

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

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34卷第5期 2014年3月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....  
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....  
..... 陈旭飞,张池,戴军,等 (1114)

### 个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李勇,袁玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡婷,谷洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李西,王丽华,刘尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....  
..... 李倩倩,赵旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周蓉,邓自发 (1224)

### 种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓异,蔡立哲,郭涛,等 (1244)

- 不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响…………… 张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
- 呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子…………… 陆欣鑫,刘 妍,范亚文 (1264)
- 江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价…………… 李 佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

### 景观、区域和全球生态

- 中国自然保护综合地理区划…………… 郭子良,崔国发 (1284)
- 近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应 …………… 缪丽娟,蒋 冲,何 斌,等 (1295)
- 人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响 …………… 刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
- 2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化 …………… 淡永利,王宏志,张 欢,等 (1311)

### 资源与产业生态

- 三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布…………… 李 芬,吴志丰,徐 翠,等 (1318)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 282 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 30 \* 2014-03



**封面图说:** 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人和大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306101598

郭子良, 崔国发. 中国自然保护综合地理区划. 生态学报, 2014, 34(5): 1284-1294.

Guo Z L., Cui G F. The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1284-1294.

## 中国自然保护综合地理区划

郭子良, 崔国发\*

(北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

**摘要:**综合自然地理区划可以为生物多样性保护和自然保护区体系建设等提供基础资料,为区域生物多样性政策的制定提供科学依据。随着我国自然保护区事业的不断发展,自然保护综合地理区划成为自然地理区划的重要研究内容之一。虽然我国自然保护区体系已经初步建立,但仍然没有一个同时依据生物因素和非生物因素分布规律,确定的自然保护综合地理区划方案,为生物多样性保护和自然保护区建设服务。利用 GIS 技术和 PC-ORD4.0 软件中的双向指示种分析(TWINSPAN)方法,将中国版图划分出 3489 个基本地理单元,并对这些地理单元进行了数量化分类。然后,根据这个分类结果,参考植被区划和地貌区划等,提出了中国自然保护综合地理区划方案。中国自然保护综合地理区划方案包括了 8 个自然保护地理大区、37 个自然保护地理地区和 117 个自然保护地理亚地区。该区划具有以下特点:(1)利用 TWINSPAN 的数量分类方法进行地理区划的探索是区划方法上的创新,为自然地理区划的研究提供了新的研究途径。(2)选取的数量化指标是在结合已有专项区划资料提出的,有助于避免动植物分布指标的人为选择偏差,可以综合反映区域自然地理特征,对生物多样性就地保护和自然保护区体系建设具有较好的指导作用。(3)量化分析保证了地理区划的客观性,同时定性分析避免了量化分析过程中的误差,使区划结果更准确。

**关键词:**自然保护; 地理区划; 数量分类; 生态因子

## The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation

GUO Ziliang, CUI Guofa\*

College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** National- or regional-scale comprehensive geographical regionalization, including the designation of biogeographical regions, can provide foundational data designed to enhance the conservation of biodiversity and the construction of a nature reserve system and so provide a scientific basis for the establishment of policies related to local biodiversity. The comprehensive geographical regionalization supporting natural conservation has become an important aspect of the field of natural geographical regionalization with the development of nature reserves. Meanwhile, China's nature reserve system has been preliminarily established and is developing rapidly. However, no national geographical regionalization system is in place that designates biogeographical regions, considers both biotic factors (such as plant, animal, or vegetation) and abiotic factors (such as climate, soil, or landform), and is also designed to provide a basis for biodiversity conservation and the establishment of nature reserves. This study uses a geographic information system (GIS) to first divide the territory of China into 3489 basic geographical units based regional climate, soil and geomorphology. A regionalization of various aspects of biogeography such as climate, soil, flora, animal distribution, and vegetation was conducted for this study. Then, the spatial information used to create biogeographical regions was compiled and converted

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104029)

收稿日期:2013-06-10; 修订日期:2013-09-22

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fa6716@163.com

into attribute information that could be used to analyze the differences between all the basic geographical units using GIS10.0. Next, the entire set of data supporting these geographical units was studied using TWINSpan and PC-ORD4.0. Finally, a natural conservation comprehensive geographical regionalization scheme designed to conserve and preserve natural resources was proposed based on the classification results; data from the vegetation regionalization and geomorphologic regionalization were included. Data analysis included quantitative and qualitative analysis during the course of the study. This comprehensive geographical regionalization system resulted in the designation of three major types of natural conservation biogeographical areas, including eight zones, 37 areas, and 117 subareas. A comprehensive geographical regionalization should consider an ideal combination of various elements of the landscape including soil, landform, climate, plants, animals and vegetation to support comprehensive natural area conservation, based on the zonal distribution of various ecological factors and eliminating the interference of intrazonal characteristics. Certainly, the boundaries of a comprehensive geographical regionalization system cannot be determined by the boundary of a single aspect of biogeography, and the biogeographical regions created here will be very different from other previous classification systems because this research integrates the expression of a wide variety of ecological factors in geographical space to consider the needs of biodiversity conservation and provides baseline information in support of the establishment of nature reserves. The features of the comprehensive geographical regionalization system include: (1) A geographical regionalization method that was based on the numerical taxonomic methods of TWINSpan and GIS, used innovative technology and methods, and provides a new approach for research related to geographical regionalization; (2) Quantitative criteria that are proposed in combination with the existing special regionalization in this study; these criteria helped researchers avoid artifacts in the data that were based solely on one aspect of the data such as unique characteristics of the animal and plant indices, resulting in poor selection of biogeographically-based polygons; additionally, the quantitative criteria can comprehensively reflect natural ecological characteristics in a particular district and can provide good direction to land managers concerned with biodiversity conservation and nature reserve construction; (3) Quantitative analysis was used to ensure that the geographical regionalization system was constructed objectively, while qualitative analysis was used to avoid obvious errors and to improve the accuracy of the classification.

