

中国生物地理区划研究

解 焱¹, 李典谟^{1*}, John MacKinnon²

(1. 中国科学院动物研究所, 北京 100080; 2. 英国肯特大学, Canterbury)

摘要: 首先将中国版图根据综合自然(包括海拔、地形、气候、植被、水系、农业区等)因素, 利用 GIS 技术手段, 划分出 124 个基本单元。同时, 根据一定的原则选择了 171 种哺乳类和 509 种植物物种, 利用中国物种信息系统收集这些物种的分布信息, 并运用 GIS 技术将这些信息转换为各个基本单元内这些物种存在与否的信息, 再用数学量化分析方法, 即 Sørensen 相似性指数公式计算相关矩阵, 以及 Ward 方法进行聚类分析, 得到上述 124 个基本单元的哺乳类和植物分布相似性聚类图, 从而最终得到一个新的量化的、更具客观性和实用意义的中国生物地理区划系统, 以及关于中国生物地理区划的许多重要结论。该区划包括 4 个区域(8 个亚区域)、27 个生物地理区和 124 个生物地理单元。

采用从基本单元到高级区划的研究方法, 在生物地理区划研究领域, 这是一种方法学上的尝试, 利用物种的分布相似性聚类结果来帮助确定区划界线, 减少了对研究者自身所拥有的物种及生态学知识及经验的依赖, 因而更具有客观性, 较少掺杂研究者的主观臆断。这种方法也同样适用于其他生物门类区划的研究。

关键词: 生物地理区划; 物种; 中国物种信息系统; 聚类分析

Preliminary Researches on Bio-Geographical Divisions of China

XIE Yan¹, LI Dian-Mo^{1*}, John MacKinnon² (1. *Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*; 2. *Kent University, Canterbury, UK*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1599~1615.

Abstract: On the basis of comprehensive physical factors including altitude, landforms, climate, vegetation, hydrology, land-use, etc., the present paper divides China's territory into 124 basic units by using the GIS technique. 171 species of mammals and 509 of higher plants were selected for the study according to certain principles. Distribution information for these species were entered into the China Species Information System, and converted into geographical coordinates. Presence-absence information for mammal and plant species in each unit was used to compute species composition similarity for the 124 units. Mathematical quantitative analysis was then applied. The Sørensen similarity index was used to calculate correlation matrices, and produce a cluster analysis result using the Ward method. The paper summarizes the differences in distribution between the two taxa and describes the reasons causing these differences. It also makes many important conclusions on the definition of boundaries of bio-geographical divisions of China.

The ecological niche of mammals is much wider than that of plants, and reflects the obvious fact that plants are more sensitive to elevational changes reflecting physical geographical factors. The phenomenon is especially marked in the southeast of the Qinghai-Tibet Plateau, Yunnan Province and the vast upland

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(39893360); 中国环境与发展国际合作委员会生物多样性工作组和国家留学基金资助项目(A1799077)

致谢: 中国科学院动物研究所汪松研究员, 中国科学院植物研究所李振宇、王献溥研究员和北京市科学技术委员会王宗研究员给予了指导和帮助; 北京农业大学, 秦华、曾祥明、秦舰军等, 也给予帮助, 在此表示衷心感谢!

收稿日期: 2001-04-15; **修订日期:** 2002-04-10

作者简介: 解焱(1967~), 女, 四川人, 博士, 助研。主要从事生物多样性保护和物种信息系统建设工作。E-mail: xieyan

@public3.bta.net.cn; <http://www.chinabiodiversity.com>。

* 通讯作者 Author for correspondence(lidm@panda.ioz.ac.cn)

area to the south of the Changjiang River. In these areas, the range boundaries of the mammals differ from that of either physical geography or plants.

The boundaries of the Indo-Malayan Realm for mammals and plants are markedly different.

Mammal species distributions are obviously divided by large mountain ranges or rivers.

Compared to plants, the distributions of mammals are more easily interrupted by human activities.

The species in the Altai Mountain are more similar to those in the Northwest Region than to those in the Great Xingan Mountains area.

The species in the Qaidamu Basin are more similar to those in the Qilian Mountain than to those in the Talimu Basin.

The Southern border of species distribution in the Northwest Arid Region should be the Kunlun Mountain area rather than the south edge of the Talimu Basin.

Mammals in the Qinling Mountains are quite similar to those in the Hengduan Mountains, but the plant species in these two areas are markedly different.

However, despite a number of differences of distributional characteristics for animals and plants, the overall patterns are reasonably similar in most regions.

On the basis of the cluster analysis, this study produced an objective and quite general bio-geographic division system, consisting of 4 areas, 8 sub-areas, 27 regions and 124 units. The system clearly shows the similarity among regions not only in the terms of physical geography, but also of species composition and ecology. It has practical utility for biodiversity conservation programs.

This study adopts a method that starts from basic units and progresses to higher-level divisions (the traditional way is therefore reversed), which is a more objective methodological approach for identifying bio-geographic divisions. Using this method, the division boundaries can be defined according to the results of a cluster analysis of species distribution, rather than researcher's subjective knowledge and experience of species and ecology. This method is also applicable to other biological taxa.

Key words: Bio-Geographical division; species; China species information system; cluster analysis

文章编号:1000-0933(2002)10-1599-17 中图分类号:Q14,Q15 文献标识码:A

有关世界陆地动物区划,早在 19 世纪中叶即已开始。Sclater 根据鸟类的分布提出世界陆地动物区划,Wallace 进行修订后提出世界 6 个界的划分,为大多数学者所接受。20 世纪 70 年代开始研究全球性的生物地理省区划,其中的代表人物为 M. D. F. Udvardy^[1]。中国的动物地理区划开始于 20 世纪 50 年代末,郑作新和张荣祖提出了中国动物地理分区,后经张荣祖多次修改^[2~4]。1980 年发表在《中国植被》中的植被区划则一直沿用至今,新的植被区划有待发表^[5]。除此,更有许多地方或省的动物、植物地理区划。马敬能等 1998 年综合这些动植物区划和 Udvardy 的全球区划,重新划分了中国生物地理区划^[6,7]。这些区划理论,为生物多样性的保护、规划和管理提供了基础性资料,对中国环境保护策略、物种保护研究和策略,以及全国保护区总体规划的制定,特别是在优先保护区域的确定方面都曾起到指导作用。

但是总的来说,现有的生物地理学地图中的线条都未免显得过分武断,因为这些线条一般只是依据动植物的分类集合等极为简单的资料作出的^[7],而且多数没有量化的数据,凭借的多是研究者的个人认知和经验。地理界限的阻限性质也往往难以判明,而这直接影响到区划界限的准确界定,同时,区划系统所应具有的生态学意义也未能给予充分的考虑。本论文研究的目的就是利用大量的物种分布资料,通过计算分析客观的相似性指数来得到相应的区划。就某些区域本研究将该区划与已有的区划进行了比较。

1 研究方法

长期沿用并数据综合自然地理区划发表在 1985 年中国科学院《中国自然地理》编辑委员会主编的《中国自然地理》和赵松桥 1986 年出版的英文版 Physical Geography of China 上(以下称综合自然地理区

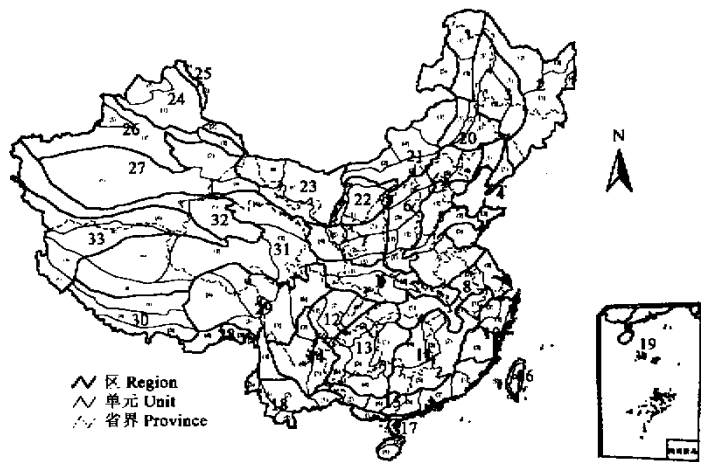


图 1 中国生物地理基本单元

Fig. 1 China's Biogeographic Units

划)^[8,9]。本研究在中国综合自然地理区划最小单位亚区的基础上,修改添加,建立了本研究使用的最基本单位——基本单元,共 124 个(见图 1),以下称为单元。确定在各单元中分布的物种,然后对这些单元物种存在和不存在信息进行聚类分析,确定各单元之间物种分布的相似程度,在这些相似程度的基础上,结合自然地理和生态学的信息划分出中国生物地理区划。

