

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

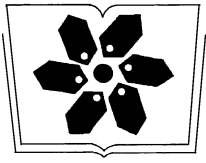
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨 娜,杨 波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO ₂ 变化特征 ·····	程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ·····	耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ·····	马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ···	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ·····	陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)
浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ·····	周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)
双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ·····	孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)
专论与综述	
C ₄ 作物 FACE (free-air CO ₂ enrichment) 研究进展 ·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
研究简报	
石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ·····	石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生

孟学平^{1,*}, 申欣¹, 程汉良¹, 赵娜娜^{1,2}

(1. 淮海工学院海洋学院, 连云港 222005; 2. 江苏省海洋生物重点实验室, 南京 210095)

摘要: 双壳纲贝类栖息于环境多变的海域, 是一个形态学和生态学都具有多样性的类群, 清晰而可靠的进化关系对于养殖与相关种类的管理具有重要意义。然而, 目前对双壳类宏观分子系统学研究的报道较少。研究用 18S rRNA 基因(18S)分析了双壳类 3 个亚纲贝类的系统发育关系。从 GenBank 下载帘蛤目、海螂目、贻贝目、胡桃蛤目、蚌目、珍珠贝目 6 个目 94 个种类的 18S 全/部分序列 107 个, 通过 ClustalX 软件进行序列比对, 用 MEGA4.1 软件和 PHyML 软件计算遗传距离, 构建系统发育树, 研究了双壳类 18S 变异规律及其在系统发生研究中的应用。结果显示 18S 有插入/缺失序列, 存在长度多态性。序列比对显示有 5 段约 30—70bp 的保守区, 4 段约 130—550bp 的高变区。碱基组成平均为 T:24.4%, C:23.6%, A:24.5%, G:27.5%。G+C 含量为 51.1%。在 1796 个比对位点中, 变异位点占 31.7%, 简约信息位点占 24.0%。目内科间遗传距离为 0.003—0.043, 目间遗传距离为 0.026—0.093。NJ 树和 ML 树显示贻贝目、珍珠贝目、胡桃蛤目、蚌目和海螂目的缝栖蛤科先分别聚为支持率很高(BPN=94—100)的单系支, 后聚为一大支(BPN=100)。蛤蜊科与帘蛤目的其他科分离形成一置信度很高的单系支(BPN=93)。帘蛤科种类聚为置信度较低(BPN=60)的一支。海螂目、帘蛤目的种类没能完全聚到所属支系, 彼此嵌套, 缝栖蛤科的种类从海螂目中分离出来。18S 资料揭示帘蛤目的蛤蜊科、海螂目的缝栖蛤科已经进化为独立的支系。

关键词: 双壳纲; 18S rRNA 基因; 序列分析; 系统发生

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class

MENG Xueping^{1,*}, SHEN Xin¹, CHENG Hanliang¹, ZHAO Nana^{1,2}

1 College of Marine Science of Huaihai Institute of Technology, Jiangsu Lianyungang 222005, China

2 Jiangsu Key Laboratory of Marine Biology, Jiangsu Nanjin 210095, China

Abstract: The class Bivalvia (phylum Mollusca) is a morphologically and ecologically diverse group that inhabits a variety of marine environments. Worldwide, there are approximately 20,000 species of marine bivalves that display a rich genetic diversity. Clear and reliable evolutionary relationship information is important for the culture and management of related species. Recently, it has been shown that comparative phylogenetic analyses based on small subunit rRNA gene (18S) sequences may be useful for resolving phylogenetic relationships within and among bivalve families. However, a comprehensive examination of bivalves is lacking so far. In this paper, 18S nucleotide variations were analyzed and used to investigate the evolutionary relationships among 3 subclasses [Palaeotaxodonta (Nuculoida), Pteriomorpha (Arcoidea, Mytiloida, Pterioidea) and Heterodonta (Veneroidea, Myoidea)] of the Bivalvia. 18S sequences of ninety-four species, which belongs to six orders, were obtained from GenBank. Sequences were aligned by using the profile alignment function of ClustalX, and regions which could not be unambiguously aligned were excluded. The phylogenetic analyses were conducted using the Neighbor-Joining method (in MEGA 4.1) and the maximum likelihood method (in PHyML). The alignment results showed that many indels (insertions/deletions) were observed, so there is polymorphism in sequence length of these sequences. The 18S alignments for the 107 sequences contained 1796 sites in total, comprising 569 variable sites (31.7%)

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2007066); 江苏省海洋生物技术重点实验室开放课题(2005HS009, 2009HS13); 江苏省教育厅自然科学基金项目(05SJD240028)

收稿日期: 2010-08-09; **修订日期:** 2011-01-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxp2002@hotmail.com

and 431 informative sites(24.0%). We observed 5 regions of highly conserved sequences and 4 regions of high variability. The mean composition of T, C, A, G, was 24.4%, 23.6%, 24.5%, 27.5%, respectively, and this dataset shows a higher proportion of G in all 18S sequences. Genetic distances among families and among orders were from 0.003 to 0.043 and from 0.026 to 0.093, respectively. The present analysis of the 18S data supports the proposal that each of the following 4 orders forms a distinct clade: Arcoidea, Nucubida, Mytiloidea and Pterioidea. The monophyly of each order is supported by a relatively high bootstrap value(BPN=94–100). NJ and ML trees supports the placement of orders Arcoidea, Nucubida, Mytiloidea and Pterioidea in one clade(BPN=100, and clustered with the family Hiatellidae(Order Myoidea)(BPN=97). The Veneroidea and Myoidea were not recovered as monophyletic clade. In the case of the order Veneroidea, the species of the family Mactridae grouped closest to one another(BPN=98) but separate from the other species of Veneroidea. The Veneroidea clustered as a monophyletic clade with lower confidence level(BPN=60), and the species of the family Hiatellidae separate from the order Myoidea. The Mactridae and Hiatellidae each formed a monophyletic clade.