**Key Words:** natural conservation; geographical regionalization; numerical taxonomic; ecological factor

综合自然地理区划可以为生物多样性保护和自然保护区体系建设等提供基础资料,为区域生物多样性政策的制定提供科学依据<sup>[1-2]</sup>。生物地理区划是自然地理区划的重要研究内容之一,国际上主要应用生物地理区划为区域保护区的合理规划布局提供依据。早在 19 世纪中叶,Sclater 就根据鸟类的分布规律,提出了世界陆地动物区划方案<sup>[3]</sup>,随后 Wallace 对这个方案进行了修订,提出了全球陆地分为 6 个界的划分方案<sup>[4]</sup>。而 20 世纪 70 年代,Udvardy 首次将生物地理区划与生物多样性就地保护工作结合了起来,编制了生物地理区划方案——世界生物地理省分类。Udvardy 建议在每个生物地理省范围内都要选择适宜地段建立生物圈保护区,使主要原生性生态系统都得到必要的保护和发

展<sup>[5]</sup>。随后,国外开展了大量的生物地理区划的研究,并提出了很多全球性的区划方案<sup>[6-9]</sup>。但这些区划方案侧重点各有不同,其分别考虑了气候因素、生物群落和生物多样性等自然特征对自然地理环境的指示作用。近代以来,中国的自然地理区划和生物地理区划研究发展也很快,并形成了许多不同的区划方案<sup>[10-21]</sup>。但是这些地理区划很多是根据生物因子和非生物因子等单一因素的研究结果提出的,而且并不以生物多样性保护为目的。而目前自然地理区划逐渐向着跨学科综合性研究方面发展,而且“生态化”明显<sup>[2,13-15,22]</sup>。近几年,定量化分析方法也被引入到地理区划研究中,其中倪健主要根据气候、土壤和地形等非生物因子,而解焱主要根据野生动植物的分布信息,分别进行了地理区划的量化分析研究,但两者的地理区划结果存在很大差异,说明定量化分析的指标选择可能导致地理区划结果的

差异<sup>[1,13]</sup>。

自然保护综合地理区划是基于自然环境要素和生物分布特征进行的区划工作,旨在为生物多样性保护以及自然保护区建设和管理服务,属于自然地理区划的一个重要方面。目前,我国虽然制定了众多的区划系统,但是这些区划方案并不能满足我国生物多样性保护和自然保护区体系建设的需要。而且随着我国自然保护区数量的增加和体系的不断完善,迫切的需要能更好的反应区域地貌类型、动植物区系和植被类型等特征的自然保护地理区划,来配合中国的自然保护区建设工程,为自然保护区的科学建设和管理提供依据<sup>[23-27]</sup>。

## 1 区划原则

### (1) 相对一致性原则

地域分异的相对一致性是自然保护地理区划的基础,相对一致的自然地理特征有助于自然保护区网络中相同类型或种类的野生动植物之间的基因交流。因此区划方案应充分体现区域自然地理特征和生物类群的空间组合及其空间分异特征,保持区域的相对一致性。

### (2) 综合性原则

综合地理区划研究是以综合反映一个地区的地域异质性为目标而开展的,不能根据某一专项区划的边界划定其边界。而且数量分类方法虽然能对区域异质性进行综合表达并保证区划的客观性,但不能对相邻基本地理单元的关联程度进行区分,所以必须综合运用图层叠加等手段对其进行修正。

### (3) 生物因子与非生物因子相结合的原则

气候、土壤和地貌等非生物因子对区域自然生态特征具有重要影响,但是并不能完全反映一个地区的地域性差异,这些地域性差异必然在生物因子上具有重要体现。

## 2 区划依据

气候区划、土壤区划、植物区系分区和动物地理区划等均反应了较大尺度的生态因子的分布规律,对小尺度综合区划的影响有限,但地貌区划和植被区划的影响一直较大。因此本研究中将地貌区划和植被区划作为主要依据,而其它区划方案为辅。

