

昆虫分类与多样性

任国栋 张润志 石福明 主编

Classification and Diversity of Insects in China

Chief Editor: Ren Guodong, Zhang Runzhi, Shi Fuming



083

中国农业科学技术出版社
China Agricultural Science and Technology Press

昆虫分类与多样性

任国栋 张润志 石福明 主编

Classification and Diversity of Insects in China

Chief Editor: Ren Guodong, Zhang Runzhi, Shi Fuming

中国农业科学技术出版社

China Agricultural Science and Technology Press

图书在版编目 (CIP) 数据

昆虫分类与多样性/任国栋, 张润志, 石福明主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.8

ISBN 7-80167-831-1

I. 昆… II. ①任… ②张… ③石… III. ①昆虫学: 分类学—动物区系—研究—中国
②昆虫—生物多样性—研究—中国 IV. Q968.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 089684 号

责任编辑 崔改系

责任校对 王小伟

出版发行 中国农业科学技术出版社

邮编:100081

电话:(010)62121228;68975144 传真:62189014

电子邮箱:cgb.930@163.com

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 保定市华泰印刷有限公司

开 本 889 mm×1 194 mm 1/16 印张:26.25

印 数 1~1 000 册 字数:766 千字

版 次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价 75.00 元

祝贺中国昆虫学会「第七届昆虫区系分类与多样性学术研讨会」顺利召开。

了解昆虫、研究昆虫、掌握资源家底；

了解历史、研究历史、追溯历史渊源；

了解关系、研究关系、探讨协同进化；

了解多样性、研究多样性、保护多样性资源。

《昆虫分类与多样性》编委会

顾问 印象初 宋大祥

主编 任国栋 张润志 石福明

编委 (以姓氏汉语拼音字母为序)

卜文俊 彩万志 陈学新 黄大卫 李后魂 乔格侠

任国栋 石福明 杨 定 杨星科 张润志 张雅林

Editorial Board of

Classification and Diversity of Insects in China

Advisors

Yin Xiangchu, Song Daxiang

Chief Editor

Ren Guodong, Zhang Runzhi, Shi Fuming

Members

Bu Wenjun, Cai Wanzhi, Chen Xuexin, Huang Dawei, Li Houhun, Qiao Gexia,

Ren Guodong, Shi Fuming, Yang Ding, Yang Xingke,

Zhang Runzhi, Zhang Yalin

前 言

经中国昆虫学会区系分类专业委员会批准,第七届全国昆虫区系分类与多样性学术研讨会由河北大学和河北省昆虫学会主办,并定于2005年8月15~20日在我国历史文化名城——河北省保定市举行。来自全国各地的200余名科技工作者踊跃参加本次会议,提交学术论文77篇,内容涉及区系分类、形态学、细胞学、分子生物学、生物多样性、生物学、分子生物学、资源利用等诸多领域。

老一辈昆虫学家尹文英院士、张广学院士、印象初院士和著名蛛形动物学家宋大祥院士等对本次大会召开表示了极大关注,关心会议筹办情况。全国区系分类专业委员会、河北省昆虫学会和中国农业科学技术出版社对本文集的出版给予了大力支持。河北大学提供部分资金资助本文集出版。乔格侠研究员、李后魂教授、杨定教授、陈学新教授、任国栋教授、石福明教授等认真评审了入选论文。河北大学博物馆生物部的杨秀娟、动物学专业研究生苑彩霞、刘彬彬、滑会然、李静、马黛娜、高超等同学参与了论文的编排和校正工作,在此表示诚挚谢意。由于时间仓促,难免有许多不足之处,敬请读者批评指正。

中国昆虫学会区系分类专业委员会

《昆虫分类与多样性》编辑委员会

2005年7月

目 录

以贝叶斯方法构建系统发育树	谢 强 卜文俊(1)
昆虫多样性研究与应用动态	欧晓红 秦瑞豪 郭长翠(5)
福建武夷山自然保护区昆虫模式标本名录(IV)	汪家社 吴焰玉 史彩霞 汪 鹏(9)
《昆虫学报》论文作者统计与分析	王 晶 王明福 薛万琦(12)
分子系统学研究中多源数据集的分析策略和方法	黄 原 刘 艳(17)
昆虫形态特征记录方法的改进	王心丽 鲍 荣 王志良 孙明霞(22)
蝗虫分类系统研究进展	张宏杰 霍科科(26)
斑翅蝗科(直翅目:蝗总科)属级区系研究	王文强 李新江 印象初(29)
钝齿卵翅蝗 <i>Caryanda obtusidentata</i> 染色体 C 带核型的研究 (直翅目:蝗总科)	傅 鹏 黄建华 冯丽霞(37)
河北御道口草原直翅目昆虫的群落特征与物种多样性分析	姜卓文 任国栋(41)
白城沼泽蝗染色体 C-带核型研究及雌性的首次描述	魏文娟 李 娜 袁海滨 任炳忠(47)
贵州蝗虫区系研究	郑金玉 张道川 李新江(51)
广西微翅蚱属一新种(直翅目:蚱总科)	梁铭球 蒋国芳(56)
钟蟋属两种雄性发声器的比较研究(直翅目:蛛蟋科)	谢令德 郑哲民(58)
中国蚱科 Tetrigidae 区系初步研究(直翅目:蚱总科:蚱科)	刘 磊 张道川(62)
比尔锥尾蠹 <i>Conanalus pieli</i> 精子超微结构的研究(直翅目:蠹斯总科)	杜喜翠 常岩林 石福明(71)
香港、澳门及台湾竹节虫名录	徐 进(74)
我国学者命名的蝽科昆虫名录	卜 云 张大治(78)
半翅目盲蝽科五亚科间 <i>Cyt b</i> 433bp 序列比较及系统发育分析	齐宝瑛(88)
西藏广头叶蝉属一新种记述(半翅目:叶蝉科:广头叶蝉亚科)	李子忠 徐 翩(92)
沙里院褐球蚱和朝鲜毛球蚱蜡泌物的超微形态比较(同翅目:蚱科)	谢映平 薛皎亮 张艳峰(94)
中国隆线隐翅虫属二新种记述(鞘翅目:隐翅虫科)	陈 靖 李利珍 赵梅君(102)
中国突眼隐翅虫属二新种记述(鞘翅目:隐翅虫科)	汤 亮 李利珍 赵梅君(106)
水甲虫的生态学研究进展	姬兰柱 边冬菊(110)
鞘翅目昆虫核酸分子系统学研究现状	张迎春 付 景(116)
云南省铜壁关自然保护区鞘翅目昆虫多样性分析	柳 青 赵贵娟 司徒英贤 欧晓红 秦瑞豪 宋劲忻(123)
四川海螺沟冰川森林公园地表甲虫初报	刘国庆 郑发科 杨丽红(128)
马边大风顶自然保护区东南坡垂直带地表甲虫群落研究	李国锋 郑发科 王 慧 刘 晶 孟庆玉 曲别曲日 吉木彝布(133)
中国的刺腹牙甲属、脊胸牙甲属和凹基牙甲属昆虫(鞘翅目:牙甲科:牙甲族)	贾凤龙 李亮太(143)