1.1 中国生物地理区划的基本原则

1.1.1 地域分异规律是生物地理区划的基础 地域分异规律不仅是自然地理区划,也是生物地理区划的基础,这一点已为大多数生物地理学者所接受,在已有的动物或植被区划中多被作为重要的区划依据。

我国地形复杂,不仅高低悬殊,而且地形破碎。综合自然地理区划已经广为接受,它较好地体现了中国综合自然地理的分区和规律。本研究遵循了综合自然地理定义的 33 个自然区的基本原则,并使用由中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室 1996 年出版的 1 : 4 000 000 商业化《中国资源环境数据》光盘,利用 GIS 直观的重叠技术手段,考虑中国地理、地形、植被和流域的分布特点和完整性,对综合自然地理定义的区和亚区的边界进行了修改。对个别的区,结合张荣祖 1999 年出版的《中国动物地理》、马敬能等 1998 出版的《中国生物多样性保护综述》、吴征镒 1980 的《中国植被》以及侯仁之 1990 年出版的《中国综合地图集》等进行了调整和增减^[5~7,10,11],特别由于综合自然地理区划对青藏高原的划分比较粗略,本研究根据河流等重要因素对青藏高原区和云南地区进行了较为细致的划分。本研究是以划分出的这 124 个单元为基本单位进行各种分析的(图 1)。

1.1.2 物种分布规律是生物地理区划的根本 物种的分布是客观的,其中自然环境条件,例如地形、气候、人类活动、植被和水系等,都对物种的客观分布产生着重要的影响,但是物种的历史演变过程和物种本身的生理和行为等,以及许多其他因素,其中有许多还无法理解和解释。因此显然生物的地理区划并不会与自然地理的区划完全一致。

生物的客观分布规律是生物地理区划的根本。在综合考虑多个门类所有物种的共同分布规律时,仅依赖于专家对其中部分物种分布的知识和经验显然是不够的。

本研究用于分析的物种信息来自中国物种信息系统(China Species Information System CSIS)^[12]。作者自 1996 年以来一直负责该系统的设计、规划、程序编制及组织数据录入。目前,该系统已包含 8900 多个种(和亚种)物种数据:540 种哺乳类、1329 种鸟类、387 种爬行类、274 种两栖类和 3720 种鱼类。虽然该系统主要收集脊椎动物信息,但该系统方便的数据录入界面也适用于其他门类信息的录入。

(1)物种选择原则 理论上,所有自然分布的物种都可以用作聚类分析的对象,但本研究使用了上千种物种,经多次尝试和研究,发现一些类型的物种不适合用于聚类分析,因而去除了一些物种。这些不宜使用的物种包括:

广泛分布的物种,如狼(*Canis lupus*)、狐(*Vulpes vulpes*)、小家鼠(*Mus musculus*)和野猪(*Sus scrofa*)都是全国广布种,这些广泛分布种因不能提供单元之间差别信息,不宜使用。大部分食肉动物因对环境依赖性和食物专性不强,分布广,因此本研究没有使用食肉动物。此外,也包括迁徙范围广的物种,如鸟类。

分布区过于狭窄的物种,例如梵净山冷杉(*Abies fangjingshanensis*)、银灰杨(*Populus canescens*)、巨鼯(*Euroscaptor grandis*)等,仅在一个单元出现的物种不能提供单元之间的相似性信息,不宜使用。分布信息不足的物种。

国外引入的物种,不属于自然分布,例如北非雪松(*Cedrus atlantica*)、北美乔松(*Pinus strobus*)等不宜使用。

广泛栽种的物种已经在很大程度上不受自然环境的限制,例如雪松(*Cedrus deodara*)、金钱松(*Pseudolarix amabilis*)等不宜使用。

随人类活动而大量扩散的物种,例如多种鼠类:小家鼠(*Mus musculus*)、北社鼠(*Niviventer confucianus*)和家鼠属(*Rattus*)等。

另外本研究尽量不涉及和讨论分类学方面有争议的问题,尽量不使用可能引起分类方面争论的物种。

(2)用于分析的动物物种 本研究由于工作量的限制选用了哺乳动物物种,如前所述原因,除食肉类和许多分布广泛的鼠类,以及蝙蝠类常不为人所知或信息不足而没有使用外,其他大多数门类都用于分析。本研究使用的门类包括:

食虫目(Insectivora) 中国分布有 3 科,猬科(Erinaceidae)分布在旧大陆的中温带至热带; 科(Soricidae)分布广,北限大致止于寒温带北界;鼯科(Talpidae)为北半球温带代表性动物^[4]。

树 目(Scandentia) 在中国分布仅一种,栖息于热带、亚热带山地^[13]。

灵长目(Primate) 为典型的热带和亚热带物种类型。

偶蹄目(Artiodactyla) 本研究使用了 3 科,鼯鹿科(Tragulidae)在中国分布仅一种,栖息于热带低地森林灌丛;鹿科(Cervidae)和牛科(Bovidae)都广泛分布。

啮齿目(Rodentia) 广泛分布。

兔形目(Lagomorpha) 广泛分布。

根据上述物种选择原理舍掉了部分物种,最后用于聚类分析的物种共有 171 种。

(3)用于分析的植物物种 本研究考虑分别选择一些热带、亚热带、温带、沙漠和高山植物门类,包括: 松科(Pinaceae) 是目前北半球高纬度和高、中海拔地带森林植被的主体成分之一。主要分布于北半球的温带和亚热带高山,少部分种深入热带高山或平原^[14]。

杉科(Taxodiaceae) 基本上属于亚热带科,但对暖温带湿润气候也有很强的适应性。在亚洲分布区北界约达北纬 41°,南缘约到北纬 21°^[15]。

麻黄科(Ephedraceae) 广布于干旱、荒漠地区。除长江下游及珠江流域各省外,其他各地均有分布。

杨柳科(Salicaceae) 绝大多数种类分布在北半球温带。其生态适应较广,是温带及热带、亚热带高山植被和生态系统的重要组成成分^[16]。本研究使用了柳属(*Salix*)和杨属(*Populus*)。

桦木科(Betulaceae) 生态适应广,不少种为次生林先锋树种,是温带森林生态系统中重要成分^[17]。

山毛榉科(Fagaceae) 北半球森林植被重要组成成分,为北温带科,在热带亚洲也有广泛分布^[18]。

毛茛科(Ranunculaceae) 广布世界各地,主产北半球温带和寒温带地区。本研究只使用了毛茛属(*Ranunculus*)^[19]。

木兰科(Magnoliaceae) 主要分布于热带、亚热带及温带,以北回归线南北 10°附近最盛。本研究使用了两个属,木兰属(*Magnolia*)产温带和热带;含笑属(*Michelia*)多为常绿阔叶林重要组成树种,分布于热带、亚热带及温带^[19]。

番荔枝科(Annonaceae) 广布于热带与亚热带。本研究使用了 3 个属,紫玉盘属(*Uvaria*)、暗罗属(*Polyalthia*)和瓜馥木属(*Fissistigma*)^[19]。

槭树科(Aceraceae) 槭属(*Acer*)是温带落叶阔叶林、针阔叶混交林以及亚热带山地森林的建群种和重要成分。金钱槭属(*Dipteronica*)属亚热带山地气候类型,基本上是北温带分布的属,但对亚热带、热带山地森林气候有一定的适应性^[20]。

紫草科(Boraginaceae) 分布于温带及热带地区,遍布全国。本研究选择了一些分布在缺乏数据的单元的属,例如软紫草属(*Arnebia*)、滇紫草属(*Onosma*)、微孔草属(*Microula*)等多种属。

根据上述物种选择原理舍掉了部分物种,最后用于聚类分析的物种共有 509 种。

1.2 基于物种分布的地理分区聚类分析 —— CLGRAf 程序

本研究使用了目前应用最广的相似性指数,即由 Sørensen 建立的多维样本相似性指数(*IS*)^[21]。该指数多应用于每个样本出现的每个物种的数量数据。该公式写为:

$$IS = \frac{2w}{A+B} \times 100 (\%)$$

其中,*w* 是两个样本共有物种的两个数量值中较小的值的总和。*A* 是一个样本所有数量值的总和,*B* 是另一个样本所有数量值的总和。*IS* 值可以表示为分数或百分数。如果度量了 *n* 个样本区的 *m* 个变量(某个物种存在或不存在或频率),结果得到 $n(n-1)/2$ 个相似性指数,排列成三角型矩阵。