### 2.1 区划方案的依据

地貌区划方案:选取了本研究组 2013 年确定的

“中国地貌区划系统”,其包括 4 个地貌大区、40 个地貌地区、127 个地貌亚地区和 473 个地貌区<sup>[28]</sup>。

气候区划方案:选取了 1978 年中央气象局根据已有气候区划和全国气象台站所的数据确定的“中国气候区划”。

土壤区划方案:选取了 1965 年赵其国等提出的“中国土壤区划”。

植物区系分区方案:选取了 1983 年吴征镒等提出的“中国植物区系分区”。

动物地理区划方案:选取了 1999 年张荣祖等提出的“中国动物地理区划”。

植被区划方案:选取了 2007 年张新时等提出的“中国植被区划”。

### 2.2 数量分类的依据

气候、土壤、植物、动物和植被等 5 个方面构成了 TWINSpan 方法数量分类最基本的指标体系,这些指标的属性信息分别通过气候区划、土壤区划、植物区系分区、动物地理区划和植被区划等方案获得。确定基本地理区划单元的各项属性依据的是各个专项区划方案中属性信息,包括了 45 个气候区、78 个土壤区、29 个植物地区、54 个动物地理省和 116 个植被区。利用 GIS10.0 通过图层叠加,提取这些信息并输入到基本地理区划单元内,得到基本地理区划单元的属性表,作为基本地理单元的数量分类依据。

## 3 区划方法

区划方法是判断一个区划系统科学性的重要依据,也是区划过程中应解决的核心问题和关键所在,本研究的技术路线如图 1。首先,使用 GIS10.0 软件将气候区划单元、土壤区划单元和根据地貌类型确定的地貌区划单元进行叠加和联合,得到中国陆地区域的 3489 个基本地理区划单元,南海诸岛并未参与数量分类。

然后,根据每个基本地理单元所处地理空间在中国气候区划、中国土壤区划、中国植物区系分区、中国动物地理区划和中国植被区划中位置的不同,利用 GIS10.0 提取各个基本地理单元的不同属性作为数量分类的指标,再得到“基本地理单元×属性信息”排列矩阵,用 1 表示具有的属性字段,用 0 表示不具有的属性字段,并使用 PC-ORD4.0 软件中的双向指示种分析(TWINSpan)方法进行数量分类,得

到基本地理单元数量分类结果。其中 TWINSpan 方法是一种兼顾定性及定量的分类方法,在群落分类中较为常用,为数值分类的一种,本法由 Hill 等在 1975 年所创立<sup>[29]</sup>。其原理是采用序列法中的交互平均法<sup>[30]</sup>,对分类样本自上而下依次进行二分,直到各群无法切分为止。TWINSpan 方法可以通过计算模型来反映样本之间的差别,比较客观的反映分类样本的相似或相异性,并据此进行分类,但仍然需

要人为判断临界值。

最后,将得到 3489 个基本地理单元的数量分类结果输入 GIS10.0 中。因为 TWINSpan 分类方法并不考虑不同指标之间的近似和相关程度,所以要对数量分类所得结果中各区域的边缘进行检查矫正。在数量分类的基础上,参考了植被区划、地貌区划等确定了中国自然保护综合地理区划方案的等级区划系统。

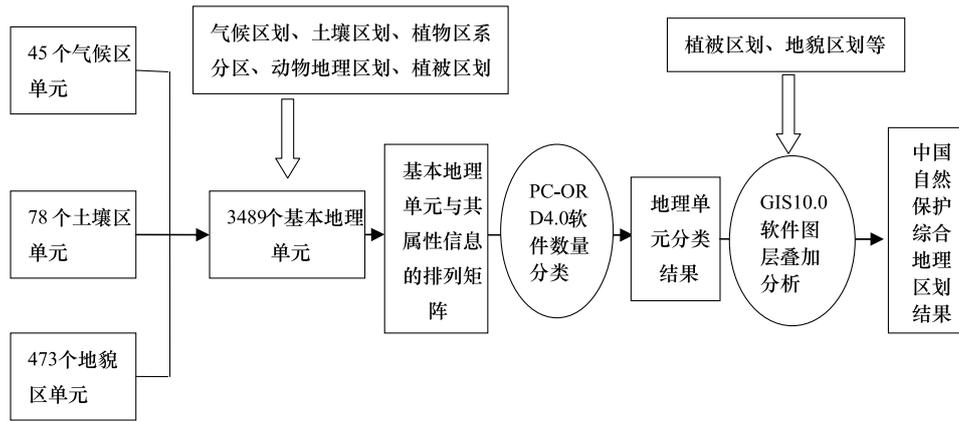


图 1 区划技术路线图

Fig.1 The technology roadmap of division

#### 4 结果

##### 4.1 基本地理单元数量分类结果

自然保护区是以保护区域内主要自然生态系

统、野生动植物及其生境为目标的。因此,在自然保护综合地理区划中,全面考虑了影响自然界的生物和非生物因素,对其指标进行了量化处理,得到了数量化的分类结果,部分结果如图 2。

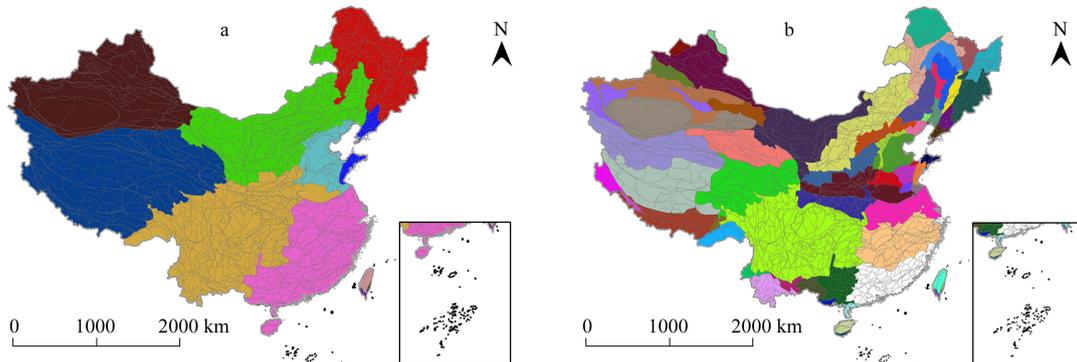


图 2 数量分类 4 次(a)和 7 次(b)分类结果

Fig.2 The result of numerical taxonomic after 4 times and 7 times

中国陆地区域分类四次后,被分为了 12 个区域,基本符合中国东北、华北、东南、中南、内蒙古、西北和青藏高原等的地域分异规律。而分类 7 次后,分类结果较为复杂,而局部地貌特征的变化对其影响变大。这说明随着区划尺度的不断变小或区划方