日本北海道大学收藏的台湾牙甲(鞘翅目:牙甲科)	贾凤龙(148)
中国麦田瓢虫名录(鞘翅目:瓢虫科)	虞国跃(150)
中国纹吉丁属种类名录(鞘翅目:吉丁科)	刘玉双 石福明 庞春华(158)
中国宽蕈甲亚科属级单元系统发育研究(鞘翅目:大蕈甲科)	李 静 任国栋(163)
世界大蕈甲科分类研究概况	李 静 任国栋(167)
鞘翅目异跗节类昆虫分类研究概况	任国栋 于 洋(171)
云南拟步甲资源与毘甲类昆虫开发利用中的物种问题	任国栋 毛本勇(176)
中国土甲族(鞘翅目:拟步甲科)名录	杨秀娟 任国栋(183)
中国土甲族昆虫 14 属的支序分析(鞘翅目:拟步甲科)	杨秀娟 任国栋(190)
鳖甲族昆虫(鞘翅目:拟步甲科)分类概况及中国属检索	巴义彬 任国栋(195)
12 种大粉甲(鞘翅目:拟步甲科)防御腺特征及其进化关系初析	滑会然 任国栋(199)
树甲族(鞘翅目:拟步甲科)分类研究进展与中国种类名录	苑彩霞 任国栋(205)
中国的烁甲资源与区系分布研究(鞘翅目:拟步甲科)	董赛红 任国栋(210)
中国齿甲属 <i>Uloma</i> 后翅的比较形态学研究(鞘翅目:拟步甲科)	刘彬彬 任国栋(215)
中国伪瓢虫科种类名录	王继良 任国栋(219)
芫菁科分类研究进展(鞘翅目:拟步甲总科)	杨玉霞 任国栋(228)
中国绿天牛族昆虫区系研究(鞘翅目:天牛科:天牛亚科)	付利娟 陈 力(235)
中国龟象亚科(鞘翅目:象虫科)地理分布格局	黄俊浩 张润志(242)
宁夏象甲科昆虫的区系组成(鞘翅目:象甲科)	杨贵军 于有志 杜开多(250)
金龟类昆虫的上颚形态与进化	印 红 屈 平 任国栋(255)
切梢小蠹属 <i>Tomicus</i> 属名变更及其所属种研究历史简况	陈尚文(262)
河南的刺蛾科昆虫	申效诚 张书杰(264)
广东鹤山、东莞莲花山小蛾类(Ⅱ)草螟科 Crambidae	张丹丹 庞 虹 刘桂林 陈海东(267)
斑螟亚科分类研究进展(鳞翅目:螟蛾科)	任应党 李后魂(272)
谷蛾科分类研究概况(鳞翅目:谷蛾总科)	肖云丽 李后魂(277)
新小卷蛾族分类研究进展(鳞翅目:卷蛾科)	于海丽 李后魂(281)
广义织蛾科分类研究现状	王淑霞(285)
鞘蛾科昆虫的分布、危害和分类问题(鳞翅目:麦蛾总科)	李后魂(288)
羽蛾科分类研究进展及现状(鳞翅目:羽蛾总科)	郝淑莲 李后魂 武春生(292)
广东省寄蝇科名录(双翅目)	张春田 庞 义 赵建铭(297)
辽宁省蝇科名录(双翅目)	常 亮 张 东 薛万琦(307)
蚤蝇科分类研究进展	方 红 刘广纯 朱 威 赵丹彤(314)
中国蚤蝇科昆虫区系初步分析	刘广纯 方 红 朱 威 赵丹彤(318)
中国大陆阿绕眼果蝇属(<i>Amiota</i>)的研究概况(双翅目:果蝇科)	
..... 徐森锋 张晓蕾 钟志宇 陈宏伟(321)	
中国大陆伏绕眼果蝇属(<i>Phortica</i>)的研究概况(双翅目:果蝇科)	
..... 曹慧苹 余泽平 方毅 陈宏伟(327)	
汉中地区农田常见的食蚜蝇及其生物学习性初步观察	霍科科 张宏杰 任国栋(332)
太白山北坡食蚜蝇调查	霍科科 张宏杰 任国栋(338)
阳蝇属 <i>Helina</i> R.-D. 昆虫区系的组成和特点(双翅目:蝇科)	王荣荣 王明福 张 东 薛万琦(345)