Key Words: Bivalvia; 18S rRNA gene; sequence analysis; phylogeny

双壳纲(Bivalvia)为软体动物门的一个纲,全世界约有2万种^[1]。我国有8个目^[2-3]。生态及形态上极具多样性,在我国,双壳贝类分类工作已有几十年的历史,黄勃收集了中国海域1000余种种名录及相应的生态和分布资料^[4]。双壳类种类繁多,分类困难,用传统分类方法,许多种类的分类地位存在分歧^[5-6]。近年来,分子标记技术被越来越多地用于贝类的系统发育分析。18S长度适当,含量大且高度保守,核苷酸替换率较低,是探讨生物高级分类群系统演化的难得工具之一^[7-8],已被广泛应用于锥虫^[9]、绿藻^[10]、毛茛科植物^[11]、螺类^[12]、节肢动物^[13]等动植物科内种间系统发育关系的研究。18S序列也已被很多研究者用于双壳类系统学研究^[14]。如贻贝科种类系统发生关系^[5],帘蛤科6种贝类进化关系^[6],软体动物6个纲32种软体动物的系统关系^[15]。利用18S对双壳类目以上阶元的系统发育研究报道较少。本研究采用比较基因组学和生物信息学方法,利用GenBank DNA资源对双壳纲6个目物种的18S序列进行了比较,以期探讨18S序列变异规律及物种间的进化关系,为双壳类系统发生研究提供宏观资料。同时探讨18S序列的解析力,为中国双壳类的管理提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 18S 基因序列收集

分别以四角蛤蜊(*Maetra veneriformis* Roove)、胡桃蛤(*Nucula sulcata*)、(*Spondylus sinensis* Schreibers)、蚶属(*Arca*)的瓦楞魁蛤(中文别名)(*Arca imbricata*)、*Gigantidas gladius*(暂无中文种名)等的18S全序列为Query Sequence在GenBank检索帘蛤目和海螂目、胡桃蛤目、珍珠贝目、蚶目、贻贝目种类的18S序列,总共获得双壳纲6个目25个科94个种类107条18S全/部分序列,序列所属目、科、登录号、序列长度等信息见表1。

表1 8个目双壳类18S rRNA基因序列信息

Table 1 The sequence information of 18S rRNA gene from 8 orders of bivalve

目 Order	科 Family	种 Species	登录号 Assesion No.	序列长度(bp) Seq. size(bp)	作者/国家 Author/ Country
帘蛤目	帘蛤科	<i>Anomalocardia auberiana</i>	AY553966	1751/p	Bieler, R./USA
Veneroidea	(12/12)	<i>Periglypta listeri</i>	AY553972	1758/p	Bieler, R./USA
(42/47)		<i>Mercenaria mercenaria</i>	AF120559	1779/c	Giribet, G./USA
		<i>Leukoma staminea</i>	AM774570	1779/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Chione elevata</i>	AY553970	1748/p	Bieler, R./USA
		<i>Chamelea striatula</i>	DQ279943	1778/p	Giribet, G./USA

续表

目 Order	科 Family	种 Species	登录号 Assesion No.	序列长度(bp) Seq. size(bp)	作者/国家 Author/ Country
		<i>Irus irus</i>	AM774572	1779/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Venerupis saxatilis</i>	AM774571	1779/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Gomphina aequilatera</i>	EF613235	1729/P	Wang, Z./China
		<i>Paphia undulata</i>	EF613236	1726/p	Wang, Z./China
		<i>Callista chione</i>	AJ007613	1780/?	Canapa, A./Italy
		<i>Cyclina sinensis</i>	EF426289	1838/c	Cheng, H. L./China
	蛤蜊科 Mactridae (14/16)	<i>Mactra veneriformis</i>	EF583912 *	1840/c	Meng, X. P./ China
		<i>Mactra veneriformis</i>	EF613238	1825/p	Wang, Z./China
		<i>Mactra chinensis</i>	EF583913 *	1840/c	Meng, X. P./ China
		<i>Mactra eximia</i>	AM774550	1852/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Coelomactra antiquata</i>	EF583911 *	1838/c	Meng, X. P./ China
		<i>Coelomactra antiquata</i>	EF583910 *	1838/c	Meng, X. P./ China
		<i>Lutraria sieboldii</i>	EF583914 *	1799/c	Meng, X. P./ China
		<i>Lutraria lutraria</i>	AM774553	1790/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Mactromeris polynyma</i>	L11230	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Tresus capax</i>	L11267	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Tresus nuttali</i>	L11269	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Spisula solidissima</i>	L11270	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Spisula solida</i>	L11266	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Mulinia lateralis</i>	L11268	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Spisula subtruncata</i>	L11271	1841/c	Rice, E. L./Canada
		<i>Spisula solida</i>	AM774552	1790/p	Williams, S. T./UK
	球蚶科 Sphaeriidae (4/4)	<i>Pisidium obtusale</i>	AM774539	1781/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Sphaerium corneum</i>	AM774537	1781/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Musculium lacustre</i>	AM774538	1757/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Sphaerium striatinum</i>	AF120558	1781/c	Giribet, G./USA
	蚶科 Corbiculidae (1/3)	<i>Corbicula fluminea</i>	AF120557	1777/c	Giribet, G./USA
		<i>Corbicula fluminea</i>	EF613239	1723/p	Wang, Z./China
		<i>Corbicula fluminea</i>	AM774558	1776/p	Taylor, J. D./UK
	蹄蛤科 Ungulinidae (3/3)	<i>Cycladicama cumingi</i>	AM774548	1801/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Ungulina cuneata</i>	AM774547	1793/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Diplodonta subrotundata</i>	AJ389654	1828/?	Steiner, G./Austria
	北极蛤科 Arcticidae (1/2)	<i>Arctica islandica</i>	AM774563	1774/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Arctica islandica</i>	U93555	1771/p	Bell, J. L./ USA
	囊螂科 Vesicomysidae (2/2)	<i>Vesicomys pacifica</i>	AM774564	1777/p	Williams, S. T./ UK
		<i>Calyptogena magnifica</i>	AF120556	1777/c	Giribet, G./USA
	△Hemidonacidae(1/1)	<i>Hemidonax pictus</i>	AM774560	1822/p	Taylor, J. D./UK
	曇蛤科 Glauconomidae(1/1)	<i>Glauconome virens</i>	AM774559	1776/p	Williams, S. T./ UK
	△Cyrenoididae(1/1)	<i>Cyrenoida floridana</i>	FM999789	1772/p	Taylor, J. D./UK
	△Gaimardiidae(1/1)	<i>Gaimardia trapezina</i>	AM774546	1785/p	Taylor, J. D./UK
	△Trapezidae(1/1)	<i>Trapezium sublaevigatum</i>	AM774557	1776/p	Williams, S. T./ UK
海螂目 Myoida (20/26)	海螂科 Myidae (3/5)	<i>Mya arenaria</i>	FM999791	1846/p	Taylor, J. D./UK
		<i>Mya arenaria</i>	AF120560	1783/c	Giribet, G./ USA
		<i>Mya arenaria</i>	AF117739	1793/p	Distel, D. L./USA
		<i>Mya truncata</i>	AY570556	1789/p	Larsen, J. B./USA
		<i>Sphenia perversa</i>	AM774544	1782/p	Taylor, J. D./UK

