

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

刘 星 庞新安 王青锋*

(武汉大学生命科学学院植物系统学与进化生物学研究室, 武汉 430072)

摘 要 通过测定 20 个化学因子, 利用平均值、变异系数和差异显著性检验, 分析研究了中国 3 种水生水韭属植物中华水韭(*Isoetes sinensis*)、云贵水韭(*I. yunguiensis*)和高寒水韭(*I. hypsophila*)自然居群水体化学性质的特征和差异性。结果显示: 这 3 种水韭属植物生活水体的 20 个化学因子整体上表现出 Ni 含量占绝对优势、电导率较低、受干扰较小的共同特征; 虽然平均值和变异系数变化较大, 但除了 pH、P、NO₃-N、NO₃⁻ 和 Al 具有显著性差异以外, 其余各因子在 3 个种的生活水体间相对稳定不具显著性差异。结合其它的研究结果分析表明: 这 3 种水韭属植物自然居群水体化学性质的差异可能源于这 3 种水韭属植物生理特征的差异性, 对 3 种水韭属植物的分布不具选择差异性。

关键词 水韭属植物 水体 化学性质 特征和差异性

CHARACTER AND VARIATION OF CHEMICAL PROPERTIES OF THE WATER IN THE NATURAL HABITATS OF THREE SPECIES OF *ISOETES* IN CHINA

LIU Xing PANG Xin-An and WANG Qing-Feng*

(Laboratory of Plant Systematics and Evolutionary Biology, College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract Habitat preference has played an important role in the evolution of the genus *Isoetes*. Aquatic *Isoetes* species are generally distributed in oligotrophic softwater. However, it is still uncertain if chemical properties of the water have an impact on the pattern of distribution of *Isoetes* species. Investigation of habitat preference with regard to water chemistry in natural habitats of species would contribute significance to our understanding of evolution in the genus.

Four species of *Isoetes* are known to occur in China: *Isoetes taiwanensis* in Taiwan island and *I. hypsophila*, *I. yunguiensis* and *I. sinensis* in the mainland, and their distribution regions do not overlap. All four species are endangered aquatic plants throughout their distribution range in the country.

In this paper, 20 parameters of water chemistry in the natural habitats of three species of *Isoetes* in mainland China were measured, using HANNA Pocket-sized pH Meter HI98107 (resolution = 0.1 pH, accuracy = ± 0.1 pH), HANNA Conductivity Meter Dist4/HI983004 (resolution = 0.1 m S \cdot cm⁻¹, accuracy = ± 0.1 m S \cdot cm⁻¹) and HANNA C200 Multiparameter Ion Specific Photometer (resolution of NO₃-N, NO₃⁻, P, Mn and Mo = 0.1 mg \cdot L⁻¹, accuracy = ± 0.1 mg \cdot L⁻¹; resolution of other factors = 0.01 mg \cdot L⁻¹, accuracy = ± 0.01 mg \cdot L⁻¹). The character and variation of the chemical properties of the water were analyzed using mean, coefficient variability and difference significance tests (ANOVA and Kruskal-Wallis).

Results showed a common character in that there were bigger variations in average and coefficient variability of the 20 parameters. Average Ni was overwhelmingly greater than the other factors, and lower conductivity indicated there was litter pollution in the water. However, of the 20 factors assessed, except for pH ($p < 0.05$), P ($p < 0.05$), NO₃-N ($p < 0.05$), NO₃⁻ ($p < 0.05$) and Al ($p < 0.01$), the rest displayed no significant difference among habitats of the three species. This indicated that most of the factors (75%) were relatively stable. pH had an identically positive correlation with NO₃-N and NO₃⁻ ($p < 0.05$); on the contrary, P had an identically negative correlation with NO₃-N and NO₃⁻ ($p < 0.05$). pH and P were also negatively correlated ($p < 0.05$). Only Al had a positive correlation with P ($p < 0.05$). An analysis, according to data from other research and this study, suggested the significant difference of chemical nature of the water among the three *Isoetes* species could be due to differences in physiological characters among them, and has no impact on their distribution.