湖南省美洲斑潜蝇生物学特性的初步研究	肖铁光	游兰韶	张厚良	王伏强	贺淑兰(351)
中国溜蝇族 <i>Lispini</i> 物种分布(双翅目:蝇科)	张 东	王荣荣	王明福	薛万琦(355)	
膜翅目的系统发育	陈学新	时 敏	何俊华	马 云(361)	
蝇茧蜂亚科 <i>Opiinae</i> 分类沿革及族属系统概述(膜翅目:茧蜂科)					
.....	吴 琼	陈学新	何俊华	马 云(370)	
小腹茧蜂亚科(膜翅目:茧蜂科)系统发育研究进展	宋东宝	游兰韶	谭济才	李志文(375)	
中国窄径茧蜂亚科分类研究(摘要)			陈家骅	杨建全(381)	
中、澳两国赤眼蜂、缨小蜂的区系分类研究现状比较				林乃铨(383)	
河南省商丘地区蚂蚁初步研究(膜翅目:蚁科)	李淑萍	康 洁	王玉玲	刘福林(389)	
湖南省蚁科昆虫初步名录	黄建华	陈 斌		周善义(394)	
云南林木螨类及害螨天敌研究综述		郭长翠		欧晓红(399)	

Contents

Constructing phylogenetic tree using Bayesian method	Xie Qiang, Bu Wenjun(1)
Status of present research and application based on insect diversity	Ou Xiaohong, Qin Ruihao, Guo Changcui(5)
A List of Type Specimens of Insects from Wuyishan National Nature Reserve in Fujian, China (IV)	Wang Jiashe, Wu Yanyu, Shi Caixia, Wang Peng(9)
The statistics and analysis on the author <i>Acta Entomologica Sinica</i>	Wang Jing, Wang Mingfu, Xue Wanqi(12)
Strategy and methods for analyzing datasets from multiple sources in molecular phylogenetics	Huang Yuan, Liu Yan(17)
Improve on recording methods of insect morphological characters	Wang Xinli, Bao Rong, Wang Zhiliang, Sun Mingxia(22)
Perspective of taxonomics of Acridioidea	Zhang Hongjie, Huo Keke(26)
Studies on the generic fauna of Oedipodidae (Orthoptera: Acridioidea)	Wang Wenqiang, Li Xinjiang, Yin Xiangchu(29)
Chromosome C-banding karyotype of a grasshopper species of <i>Caryanda</i> Stal from China (Orthoptera: Acridioidea)	Fu Peng, Huang Jianhua, Feng Lixia(37)
Community structure and species diversity of Orthoptera insects in Yudaokou Natural Reserve of Hebei province	Jiang Zhuowen, Ren Guodong(41)
The study of chromosomal C-banding karyotype and first description of female <i>Mecostethus baichengensis</i>	Wei Wenjuan, Li Na, Yuan Haibin, Ren Bingzhong(47)
Study on the Fauna of Grasshoppers From Guizhou Province	Zheng Jinyu, Zhang Daochuan, Li Xinjiang(51)
A new species of <i>Alulatetteix</i> Liang from Guangxi, south China (Orthoprera; Tetrigoidea)	Liang Geqiu, Jiang Guofang(56)
Studies on the male sridulatory apparatus of two species of the genus <i>Homoeogryllus</i> (Orthoptera: Phalangopsidae)	Xie Lingde, Zheng Zhemin(58)
Preliminary study on Tetrigidae fauna in China (Orthoptera: Tetrigoidea; Tetrigidae)	Liu Lei, Zhang Daochuan(62)
Spermatozoon ultrastructure of <i>Conanalus Pieli</i> (Othoptera; Tettigonioidae)	Du Xicui, Chang Yanlin, Shi Fuming(71)
A catalogue of stick insects from Hong Kong, Aomen and Taiwan, China	Xu Jin(74)
List of Pentatomidae insects nominated by Chinese researchers	Bu Yun, Zhang Dazhi(78)