案的细化,局部地貌特征等因素的影响越来越大。数量分类结果对区划指标具有了较好的表达,较为客观的表现了区域差异。

##### 4.2 中国自然保护综合地理区划方案

根据整体性原则和相对一致性原则将面积较小

的带状区域并入周边地理区域,并参考进一步的分类结果、地貌区划和植被区划等对各个区域的边界进行调整。而南海诸岛部分由于其具有独特的自然地理特征,因此将其作为独立的一级区。根据上述的区划原则、区划依据和区划方法,提出了包括 8 个

一级区(自然保护地理大区)、37 个二级区(自然保护地理地区)和 117 个三级区(自然保护地理亚地区)的中国自然保护综合地理区划方案,如图 3 和表 1。

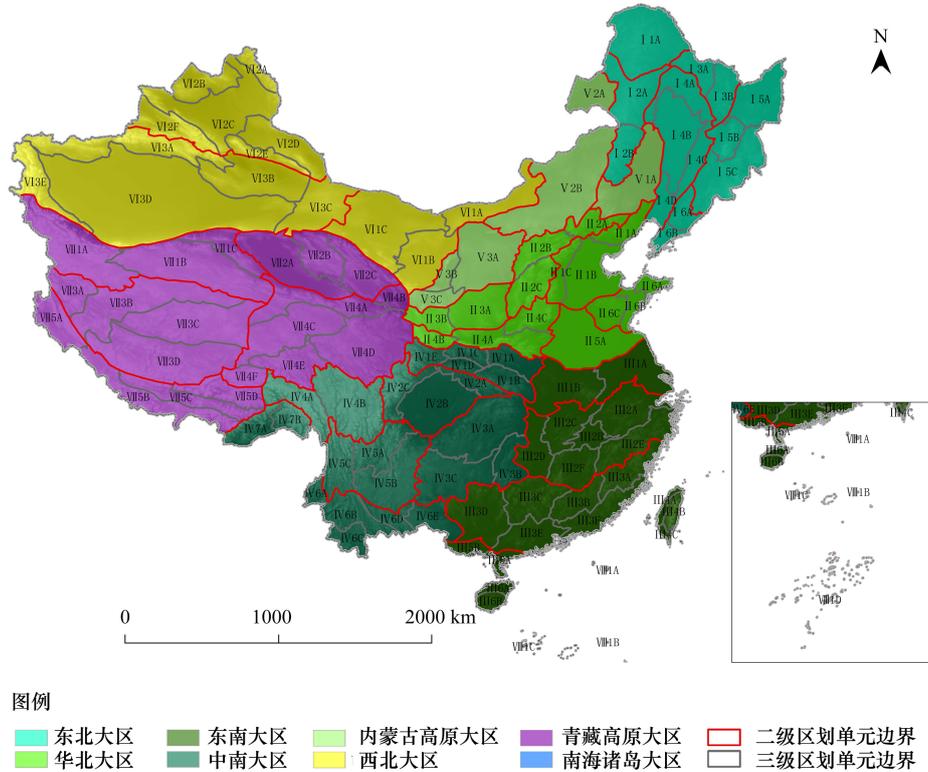


图 3 中国自然保护综合地理区划图

Fig.3 The natural conservation comprehensive geographical regionalization of China

表 1 中国自然保护综合地理区划方案

Table 1 The natural conservation geographical regionalization scheme of China

自然保护地理大区 The natural conservation geographical zone	自然保护地理地区 The natural conservation geographical area	自然保护地理亚地区 The natural conservation geographical subarea
东北大区 I	大兴安岭北部寒温带半湿润地区 I 1	大兴安岭北段山地落叶针叶林亚地区 I 1A
	大兴安岭南段温带半湿润地区 I 2	大兴安岭中段针阔混交林亚地区 I 2A、大兴安岭南段森林草原亚地区 I 2B
	小兴安岭温带半湿润地区 I 3	小兴安岭北段丘陵针阔混交林亚地区 I 3A、小兴安岭南段山地针阔混交林亚地区 I 3B
	东北平原温带湿润半湿润地区 I 4	小兴安岭山前台地针阔混交林亚地区 I 4A、松嫩平原栽培植被与湿地亚地区 I 4B、大黑山台地针阔混交林亚地区 I 4C、辽河下游平原栽培植被与湿地亚地区 I 4D
	长白山温带湿润半湿润地区 I 5	三江平原栽培植被、湿地与针阔混交林亚地区 I 5A、张广才岭山地针阔混交林亚地区 I 5B、长白山山地针阔混交林亚地区 I 5C
	辽东半岛暖温带半湿润地区 I 6	龙岗山地针阔混交林亚地区 I 6A、辽东半岛落叶阔叶林与湿地亚地区 I 6B
华北大区 II	华北平原暖温带半湿润地区 II 1	辽西冀东山地落叶阔叶林与湿地亚地区 II 1A、海河平原栽培植被与湿地亚地区 II 1B、太行山东侧栽培植被与落叶阔叶林亚地区 II 1C