Key words *Isoetes*, Water chemical properties, Character and variation

水韭属(*Isoetes*)是世界性分布属,根据大孢子表面形态特征可分为大约 150 种,占据从完全水生到完全陆生的一系列生境类型,而且形态建成受到生境变化的影响;在水韭属植物的进化过程中,生境的改变导致了形态上的趋同、变形及多样性,因此,生境的选择不仅被看作是重要的分类特征,而且在水韭属的进化中起重要作用(Taylor & Hickey, 1992; Hickey, 1986a; 1986b)。对水生植物而言,水体化学性质是影响其分布的主要环境因子之一;水生水韭属植物常分布于软水贫养水体,对水体中 N、P 等元素的循环有重要影响(Catalan *et al.*, 1994; Gacia *et al.*, 1994; Andersen & Olsen, 1992; Olsen & Andersen, 1992)。但水生水韭属植物不同种对生活水体的选择差异性,或者说水体化学性质对水生水韭属植物种间的分布是否有影响则并不清楚。

中国已知共有 4 种水韭属植物,基本上都是水生类型,除台湾水韭(*Isoetes taiwanensis*)分布在台湾,其它的 3 种水韭属植物:高寒水韭(*I. hypsophila*)、云贵水韭(*I. yunguiensis*)和中华水韭(*I. sinensis*)都分布在大陆(Wang *et al.*, 2002; 刘星等, 2002; 张宪春, 2001; 刁正俗, 1990; 傅立国, 1989),且分布区相互隔离,呈异域分布格局。这 4 种水韭属植物都是国家一级重点保护濒危植物(于永福, 1999; 傅立国, 1989),现存自然居群数量极少,高寒水韭仅发现 6 个自然居群(云南、四川),台湾水韭和云贵水韭分别仅有一个自然居群(贵州),中华水韭仅有 4 个自然居群(浙江、安徽)。本文以大陆 3 种水韭属植物自然居群分布的水体为对象,分析比较种间水体化学性质的特征及其差异性,初步探讨水体化学性质对这 3 种水韭属植物分布格局的影响,为进一步阐明中国乃至东亚水韭属植物分布格局的成因和进化途径提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 水样采集

从现存高寒水韭(*Isoetes sinensis*)的 5 个自然居群(2001 年 7 月)和中华水韭的 4 个自然居群(2001 年 6 月)共 9 个样点各取得 1 份水样,云贵水韭的 1 个自然居群在不同时间(2001 年 8 月与 9 月)各取得 1 份水样,瓶装密封带回实验室。

1.2 水样分析

pH 用意大利 HANNA 公司 Pocket-sized pH Meter HI98107 测定(解析度 Resolution = 0.1 pH, 准确度 Accuracy = ± 0.1 pH),电导率(Conductivity)用意大利 HANNA Conductivity Meter Dist4/HI983004 测定(解析度 = $0.1 \text{ m S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 准确度 = $\pm 0.1 \text{ pH m S} \cdot \text{cm}^{-1}$),其它因子全部用意大利 HANNA 公司的 HANNA C200 Multiparameter Ion Specific Photometer 进行测试分析($\text{NO}_3\text{-N}$ 、 NO_3^- 、P、Mn 和 Mo 的解析度 = $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 准确度 = $\pm 0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;其余因子的解析度 = $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 准确度 = $\pm 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。当水样中因子的实际值低于仪器的最低检测值时,其测定值为零。pH 和电导率在野外直接测定,其它因子在实验室完成测试。高寒水韭 5 个样品共 5 组数据($n = 5$),云贵水韭(*Isoetes yunguiensis*)2 个样品共 2 组数据($n = 2$),中华水韭(*I. sinensis*)4 个样品共 4 组数据($n = 4$)。

1.3 数据处理

用 Microsoft Excel 数据分析软件,采用变异系数(CV = 标准差/平均数)、方差分析(ANOVA)和秩和检验(Rank sum test)对数据进行统计分析(杜道林等, 2001; 周福军等, 2001; 杜荣骞, 1999; Van Swaay *et al.*, 1990)。