续表

目 Order	科 Family	种 Species	登录号 Assesion No.	序列长度(bp) Seq. size(bp)	作者/国家 Author/ Country
	篮蛤科 Corbulidae	<i>Varicorbula disparilis</i>	AF120561	1795/c	Giribet, G. /USA
	(4/4)	<i>Corbula gibba</i>	AY192691	1790/p	Dreyer, H. /Austria
		<i>Notocorbula coxi</i>	AY192684	1810/p	Dreyer, H. /Austria
		<i>Corbula sinensis</i>	AM774545	1787/p	Taylor, J. D. /UK
	海笋科 Pholadidae	<i>Barnea candida</i>	AM774541	1817/p	Taylor, J. D. /UK
	(4/6)	<i>Barnea parva</i>	AM774542	1817/p	Taylor, J. D. /UK
		<i>Pholas orientalis</i>	EF613240	1790/p	Wang, Z. /China
		<i>Pholas dactylus</i>	AJ309017	1804/?	Canapa, A. /Italy
		<i>Pholas dactylus</i>	AY070122	1798/p	Giribet, G. /USA
		<i>Pholas dactylus</i>	AY192698	1816/p	Dreyer, H. /Austria
	船蛆科 Teredinidae	<i>Lyrodus pedicellatus</i>	AM774540	1791/p	Taylor, J. D. /UK
	(3/3)	<i>Bankia carinata</i>	AF120564	1791/c	Giribet, G. /USA
		<i>Nausitora fusticula</i>	AY192697	1817/p	Dreyer, H. /Austria
	△ Xylophagidae(1/1)	<i>Xylophaga atlantica</i>	AY070123	1795/p	Giribet, G. /USA
	缝栖蛤科 Hiatellidae	<i>Hiatella arctica</i>	AM774511	1774/p	Taylor, J. D. /UK
	(5/7)	<i>Hiatella</i> sp. GD-2002	AY070121	1774 /p	Giribet, G. /USA
		<i>Hiatella australis</i>	AM774512	1774/p	Taylor, J. D. /UK
		<i>Hiatella arctica</i>	AF120563	1774/p	Giribet, G. /USA
		<i>Panopea abrupta</i>	AM774514	1770/p	Taylor, J. D. /USA
		<i>Panopea abrupta</i>	AM774513	1770/p	Taylor, J. D. /Canada
		<i>Panopea abrupta</i>	GU644464*	1799/p	Meng, X. P. / China
蛭目 Arcoida	蛭科 Arcidae	<i>Barbatia barbata</i>	AF207646	1765/c	Giribet, G. /USA
(10/10)	(6/6)	<i>Barbatia virescens</i>	EF613227	1758/p	Wang, Z. /China
		<i>Tegillarca nodifera</i>	EF613229	1718/p	Wang, Z. /China
		<i>Barbatia virescens</i>	X91974	1812/?	Winnepenninckx, B. /Belgium
		<i>Barbatia plicata</i>	AJ389630	1794/?	Steiner, G. /Austria
		<i>Arca noae</i>	X90960	1782/?	Steiner, G. /Austria
	蛭蜊科 Glycymerididae	<i>Glycymeris insubrica</i>	AF207647	1765/c	Giribet, G. /USA
	(2/2)	<i>Glycymeris</i> sp	X91978	1811/?	Winnepenninckx, B. /Belgium
	细饰蛭科 Noetiidae(1/1)	<i>Striarca lactea</i>	AF120531	1765/c	Giribet, G. /USA
	拟铤蛤科 Limopsidae(1/1)	<i>Limopsis marionensis</i>	AJ422058	1731/?	Page, T. J. / Marion Island
贻贝目 Mytiloida	贻贝科 Mytilidae(13/13)	<i>Leiosolenus obesus</i>	AB201237	1807/p	Owada, M. /Japan
(13/13)	亚科: Lithophaginae [△]	<i>Leiosolenus lithurus</i>	AB201236	1751/p	Owada, M. /Japan, 2007
	贻贝亚科 Mytilinae	<i>Hormomya domingensis</i>	AF117736	1769/p	Distel, D. L. /USA
		<i>Hormomya mutabilis</i>	AB201233	1769/p	Owada, M. /Japan
		<i>Hormomya exustus</i>	AF229623	1807/c	Campbell, D. C. / USA
	偏顶蛤亚科 Modiolinae	<i>Geukensia demissa</i>	L33450	1817/c	Kennington, E. L. R. /?
		<i>Modiolus modiolus</i>	EF526454	1795/p	Samadi, S. /French, 2007
	亚科: Bathymodiolinae [△]	<i>Tamu fisheri</i>	AF221642	1740/p	Distel, D. L. /USA
	偏顶蛤亚科 Modiolinae	<i>Myrina</i> sp. HEE-2004	AB178221	1819/p	Elsaied, H. E. /Japan
	亚科: Bathymodiolinae [△]	<i>Gigantidas gladius</i>	AY649821	1751/p	Jones, W. J. /USA
	亚科: Bathymodiolinae [△]	<i>Bathymodiolus mauritanicus</i>	AY649828	1751/p	Jones, W. J. / USA
	偏顶蛤亚科 Modiolinae	<i>Idas arcuatilis</i>	AF221643	1739/p	Distel, D. L. /USA
		<i>Myrina pacifica</i>	AF221646	1740/p	Distel, D. L. /USA2000
胡桃蛤目 Nucubida	胡桃蛤科 Nuculidae	<i>Nucula sulcata</i>	DQ279937	1765/p	Giribet, G. / USA
(3/5)	(3/5)	<i>Nucula sulcata</i>	AF120525	1765/p	Giribet, G. / USA
		<i>Nucula sulcata</i>	AF207642	1765/p	Giribet, G. / USA
		<i>Acila castrensis</i>	AF120527	1765/c	Giribet, G. / USA