续表

自然保护地理大区 The natural conservation geographical zone	自然保护地理地区 The natural conservation geographical area	自然保护地理亚地区 The natural conservation geographical subarea
东南大区 III	山西高原暖温带半干旱地区 II 2	冀北山地落叶阔叶林与草原亚地区 II 2A、晋北中山盆地落叶阔叶林与草原亚地区 II 2B、晋中山地落叶阔叶林亚地区 II 2C
	陕北和陇中高原暖温带半干旱地区 II 3	陕北高原切割塬落叶阔叶林与草原亚地区 II 3A、陇中高原南部落叶阔叶林与草原亚地区 II 3B
	太行山南段和秦岭北坡暖温带半湿润地区 II 4	陕南豫西栽培植被与山地落叶阔叶林亚地区 II 4A、甘南高原山地森林与草甸亚地区 II 4B、太行山南段山地落叶阔叶林与湿地亚地区 II 4C
	黄淮平原暖温带半湿润地区 II 5	黄淮平原栽培植被与湿地区 II 5A
	山东半岛暖温带半湿润地区 II 6	胶东低山丘陵落叶阔叶林区 II 6A、胶河平原栽培植被与落叶阔叶林区 II 6B、鲁中南山地落叶阔叶林区 II 6C
	长江中下游北亚热带湿润地区 III 1	江淮平原栽培植被与湿地亚地区 III 1A、大别山及周边栽培植被与常绿阔叶林亚地区 III 1B
	长江中下游中亚热带湿润地区 III 2	浙皖山地常绿阔叶林与湿地亚地区 III 2A、鄱阳湖平原栽培植被与湿地亚地区 III 2B、罗霄山脉北段山地常绿阔叶林亚地区 III 2C、湘中平原丘陵栽培植被与常绿阔叶林亚地区 III 2D、浙闽山地常绿阔叶林与湿地亚地区 III 2E、赣南山地常绿阔叶林亚地区 III 2F
	东南南亚热带湿润地区 III 3	戴云山及周边山地常绿阔叶林亚地区 III 3A、南岭东段山地常绿阔叶林亚地区 III 3B、南岭西段山地常绿阔叶林亚地区 III 3C、黔桂石灰岩丘陵山地常绿阔叶林亚地区 III 3D、粤桂丘陵山地常绿阔叶林与湿地亚地区 III 3E、闽粤沿海山地常绿阔叶林与湿地亚地区 III 3F
	台湾岛热带亚热带湿润地区 III 4	台湾西部平原栽培植被与湿地亚地区 III 4A、台湾东部山地常绿阔叶林亚地区 III 4B、台南地区热带雨林季雨林与湿地亚地区 III 4C
	华南热带湿润地区 III 5	雷州半岛台地栽培植被与湿地亚地区 III 5A、十万大山热带雨林季雨林与湿地亚地区 III 5B
海南岛热带湿润地区 III 6	海南岛北部平原栽培植被与湿地亚地区 III 6A、海南岛南部山地热带雨林季雨林与湿地亚地区 III 6B	
中南大区 IV	秦巴山地北亚热带湿润地区 IV 1	秦岭东部栽培植被与常绿阔叶林亚地区 IV 1A、大巴山北段常绿阔叶林亚地区 IV 1B、秦岭中段常绿阔叶林亚地区 IV 1C、米仓山北段常绿阔叶林亚地区 IV 1D、岷山常绿阔叶林亚地区 IV 1E
	四川盆地及边缘山地北亚热带湿润地区 IV 2	大巴山脉南段常绿阔叶林与湿地亚地区 IV 2A、四川盆地栽培植被与湿地亚地区 IV 2B、川西山地常绿阔叶林与高山草甸亚地区 IV 2C
	贵州高原及边缘山地亚热带湿润地区 IV 3	武陵山常绿阔叶林亚地区 IV 3A、雪峰山常绿阔叶林亚地区 IV 3B、贵州高原常绿阔叶林与石灰岩溶洞亚地区 IV 3C
	横断山北部北亚热带湿润半湿润地区 IV 4	怒江澜沧江切割山地常绿阔叶林与高山植被亚地区 IV 4A、金沙江切割山地常绿阔叶林与高山植被亚地区 IV 4B
	横断山南部中亚热带湿润地区 IV 5	川南山地常绿阔叶林亚地区 IV 5A、云南高原栽培植被与常绿阔叶林亚地区 IV 5B、怒江澜沧江平行峡谷常绿阔叶林亚地区 IV 5C
	西南热带亚热带湿润地区 IV 6	滇西山原常绿阔叶林亚地区 IV 6A、滇中南亚高山常绿阔叶林亚地区 IV 6B、滇南宽谷热带雨林季雨林亚地区 IV 6C、滇东南低热高原常绿阔叶林与山地季雨林亚地区 IV 6D、桂西南岩溶山原常绿阔叶林与山地季雨林亚地区 IV 6E
	喜马拉雅山东缘热带湿润地区 IV 7	喜马拉雅山南翼常绿阔叶林与山地季雨林亚地区 IV 7A、喜马拉雅山东端常绿阔叶林与山地季雨林亚地区 IV 7B
内蒙古高原大区 V	西辽河温带半湿润半干旱地区 V 1	西辽河平原及周边山地草原与针阔混交林亚地区 V 1A
	内蒙古东部温带半干旱地区 V 2	呼伦贝尔高原草原与湿地亚地区 V 2A、内蒙古高原东部草原亚地区 V 2B
	鄂尔多斯高原及周边山地温带半干旱地区 V 3	鄂尔多斯高原草原与荒漠草原亚地区 V 3A、贺兰山及周边草原与山地落叶阔叶林亚地区 V 3B、陇中高原北部切割山地草原与落叶阔叶林亚地区 V 3C
西北大区 VI	内蒙古西部温带干旱地区 VI 1	乌兰察布高原草原与荒漠草原亚地区 VI 1A、阿拉善高原东部低地草原化荒漠与灌木化荒漠亚地区 VI 1B、阿拉善高原及河西走廊荒漠亚地区 VI 1C
	北疆温带干旱半干旱地区 VI 2	阿尔泰山山地草原与针叶林亚地区 VI 2A、准噶尔盆地西部荒漠、山地草原与针叶林亚地区 VI 2B、准噶尔盆地低地荒漠亚地区 VI 2C、准噶尔东部荒漠与荒漠戈壁亚地区 VI 2D、天山东段灌木、半灌木荒漠亚地区 VI 2E、天山西段北麓荒漠、草原与针叶林亚地区 VI 2F