2 结果与讨论

2.1 3 种水韭属植物生活水体化学性质的特征

所测定的 20 个因子中(表 1),Ni 在每个种生活水体中的平均含量都极高,变异系数都大于 0.5,表现出水体中 Ni 平均含量占绝对优势但不稳定的共同特征。pH 的平均值显示,高寒水韭的生活水体基本上是中性的,云贵水韭的生活水体为弱碱性,中华水韭的生活水体略为弱酸性;pH 的变异系数显示,3 个种生活水体的酸碱性都较稳定。电导率可反映水体受干扰程度。高寒水韭生活于高海拔的水体中,整体上受人为干扰少,电导率的平均值最低,小于 0.005,少数水体可能受放牧的影响,使得电导率的变异系数大于 1。云贵水韭生活于受水稻田水流影响的山沟草泽,平均电导率相对较高。中华水韭大部分居群都生活于国家一级保护水源的水体中,整体上的平均电导率小于 0.05。其它因子的平均含量及变异系数在种内和种间也都各不相同,且变化较大(图 1,图 2)。

表 1 3 种水韭属植物生活水体化学因子的平均值、标准差和变异系数
Table 1 Mean, standard deviation and coefficient variability on the water chemical factors of the natural habitats of three species of *Isoetes*

因子 Factors	A			B			C		
	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>CV</i>	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>CV</i>	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>CV</i>
pH	7.02	0.228 035	0.032 484	7.75	0.777 817	0.100 364	6.725	0.221 736	0.032 972
电导率 Conductivity	0.006	0.008 944	1.490 712	0.05	0	0	0.045	0.041 231	0.916 246
NH ₃ -N	0.254	0.072 319	0.284 719	0.045	0.049 497	1.099 944	0.232 5	0.341 309	1.467 995
NO ₃ -N	0.5	0.3	0.6	0.8	0	0	0.15	0.173 205	1.154 701
P	0.3	0.141 421	0.471 405	0.2	0.282 843	1.414 214	1.275	1.024 288	0.803 363
PO ₄ ³⁻	0.128	0.093 915	0.733 71	0.43	0.424 264	0.986 661	0.537 5	0.360 867	0.671 38
NO ₃ ⁻	2.215	1.329	0.6	3.544	0	0	0.664 5	0.767 299	1.154 701
NH ₄ ⁺	0.326 6	0.093 157	0.285 234	0.058	0.063 64	1.097 235	0.299 25	0.439 014	1.467 046
Cl ⁻	0.088	0.077 589	0.881 689	0.02	0	0	0.1	0.083 267	0.832 666
Br ⁻	2.078	3.778 097	1.818 141	0 *	0	0	0 *	0	0
Ca	0.898 4	0.158 76	0.176 714	0.926	0.189 505	0.204 649	0.574	0.326 933	0.569 57
Mg	0.315	0.162 527	0.515 958	0.388	0.015 556	0.040 094	0.360 5	0.185 972	0.515 873
Al	0.008	0.017 889	2.236 068	0.235	0.304 056	1.293 855	0.472 5	0.028 723	0.060 789
Fe	0 *	0	0	0.005	0.007 071	1.414 214	0.172 5	0.199 562	1.156 881
Mn	0.46	0.181 659	0.394 911	0.55	0.070 711	0.128 565	0.65	0.3	0.461 538
Cu	0.234	0.108 995	0.465 792	0.315	0.304 056	0.965 257	0.742 5	0.397 272	0.535 046
Zn	0.204	0.086 776	0.425 37	0.04	0.056 569	1.414 214	0.115	0.138 924	1.208 039
Mo	0.5	0.538 516	1.077 033	1	0.282 843	0.282 843	0.7	0.808 29	1.154 701
Cr ⁶⁺	0.033	0.031 225	0.946 212	0 *	0	0	0.000 25	0.000 5	2
Ni	468	467.675 1	0.999 306	75	106.066	1.414 214	560	380.613 5	0.679 667