<i>Cyt b</i> sequence comparison and phylogeny analysis on 5 subfamilies of Miridae	Qi Baoying(88)
A new species of <i>Macropsis</i> Lewis (Hemiptera; Cicadellidae; Macropsinae) from Tibet, China	Li Zizhong, Xu Pian(92)
The ultra-morphologic comparison of waxes secreted by two soft scale insects <i>Rhodococcus sariuni</i> and <i>Didesmococcus koreanus</i> (Homoptera; Coccidae)	Xie Yingping, Xue Jiaoliang, Zhang Yanfeng(94)
Two new species of the genus <i>Lathrobium</i> (Coleoptera; Staphylinidae) from Qinling Mountains, Northwest China	Chen Jing, Li Lizhen, Zhao Meijun(102)
Two new species of stenus from Anhui province, east China (Coleoptera; Staphylinidae)	Tang Liang, Li Lizhen, Zhao Meijun(106)
The research progression of water beetles' ecology	Ji Lanzhu, Bian Dongju(110)
Current status of molecular systematic studies of nucleic acids in Coleoptera	Zhang Yingchun, Fu Jing(116)
An analysis of insect diversity of Coleoptera in Tongbiguan Nature Reserve, Yunnan province	Liu Qing, Zhao Guijuan, Situ Yingxian, Ou Xiaohong, Qin Ruihao, Song Jin-Xin(123)
Primary study on litter-layer beetles in Hailuoguo Glacier And Forest Park, Sichuan	Liu Guoqing, Zheng Fake, Yang Lihong(128)
A study on the Litter-layer beetle communities on East-South Slope at Different Elevation of the Mabian Dafengding National Nature Reserve in Sichuan, China	Li Guofeng, Zheng Fake, Wang Hui, Liu Jing, Meng Qingyu, Qu Bie Qu Ri, Ji Mu Yi Bu(133)
The fauna of <i>Hydrochara</i> , <i>Sternolophus</i> , <i>Hydrobiomorpha</i> from China (Coleoptera; Hydrophilidae; Hydrophilini)	Jia Fenglong, Li Liangtai(143)
List of Hydrophilidae from Taiwan in Hokkaido University of Japan (Coleoptera; Hydrophilidae)	Jia Fenglong(148)
List of Lady Beetles (Coleoptera; Coccinellidae) from the Wheat Fields in China	Yu Guoyue(150)
List of the genus <i>Coraebus</i> from China (Coleoptera; Buprestidae)	Liu Yushuang, Shi Fuming, Pang Chunhua(158)
Study on the phylogenetic relationships of the generic taxon of Triplacinae (Coleoptera; Erotylidae) from China	Li Jing, Ren Guodong(163)
Taxonomic progress of the family Erotylidae in the world	Li Jing, Ren Guodong(167)
Taxonomic Survey of Heteromera (Coleoptera; Polyphaga)	Ren Guodong, Yu Yang(171)
Resoure of darkling beetles from Yunnan and the species problems of <i>Blaps</i> in developing and utilizing	Ren Guodong, Mao Benyong(176)
A list of the tribe Opatrini in China (Coleoptera; Tenebrionidae)	Yang Xiujian, Ren Guodong(183)
Cladistic analysis of fourteen genera of Opatrini (Coleoptera; Tenebrionidae) from China	Yang Xiujian, Ren Guodong(190)
Taxonomic progress of tribe Tentyriini (Coleoptera, Tenebrionidae) from world and the key to the known genera of China	Ba Yibin, Ren Guodong(195)
A primary study on defensive glands' characters and phylogenetic relationships of twelve species of	

- Promethis* Pascoe (Coleoptera: Tenebrionidae) Hua Huiran, Ren Guodong (199)
- Progress in the taxonomy research of the tribe Strongyliini and the catalogue of
Chinese species (Coleoptera: Tenebrionidae) Yuan Caixia, Ren Guodong (205)
- On the resources and geography of beetles of Amarygmini in China
..... Dong Saihong, Ren Guodong (210)
- Comparative morphology of hind-wings of the genus *Uloma* (Coleoptera: Tenebrionidae) from China
..... Liu Shanshan, Ren Guodong (215)
- A list of known species of Endomychidae from China (Coleoptera) ... Wang Jiliang, Ren Guodong (219)
- Progress in the Taxonomic study on Meloidae (Coleoptera: Tenebrionoidea)
..... Yang Yuxia, Ren Guodong (228)
- The fauna of Callichromini in China (Coleoptera: Cerambycidae) Fu Lijuan, Chen Li (235)
- Geographical distribution of the subfamily Ceutorhynchinae in China
(Coleoptera: Curculionidae) Huang Junhao, Zhang Runzhi (242)
- The faunal composition of Curculionidae in Ningxia Hui Autonomous Region (Coleoptera: Curculionidae)
..... Yang Guijun, Yu Youzhi, Du Kaiduo (250)
- Morphology and evolution of the mandibles of scarab beetles (Coleoptera, Polyphaga)
..... Yin Hong, Qu Ping, Ren Guodong (255)
- Note on changes in classification of the genus *Tomicus* and summary of taxonomics
..... Chen Shangwen (262)
- Limacodidae from Henan Shen Xiaocheng, Zhang Shujie (264)
- Smaller moths of He Mountain and Lianhua Mountain of Dongguan in Guangdong Province (II) Crambidae
..... Zhang Dandan, Pang Hong, Liu Guilin, Chen Haidong (267)
- Taxonomic study of Phycitinae (Lepidoptera: Pyralidae) Ren Yingdang, Li Houhun (272)
- Taxonomic study on the family Tineidae (Lepidoptera: Tineoidea) Xiao Yunli, Li Houhun (277)
- Current taxonomic status of Olethreutini (Lepidoptera: Tortricidae) Yu Haili, Li Houhun (281)
- Current systematic status of Oecophoridae s. l. (Lepidoptera: Gelechioidea) Wang Shuxia (285)
- Survey of distribution, infestation and systematics of Coleophoridae (Lepidoptera: Gelechioidea)
..... Li Houhun (288)
- Advance and current taxonomic status of Pterophoridae (Lepidoptera: Pterophoroidea)
..... Hao Shulian, Li Houhun, Wu Chunsheng (292)
- Tachinid flies of Guangdong, China (Diptera: Tachinidae)
..... Zhang Chuntian, Pang Yi, Zhao Jianming (297)
- A List of Muscidae from Liaoning Province (Diptera)
..... Chang Liang, Zhang Dong, Xue Wanqi (307)
- Proceeding of the taxonomic study of Phoridae
..... Fang Hong, Liu Guangchun, Zhu Wei, Zhao Dantong (314)
- A preliminary analysis of Chinese Phoridae fauna
..... Liu Guangchun, Fang Hong, Zhu Wei, Zhao Dantong (318)
- Study on the genus *Amiota* in Mainland, China (Diptera: Drosophilidae)
..... Xu Miaofeng, Zhang Xiaolei, Zhong Zhiyu, Chen Hongwei (321)