在计算得到各样本之间相似性指数的基础上,Ward 提出了一个常用的分类程序,该程序是应用最小平方和误差函数极小化原理进行聚类,通过 $n-2$ 步,完成系统聚类^[22,23]。另外还有 5 种其他分类方法(Nearest Neighbour, Furthest Neighbour, Median, Group Average 和 Centroid)。Wishart 发明了一个运算法则,为这所有 6 种已被接受的方法建立了一个通用的分类程序^[24]。该通用的变形形式是:

$$d_{ir}^2 = \alpha_p d_{ip}^2 + \alpha_q d_{iq}^2 + \beta d_{pq}^2 + \gamma |d_{ip}^2 - d_{iq}^2|$$

其中 d_{ir}^2 是样本 S_i 和 S_r 平均数之间差值的平方,而 S_r 是 S_p 和 S_q 合并后的产物。

以上公式,这 6 种方法分别使用以下参数:

Nearest Neighbour $\alpha_p = \alpha_q = 0.5; \beta = 0.5; \gamma = -0.5$

Furthest Neighbour $\alpha_p = \alpha_q = 0.5; \beta = 0; \gamma = 0.5$

Median $\alpha_p = \alpha_q = 0.5; \beta = -0.25; \gamma = 0$

Group Average $\alpha_p = k_p/k_r; \alpha_q = k_q/k_r; \beta = \gamma = 0$

Centroid $\alpha_p = k_p/k_r; \alpha_q = k_q/k_r; \beta = -\alpha_p \alpha_q; \gamma = 0$

Ward 方法 $\alpha_p = (k_i + k_p)/(k_i + k_r); \alpha_q = (k_i + k_q)/(k_i + k_r); \beta = -k_i/(k_i + k_r); \gamma = 0$

A. Dekker 博士编写了“CLGRAf”计算机程序,使用这种通用多种变形运算法则,利用上述 6 种方法计算 Sørensen 相似性指数三角形矩阵。本论文从 Dekker 博士处得到该“CLGRAf”程序,用于分析中国生物地理数据。

为找到最适宜的聚类模型,利用中国物种分布数据中的一部分对这 6 种方法进行了实验。

结果发现 Nearest Neighbour 方法和 Furthest Neighbour 方法产生的结果因过于强调负数据(即共享不存在)而没有生物学意义。Median 方法和 Group Average 方法得出的生物学数据的聚类结果对比度较低。Centroid 方法和 Ward 方法给出的结果比较相似,但 Ward 方法似乎是最适宜的,因为它得到的样本聚类结果对比度最好。

通过这些实验,本研究的全部分析使用 CLGRAf 程序中选项 2= Sørensen 进行相关矩阵计算,选项 6 = Ward 方法进行聚类分析。

2 研究结果

2.1 根据动物物种信息的聚类结果

根据哺乳动物分布信息得到的聚类分析结果见图 2 和图 4。中国哺乳动物分布明显地分为 3 个大区: 东北部 秦岭、淮河以北、祁连山以东地区;

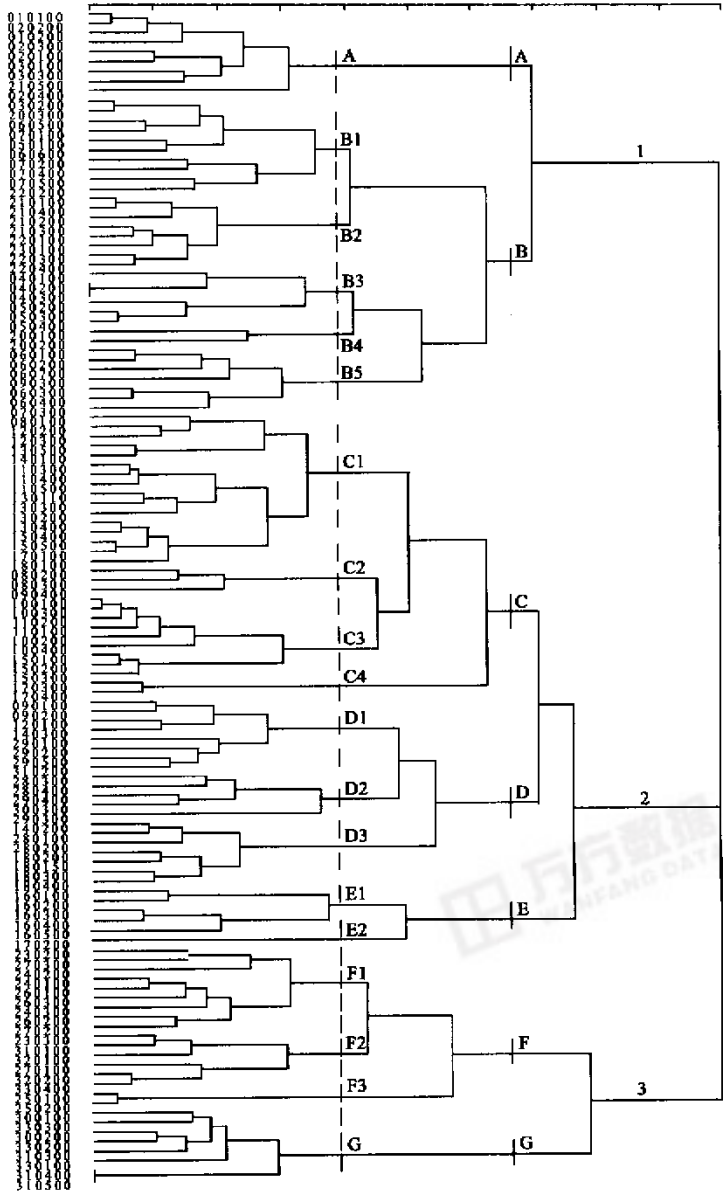


图 2 哺乳动物分布聚类图

Fig. 2 Mammal distribution cluster analysis figure

图中左列的数字 1、2 位为图 1 中 1~33 的区代码(不足 10 时前面加“0”表示),2、3 位为这 33 个区中进一步细分的亚区的代码,5、6 位为“00”,图中的其它代码为图 2 中的聚类族的代码 In the left column of numbers, digit 1 and 2 is the 1~33 region codes in fig. 1 (when less than 10, add “0” before), digit 2 and 3 is the subregion codes and digit 5 and 6 is “00”. Other codes in the figure representing those in the fig. 2