A: 高寒水韭 *Isoetes hypsophila* B: 云贵水韭 *I. yunguiensis* C: 中华水韭 *I. sinensis* *X*: 平均值,电导率的单位为 $\text{m S}\cdot\text{cm}^{-1}$,其它的为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Mean: except for pH, unit of conductivity is $\text{m S}\cdot\text{cm}^{-1}$, the others are $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ *S*: 标准差 Standard deviation *CV*: 变异系数 Coefficient of variation
* 当水样中因子的实际值低于仪器的最低检测值时,其测定值为零 Data is zero when the actual data of sample is lower than threshold that meter can measure

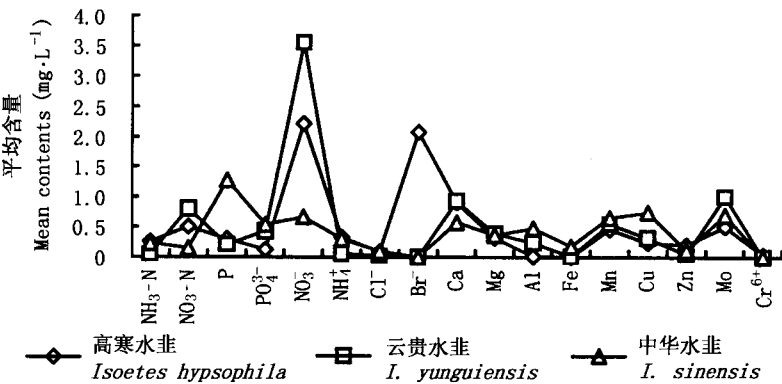


图 1 3 种水韭属植物水体化学因子的平均含量

Fig.1 Mean contents of the water chemical factors of three species of *Isoetes* in their natural habitats

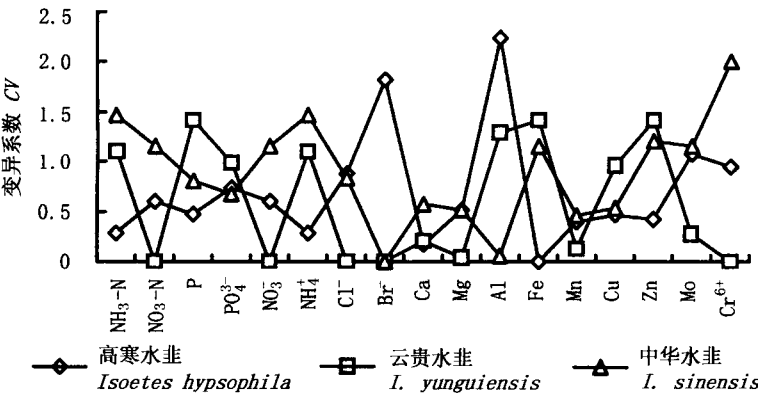


图 2 3 种水韭属植物水体化学因子的变异系数

Fig.2 Coefficient of variation of the water chemical factors of three species of *Isoetes* in their natural habitats

2.2 3 种水韭属植物生活水体化学性质差异显著性检验

2.2.1 方差齐性检验

首先利用 Bartlett 法对所有因子进行多个方差的齐性检验,结果显示:电导率、NH₃-N、P、NO₃⁻、NH₄⁺、Cl⁻、Br⁻、Al、Fe 和 Cr⁶⁺ 等 10 个因子的方差不具齐性($p > 0.05$)。这 10 个因子经过对数变换后再用 Bartlett 法进行多个方差的齐性检验,仅 P 具方差齐性($p < 0.05$)。对方差具齐性的因子用方差分析进行显著性检验,方差不具齐性的因子则用秩和检验。

2.2.2 单因素方差分析

根据表 1 的数据对 3 种水韭属植物生活水体各化学因子进行单因素方差分析(One-way analysis of difference)(表 2)。由表 2 可知,在所测定的方差具齐性的 10 个因子中,整体上仅 pH 和 P 在 3 个种的水体中有显著性差异。