续表

目 Order	科 Family	种 Species	登录号 Assesion No.	序列长度(bp) Seq. size(bp)	作者/国家 Author/ Country
		<i>Nucula proxima</i>	AF120526	1766/c	Giribet, G. /USA
珍珠贝目	海菊蛤科 Spondylidae	<i>Spondylus sinensis</i>	AF229629	1802/c	Campbell, D. C. /USA
Pterioida	(5/5)	<i>Spondylus hystrix</i>	AJ389647	1791/?	Steiner, G. /Austria
(6/6)		<i>Chlamys hastata</i>	L49049	1814/c	Frischer, M. /Canada
		<i>Pedum spondyloideum</i>	AJ389649	1790/?	Steiner, G. /Egypt
		<i>Excellichlamys spectabilis</i>	AJ389648	1792/?	Steiner, G. /Austria
	襞蛤科 Plicatulidae(1/1)	<i>Plicatula australis</i>	AF229626	1802/c	Campbell, D. C. / USA

* :星号为笔者测序的种, △:暂无中文名, /p:部分序列, /c:全序列, /?:未知;表中括号内数字=贝类种数/18S 序列数

1.2 核苷酸序列分析

用 ClustalX 软件进行 DNA 序列的对位排列分析,以 .aln 文件保存分析结果。用 MEGA4.1 软件将 .aln 转换成 MEGA 文件,采用 Kimura 双参数模型计算遗传距离,并用 Neighbor-Joining (NJ) 法和 Maximum likelihood (ML) 法构建系统树,1000 次重复获得的自展检验值。

2 结果与分析

2.1 序列分析

分析了双壳纲 6 个目 26 个科的 94 种贝类共 107 个 18S 序列,其中有帘蛤目 (Veneroida) 12 个科 42 个种 47 个序列,海螂目 (Myoida) 6 个科 20 个种 26 个序列,蚶目 (Arcoida) 4 个科 10 个种的 10 个序列,贻贝目 (Mytiloida) 1 个科 13 个种 13 个序列,胡桃蛤目 (Nucubida) 1 个科 3 个种 5 个序列,珍珠贝目 (Pectinoida) 2 个科 6 个种 6 个序列。本研究所列的已报道的双壳类 6 个目的种类 18S 序列存在多态性:帘蛤目种类 18S 序列长度在 1777—1841bp 之间;海螂目种类在 1783—1795bp 之间;贻贝目在 1807—1817bp 之间;蚶目种类在 1765—1793bp;胡桃蛤目种类在 1765—1766bp 之间。珍珠贝目在 1802—1814 之间。用 ClustalX 软件对 107 条序列进行完全比对后,将 5' 端和 3' 端剪辑取齐。用 MEGA4.1 进行对位排列分析,共有 1796 个比对位点,其中变异位点 (569) 占 31.7%,简约信息位点 (431) 占 24.0%。在序列中有 4 段约 130—550bp 的高变区 (变异位点相对集中),5 段约 30—70bp 的保守区 (只有少数单突变位点)。其余为中、低变区。碱基组成平均为 T:24.4%, C:23.6%, A:24.5%, G:27.5%。G 含量高于其它 3 种碱基。序列中有许多插入/缺失位点,其中最长的连续插入序列约 52bp,根据此插入序列的有无,将 18S 序列分为 I 型 (有插入序列) 和 NI 型 (无插入序列) 2 种类型,大多数种类为 NI 型,只有蛤利科中的西施舌、中国蛤蜊、四角蛤蜊和 *Maetra eximia* (暂无中文名) 4 个种类为 I 型。去除保守序列和单突变位点序列,保留简约信息位点 (部分) 的比对结果如图 1。根据序列变异位点的特征,将比对图分为 15 个区,用英文大写字母 A—O 标于图 1 的右侧。帘蛤科 12 个种类 (B 区) 序列的特征位点是 306 (T) 位。C 区为北极蛤科 (AM774563, U93555) 和囊螂蛤科 (AM774564, AF120556) 的 4 个种类,其第 52、53、63、65、183 位的碱基与帘蛤科的 12 个种类相似,这 2 个科的种类与帘蛤科的 12 个种类序列变异位点相似。蚬科、Cyrenoididae 科 (暂无中文名) 和绿螂科 (D 区) 的 3 个科共有变异位点为第 182 (T)、185 (C)、273 (C)、276 (C) 和 533 (A) 位。这 3 个科种类亲缘关系较近。E 区为蹄蛤科的 3 个种类,其特征序列是在 919、921—924、927、929 位点共享的 AACAAAG 碱基。F 区球蚬科的 4 个种类 (AM774537—AM774539, AF120558) 共享变异位点为 489 (T)、586 (A)、839 (T)、1618 (C)、1635 (T) 和 1765 (T) 位点。