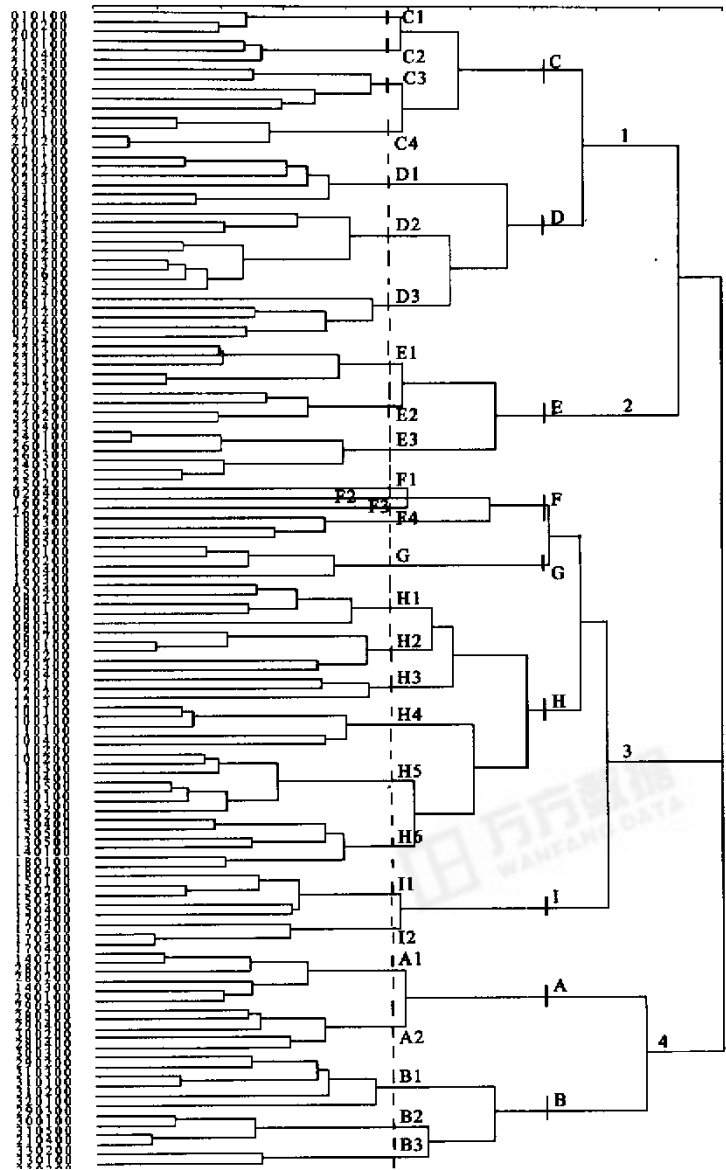


图 3 高等植物分布聚类图

Fig. 3 High plant distribution cluster analysis figure

图中左列的数字 1、2 位为图 1 中 1~33 的区代码(不足 10 时前面加“0”表示),2、3 位为这 33 个区中进一步细分的亚区的代码,5、6 位为“00”,图中的其它代码为图 2 中的聚类族的代码 In the left column of numbers, digit 1 and 2 is the 1~33 region codes in fig. 1 (when less than 10, add “0” before), digit 2 and 3 is the subregion codes and digit 5 and 6 is “00”. Other codes in the figure representing those in the fig. 2

东南部 秦岭(含秦岭)、淮河以南,青藏高原东部和喜马拉雅山南麓地区;
西部 青藏高原中西部、柴达木盆地和祁连山以西和以北的干旱地区。

2.2 根据植物物种信息的聚类结果

根据植物分布信息得到的聚类分析结果见图 3 和图 5。中国高等植物信息分析结果明显地分为 4 个大区:

东北部 内蒙古西部沙漠以西,秦岭、黄河以北,包括山东半岛;
西北部 昆仑山(含昆仑山)、祁连山以北;
东南部 秦岭(含秦岭)、黄河以南,横断山以东地区,以及台湾;
西南部 青藏高原、横断山、柴达木盆地和祁连山。

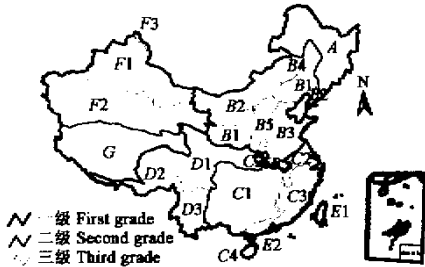


图 4 哺乳动物分布聚类结果

Fig. 4 Mammal distribution cluster analysis result

图中的代码为图 2 中的聚类族的代码 Codes in the figure representing those in the fig. 2

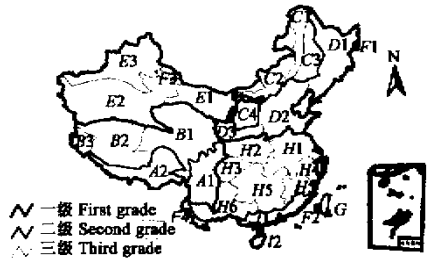


图 5 高等植物分布聚类结果

Fig. 5 High plant distribution cluster analysis result

图中的代码为图 3 中的聚类族的代码 Codes in the figure representing those in the fig. 3

3 结果讨论

3.1 三大自然区界线和动植物分布界线差异明显

根据动植物分布聚类分析的结果,生物分布大区与综合地理分布的三大自然区——季风区、蒙新高原区和青藏高原区有较大的区别(图 6)。蒙新高原区的动物和植物都明显分为东西两个部分,内蒙古东部地区的物种类型更接近于东北和华中地区的物种;季风区的秦岭、淮河一带成为东边半个中国的动植物物种分界线,而不是自然地理的季风区北界;青藏高原区由于哺乳类在青藏高原东南部,特别是在横断山区呈现的广泛过渡性,哺乳类分布分界线明显向西北推移。动物和植物在青藏高原和塔里木盆地的分界线都不是自然区的盆地南缘,而是昆仑山。

3.2 哺乳动物和植物分布特点的差别

3.2.1 哺乳动物有更宽广的生态位 从植物和哺乳动物的分布聚类分析结果可以明显地看到这两个类群在中国的分布受到非常不同的因素的影响,因此很难将这两个门类的数据合在一起进行聚类分析。根据本研究,分布区覆盖低于 6 个(含 6 个)单元的哺乳类物种占用于分析的物种总数的 33%,而植物达 50%。分布区覆盖低于 3 个(含 3 个)的哺乳类不到 17%,植物达 23%。

植物的分布紧密地与狭窄的环境条件相一致,许多物种的分布型表现得非常原始(属于更新世以前的类型),其中的许多物种表现为子遗或间断分布。聚类结果显示植物比哺乳类更切合于地理分区。

哺乳类的分布大多数更现代,大部分为更新世或第四纪类型。间断分布现象较少,总体来看哺乳类有更宽广的地理和生态位。例如食肉类以肉为生,但它们并不太在乎什么肉。狼和豹几乎遍及整个中国的所有生态地理单元和从沙漠到热带雨林的所有生境。在植物中几乎看不到这种宽广的分布。而且动物可以跨越很宽的距离,而植物除风媒植物外,大多数植物散播的速度都很慢。

植物很容易受到霜线的限制。许多热带和亚热带种类随着海拔和纬度的增加,因无法经受严厉的冬霜

而迅速消失了。哺乳类经受能力却较强,它们有自己的办法来保暖,如浓密的皮毛、使用洞穴、建立巢穴等。在云南省,从南到北,植物呈现明显的区带变化,从南部和西南部的热带季雨林,到中部中高海拔亚热带常绿阔叶林区,再到高海拔横断山脉山地针叶林和高山草甸区。而哺乳动物在同样区域则展现了相当高的相似性,垂直分布的差异仍然存在,只是比较植物而言较小。印马界的界线对植物和动物来说完全不一致也是很好的例证。

3.2.2 动物和植物的印马界界线不同 中国生物分布于世界两个主要的生物地理界,即古北界以及东洋界的印马界。动植物在中国的印马界地区的分布情况是非常不一致的。图 5 的结果表明植物在中国的印马界成分非常少,只是分布在南方国界边缘的狭窄范围,包括云南南部、海南、广西和广东沿海和台湾。这条线是以龙脑香科(Dipterocarpaceae)、桑科(Moraceae)和樟科(Lauraceae)等南方科植物为主的热带森林向以山毛榉科(Fagaceae)和松科(Pinaceae)等植物为主的亚热带森林类型的转换线。

温带喜马拉雅植物区系向南方扩张的现象很明显。温带属植物和一些相关的温带草和灌木(金丝桃属 *Hypericum* 和堇菜属 *Viola* 等)等从山脉地区一直向南分布到赤道有天然松林分布的地区,如苏门答腊岛北部、老挝、柬埔寨和菲律宾。

哺乳动物的情形和植物明显不同,根据大多数代表性东洋界动物的分布,其界线大致与常绿阔叶林带的北界一致,相当于秦岭和淮河一线,这里是许多主要分布于热带、亚热带种类分布的北限^[10],本研究结果进一步证实了该观点。哺乳动物的印马界成分从热带南方到中国南部和中部都有分布,中国长江以南的丘陵地区广泛部分有东洋界的灵长类、穿山甲、果蝠、几种鹿类、大多数食肉类,以前还有野牛、大象和其他的大型动物,现在只分布于云南南部。有些属如猕猴(*Macaca*)甚至分布到北部地区。因此,在综合考虑动植物因素的中国生物地理区划中再以东洋界和古北界作为最高级的分界线看来是可以商榷的。

3.2.3 哺乳动物明显被大型山脉和河流阻隔 从动植物得到的不同的聚类结果显示,大型山脉和河流往往成为哺乳动物跨越的障碍。在山地,动物的季节迁徙可在短距离、短时间内完成,故其垂直自然分布,显然不如植物明显。但是山脊和大型河流却能成为其明显的阻隔,这种作用显然比对植物的作用明显。秦岭和长江显然是哺乳动物的分界线,而植物的分界线要更北一些。又如喜马拉雅山脊将哺乳动物的分布切断,成为哺乳动物的第一级聚类线,但喜马拉雅山南麓(30(2))和雅鲁藏布江(30(3))两个区的植物却有一定的相似性。这可能是因为雅鲁藏布江提供了水源,由于风或随雪水下流的植物种子,在雅鲁藏布江流域找到适宜地,而动物要跨越喜马拉雅山却很难。