表 2 单因素方差分析
Table 2 F-test of one-way variance analysis

因子 Factors	F	p-value	F crit
pH	5.858 502	0.027 102 *	4.458 968
P	5.120 961	0.036 989 *	4.458 968
PO ₄ ³⁻	2.615 433	0.133 662	4.458 968
Ca	2.467 42	0.146 324	4.458 968
Mg	0.174 734	0.842 8	4.458 968
Mn	0.788 921	0.486 731	4.458 968
Cu	3.971 078	0.063 412	4.458 968
Zn	1.883 08	0.213 708	4.458 968
Mo	0.456 818	0.648 844	4.458 968
Ni	0.989 968	0.412 904	4.458 968

* : $p < 0.05$

2.2.3 多重比较分析

为了了解 pH 和 P 在 3 种水韭属植物生活水体中的具体差异,采用最小显著差法(Least significant difference)进行多重比较分析(表 3)。结果显示:pH 和 P 在 3 种水韭属植物生活水体中整体上具显著性差异,但两两之间的差异性并不一致。

2.2.4 秩和检验

利用 Kruskal-Wallis 对方差不具齐性的 10 个因子进行多个样本比较的秩和检验,结果显示:仅 NO₃-N ($H = 5.822\ 685, p < 0.05$)、NO₃⁻ ($H = 5.822\ 685, p < 0.05$) 和 Al ($H = 7.449\ 957, p < 0.01$) 具有显著性差异。再对这 3 个因子用 Nemenyi 法进行多个样本两两比较的秩和检验。结果显示(表 4):NO₃-N 和 NO₃⁻ 在 3 个种自然居群的水体两两之间都具显著性差异,Al 在高寒水韭与中华水韭两者的水体之间和云贵水韭与中华水韭两者的水体之间具

显著性差异。

2.3 具显著性差异因子的相关分析

为了解 pH、P、NO₃⁻ N、NO₃⁻ 和 Al 这 5 个显著性差异因子彼此之间的相互关系,利用相关系数对所有 3 个种水体的这 5 个因子进行相关性分析。结果显示(表 5):pH 与 NO₃-N 和 NO₃⁻ 呈一致的正相关,P 与 NO₃-N 和 NO₃⁻ 呈一致的负相关,而 P 与 pH 负相关,与 Al 正相关。

3 小 结

3 种水韭属植物生活水体化学性质整体上表现出 Ni 含量占绝对优势,pH 在 6.5 ~ 8.0 之间,电导率较低,受干扰较小,20 个因子中,除了 pH、P、NO₃-N、NO₃⁻ 和 Al 在 3 个种的水体之间具有显著性差异以外,其余各因子都相对稳定一致不具显著性差异。这表明,虽然所测各因子的平均值和变异系数都有较大变化,但 3 种水韭属植物生活水体所测的绝大多数化学因子(75%)没有显著性差异,化学性质相对稳定一致。

水韭属植物可能通过根部释放 O₂,改变沉积物的氧化还原作用,提高氧化还原潜力,降低 pH,影响贫养水体中的沉积物与水之间的 N、P 的交换和溶质动态,使水体 DIN (Dissolved inorganic nitrogen)、SRP (Solvable reactive phosphate)和 P 的含量发生变化,这种变化同时还与水体 N、P 的输入量及水韭属植物对 N、P 的吸收能力有关(Catalan *et al.*, 1986; Jaynes *et al.*, 1986; Andersen & Olsen, 1992; Olsen & Andersen, 1992)。云贵水韭生活于受水稻田水流影响的山沟草泽,高寒水韭部分水体受放牧的影响,中华水韭少数居群生活于废弃的水稻田中,3 种水韭属植物生活水体受人为干扰的程度不一,N、P 的输入量可能有所差异,而且,pH、P、NO₃-N 和 NO₃⁻ 在所有 3 种水韭属植物生活水体中彼此显著相关(表 5),因此,pH、P、NO₃-N、NO₃⁻ 在 3 种水韭属植物生活水体中的显著性差异可能与这 3 种水韭属植物生理活动(O₂ 的释放和对 N、P 的吸收能力)及外界干扰程度的差异有关。另外,沉积物的 pH 和氧化还原潜力对 Al、Fe 和 Mn 等金属元素的生物可利用性(Bioavailability)有重要影响,特别是对 Al 的影响达到 45% 的最大值(Jackson *et al.*, 1993),而且,Al 同 P 显著相关(表 5),因此,Al 在 3 种水韭属植物生活水体中的显著性差异也可能与这 3 种水韭属植物生理活动有关。水韭属植物影响水体营养循环的这一生理特征对维持水体的软水贫养状态具有重要意义