Study on the genus <i>phortica</i> in Mainland China (Diptera: Drosophilidae)	 Cao Huiluo, Yu Zeping, Fang Yi, Chen Hongwei(327)
Common syrphids in farmland of Hanzhong area and primary observations on their biological habits	Huo Keke, Zhang Hongjie, Ren Guodong(332)
Investigation on syrphids in north slope of Taibai Mountain	 Huo Keke, Zhang Hongjie, Ren Guodong(338)
Composition and characters of the fauna of the genus <i>Helina</i> R.-D. (Diptera: Muscidae)	 Wang Rongrong, Wang Mingfu, Zhang Dong, Xue Wanqi(345)
A primary study on biology of <i>Liriomyza sativae</i> from Hunan province	 Xiao Tieguang, You Lanshao, Zhang Houliang, Wang Fuqiang, He Shulan(351)
Distribution of Lispini (Diptera: Muscidae) from China	 Zhang Dong, Wang Rongrong, Wang Mingfu, Xue Wanqi(355)
Phylogenetics of Hymenoptera	Chen Xuexin, Shi Min, He Junhua, Ma Yun(361)
Classification and nomenclature of the subfamily Opiinae and summary of the tribes and genera (Hymenoptera: Braconidae)	Wu Qiong, Chen Xuexin, He Junhua, Ma Yun(370)
Research progress on phylogenetics of Microgastrinae (Hymenoptera: Braconidae)	 Song Dongbao, You Lanshao, Tan Jicai, Li Zhiwen(375)
Study on classification of Agatidinae (Hymenoptera: Braconidae)	Chen Jiahua, Yang Jianquan(381)
Comparison of the Chinese and Australian faunistic research on Trichogrammatidae and Mymaridae (Hymenoptera: Chalcidoidea)	Lin Naiquan(383)
The initial research of ant from Shangqiu, Henan Province district (Hymenoptera: Formicidae)	 Li Shuping, Kang Jie, Wang Yuling, Liu Fulin(389)
A preliminary list of the family Formicidae (Insecta: Hymenoptera) from Hunan Province, China	 Huang Jianhua, Chen Bin, Zhou Shanyi(394)
Summary on forest mites and its natural enemies in Yunnan	Guo Changcui, OuXiao Hong(399)

以贝叶斯方法构建系统发育树

谢 强, 卜文俊*

(南开大学生命科学学院昆虫学研究所昆虫分子系统学实验室, 天津 300071)

摘 要:近年来,应用贝叶斯方法的系统发育研究大量增加,并且已举办过较大范围内的专题性国际学术会议。与以前最为常用的最大似然和最大简约等方法相比,贝叶斯方法的计算效率相当高。此外,已有的研究结果显示,对于同一组数据的分析,贝叶斯方法分析结果中的节点支持率高于其它算法中的相应结果。本文简要介绍了贝叶斯方法的算法基础、计算流程和算法评价等情况。

关键词:贝叶斯方法;系统发育;马尔科夫链;后验概率

Constructing phylogenetic tree using Bayesian method

Xie Qiang, Bu Wenjun*

(Insect Molecular Systematics Lab, Institute of Entomology, College of Life Sciences,
Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Recently, the phylogenetic studies employing Bayesian method have been increased very rapidly and some international congresses have been performed on this special topic. Compared to the algorithms, ML (maximum likelihood) and MP (maximum parsimony), which have been used most popularly before, the calculation efficiency of Bayesian method is extremely high. And, the existed reports show that, according to the same nodes in the phylogenetic results carried out with different algorithms for the same sequences data, the support values in Bayesian analysis are always higher than those in the other methods. The basic algorithms, the calculation process and the evaluation of Bayesian method are briefly introduced in this paper.

Key words: Bayesian method; phylogeny; Markov chain; posterior probability

英国数学家 Thomas Bayes(1702~1761)开创了对后验概率(posterior probability)的研究,后人将形如公式 1 中后验概率的计算方法称为贝叶斯方法(Bayesian method)。将此法用于系统发育重建的算法理论研究开始于 20 世纪 90 年代中后期(Larget *et al.*, 2002; Rannala & Yang, 1996; Yang & Rannala, 1997),目前已经有软件 MrBayes 可以实现(Huelsenbeck & Ronquist, 2001),在实践中已有迅速而广泛的应用(表 1)。该方法在最大似然的原则下使用与之相同的 DNA 替换模型

(substitution model),采用马尔科夫链蒙特卡洛(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)模拟技术作为算法基础,类似于结合靴带分析的最大似然法,但是计算效率比最大似然法高很多。

$$\Pr[\text{Tree} | \text{Data}] = \frac{\Pr[\text{Data} | \text{Tree}] \times \Pr[\text{Tree}]}{\Pr[\text{Data}]}$$

(公式 1)

按照贝叶斯定理(Bayes's theorem),分支树的后验概率分布(posterior probability distribution, $\Pr[\text{Tree} | \text{Data}]$)与先验概率分布(prior probability