2.2 蛤蜊科贝类 18S 核苷酸组成

序列比对结果显示,帘蛤目蛤蜊科的贝类 18S 序列具有明显特点,因此作了单独分析。蛤蜊科的西施舌 *Coelomaetra antiquata*、中国蛤蜊 *M. chinensis*、四角蛤蜊 *M. veneriformis*、施氏獭蛤 *Lutraria sieboldii* 4 种贝类的 18S 全序列长度分布在 1799—1840bp 间,存在明显的长度多态性。将已经发表的蛤蜊科的 16 个序列放在一起分析显示:蛤蜊科贝类 18S 序列分为两种类型,一种为有插入序列 (约 40bp 长) 的 L 型,另一种为无插入

纲, 简约信息位点比对图显示这 3 个目的种类有共享的变异位点(图 1), 这些变异位点可作为翼形亚纲的标记位点。

2.3 遗传距离和系统发育分析

用 Kimura 2-parameter 参数计算遗传距离。107 个个体的平均遗传距离为 0.0593。目内不同种间的平均遗传距离为: 帘蛤目(12 个科)0.0431; 海螂目(6 个科)0.0335; 蚶目 0.0071(4 个科); 贻贝目 0.0085(1 个科); 胡桃蛤目 0.0086(1 个科); 珍珠贝目(2 个科)0.0163。由表 2 可见, 6 个目间遗传距离在 0.026—0.093 之间。帘蛤目与真珠贝目间的遗传距离最大(0.093), 胡桃蛤目与蚶目的遗传距离最小(0.026)。

表 2 双壳类 6 个目间遗传距离
Table 2 Genetic distances among 6 orders of bivalve

目 Order	帘蛤目 Veneroidea	海螂目 Myoidea	贻贝目 Mytiloidea	蚶目 Arcoidea	珍珠贝目 Pectinoidea	胡桃蛤目 Nuculoidea
帘蛤目 Veneroidea						
海螂目 Myoidea	0.04755					
贻贝目 Mytiloidea	0.08935	0.07617				
蚶目 Arcoidea	0.08322	0.07214	0.02657			
珍珠贝目 Pectinoidea	0.09270	0.08086	0.03588	0.03286		
胡桃蛤目 Nuculoidea	0.08493	0.07141	0.02718	0.02645	0.0339	

蛤蜊科 13 个种类遗传距离相差较大, 在 0.001—0.098 之间。将具有 L 型序列的分为一组(Mac1), S 型序列的分为另一组(Mac2), 2 组间的遗传距离为 0.092, 而 Mac1 和 Mac2(西施舌、中国蛤蜊、四蛤蜊和 *Mactra eximia*) 组内个体间平均遗传距离分别为 0.007 和 0.010。*Spisula subtruncata* 和 *Mactra eximia* 的遗传距离最大(0.098), 中国蛤蜊与四角蛤蜊的遗传距离最小(0.001)。海螂目缝栖蛤科 Hiatellidae 与目内其它 5 个科(海螂科 Myidae、蓝蛤科 Corbulidae、海笋科 Pholadidae、船蛆科 Teredinidae 和 Xylophagidae) 间的遗传距离较大, 为 0.054—0.064, 而这 5 个科间的遗传距离为 0.009—0.036。蓝蛤科与海螂科的遗传距离最小(0.009), 海笋科与缝栖蛤科的遗传距离最大, 为 0.064。帘蛤目 12 个科平均遗传距离 0.047, 科间距离为 0.008—0.074, 囊螂蛤科 Vesicomidae 与北极蛤科 Arcticidae 的遗传距离最小(0.008), Gaimardiidae 科与蛤蜊科的遗传距离最大(0.074)。蛤蜊科内种间的遗传距离最大, 平均为 0.047。蛤蜊科与目内其它贝类的遗传距离为 0.063—0.074。帘蛤目除蛤蜊科以外的 11 个科间的遗传距离在 0.008—0.053。

根据 18S 部分序列资料, 利用 ClustalW 参数构建 NJ 树和 ML 树, 分析 6 个目的系统发生关系, 107 个序列共聚为 6 或 5 大支(编号为 A—F 或 A—E, 图 2), 其中贻贝目、胡桃蛤目、珍珠贝目和蚶目内的所有物种均聚在各自所在目, 形成单一支系, 且这 4 个目聚为一大支(F 支)图 2 右(BPN=100)。帘蛤目和海螂目的物种没有完全聚在所属的目内。海螂目四个科的 28 个序列聚为 2 支(图 2 左图 C、D 支, 右图的 B、E 支), 其中一支为缝栖蛤科种类(左图 D 支, 右图 E 支)(BPN=97); 另一支由其它 5 个科形成, 置信度较低, 科间有嵌套现象。帘蛤目的蛤蜊科聚为 1 支(图 2 左、右的 A 支)(BPN=98), 球蚬蛤科单独聚为一支(图 2 右的 D 支)(BPN=100)。帘蛤科种类虽聚为 1 支, 支持率较低。聚类结果提示海螂目的缝栖蛤科、帘蛤目的蛤蜊科种类已经进化为 1 个独立支系, 18S 不能很好的解决帘蛤目、海螂目部分种类的系统发育关系。

3 讨论

3.1 蛤蜊科贝类 18S 差异及分类地位

蛤蜊科已经发现有 30 种, 本研究发现蛤蜊科贝类 18S 序列有明显的长度多态性和单核苷酸多态性。蛤蜊科的西施舌、四角蛤蜊、中国蛤蜊和 *M. eximia* 在比对位点 1557 位后均有一段 45—52bp 的插入序列, 且有明显的区别于 6 个目种类的共享变异位点, 聚类时这 4 个种的 6 个个体聚在一起形成一支(BPN=100)(图 3B), 蛤蜊科的其它种类聚为另一支(BPN=99)(图 3B), 这两支虽然最后聚为一大支(图 3: Veneroidea-3)(BPN=93), 但两支的遗传距离较大(0.098), 说明这两支分化程度较高。NJ 树(图 2 右)和 ML(图 2 左)树