表 3 多重比较的 *t* 检验
Table 3 *t* test of least significant difference

因子 Factors	No.	种 Species	平均 Mean	X1-X1	X2-X1	X3-X1
pH	X1	B	7.75	0		
	X2	A	7.02	0.73 *	0	
	X3	C	6.725	1.025 **	0.295	0
P	X1	C	1.275	0		
	X2	A	0.3	0.975 **	0	
	X3	B	0.2	1.075 **	0.1	0

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ A: 高寒水韭 *Isoetes hypsophila* B: 云贵水韭 *I. yunguiensis* C: 中华水韭 *I. sinensis*

表 4 多个样本两两比较的秩和检验
Table 4 Nemenyi test of multiple comparison

因子 Factors	No.	种 Species	Ri	D = R _A -R _B		
				X1-X1	X2-X1	X3-X1
NO ₃ ⁻	X1	A	33	0		
	X2	B	20	13 **	0	
	X3	C	13	20 **	7 *	0
NO ₃ -N	X1	A	33	0		
	X2	B	20	13 **	0	
	X3	C	13	20 **	7 *	0
Al	X1	A	16	0		
	X2	B	13	3	0	
	X3	C	37	21 **	24 **	0

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ A: 高寒水韭 *Isoetes hypsophila* B: 云贵水韭 *I. yunguiensis* C: 中华水韭 *I. sinensis* Ri: 秩和 Runk sum

表 5 相关分析
Table 5 *t* test of correlation coefficient

因子 Factors	pH	NO ₃ -N	NO ₃ ⁻	Al	P
pH	1				
NO ₃ -N	0.704 136 *	1			
NO ₃ ⁻	0.704 136 *	1	1		
Al	-0.025 76	-0.417 3	-0.417 3	1	
P	-0.594 27 *	-0.622 44 *	-0.622 44 *	0.596 84 *	1

* : $p < 0.05$

(Szmaja *et al.*, 1997; Andersen & Olsen, 1992; Olsen & Andersen, 1992)。

水韭属植物在进化中已形成一系列的机制来适应环境的影响(Roerlett, 1989)。以上的分析也表明:这3种水韭属植物生活水体化学性质之间的差异可能是由这3种水韭属植物本身的生理特征引起的,是3种水韭属植物分布于其中的结果,而不是导致3种水韭属植物分布于其中的原因,也就是说水体的化学性质对这3种水韭属植物的分布没有选择性差异,因此,可以认为这3种水韭属植物分布格局的形成可能源于其它的原因。

参 考 文 献

Andersen, F. & K. R. Olsen. 1992. Nutrient cycling in shallow, oligotrophic Lake Kvie, Denmark. 2. Effects of isoetids on the exchange of phosphorus between sediment and water. *Hydrobiologia*, **275/276**: 267 ~ 276.
Catalan, J., L. Camarero, E. Gacia, E. Ballesteros & M. Felip. 1994. Nitrogen in the Pyrenean lakes (Spain). *Hydrobiologia*,