续表

自然保护地理大区 The natural conservation geographical zone	自然保护地理地区 The natural conservation geographical area	自然保护地理亚地区 The natural conservation geographical subarea
	新疆温暖温带干旱地区 VI3	天山西段南麓山地草原与针叶林亚地区 VI3A、吐鲁番-哈密盆地及周边荒漠与盆地绿洲亚地区 VI3B、北山及周边荒漠戈壁与荒漠草原亚地区 VI3C、塔里木盆地低地荒漠亚地区 VI3D、西昆仑山地低地荒漠与高山植被亚地区 VI3E
青藏高原大区 VII	昆仑山高寒干旱地区 VII1	昆仑山西段高山高寒荒漠亚地区 VII1A、昆仑山东段高山高寒荒漠亚地区 VII1B、阿尔金山高寒植被与荒漠植被亚地区 VII1C
	柴达木、祁连山干旱半干旱地区 VII2	柴达木盆地荒漠亚地区 VII2A、祁连山西段高山盆地草原与针叶林亚地区 VII2B、祁连山东段高山草原、湿地与针叶林区亚地区 VII2C
	羌塘高原高寒干旱地区 VII3	中阿里山地高寒荒漠与荒漠草原亚地区 VII3A、羌塘高原北部高寒草原亚地区 VII3B、羌塘高原中部高寒草原亚地区 VII3C、羌塘高原南部高寒草原与高寒湿地亚地区 VII3D
	藏东、青南高寒半湿润半干旱地区 VII4	江河源高寒草原亚地区 VII4A、祁连山东端草原与山地森林亚地区 VII4B、青南高原宽谷高寒草原草甸亚地区 VII4C、川西藏东高寒灌丛与草甸亚地区 VII4D、澜沧江、金沙江上游切割山地高寒草原亚地区 VII4E、念青唐古拉山北段灌丛草原与高山植被亚地区 VII4F
	藏南高寒半湿润半干旱地区 VII5	西南阿里山地高寒荒漠与荒漠草原亚地区 VII5A、喜马拉雅山脉中部山地森林与高山植被亚地区 VII5B、雅鲁藏布江谷地灌丛与草原亚地区 VII5C、念青唐古拉山南段草原草甸与高山植被亚地区 VII5D
南海诸岛大区 VIII	南海诸岛热带湿润地区 VIII1	东沙群岛热带珊瑚岛亚地区 VIII1A、中沙群岛热带珊瑚岛亚地区 VIII1B、西沙群岛热带珊瑚岛亚地区 VIII1C、南沙群岛热带珊瑚岛亚地区 VIII1D

#### 4.2.1 东北大区

东北大区东南以鸭绿江、图们江及长白山为界与朝鲜相邻,东北以黑龙江沿国境线与俄罗斯为邻。西部以大兴安岭为主干,北部小兴安岭自西向东延伸,东南部有张广才岭和长白山等山地,在这些山地、丘陵的环抱之中有广阔而肥沃的松嫩平原和三江平原。其位于温带大陆性季风气候北缘,由于纬度较高,冬季寒冷而漫长,夏季温暖而短促,而且土壤类型复杂,温带的暗棕壤、黑土和黑钙土以及寒温带的寒棕壤发育。该区域植物区系分区和动物地理区划较为一致,但作为我国最主要的天然林分布区之一,保存有大面积的原始森林或天然次生林,在植被区划上,主要包括了寒温带针叶林区域、温带针阔混交林区域和暖温带落叶阔叶林区域的辽东半岛部分,而低地平原以草甸草原、沼泽地和河漫滩等为主。该区域不同植被类型交叉分布,森林湿地发育,是我国寒温带针叶林和温带针阔混交林最主要的分布区,也是耐寒性动植物主要分布地,但特有种较少。应加强对该区域森林和草原草甸生态系统,以及湿地生态系统的保护,并重点关注大型兽类的栖息地和生境廊道的保护。