* 基金项目:国家自然科学基金项目(30270167);国家基础科学人才培养特殊学科点项目(昆虫分类学 2002—2006);南开大学人事处科研启动经费资助;南开大学科技处创新基金项目

作者简介:谢强,男,博士,从事昆虫分子系统发育与进化生物学理论研究,E-mail: qiangxie@nankai.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: wenjunbu@nankai.edu.cn

distribution, $\text{Pr}[\text{Tree}]$) 和似然性 ($\text{Pr}[\text{Data} | \text{Tree}]$) 有关(见图 1), 某一棵树的后验概率可以被理解为该树正确的可能性。在公式中, 竖线“|”意为“在给定后者的情况下(given)”; $\text{Pr}[\text{Data}]$ 为非条件概率(unconditional probability), 其属性为正态稳定, 保证后验概率的总和为“1”。后验概率计算中需要大量地进行求和(summation), 而贝叶斯理论中不包含这一问题的解决方案, 需要借助于其它算法, MCMC 是对后验概率进行近似计算的最优方法(Huelsenbeck *et al.*, 2001)。

MCMC 是对某事物概率分布进行有效取样(taking valid samples)的一种方法, 其最基本的算法步骤如下: ①以一种随机机制(stochastic mechanism)赋予马尔科夫链一个新状态(new state); ②计算此新状态的接受可能性(acceptance probability); ③将(0, 1)区间内的任意数值(random variable)作为统一的(uniform)标准, 将接受可能性与之相比, 如果高于之, 便接受新状态, 将马尔科夫链的状态做相应更新; 否则便令马尔科夫链维持旧状态(old state)。每一次改变(接收新状态)都伴随着分支树拓扑结构的改变、分支长度的改变或者碱基替换模型参数的改变; 这一过程被重复若干次(从几千次至几百万次), 某一支树在这个过程中出现的次数占整体重复次数的比例大致等于其后验概率。除此之外, 还有一种在标准的 MCMC 方法基础之上衍生出来的改进算法, 称为 Metropolis-coupled

MCMC [MCMCMC, or (MC)³, or Metropolis-Histings algorithm]。这种算法在计算起始时, 以多条马尔科夫链为并发起点, 提高了寻找收敛区域的效率, 降低了马尔科夫链的演化过早终止的可能性, 在系统发育重建的实践中更具优势(Huelsenbeck & Ronquist, 2001)。

计算之前需要注意, 碱基替换模型不宜选择太过复杂的(Rannala, 2002), 最好是通过 Modeltest 等软件的分析来确定分子进化模型, 这一点与似然法中的情况类似。与 MP 算法中 bootstrap 值普遍设为 1 000 相比, MCMC 计算中的循环(generation)是在 100 000~10 000 000 之间设置的, 一般不低于 1 000 000。在后验概率(分布)的计算过程中, 当似然值(likelihood value)的变化表现为在经过攀升进入小幅震荡的平台期后, 则表明后验概率的计算已经进入了概率分布中的收敛区域。需要注意, 平台期之前的数据在最后与系统发育树拓扑结构相关的参数统计中应该弃去不用(burn in)。这一结果可以通过比较几次独立运行的 MCMC 的结果进行进一步辨认; 此外, 通过 5~10 次的重复, 还可计算出蒙特卡洛误差(Monte Carlo error)。在一些情况中, 由于某些原因(例如, 赋予新状态的随机机制不合适), 当 MCMC 不能在静态分布(stationary distribution)中收敛(converge)时, MCMC 的应用就失败了。

表 1 已有的一些应用贝叶斯分析的系统发育研究
Table 1 Some phylogenetic studies employing Bayesian method

类群	分子标记	参考信息
Armadillos (<i>Xenarthra</i> , <i>Dasypodidae</i>)	ND1, 12S, BRCA1, ADRA2B & VWF	Delsuc <i>et al.</i> , 2003
Australian <i>Sphenomorphus</i> group (<i>Scincidae</i> ; <i>Squamata</i>)	12S, 16S, ND4, etc.	Reeder, 2003
Cornsnake(<i>Elaphe guttata</i>)complex	Cyt b	Burbrink, 2002
Dwarf boas	12S, 16S	Wilcox <i>et al.</i> , 2002
Flowering plants	rps2 & rps11	Bergthorsson <i>et al.</i> , 2003
Ichthyosporea; <i>Ichthyophonus irregularis</i>	EF-1 α	Ragan <i>et al.</i> , 2003
<i>Ixodes</i>	16S rDNA	Xu <i>et al.</i> , 2003
Jacks (<i>Perciformes</i> ; <i>Carangidae</i>)	Cyt b	Reed <i>et al.</i> , 2002
Night lizard (<i>Xantusiidae</i>)	12S, 16S & Cyt b	Vicario <i>et al.</i> , 2003
Seed plants	2cpDNA & 1nuDNA	Schneider <i>et al.</i> , 2004
Stick insect (<i>Phasmatodea</i>)	18S, 28S & His 3	Whiting <i>et al.</i> , 2003
Tree swallow (<i>Aves</i> ; <i>Hirundinidae</i> ; <i>Tachycineta</i>)	Cyt b etc. six mitochondrial genes	Whittingham <i>et al.</i> , 2002
<i>Trichophora</i> (<i>Insecta</i> ; <i>Heteroptera</i>)	18S rRNA	Xie <i>et al.</i> , 2005