274: 17 ~ 27.
Diao, Z. S. (刁正俗). 1990. Aquatic weeds in China. Chongqing: Chongqing Press. 24 ~ 25. (in Chinese)
Du, D. L. (杜道林), J. Su (苏杰), L. H. Guo (郭力华), H. M. Shu (舒火明), Y. C. Fu (付永川) & Z. Q. Xiang (向志强). 2001. Variation in concentration of chemical elements in *Cephalotaxus mannii* Hook. f. among populations and modules. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **25**: 119 ~ 124. (in Chinese with English abstract)
Du, R. Q. (杜荣骞). 1999. Biostatistics. Beijing: China Higher Education Press. (in Chinese)
Fu, L. G. (傅立国). 1989. Endangered plants in China. Shanghai: Shanghai Education Press. 7 ~ 8. (in Chinese)
Gacia, E., E. Ballesteros, L. Camarero, O. Delgado, A. Palau, R. J. Lluís & J. Catalan. 1994. Macrophytes from lakes in the eastern Pyrenees: community composition and ordination in relation to environmental factors. *Freshwater Biology*, **32**: 73 ~ 81.
Hickey, R. J. 1986a. *Isoetes* megaspore surface morphology: nomenclature, variation, and systematic importance. *American Fern Journal*, **76**: 1 ~ 16.
Hickey, R. J. 1986b. The early evolutionary and morphological diversity of *Isoetes*, with descriptions of two new neotropical species. *Systematic Botany*, **11**: 309 ~ 321.
Jackson, L. J., J. Kalff & J. B. Rasmussen. 1993. Sediment pH

- and redox potential affect the bioavailability of Al, Cu, Fe, Mn, and Zn to rooted aquatic macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **50**: 143 ~ 148.
- Jaynes, M. L. & S. R. Carpenter. 1986. Effects of vascular and nonvascular macrophytes on sediment redox and solute dynamics. *Ecology*, **67**: 875 ~ 882.
- Liu, X. (刘星), Y. Wang (王勇), Q. F. Wang (王青锋) & Y. H. Guo (郭友好). 2002. The chromosome numbers of Chinese *Isoetes* and its taxonomical significance. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **40**: 351 ~ 356. (in Chinese with English abstract)
- Olsen, K. R. & F. Andersen. 1992. Nutrient cycling in shallow, oligotrophic Lake Kvie, Denmark. 1. Effects of isoetids on the exchange of nitrogen between sediment and water. *Hydrobiologia*, **275/276**: 255 ~ 265.
- Roseslett, B & P. Brettum. 1989. The genus *Isoetes* in scandinavia: an ecological review and perspectives. *Aquatic Botany*, **35**: 223 ~ 261.
- Szmeja, J., K. Banas & K. Bociag. 1997. Ecological conditions and tolerance limits of isoetids along the southern Baltic coast. *Ekologia Polska*, **45**: 343 ~ 359.
- Taylor, W. C. & R. J. Hickey. 1992. Habitat, evolution and speciation in *Isoetes*. *Annals of Missouri Botanical Garden*, **79**: 613 ~ 622.
- van Swaay, C. A. M., J. G. M. Roelofs, G. Vander Velde & G. H. P. Arts. 1990. Successional changes in the soft-water macrophyte vegetation of (sub)Atlantic, sandy, lowland, regions during this century. *Freshwater Biology*, **42**: 287 ~ 294.
- Wang, Q. F., X. Liu, W. C. Taylor & Z. R. He. 2002. *Isoetes yunguiensis* (Isoetaceae), a new basic diploid quillwort from China. *Novon*, **12**: 587 ~ 591.
- Yu, Y. F. (于永福). 1999. A mileage of wild plant conservation in China. *Plants* (植物杂志), (5): 3 ~ 11. (in Chinese)
- Zhang, X. C. (张宪春). 2001. *Isoetes hypsophila* Hand.-Mazz. in Zhongdian of Yunnan. *Plants* (植物杂志), (5): 4. (in Chinese)
- Zhou, F. J. (周福军), T. F. Yan (颜庭芬), Q. Wang (王琴), X. F. Yan (阎秀峰) & Y. G. Zu (祖元刚). 2001. Study on the relation between morphodifferentiation and living environment of *Rhodiola sachalinensis*. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **21**: 90 ~ 96. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 周广胜 责任编辑: 姜联合