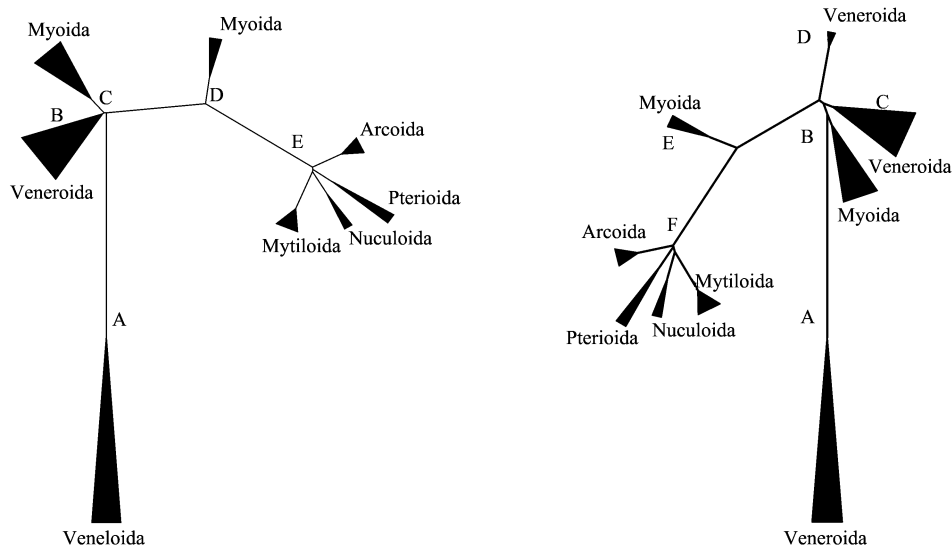


图2 基于 18S rDNA 的双壳类 6 个目贝类的 ML 树(左图)和 NJ 树(右图)

Fig. 2 ML (left) and NJ (right) tree based on 18S rDNA gene of the clams from 6 orders of bivalvae

均显示蛤蜊科贝类与其它种类的分化程度高,在辐射状进化树的基部(图2)是帘蛤目蛤蜊科种类,这支与帘蛤目(Veneroidea)的其余种类(图2左B支、右C支)分为两个分支。

3.2 海螂目种类 18S 差异及分类地位

系统分析结果显示,本文所列海螂目 6 个科 19 个种类形成两个支系,其中的缝栖蛤科 Hiatellida 形成支持率较高的一支(BPN=97),其他 5 个科聚为一支,但支持率较低(BPN=56)。缝栖蛤与所属目的科间遗传距离(0.054—0.064)接近其与蚶目间的遗传距离(0.060)。核苷酸序列比对显示缝栖蛤科有区别于海螂目其它科的共享特征位点(图1)。总之,18S 资料显示缝栖蛤科与海螂目其它科发生了很大的遗传分化,已经形成了一个独立的支系(图2)。线粒体编码基因序列系统发育分析(NJ 法)结果显示缝栖蛤科的北方钻岩蛤(*Hiatella arctica*)与帘蛤目的菲律宾蛤仔(*Venerupis philippinarum*)和缢蛭(*Sinonovacula constricta*)以较高的支持率(BPN=100)聚在一起,未形成独立的支系^[16]。故缝栖蛤种类的分类地位需深入研究。

3.3 贻贝目贻贝科种类的分类地位

Distel^[5]对贻贝科 4 个亚科(Mytilinae, Modiolinae, Lithophaginae 和 Crenellinae) 12 个种类的系统关系 18S 分析显示 Mytilinae 和 Modiolinae 2 个亚科未形成单系群, Crenellinae 和 Mytilinae 聚为一支(BPN=96), Lithophaginae 亚科的 2 个种聚在 Modiolinae 亚科的种类中^[5]。本研究样本来自 Bathymodiolinae 亚科和上述除 Crenellinae 以外的 3 个亚科,但多数种类与 Distel 研究中的种类不同。聚类结果显示 Bathymodiolinae 亚科的 3 个种聚在 Modiolinae 亚科种类中(BPN=99), Modiolinae 亚科的 *Geukensia demissa* 与 Mytilinae 亚科的种类聚在一起(BPN=85)(图3A)。Distel 和本研究的结果均证实贻贝科的种类虽聚为支持率很高(BPN=99 或 100)的单系群,但各亚科为多系群,因此贻贝科亚科分类地位有待商榷。

3.4 18S 在贝类系统学研究中的应用

18S rRNA 基因是真核生物核蛋白体小亚基中的核酸部分,在蛋白质合成中具有重要作用,因此,其核苷酸组成及序列在进化过程中较保守,被广泛地应用于动物高阶元种类遗传差异及系统发生分析。基于 18S 序列节肢动物软甲纲 9 个目 53 个种类 kimura 双参数遗传距离为 0.043—0.323^[15],基于 18S 序列的 8 种绿藻 kimura 双参数遗传距离为 0.000—0.102,核苷酸差异为 0.000—0.012^[10]。Distel(2000)报道,贻贝科的 13 个种间的遗传距离为 0.040,扇贝科的 7 个种的为 0.008,蚶科的 3 个种的为 0.018,牡蛎科的 2 个种为 0.013。翼形亚纲科间 18S 差异:江珧科-扇贝科=0.040,江珧科-蚶科=0.038,扇贝科-蚶科=0.047^[5]。帘