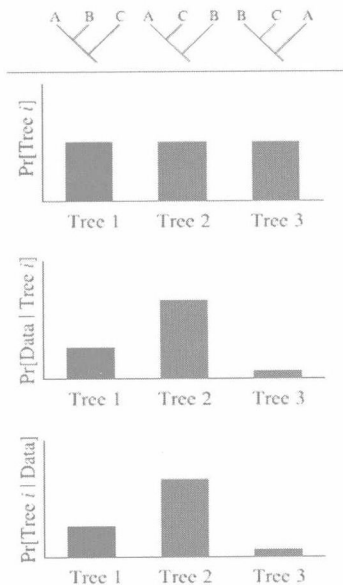
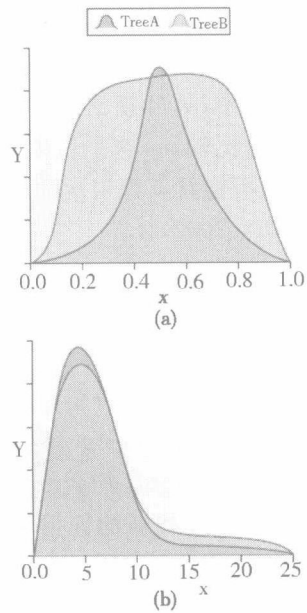


图 1 以贝叶斯法进行系统发育推断的概率计算示意
(据 Huelsenbeck *et al.* , 2001)

Fig. 1 Probability calculation in the Bayesian phylogenetic analysis (after Huelsenbeck *et al.* , 2001)



x 为一假想参数, y 为似然值

图 2 关节点评估与边界评估(据 Holder & Lewis, 2003)

Fig. 2 Joint estimation vs. marginal estimation, x is a hypothetical parameter and y is the likelihood (after Holder & Lewis, 2003)

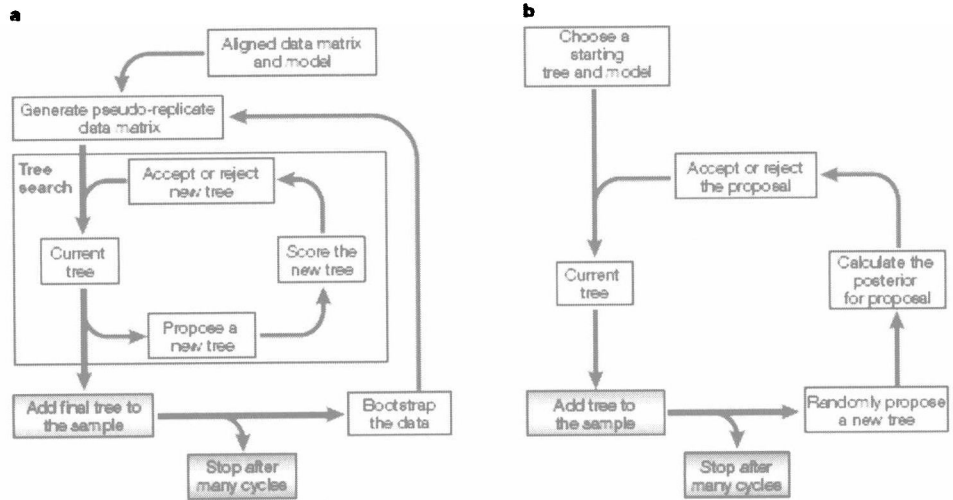


图 3 靴带分析(a)与 MCMC(b)的分支树产生流程(据 Holder & Lewis, 2003)

Fig. 3 The processes of tree generation in bootstrapping (a) and MCMC (b) method respectively (after Holder & Lewis, 2003)

最大似然法与贝叶斯方法的区别在于:前者对参数进行关节点评估(joint estimation),根据参数变动取似然性的峰值所对应的分支树;后者则对参数概率分布进行边界评估(marginal estimation),根据参数变动取曲线分布覆盖面积最大的函数所对应的分支树(图 2 a 和 b 两幅图中树 A 的最高似然值都高于树 B,似然算法支持树 A 的拓扑结构;树 B 的似然值分布曲线所覆盖的面积均高于树 A,贝叶

斯方法支持树 B 的拓扑结构);在包含节点支持(node support)的算法流程上,前者(靴带分析)步骤繁琐、效率低,结果与假设间的关系不够明确直接、不易解释,后者(MCMC)则相反(图 3);贝叶斯分析中没有传统统计学中的“接受/拒绝零假设”的框架(Holder & Lewis, 2003),而是直接给出分支树各个节点正确的可能性。

贝叶斯分析可以很好地整合已有的先验信息

(prior information),这样就可以不对先验概率做均等假设。此外已有的研究显示,在与最大简约法结果一致的案例研究中,贝叶斯法所得结果中对相同节点的支持率普遍比较高,这一现象目前尚缺少合理的解释,但是很可能具有深层次的意义(Huelsenbeck *et al.*, 2001, 2002)。

与其它方法相比,贝叶斯方法具有可以高效处理大量分子数据和分类阶元等计算上的优点(Larget & Simon, 1999)和所得结果易于解释的特点。有学者指出,对于一次贝叶斯分析结果中的多分支/未解析(multibranched/unresolved)拓扑结构,如果硬要完全解析为二分支,很可能会产生误导结果,更为恰当的处理方式是寻找新的证据(Lewis *et al.*, 2005)。除了推断系统发育,贝叶斯分析还用于评价系统发育中的不稳定性(uncertainty)、探测可能存在的自然选择、考察协同进化(Huelsenbeck *et al.*, 2000)、检验分子钟假设(MCMC的分析并不苛求分子的匀速进化假设)、选择DNA替换模型以及探测横向基因转移(horizontal gene transfer)和基因组进化(Larget *et al.*, 2003)等相关研究。