3.2.4 人类活动对动物和植物的影响 人类活动对哺乳动物的影响,是大大减少了哺乳类的种类和数量。明显的例子是华北平原和冀晋山地。华北平原是中国重要的农业区,农作物面积占总面积的 80%,甚至 90% 以上。哺乳类在该地的种类仅限于少数鼠类。因此华北平原和冀晋山地在哺乳动物中的分界非常明显,而植物却不同。植物只要有空闲地方就能生长。人类频繁的干扰,这些地区已经没有原始的植被,即使是自然生长的植被也不断被破坏。在空闲地方生长起来的植物,除人工故意或无意引入的外,其种源多数来自周围植被区,通过风、虫、鸟或动物播传进入,因此这些高度农业化的地区,剩余的一点天然植被,在物种种类上与其周围的植被会比较相似,虽然在丰富度和植被结构上会大不相同。因此本研究根据物种种类的聚类结果发现华北平原东部和冀晋山地植物类型居然很相似,也是可以理解的。不过虽然植物聚类表示其物种类型与周围数据近,但从物种丰富度和生态景观考虑,多应单独分区。

3.3 区划分析

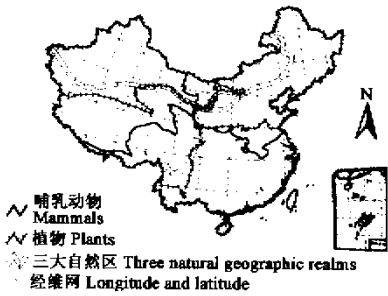


图 6 哺乳动物和植物大区分界线与三大自然区界线的比较

Fig. 6 Boundary comparison between species distribution divisions and the three physical geographic major divisions

尽管植物和动物差别很大,但从聚类分析结果来看,很多地区仍然紧密相关,无论从哪个门类来看,它们都被划分到一起。而其他地区动植物分布聚类结果的不同之处形成了两个门类的过渡区。

3.3.1 海岛地区 两个门类在海南和台湾聚类结果都表现了明显海岛自然生态,而与其他地区分开。

3.3.2 西北地区 两个门类都表明了西北森林和草地大区与其他地区的明显区别。这个大区的天山和阿尔泰山显然和半沙漠地区有明显区别,而可被分立为区。不过由于新疆地区行政县的面积过大,使以县为记录的数据不够准确,导致这个地区的部分差别被抹杀了。

阿尔泰山区山地森林与森林草原的动物区系确具有典型泰加林成分,其区系起源涉及高级区划(亚界级)而引起争议。1978年张荣祖、赵肯堂修订的中国动物地理区划中将阿尔泰山地区附在大兴安岭亚区,1999年张荣祖认为可将其归属蒙新区或作特殊低级区划处理。

本研究从植物来看,真正同时在大兴安岭和阿尔泰山出现的物种很少,例如榛(*Corylus heterophylla*)、单叶毛茛(*Ranunculus monophyllus*)、沼地毛茛(*Ranunculus radicans*)、松叶毛茛(*Ranunculus reptans*)等,只占这两个地区同时或单独出现的物种的8%。而在阿尔泰山和准噶尔盆地或天山同时出现的物种却很多,本研究使用的植物种类中同时在大兴安岭和准噶尔盆地出现的物种约占同时或单独在这两个地区出现的总物种的30%左右。

从哺乳类来看,同时在大兴安岭和阿尔泰山出现的物种也不多,如长尾黄鼠(*Citellus undulatus*)、驼鹿(*Alces alces*)、松鼠(*Sciurus vulgaris*)、高山鼠兔(*Ochotona alpina*)、雪兔(*Lepus timidus*)等,占这两个地区同时或单独出现物种的20%。而在阿尔泰山和准噶尔盆地或天山同时出现的物种却很多,本研究使用哺乳类中同时在大兴安岭和准噶尔盆地出现的物种约占同时或单独在这两个地区出现的总物种的45%左右。

因此阿尔泰山地区更接近于准噶尔盆地而不是大兴安岭。从对三大自然区和动植物分区界线的分析来看,自然地理的大分区界线,并不一定是动植物物种的分区界线,虽然阿尔泰山与大兴安岭在自然地理上有很多类似之处,但毕竟地理距离太远,除非是广布物种,否则很难跨越这样的地理距离。本研究根据聚类结果,将其划入26西北大区,但作了特殊低级区划处理。

3.3.3 北部草地地区 两个门类都显示了明显的北部草地地区,不过植物向西部随着干旱和盐度的增加而表现明显的梯度变化。

3.3.4 大兴安岭-小兴安岭-长白山地区 两个门类表现了东北森林地区的独特性。不过从图5植物的分布聚类结果显示,小兴安岭和长白山比较类似,而大兴安岭却是十分的不同;但图4哺乳动物的分布聚类结果显示,大兴安岭、小兴安岭和长白山地没有太多差异,温带森林对哺乳动物来说只是温带森林。本研究植物聚类结果与1986年《中国植被》一书中的植被区划比较类似^[5]。小兴安岭和长白山地应该是更接近华中地区的植物类型,而大兴安岭则更接近北部草地物种类型。本研究仍采用植物的聚类结果。

3.3.5 秦岭和大巴山-横断山地区 秦岭和大巴山地区以及横断山北段地区是中国最主要的地区之一。横断山北段地区是从中国南部和东部亚热带向西向寒冷干旱的青藏高原的过渡地区;秦巴山区是从温暖湿润的南部和东部向北向干旱北方的过渡地区。这两个地区不仅拥有两侧气候多样的特点,同时拥有丰富的当地特有和孑遗动植物物种。

从图4哺乳动物的分布聚类结果显示秦巴山地和横断山北段地区物种类型十分相似,这一点在中国科学院《中国自然地理》编辑委员会1979和张荣祖1999的中国动物地理区划中被忽略^[4,10],不过和Udvardy^[1]的39区和MacKinnon等^[6]的39和15d区比较符合;而图5植物的分布聚类结果显示,这两个地区截然不同。这又一次显示了哺乳类物种的广泛过渡性。本研究仍采用植物的聚类结果,将它们分为不同的区域。但应该注意的是,哺乳类在这两个区却有很多相似之处。

3.3.6 大别山区 从图4哺乳动物的分布聚类结果显示大别山的哺乳类物种类型更接近于冀晋山地的南部,而与其周围的农业区、秦岭和大巴山地区,以及长江以南的丘陵地区有着较大差异。究其原因,农业区的人类活动使大多数哺乳类无法生存;秦巴地区海拔较高,不很适宜;长江以南的丘陵虽然地理条件更接近,但由于人为阻隔,使哺乳类无法跨越;而大别山和伏牛山之间哺乳类却能够比较容易地迁移。植物的聚类结果显示,农业区残存的植物物种类型常被周围环境所同化,而在物种类型上表现类似。本研究没

有将大别山区划归到冀晋山地,而是保留在淮河平原和长江中下游平原大区,不过作了特殊低级区划处理,以示区别。

3.3.7 柴达木盆地和祁连山 多数的中国动物地理区划^[4,6]都将柴达木盆地划归到塔里木盆地区中。但是柴达木盆地作为高原盆地,其实与塔里木盆地有很多不同。图 3 虽然显示它们之间在一定程度上的相似性,但从图 2 可见柴达木盆地更接近于祁连山和河西走廊中、东段,而《中国植被》一书中的植被区划和本研究的植物聚类结果(图 5)都显示柴达木盆地的植被类型与塔里木盆地截然不同。鉴于这些原因,本研究将柴达木归入青藏高原东北大区,并将祁连山和柴达木列为同一个低一级区划单元。

3.3.8 青藏高原 青藏高原本身的自然地理界线是很难划分的,从地形或植被角度想找到明显的界线比较困难。本研究采用了根据河流流域为主要依据的划分方法,最终的物种聚类结果也较好地符合了这一标准。无论是动物还是植物聚类都将雅鲁藏布江大拐弯和怒江上游切割山地划入到喜马拉雅南翼和雅鲁藏布江河谷山地(图 4 和图 5),表明这两个区也有较多种类的物种分布,原因可能是因为该单元水源丰沛。喜马拉雅山山脊是哺乳动物分布的明显分界线,而植物在喜马拉雅北坡和雅鲁藏布江单元有一定的相似,可能也是因为雅鲁藏布江等河流流经的原因。西南角的森格藏布和朗钦藏布也使这部分植被与其临近地区有区别。在缺乏内流或外流河流的青藏高原中西部地区也独立成明显的一个部分。两个门类都显示昆仑山更接近于塔里木盆地,昆仑山成为塔里木盆地动植物区系分布的最南界,这一点也被 1:4 百万的电子植被图所证实。