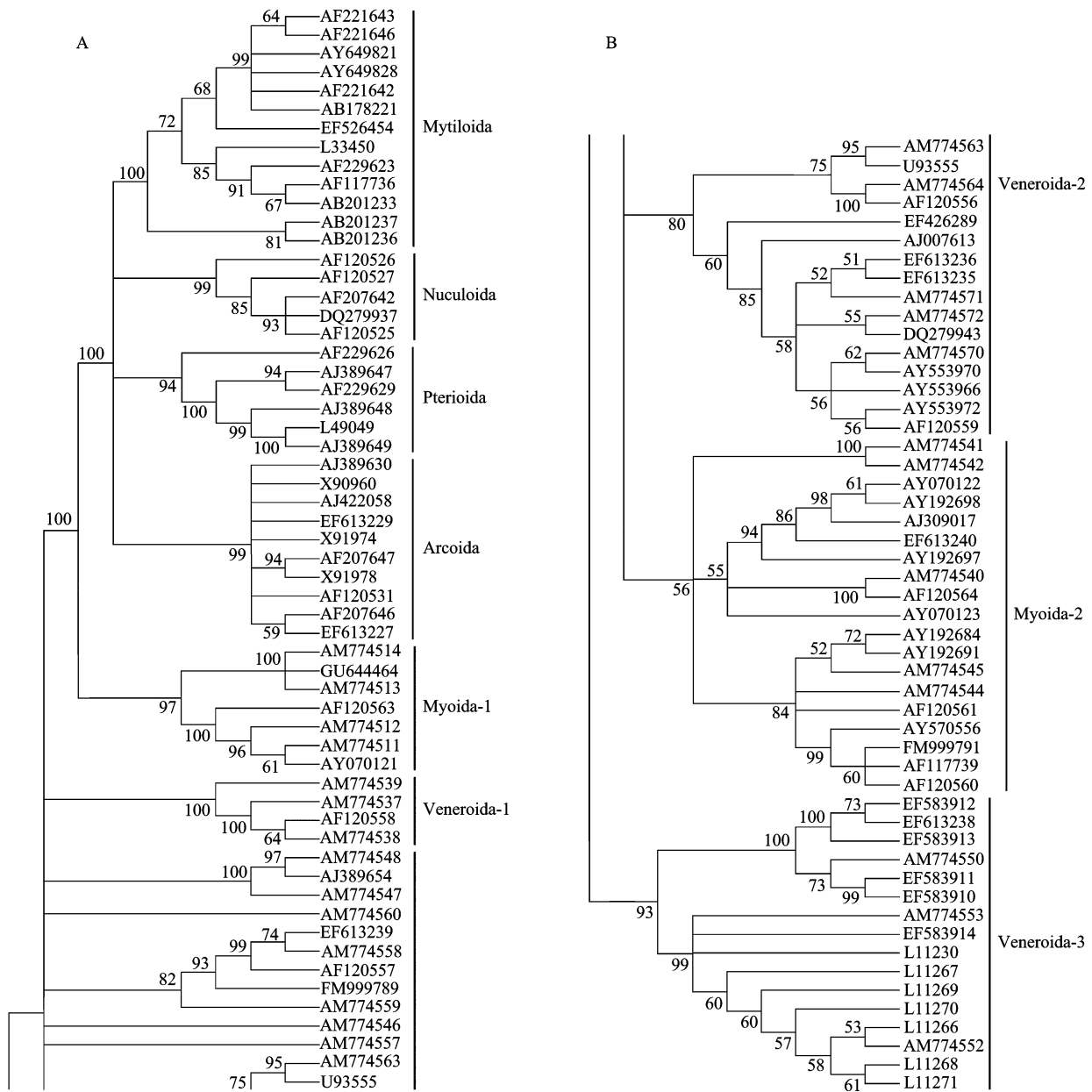


图3 基于 18S rRNA 基因的双壳类 6 个目贝类的 NJ 树

Fig. 3 NJ tree based on 18S rRNA gene of the clams from 8 orders of bivalve

蛤科 13 个物种核苷酸差异在 0.04—0.125^[12]。本研究发现双壳纲的 6 个目间的遗传距离在 0.026—0.093 之间。其中, 胡桃蛤目-贻贝目 (=0.027)、胡桃蛤目-蚌目 (=0.026)、蚌目-贻贝目 (=0.027) 间的遗传距离小于帘蛤目(0.043)、海螂目(0.034) 科间的遗传距离。帘蛤目和海螂目(异齿亚纲) 种类 18S 序列存在高度多态性。翼形亚纲的蚌目、贻贝目、胡桃蛤目种类聚类时形成支持率(BPN = 100) 很高的 3 个支系, 后聚成一大支(BPN = 100), 说明 18S 对这 3 个目解析力高。但 Distel 的研究结果认为贻贝科科内序列有很高的多态性, 本研究显示贻贝科 18S 序列多态性很低, 这可能与样本有关。帘蛤目和海螂目目内种类未能聚为 2 个支系(图 2, 图 3), 且 2 个目的部分种类聚类时出现交错重叠现象, 与形态学分类结果有分歧, 18S 不能很好解决这 2 个目间或目内各类群的系统发生关系, 或者说这两个目的部分种类的分类地位值得重新考虑。一般情况下(Passamanek, 2004), 18S 对于软体动物门内高阶元的遗传关系的解析能力有限, 而 28S 资料, 特别是与 18S 结合可解析后生动物更高阶元的遗传关系。因此, 对于一些分歧较大的类群要将 18S 和 28S 结合

使用,可提高置信度。但是,无论是 18S、28S 还是 18S+28S 对双壳纲种类的分析结果不能形成一个支系,与形态学分类结果有分歧之处^[17]。上述可见,18S 对双壳类系统关系解析力有局限性,建议今后的分析中结合线粒体基因进行,可相互印证。本文结果显示海螂目、帘蛤目的种类未能形成单一支系,这与 Passamaneck 的结果一致^[17]。

References:

- [1] Abele D, Brey T, Philipp E. Bivalve models of aging and the determination of molluscan lifespans. *Experimental Gerontology*, 2009, 44(5): 307-315.
- [2] Xu F S, Zhang S P. An illustrated bivalvia mollusca fauna of China seas. Beijing: Science Press, 2008.
- [3] Cai Y Y, Xie S H. Seashells of Guangdong. Shantou: Shantou University Press, 2006: 20-33.
- [4] Huang B, Xu F S, Dang H Y. The management information system of biavalvia mollusca database in China seas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*. 1996, 27(2): 220-223.
- [5] Distel D L. Phylogenetic Relationships among Mytilidae (Bivalvia): 18S rRNA Data Suggest Convergence in Mytilid Body Plans. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2000, 15(1): 25-33.
- [6] Cheng H L, Peng Y Y, Wang F, Meng X P, Yan B L, Dong Z G. Sequence analysis of 18S rRNA gene of six Veneridae clams (Mollusca: Bivalvia). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(4): 559-567.
- [7] Hao J S, Yang Q, Li C X, Zhang K Y, Sun X Y. Preliminary study on molecular phylogeny of bryozoans based on 18S rRNA gene sequences. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2002, 19(2): 199-205.
- [8] Liu J J, Yang J Q, Ji Q E, Huang J C, Chen J H. The progresses in studies of 18S rDNA and its applications in Hymenoptera molecular phylogeny. *Entomological Journal of East China*, 2007, 16(1): 18-25.
- [9] Liu G Y, Tian Z C, Gong Z L, Xie J R, Li Z X. Phylogenetic relation of Trypanosome based on 18S rRNA gene sequencing. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2009, 29(9): 1140-1143.
- [10] Zhang Y D, Shen S D, Lin A P, Zhang J. Phylogenetic relationships among the 8 species of Chlorophyta by 18S rRNA sequences. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2009, 24(1): 76-78.
- [11] Gao Y L, Chen M, Li S W, Cai Y F, He X H, Liu Y, Jiang M F. Molecular phylogeny of the ranunculaceae and related plants based on the nuclear 18S ribosomal RNA sequences. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2010, 47(2): 377-382.
- [12] Pan Y Y, Dong S Z, Yu X P. Cloning and phylogenetic analysis of 18S rRNA and 28S rRNA genes of *Pomacea canaliculata*. *Plant Protection*, 2009, 35(1): 33-36.
- [13] Wu P, Zhang K Y, Yang Q. Arthropod phylogeny inferred from entire 18S rRNA sequences. *Geoscience*, 2000, 14(3): 357-362.
- [14] Ding X L, He M X, Deng F J, Zang X Y. 18S-ITS1 Sequence of rRNA in Bivalves and its application in phylogenetic analysis. *Hereditas*, 2004, 26(3): 319-324.
- [15] Zhang D Z, Tang B P, Zhang H B. Variability of 18S rRNA gene sequences of Malacostraca in Arthropoda. *Guangxi Sciences*, 2007, 14(4): 415-418, 422.
- [16] Song W T, Gao X G, Li Y F, Liu W D, Liu Y, He C B. Comparison of mitochondrial genomes of Bivalves. *Hereditas*, 2009, 31(11): 1127-1134.
- [17] Passamaneck Y J, Schander C, Halanych K M. Investigation of molluscan phylogeny using large- subunit and small- subunit nuclear rRNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2004, 32(1): 25-38.

参考文献:

- [2] 徐凤山, 张素萍. 中国海产双壳类图志. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 蔡英亚, 谢绍河. 广东的海贝. 汕头: 汕头大学出版社, 2006: 20-33.
- [4] 黄勃, 徐凤山, 党宏月. 中国海域双壳类软体动物数据库的结构与功能. *海洋与湖沼*, 1996, 27(2): 220-223.
- [6] 程汉良, 彭永兴, 王芳, 孟学平, 阎斌伦, 董志国. 6 种帘蛤科贝类 18S rRNA 基因全序列比较分析. *中国水产科学*, 2008, 15(4): 559-567.
- [7] 郝家胜, 杨群, 李春香, 张克云, 孙晓艳. 苔藓动物 18S rRNA 基因的分子系统发生初探. *微体古生物学报*, 2002, 19(2): 199-205.
- [8] 柳娟娟, 杨建全, 季清娥, 黄居昌, 陈家骅. 18S rDNA 的研究进展及其在膜翅目昆虫分子系统学中的应用. *华东昆虫学报*, 2007, 16(1): 18-25.
- [9] 刘光远, 田占成, 龚真莉, 谢俊仁, 李知新. 基于 18S rRNA 基因测序基础上的锥虫分子分类学. *中国兽医学报*, 2009, 29(9): 1140-1143.
- [10] 张耀东, 沈颂东, 林阿朋, 张劲. 用 18S rRNA 序列探讨 8 种绿藻分子系统发育. *大连水产学院学报*, 2009, 24(1): 76-78.
- [11] 高运玲, 陈敏, 李生伟, 蔡应繁, 何晓红, 刘毅, 江明锋. 基于 18S rRNA 基因序列的毛茛科及近缘植物的分子进化关系研究. *四川大学学报: 自然科学版*, 2010, 47(2): 377-382.
- [12] 潘颖璞, 董胜张, 俞晓平. 福寿螺 18S rRNA 和 28S rRNA 基因片段的克隆与进化分析. *植物保护*, 2009, 35(1): 33-36.
- [13] 吴平, 张克云, 杨群. 18S rRNA 基因在节肢动物系统进化研究中的意义. *现代地质*, 2000, 14(3): 357-362.
- [14] 丁小雷, 何毛贤, 邓凤姣, 张锡元. 双壳纲动物核糖体 RNA 18S-ITS1 序列及其在分子系统发育研究中的应用. *遗传*, 2004, 26(3): 319-324.
- [15] 张代臻, 唐伯平, 张华彬. 基于节肢动物软甲纲 18S rRNA 基因序列变异. *广西科学*, 2007, 14(4): 415-418, 422.
- [16] 宋文涛, 高祥刚, 李云峰, 刘卫东, 刘莹, 赫崇波. 双壳贝类线粒体基因组结构的比较. *遗传*, 2009, 31(11): 1127-1134.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 5 March, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seeding ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元