002, 40(4): 351 - 356.
- [5] 何子灿, 蔡清, 刘宏涛, 等. 珍稀濒危蕨类植物中华水韭染色体数目的研究[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(3): 241 - 242.
- [6] Liu H, Wang Q F, Taylor W C. *Isoetes orientalis* (Isoëtaceae), a new hexaploid quillwort from China[J]. *Novon*, 2005, 15(1): 164 - 167.
- [7] 陈媛媛, 叶其刚, 李作洲, 等. 极濒危植物中华水韭休宁居群的遗传结构[J]. 生物多样性, 2004, 12(6): 564 - 571.
- [8] Hoot S B, Taylor W C, Napier N S. Phylogeny and biogeography of *Isoetes* (Isoëtaceae) based on nuclear and chloroplast DNA sequence data[J]. *Systematic Botany*, 2006, 31(3): 449 - 460.
- [9] Kang M, Ye Q G, Huang H W. Genetic consequence of restricted habitat and population decline in endangered *Isoetes sinensis* (Isoëtaceae)[J]. *Annals of Botany*, 2005, 96(7): 1265 - 1274.
- [10] Macluf C C, Morbelli M A, Giudice G E. Microspore morphology of *Isoetes* species (Lycophyta) from southern South America. Part II. TEM analysis of some selected types[J]. *Botanical Review*, 2006, 72(2): 135 - 152.
- [11] 陈进明, 王晶苑, 刘星, 等. 中华水韭遗传多样性的RAPD分析[J]. 生物多样性, 2004, 12(3): 348 - 353.
- [12] 陈媛媛, 叶其刚, 黄宏文. 中华水韭(*Isoetes sinensis*)等位酶分析的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(1): 91 - 94.
- [13] 陈进明, 王青锋. 珍稀濒危蕨类植物东方水韭的遗传多样性[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(6): 569 - 573.
- [14] 陈家宽, 王海洋, 何国庆. 江西境内珍稀植物普通野生稻和中华水韭产地的考察[J]. 生物多样性, 1998, 6(4): 260 - 266.
- [15] 刘星, 庞新安, 王青锋. 中国3种水韭属植物自然居群水体化学性质特征及差异性研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 510 - 515.
- [16] 庞新安, 刘星, 刘虹, 等. 中国三种水韭属植物的地理分布与生境特征[J]. 生物多样性, 2003, 11(4): 288 - 294.
- [17] 叶其刚, 李建强. 浙江省中华水韭分布现状与濒危原因[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(3): 216 - 220.
- [18] Liu X, Wang J Y, Wang Q F. Current status and conservation strategies for *Isoetes* in China: a case study for the conservation of threatened aquatic plants[J]. *Oryx*, 2005, 39(3): 335 - 338.
- [19] 叶其刚, 陈树森, 王诗云. 鄂西南后河一个典型稀有濒危植物群落的结构特征研究[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(3): 241 - 247.
- [20] 田玉强, 李新, 胡理乐, 等. 后河自然保护区珍稀濒危植物群落乔木层结构特征[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(6): 443 - 448.
- [21] 朱圣潮, 徐燕云, 王昌腾. 浙江丽水生态示范区的野生珍稀植物资源[J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(2): 62 - 64.
- [22] 刘虹, 王青锋. 中国珍稀濒危植物东方水韭二歧根的发育[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2006, 52(6): 757 - 762.
- [23] 朱圣潮. 中华水韭松阳居群的群落结构与种间联结性研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(3): 258 - 264.
- [24] 朱圣潮. 中华水韭松阳居群周边群落的物种多样性[C]//朱圣潮, 柳新红, 唐建军. 生态系统健康与生态产业建设. 北京: 气象出版社, 2007: 53 - 58.
- [25] 徐燕云, 朱圣潮, 莫建军. 中华水韭松阳居群群落结构及其生境特征分析[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2006, 24(4): 358 - 361, 369.
- [26] 考克斯 G W. 普通生态学实验手册[M]. 蒋有绪译. 北京: 科学出版社, 1979: 120 - 121.
- [27] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 39 - 61.
- [28] Wen M Z, Pang X A, Wang Q F, et al. Relationship between water chemistry and the distribution of the endangered aquatic quillwort *Isoetes sinensis* Palmer in China [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2003, 18(3): 361 - 368.
- [29] Rhazi M, Grillas P, Charpentier A, et al. Experimental management of mediterranean temporary pools for conservation of the rare quillwort *Isoetes setacea* [J]. *Biological Conservation*, 2004, 118(5): 675 - 684.
- [30] 宋会兴, 彭远英. 缙云山2种禾草种群生殖配置的比较研究[J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(3): 12 - 15.
- [31] 唐建军. 生物的适应性和适合性[C]//王身立. 生命科学探索. 长沙: 湖南教育出版社, 1992: 322 - 331.