3.4 中国生物地理区划系统

动物具有宽广的生态位和在临近的不同生境间呈现明显的过渡性,而植物不仅分区更加明显,而且表现更切合于地理分区。因此在同时考虑动植物因素,进行生物地理区划时,植物的分区更具有参考价值。本研究的区域基本按照图 3 植物聚类结果的第一级(1、2、3、4),亚区域综合考虑了图 2 和 3 动植物聚类结果的第二级(A、B 等),区和亚区综合考虑了图 2 和 3 的第三级(A1、B2 等)。结合从聚类结果总结的主要结论,建立了以下的中国生物地理区划系统(见表 1 及图 7、8)。单元是以地域名称和地形命名的,单元的上一级单位(首先是亚区,在没有亚区一级时用区)是以地域名称和地形,再加主要的植被名称命名的,更上级的单位都使用地域名称命名。

4 讨论

本研究是国内关于量化的中国生物地理区划系统的首次尝试。借助电子计算机处理海量信息的能力,引用前沿的高技术手段——地理信息系统(GIS)和物种信息系统,直接对物种信息或数据进行运算,从而将根据中国版图的综合自然因素(包括海拔、地形、气候、植被、水系、农业区等)划分出的 124 个基本单元转化为中国生物地理区划系统的基本单位——中国生物地理基本单元,并综合动植物分布上的不同特点,逐级向上划分出更高阶的区划单位。这种从基本单元到高级区划的研究方法,是一种新的方法学上的尝试。同时也触及了长期沿用的一些区划观念或原则,如动物区划边界的确定,不再主要依赖外缘分布记录和具有阻限作用的地理界线;而植物区划,也不再以优势种、特征种、标志种作为重要的区划原则。再者,本研究使用的研究方法主要依据物种的客观分布,较少掺杂研究者的主观推断,提高了区划研究的量化水平和客观性。

由于本研 究所得到的生物地理区划是以综合自然因素为基础,综合了植物和哺乳动物分布特点,因此具有重要的生境或生态系统意义以及多门类物种的通用性,应该对昆虫、鸟类、两栖爬行动物、以及如无脊椎动物等其他的陆生生物,也比较适合。估计昆虫会更类似植物的分布类型,而爬行类会与哺乳类和鸟类类似。两栖类虽然生活在陆地,但对水分的要求很严格,因此较多集中于南方温湿地区,在分布类型上可能略有不同。不过鱼类和其他淡水生物的分布类型是基于水域生态系统,应该有完全不同的区划系统。将来可以对其他门类,包括其他陆生脊椎动物、鱼类、昆虫、无脊椎动物、低等植物或其他门类的高等植物进行类似研究,从而总结出这些门类分布上的不同特点,并建立更具广泛意义的中国生物地理区划系统。

下一步需要开展的工作包括:

根据地理、气候、植被等特征,对提出的 124 个中国生物地理基本单元的合理性、实用性进行研究,并

表 1 中国生物地理区划系统

Table 1 China bio-geographic divisions

区域 Area	亚区域 Subarea	区 Region	亚区 Subregion	单元 Unit
I 东北部 Northeast China Area	Ia 内蒙古高原 及东北平原 Inner- Mongolia Steppe and Northeast China Plain	1 大兴安岭 Da Xing'an Ling	a 大兴安岭中北部针叶林 North Central Da Xing'an Ling Coniferous Forest	(1) 大兴安岭北部山地 North Da Xing'an Ling Mountain (2) 大兴安岭中部 Central Da Xing'an Ling Mountain
			b 大兴安岭南草原 South Da Xing'an Ling Grassland	(3) 大兴安岭南山地 South Da Xing'an Ling Mountain
		2 东北平原 Northeast China Plain	a 东北北部平原森林草原 Northeast China Plain Northern Forest Grassland	(4) 松嫩平原 Songnen Plain (5) 大兴安岭中北部东坡山地台地 North Central Da Hinggan Ling Eastern Slope Montane Mesa
			b 西辽河流域干草原 Xiliaohe River Arid Steppe	(6) 大兴安岭南山前台地 South Da Xing' an Ling Mountain Front Mesa (7) 西辽河平原山前台地 Xiliaohe Plain Mountain Front Mesa
		3 内蒙古高原干 草原、荒漠草原 Inner- Mongolia Arid Steppe and Desert Grassland		(8) 内蒙古高原东部洼地 Inner-Mongolia Plateau Eastern Lowland (9) 乌兰察布高原 Ulan Qab Plateau (10) 阴山山地丘陵 Yinshan Mountains Hill (11) 锡林郭勒高原 Xilin Gol Plateau (12) 呼伦贝尔高原 Hulun Buir Plateau
			4 鄂尔多斯高原 干草原、荒漠草原 Ordos Plateau Arid and Desert Grassland	(13) 黄土高原北部丘陵 Huangtu Plateau Northern Hill (14) 鄂尔多斯高原 Ordos Plateau (15) 准格尔—和林格尔黄土丘陵 Junggar- Horinger Loess Hill (16) 河套平原 Hetao Plain
		5 东北东部 East of Northeast China	a 东北东部山地针阔叶混 交林 Northeast China Eastern Hill Coniferous/ Broad-leaved Mixed Forest	(17) 长白山地 Changbai Mountains (18) 小兴安岭 Xiao Hinggan Ling (19) 三江平原 Sanjiang Plain (20) 乌苏里江穆稔河平原 Wusuli River Mulinghe Plain (21) 山前台地 Mountain Front Mesa (22) 辽东半岛 Liaodong Peninsula
			b 辽河下游平原农业 Lower Liao River Agriculture	(23) 辽河下游平原 Lower Liaohe Plain
		6 华北 North China	a 冀北辽西山地落叶灌丛 North Hebei and West Liaoling Hill Deciduous Shrub	(24) 冀北-京北山地 North Hebei-North Beijing Hill (25) 辽西低山丘陵 West Liaolin Lowland Hill
			b 华北平原北部农业 North China Plain Northern Agriculture	(26) 海河平原 Haihe Plain (27) 黄泛平原 Yellow River Flooding Plain
			c 冀晋山地半旱生落叶阔 叶林、森林草原 Hebei and Shanxi Hill Semi-xerophytic Deciduous Broad-leaved Forest and Forest Grassland	(28) 晋南盆地 South Shanxi Basin (29) 晋东南高原 Southeast Shanxi Plain (30) 吕梁山、晋中盆地 Lüliang Mountain and Central Shanxi Basin (31) 永定河上游盆地 Upper Yongdinghe Basin (32) 豫西山地 Western He'nan Mountains
			d: 山东半岛落叶阔叶林 Shandong Peninsula Deciduous Broadleaf Forest	(33): 山东半岛 Shandong Peninsula (34): 鲁中南低山丘陵 South Central Shangdong Low Montane Hill