该自然保护地理大区包括大兴安岭北部寒温带

半湿润地区、大兴安岭南温带半湿润地区和小兴安岭温带半湿润地区等 6 个自然保护地理地区,以及 14 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.2 华北大区

华北大区东濒黄海、渤海,南以秦岭山脉主脊线至淮河一线为界,西以青藏高原外缘为界,北部与内蒙古地区、东北地区相接。其具有稳定而古老的台地,但由于侵蚀和堆积作用的交替进行,在全区形成了明显的多级阶地,同时该区域西部有明显的黄土堆积。而且因其位于中纬度大陆东岸,且西北邻近青藏高原与西北干旱区,故受大陆性季风的影响显著,属中纬度暖温带季风气候,冬季干冷,夏秋热湿,四季分明。其地带性土壤由东到西,有棕壤土、淋溶褐色土和褐土等森林土壤,以及发育在森林草原与干草原上的黑土、黄绵土等。该区域的地带性植被以落叶阔叶林为主,但由于热量不同而引起植被的纬度地带性变化明显,其南界秦岭淮河一线附近,植物区系中的亚热带常绿成分较多,而西北边界附近则温带草原成分突出,在植被区划上,包含了暖温带阔叶混交林区域的大部分区域以及温带草原区域与暖温带阔叶混交林区域交界的边缘部分,但动物种类较少且种类组成较一致。其生态系统类型的区域

差异性明显,但原生性生态系统和野生动物种类缺乏,人口密度较高,应以保护和恢复不同地区的森林生态系统为重点,加强自然保护区网络的建设和管理,特别是野生动物分布比较集中的区域。

该自然保护地理大区包括华北平原暖温带半湿润地区、山西高原暖温带半干旱地区和山东半岛暖温带半湿润地区等 6 个自然保护地理地区以及 15 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.3 东南大区

东南大区位于我国东南沿海,北以淮河为界,南至海南岛,西以秦巴山地、雪峰山和云贵高原为界,东至台湾岛。地形破碎,山地丘陵连绵交错,平原盆地贯穿其中,其中较大的山体有武夷山和南岭等。而区内亚热带季风气候特征明显,但在沿海地区受海洋性气候影响显著,而南部地区有小面积的热带季风气候区。地带性土壤为黄棕壤、红壤和黄壤,而黄棕壤主要分布于亚热带北部,即长江以北,红壤主要分布于亚热带南部。其地带性植被为常绿阔叶林和热带雨林季雨林,南岭以南的常绿阔叶林混杂较多的热带成分,植物种类复杂,林内攀缘、附生植物甚多。而植物区系分区和动物地理区划较为复杂,植物区系分区包含了华东地区、华南地区和滇黔桂地区等地区,动物地理区划包含了东部丘陵平原亚区、台湾亚区和闽广沿海亚区等。其地貌复杂,自然植被破碎化分布,海岸线长,湿地众多,特有植物种类丰富,应加强对该区域森林和湿地生态系统的保护,并重点关注特有和极小种群植物的就地保护和管理,推进区域自然保护区网络的建设,在国家重点保护野生植物的重要分布区可以建设自然保护点。

该自然保护地理大区包括长江中下游北亚热带湿润地区、长江中下游中亚热带湿润地区和台湾岛热带亚热带湿润地区等 6 个自然保护地理地区和 21 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.4 中南大区

中南大区位于我国西南部,西起青藏高原,东到东南丘陵,北至秦岭山地。该区域地貌类型复杂,有面积广阔的低缓起伏高原地貌、切割性山地和山间盆地,其西部为青藏高原东部边缘,山高谷深,垂直落差较大。其整体位于亚热带季风气候区和热带季风气候区,但受到局部地势影响,气温较华东和华南偏低,在纬度、海拔高度和大气环流三者综合影响

下,气温季节变化较小,但在南部边缘影响不大。其地带性土壤主要为红壤和黄壤,其中云贵高原以红壤为主。其地带性植被以常绿阔叶林、亚热带寒温带性针叶林和干性热带季雨林半常绿季雨林为主,在植被区划上,包含了亚热带常绿阔叶林区域的西部区域以及西部偏干性热带季雨林雨林亚区域。其植物区系分区和动物地理区划复杂,植物区系分区包含了华中地区、云南高原地区和滇缅泰地区等地区,动物地理区划包含了西南区、华中区和华南区等。该区域地貌类型多样,气候复杂,是我国生态系统最复杂、生物多样性最丰富和特有物种最集中的地区,也是我国自然保护区建设的重点区域。应加强对该区域自然保护区网络和跨国自然保护区的建设,以及对山地生态系统的保护和管理。

该自然保护地理大区包括秦巴山地北亚热带湿润地区、四川盆地及边缘山地北亚热带湿润地区和贵州高原及边缘山地亚热带湿润地区等 7 个自然保护地理地区以及 23 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.5 内蒙古高原大区