致谢 感谢南开大学生命科学学院郑乐怡教授阅读文稿并提出宝贵意见。

参考文献(References)

- Bergthorsson U, Adams K L, Thomason B *et al.*, 2003. Widespread horizontal transfer of mitochondrial genes in flowering plants. *Nature*, 424: 197~201.
- Burbrink F T, 2002. Phylogeographic analysis of the cornsnake (*Elaphe guttata*) complex as inferred from maximum likelihood and Bayesian analyses. *Mol. Phyl. Evol.*, 25: 465~476.
- Delsuc F, Phillips M J, Penny D, 2003. Comment on "Hexapod origins: monophyletic or paraphyletic. *Science*, 301: 1482d.
- Holder M, Lewis P O, 2003. Phylogeny estimation: traditional and Bayesian approaches. *Nat. Rev. Gen.*, 4: 275~284.
- Huelsenbeck J P, Ronquist F, 2001. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. *Bioinformatics*, 17: 754~755.
- Huelsenbeck J P, Larget B, Miller R E *et al.*, 2002. Potential applications and pitfalls of Bayesian inference of phylogeny. *Syst. Biol.*, 51: 673~688.
- Huelsenbeck J P, Rannala B, Larget B, 2000. A Bayesian framework for the analysis of cospeciation. *Evolution*, 54: 353~364.
- Huelsenbeck J P, Ronquist F, Nielsen R *et al.*, 2001. Bayesian inference of phylogeny and its impact on evolutionary biology. *Science*, 294: 2310~2314.
- Larget B, Simon D, 1999. Markov chain Monte Carlo algorithms for the Bayesian analysis of phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.*, 16: 750~759.
- Larget B, Simon D, Kadane J B, 2002. Bayesian phylogenetic inference from animal mitochondrial genome arrangements. *Stat. Soc.*, B 64: 1 13.
- Lewis P O, Holder M T, Holsinger K E, 2005. Polytomies and Bayesian phylogenetic Inference. *Syst. Biol.*, 54: 241~253.
- Ragan M A, Murphy C A, Rand T G, 2003. Are Ichthyosporea animals or fungi? Bayesian phylogenetic analysis of elongation factor 1 α of *Ichthyophonus irregularis*. *Mol. Phyl. Evol.*, 29: 550~562.
- Rannala B, 2002. Identifiability of parameters in MCMC Bayesian inference of phylogeny. *Syst. Biol.*, 51: 754~760.
- Rannala B, Yang Z, 1996. Probability distribution of molecular evolutionary trees: a new method of phylogenetic inference. *J. Mol. Evol.*, 43: 304~311.
- Reed D L, Carpenter K E, deGravelle M J, 2002. Molecular systematics of the Jacks (Perciformes: Carangidae) based on mitochondrial cytochrome b sequences using parsimony, likelihood, and Bayesian approaches. *Mol. Phyl. Evol.*, 23: 513~524.
- Reeder T W, 2003. A phylogeny of the Australian *Sphenomorphus* group (Scincidae: Squamata) and the phylogenetic placement of the crocodile skinks (*Tribolonotus*): Bayesian approaches to assessing congruence and obtaining confidence in maximum likelihood inferred relationships. *Mol. Phyl. Evol.*, 27: 384~397.
- Schneider H, Schuettelpelz E, Pryer K M *et al.*, 2004. Ferns diversified in the shadow of angiosperms. *Nature*, 428: 553~557.
- Vicario S, Caccone A, Gauthier J, 2003. Xantusiid "night" lizards: a puzzling phylogenetic problem revisited using likelihood-based Bayesian methods on mtDNA sequences. *Mol. Phyl. Evol.*, 26: 243~261.
- Whiting M F, Bradler S, Maxwell T, 2003. Loss and recovery of wings in stick insects. *Nature*, 421: 264~267.
- Whittingham L A, Slikas B, Winkler D W *et al.*, 2002. Phylogeny of the tree swallow genus, *Tachycineta* (Aves: Hirundinidae), by Bayesian analysis of mitochondrial DNA sequences. *Mol. Phyl. Evol.*, 22: 430~441.
- Wilcox T P, Zwickl D J, Heath T A *et al.*, 2002. Phylogenetic relationships of the dwarf boas and a comparison of Bayesian and bootstrap measures of phylogenetic support. *Mol. Phyl. Evol.*, 25: 361~371.
- Xie Q, Bu W J, Zheng L Y, 2005. The Bayesian phylogenetic analysis of the 18S rRNA sequences from the main lineages of Trichophora (Insecta: Heteroptera: Pentatomomorpha). *Mol. Phyl. Evol.*, 34: 448~451.
- Xu G, Fang Q Q, Keirans J E *et al.*, 2003. Application of Bayesian method for inferring phylogenetic relationships of ticks within the genus *Ixodes*. *Acta Zool. Sin.*, 49: 380~388. [徐广, 方庆权, Keirans J E等, 2003. 分子系统进化关系分析的一种新方法——贝叶斯法在硬蜱属中的应用. 动物学报, 49: 380~388]
- Yang Z, Rannala B, 1997. Bayesian phylogenetic inference using DNA sequences: a Markov Chain Monte Carlo method. *Mol. Biol. Evol.*, 14: 717~724.