续表 1

区域 Area	亚区域 Subarea	区 Region	亚区 Subregion	单元 Unit
I 东北部 Northeast China Area	Ic 华北及 黄土高原 North China and Huangtu Plateau	7 黄土高原森林 草原、干草原 Huangtu Plateau Forest Grassland and Arid Grassland		(35) 陕北陇东切割塬 North Shaanxi and East Gansu Incisive Yuan (36) 渭河谷地 Weihe Valley (37) 陇中切割丘陵 Central Gansu Incisive Hill (38) 宁南切割丘陵 South Ningxia Incisive Hill (39) 贺兰山地 Helan Mountain
			a 淮北平原农业 Huaibei Plain Agriculture	(40) 淮北平原 Huaabei Plain (41) 南襄盆地 Nanxiang Basin
			b 长江中下游平原农业 Middle and Lower Yangtze River Plain Agriculture	(42) 长江中游平原 Middle Yangtze River Plain (43) 长江下游平原丘陵 Lower Yangtze River Plain Hill
				(44) 长江三角洲 Yangtze River Delta
			c 大别山-桐柏山落叶灌 丛 Dabie-Tongbai Mountains Deciduous Shrub	(45) 大别山-桐柏山 Dabie-Tongbai Mountains
II 东南部 Southeast China Area	II a 华中 Central China	9 秦岭和大巴山 混交林 Qinling and Daba Mountain Mixed Forest		(46) 秦岭山脉 Qinling Mountains (47) 大巴山-米仓山 Daba-Micang Mountains
		10 四川盆地农业 Sichuan Basin Agriculture		(48) 成都平原 Chengdu Plain (49) 中部丘陵 Central Hill (50) 东部平行岭谷 Eastern Parallel Valley
II 东南部 Southeast China Area	II b 长江以南 丘陵和高原 Highlands and plains in the south to Yangtze River	11 东南丘陵山 地、盆地常绿阔叶 林 Southeast China Hill and Basin Evergreen Broad-leaved Forest		(51) 仙霞岭-括苍山 Xianxia Ling-Kuocang Mountains (52) 武夷山-戴云山 Wuyi-Daiyun Mountains (53) 钱塘江中下游河谷盆地 Middle and Lower Qiantang River Valley Basin (54) 浙闽沿海丘陵 Zhejiang and Fujian Coastal Hill (55) 皖浙低山丘陵 Anhui and Zhejiang Lowland Hill (56) 赣江谷地丘陵 Ganjiang Valley Hill (57) 湘赣低山丘陵 Hunan and Jiangxi Lowland Hill
		12 长江南岸丘 陵常绿阔叶林 Yangtze River Southern Bank Evergreen Broad-leaved Forest		(58) 湘江谷地丘陵 Xiangjiang Valley Hill (59) 南岭山地 Nanling Mountains (60) 沅江流域山地丘陵 Yuanjiang Catchment Montane Hill (61) 大娄山中山峡谷 Dalou Mountain Md- land Valley (62) 苗岭丘原 Miaoling Hilly Pain
		13 云贵高原常 绿阔叶林 Yunnan- Guizhou Plateau Evergreen Broad-leaved Forest		(63) 红河流域山原盆坝 Honghe Catchment Montane Basin (64) 乌江南盘江流域高原中山峡谷 Wujiang and Nanpanjiang Catchments Mid-land Valley (65) 左右江流域岩溶山原 Zuoyoujiang Catchment Melted Rock Montane Plain (66) 滇东黔西喀斯特高原 East Yunnan and West Guizhou Karst Plateau (67) 滇东南低热高原 Southeast Yunnan Low-heat Plateau (68) 滇中南低热河谷 South Central Yunnan Low-heat Valley

续表 2

区域 Area	亚区域 Subarea	区 Region	亚区 Subregion	单元 Unit
Ⅱ 东南部 Southeast China Area	Ⅰ c 中国南部 沿海和岛屿 Coast and Islands of South China	14 岭南丘陵常 绿阔叶林 South to Nan Ling Evergreen Broad-leaved Forest		(69) 粤东、闽南沿海山丘台地平原 East Guangdong and South Fujian Coastal Hilly Mesa Plain
				(70) 珠江三角洲丘陵平原 Zhujiang Delta Hilly Plain
				(71) 粤西、桂东南山地谷地 West Guangdong and Southeast Guangxi Montane Valley
				(72) 郁江—邕江流域宽谷丘陵 Yujiang-Yongjiang Catchment Wide Valley Hill
		15 滇南热带季雨林 South Yunnan Tropical Monsoon Forest		(73) 滇西山原 West Yunnan Montane Plain
				(74) 滇西南高原宽谷 Southwest Yunnan Plateau Wide Valley
				(75) 滇南宽谷 South Yunnan Wide Valley
Ⅲ 西南部 Southwest China Area	Ⅲ a 青藏高原 东南部和南 部 Southeast and South of Qinghai- Tibetan Plateau	16 琼雷热带雨 林、季雨林 Hainan and Leizhou Peninsula Tropical Rain Forest and Monsoon Forest		(76) 粤西、桂南沿海台地平原 West Guangdong and South Guangxi Coastal Mesa Plain
				(77) 雷州半岛台地 Leizhou Peninsula Mesa
				(78) 琼北台地平原 North Hainan Meta Plain
				(79) 琼南山地丘陵 South Hainan Montane Hill
		17 台湾岛常绿 阔叶林和季雨林 Taiwan Island Evergreen Broad-leaved Forest and Monsoon Forest		(80) 西北部亚热带丘陵平原 Northwest Subtropical Hilly Plain
				(81) 中部亚热带山地 Central Subtropical Mountain
				(82) 南部热带丘陵平原 South Tropical Hilly Plain
				(83) 东部热带海岸 East Tropical Coast
				(84) 澎湖列岛 Pescadores
Ⅲ 西南部 Southwest China Area	Ⅲ a 青藏高原 东南部和南 部 Southeast and South of Qinghai- Tibetan Plateau	18 南海诸岛热带 雨林 South China Sea Islands Tropical Rain Forest		(85) 南海诸岛热带雨林 South Sea Islands Tropical Rain Forest
		19 川南、云南高原常 绿阔叶林 South Sichuan and Yunnan Plateau Evergreen Broad-leaved Forest		(86) 滇中川南高原湖盆 Central Yunnan and South Sichuan Plateau Lake Basin
				(87) 怒江澜沧江平行岭谷 Salween and Lancang Rivers Parallel Valley
				(88) 独龙江流域山地 Dulongjiang Valley
Ⅲ 西南部 Southwest China Area	Ⅲ a 青藏高原 东南部和南 部 Southeast and South of Qinghai- Tibetan Plateau	20 藏东、川西切割山地 针叶林、高山草甸 East Tibet and West Sichuan Incisive Hill Coniferous Forest and Alpine Meadow		(89) 大渡河中下游中山 Middle and Lower Daduhe Catchment Mid-land Mountains
				(90) 金沙江、雅砻江切割山地 Jinshajiang and Yalongjiang Incisive Mountains
				(91) 岷江、大渡河切割山地 Minjiang and Daduhe Incisive Mountains
		21 喜马拉雅山 地 Himalayas	a 东喜马拉雅南翼山地热 带亚热带森林 Himalayas Southern Wing Montane Tropical and Subtropical Forest	(92) 岗日噶布山脉南翼山地 Kangrigebu South Wing Mountains
				(93) 喜马拉雅南翼山地 Himalayas South Wing Mountains
				(94) 怒江、澜沧江切割山地 Salween and Lancangjiang Incisive Mountains
				(95) 雅鲁藏布江大拐弯、怒江上游切割山地 Brahmaputra Great Turn and Upper Salween Incisive Mountains

续表 3

区域 Area	亚区域 Subarea	区 Region	亚区 Subregion	单元 Unit	
Ⅲ 西南部 Southwest China Area	Ⅲ a 青藏高原东 南部和南部 Southeast and South of Qinghai- Tibetan Plateau	21 喜马拉雅山 地 Himalayas	b 藏南山地灌丛草原 South Tibet Montane Shrub Grassland	(96)雅鲁藏布江河谷山地 Brahmaputra Valley Mountains (97)喜马拉雅山脉中部山地 Himalayas Central Mountains	
			a 青东、南山地高寒草原、 山地草原 East and South Qinghai Montane Alpine Cold Grassland and Alpine Grassland	(98)澜沧江、金沙江及雅砻江上游切割山地 Upper Lancangjiang, Jinshajiang and Yalongjiang Incisive Mountains (99)黄河上游切割山地 Upper Yellow River Incisive Mountains (100)青南山地 South Qinghai Mountains	
		Ⅲ b 青藏高原 中北部 Central and North Qinghai- Tibetan Plateau	22 青藏高原东 北 Northeast Qinghai-Tibetan Plateau	b 柴达木盆地和祁连山荒 漠、草原 Qaidam Basin and Qilian Mountain Desert and Grassland	(101)祁连山地 Qilian Mountain (102)柴达木盆地 Qaidam Basin
					(103)羌唐高原北部山地 North Qiangtang Plateau Mountains (104)羌唐高原南部山地 South Qiangtang Plateau Mountains
			23 青藏高原西 中部 West and Central Qinghai-Tibetan Plateau	a 青藏高原中部高寒草原 Central Qinghai-Tibetan Plateau Alpine Cold Grassland	(105)藏北高原西北部高原湖盆地 North Tibet Plateau Northwestern Lake Basin Mountains (106)冈底斯山地 Gangdisê Mountains
				b 阿里高原高寒荒漠与荒 漠草原 Ngari Plateau Alpine Cold Desert and Desert Grassland	(107)森格藏布流域高原山地 Sēnggē Zangbo Catchment Plateau Mountains (108)郎钦藏布流域高原山地 Langqēn Zangbo Catchment Plateau Mountains
	Ⅳ 西北部 Northwest China Area	24 阿拉善高原 温带荒漠 Alashan Plateau Temperate Desert		(109)阿拉善高原 Alashan Plateau (110)马鬃山地 Mazong Mountain (111)河西走廊西段 West Hexi Corridor (112)河西走廊中、东段 East and Central Hexi Corridor	
			25 东天山温带荒漠 East Tianshan Temperate Desert	(113)诺明戈壁 Nuomin Gobi (114)吐鲁番—哈密间山盆地 Turpan- Hami Interval Mountain Basin (115)东天山 East Tianshan Mountains	
		26 北疆 North Xinjiang	a 阿尔泰山山地草原及 针叶林 Altay Mountains Grassland and Coniferous Forest	(116)西北阿尔泰 Northwest Mountains (117)东南阿尔泰 Southeast Mountains	
			b 准噶尔盆地温带荒漠 Junggar Basin Temperate Desert	(118)准噶尔盆地 Junggar Basin (119)额敏谷地 Emin Valley	
		27 塔里木盆地 沙漠及昆仑山 Tarim Basin and Kunlun Mountains	c 天山山地草原和针叶 林 Tianshan Mountains Grassland and Coniferous Forest	(120)中天山 Central Tianshan Mountains (121)伊犁谷地 Ili Valley	
			a 塔里木盆地沙漠 Tarim Basin Desert	(122)塔里木盆地 Tarim Basin	
b 昆仑山高寒荒漠 Kunlun Mountains Alpine Cold Desert				(123)昆仑山北坡 Kunlun Mountains Northern Side (124)昆仑山脉南翼 Kunlun Mountain South Wing	

万方数据

进行修改和增减。

整理所建立的中国物种信息系统中有关陆生脊椎动物(哺乳类、鸟类、两栖类、爬行类)的分布数据,在已有的 509 种高等植物数据的基础上,再增加一些植物物种的分布信息。收集和整理部分昆虫的数据。

应用本研究的聚类分析手段,即 Sørensen 多维相似性指数公式计算相关矩阵,以及 Ward 方法进行聚类分析,得到或完善上述物种的分布相似性聚类图。

详细阐明各门类分布上的不同特点,分析原因极其对区划影响,并综合考虑过去已有的动植物的区划体系,制定出较完善的中国生物地理区划。

对该区划草案的合理性、实用性进行讨论和研究,包括物种分布预测,以及全国性和区域性物种丰富度、狭窄区物种丰富度、物种重要性以及物种相对重要性等方面应用分析研究。

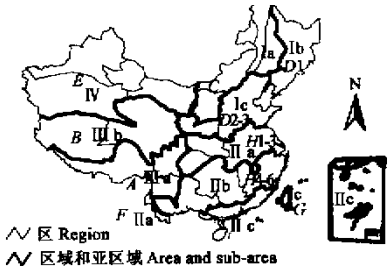


图 7 中国生物地理区划的高级单位区域和亚区域
Fig. 7 Areas and subareas of China bio-geographic divisions
区域和亚区域的代码与表 1 同,区的代码为图 3 代码
Codes for Areas and Subareas are the same in table 1, and codes for Regions is that in fig. 3

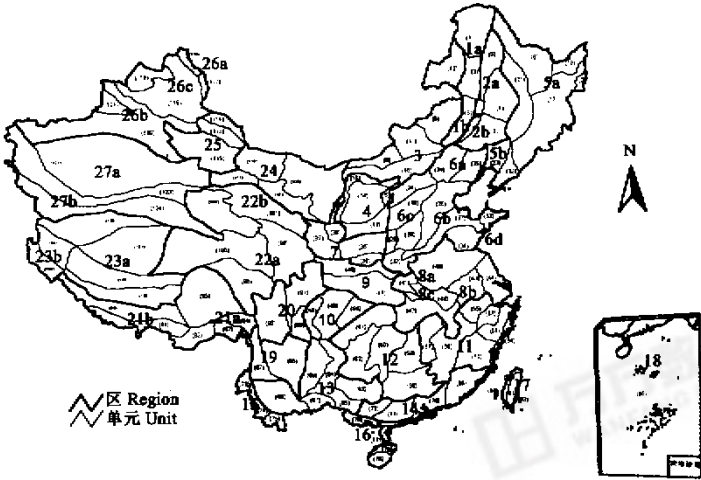


图 8 中国生物地理区划的区、亚区和单元
Fig. 8 Regions, sub-regions and units of China bio-geographic divisions
图中代码为表 1 中代码 Codes are those in table 1

参考文献

[1] Udvardy M D F. *A Classification of the Biogeographical Provinces of the World*. IUCN Occasional Paper, 1975, 18:1~48.

[2] Zhang R Z(张荣祖), Zhao K T(赵肯堂). Revision on Chinese Animal Geography Division. *Acta Zoologica Sinica* (in Chinese)(动物学报), 1978, 24(2):196~202.

[3] Zhang R Z(张荣祖). Chinese Animal Geography Division (Revision). *Acta Zootaxonomica Sinica*(in Chinese)(动物分类学报), 4(Supplement):207~222.

[4] Zhang R Z(张荣祖). *China Animal Geography*(in Chinese), Beijing: Science Press, 1999.

[5] Wu Z Y(吴征镒). *China Vegetation*(in Chinese)(中国植被). Beijing: China Science Press, 1980.

[6] John MacKinnon, Meng Sha, Catherine Cheung,*et al.* *A Biodiversity Review of China*. WWF International China Programme, 1996.

[7] John MacKinnon, Meng S(孟沙), Zhang P S(张佩珊),*et al.* *China Biodiversity Conservation Summary*(in Chinese). Beijing:China Forestry Press, 1998.

[8] Chinese Academy of Sciences, Editing Committee of *China Physical Geography*(《中国自然地理》编辑委员会). *China Physical Geography Pandect*(in Chinese). Beijing:Science Press, 1985.

[9] Zhao Songqiao, *Physical Geography of China*. Beijing: Science Press, 1986.

[10] Chinese Academy of Sciences, Editing Committee of *China Physical Geography*(《中国自然地理》编辑委员会). *China Physical Geography- Animal Geography*(in Chinese). Beijing:Science Press, 1979.

[11] Hou R Z(侯仁之), *China Synthetic Atla*(in Chinese). Beijing: China Atlas Press, 1990.

[12] Xie Y(解焱), Wang S(汪松), He F Q(何芬奇),*et al.* *China Sepcies Information System*(in Chinese and English). <http://www.chinabiodiversity.com>, 2001.

[13] Sheng H L(盛和林), Dataisi J Z(大泰司·纪之), Lu H J(陆厚基). *Wild Mammals in China*(in Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1999.

[14] Li N(李楠), The Geographic distribution, Origin and Disperse of Pine Family. In: Lu A M(路安民, ed. *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese). Beijing: China Science Press, 1999. 17~39.

[15] Yu Y F(于永福), The Origin, Evolvment and Distribution of Taxodium Family. In: Lu A M(路安民) ed. *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese), Beijing: China Science Press, 1999. 40~64.

[16] Ding T Y(丁托娅), The Origin, Differentiation and Geographic Distribution of Willow Family. Lu A M(路安民) ed., *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 344~357.

[17] Chen Z R(陈之端), The Origin and Disperse of Birch Family. Lu A M(路安民) ed. *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese), Beijing:China Science Press, 1999. 236~258.

[18] Li J Q(李建强), The Origin and Geographic Distribution of Beech Family. Lu A M(路安民) ed. *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese). Beijing:China Science Press, 1999. 236~258.

[19] Fu L G(傅立国), Chen T Q(陈潭清), Lang K Y(郎楷永), Hong T(洪涛), *Higher Plant of China*(Vol. 9) (in Chinese). Shangdong:Qingdao Press, 2000.

[20] Xu T Z(徐廷志), The Geographic Distribution of Maple Family. Lu A M(路安民) ed. *Geography of Spermatophyte Families and Genus*(in Chinese). Beijing:China Science Press, 1999. 430~437.

[21] Sprensen, T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Det. Kong. Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skr.* (Copenhagen),1948, **5**(4):1~34.

[22] Ward J H. Heirarchical grouping to optimise an objective function. *J. Amer. Stat. Ass.* 1963, **58**: 236~244.

[23] Ward J H. Application of a heirarchical grouping procedure to a problem of grouping profiles. *J. Amer. Stat. Ass.* , 1963, **58**: 236~244.

[24] Wishart D. An algorithm for Heirarchical Classifications. *Biometrics*, 1969: 165~170.