内蒙古高原大区位于我国的北部边疆,北以国境线为界与蒙古和俄罗斯相邻,东、西、南三面分别与东北、华北和西北 3 个自然保护地理大区为邻,西接狼山南端沿乌兰布和沙漠东缘至贺兰山西麓一线。地势起伏小,地貌相对单一,境内山脉少且高度一般较低,延伸不长,而大兴安岭和阴山横贯本区,把整个高原分为三大部分。其属中温带半干旱、干旱气候区,季节分配由长冬无夏、春秋相连向西南变为冬冷夏热、四季分明。地带性土壤以栗钙土分布最广,其次是棕钙土,黑钙土则局限于东部边缘。该区域地带性植被主要为温带草原和稀树灌木草原,在植被区划上,包含了温带草原区域的大部分,而在阴山、贺兰山及大兴安岭南段的山地、丘陵上还分布有以落叶松、栎树等为主的天然林与次生林,而植物区系分区和动物地理区划较一致。其是森林、草原和荒漠生态系统的分布区和过渡区,植被类型和野生动物组成与邻国较为相似,应限制开发,加强对该区域草原、草甸和群落交错带等特有自然生态系统的保护,积极建设自然保护区网络,特别是跨国自然保护区网络,加强对群落交错带的管理。

该自然保护地理大区包括西辽河温带半湿润半干旱地区、内蒙古东部温带半干旱地区和鄂尔多斯

高原及周边山地温带半干旱地区等 3 个自然保护地理地区以及 6 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.6 西北大区

西北大区东以阿拉善高原为邻,南以昆仑山、阿尔金山和祁连山北麓为界,深居内陆,四周多为高山,来自海洋的湿润气流很少能够到达,因而形成我国最干旱的地区。地形地貌以山地和山间盆地为主,山地与盆地的相间分布,构成了该区域地表结构的基本特征。该区域是我国最干燥的地区,具有典型的暖温带和温带大陆性荒漠气候特点,其光照长、气温变化大、干燥少雨,而高山具有显著的垂直气候带。其土壤类型复杂多样,地带性土壤有灰漠土、灰棕漠土和棕漠土,此外还有草甸土、盐土和风沙土等非地带性土壤。境内大部分属于干沙漠,东西两侧边缘地区属于荒漠草原,而高山的迎风坡面上能获得较多的降水,孕育了众多的冰川积雪,较高海拔的山坡上还有郁郁的森林和草原。早生的灌木与小灌木荒漠是该区域的地带性植被,典型的灌木荒漠分布在山前洪积扇及由小砾石组成的冲积扇上部,大多数由叶退化的灌木组成,半灌木荒漠主要分布在砾质戈壁及荒漠性低山。但在山地与平地绿洲内,仍有丰富的动植物资源,如在阿尔泰山和天山的针叶林,在准噶尔盆地、塔里木河和阿拉善的荒漠河岸胡杨林。而植被分布的特征造成了该区域植物区系分区和动物地理区划的相对简单,但区域差异明显的特点。该区域与其他区域相对隔离,具有大面积的荒漠生态系统和垂直山地生态系统,植物多样性匮乏,但野生动物种类独特。应加强对其荒漠生态系统中迁徙性野生动物的保护和管理,并积极构建自然保护区网络。而其山地生态系统是荒漠区重要的水源,也需要重点保护,对维护区域生态平衡具有重要作用。

该自然保护地理大区包括内蒙古西部温带干旱地区、北疆温带干旱半干旱地区和南疆温带暖温带干旱地区等 3 个自然保护地理地区以及 14 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.7 青藏高原大区

青藏高原大区位于我国的西南部,北起昆仑山、阿尔金山及祁连山,南抵喜马拉雅山,地势高峻,平均海拔 4500 m 以上,是全球海拔最高的高原。高原上还分布有多条山脉,而且青藏高原四周高山环绕,

与塔里木盆地、河西走廊和四川盆地的相对高差在 3000 m 以上。青藏高原强烈的隆起和巨大的高原面,破坏了所处纬度地带的大气环流系统,形成了光照充足、气温低和干湿季分明等独特的高原气候。青藏高原降水分布的地区差异极为悬殊,从东南向西北递减,北部柴达木盆地的西端,年降水量极少,而且区内高原冻土、高山草甸土和亚高山草甸土等发育强烈。由于地势的强烈隆起,使植物的演替和土壤发育受到影响,高山草甸、高山草原和高寒荒漠植被成为该区域的地带性植被,而高原外围山地植被垂直带谱显著,而植物区系和动物地理组成较为简单,但却为该地区所特有。该区域地广人稀,生态位置特殊,应重点保护其特有的高寒生态系统及高原边缘山地植被垂直分布带,而且其高原迁徙兽群是我国现存最大的兽类种群,应根据其迁徙路线构建自然保护区网络,减少人为干扰。

该自然保护地理大区包括昆仑山高寒干旱地区、羌塘高原高寒干旱地区和藏南高寒半湿润半干旱地区等 5 个自然保护地理地区以及 20 个自然保护地理亚地区。

#### 4.2.8 南海诸岛大区

南海诸岛大区位于我国的最南部,包括南海的东沙、西沙、中沙和南沙四大群岛及其周边海域。其具有大量的珊瑚岛礁和广阔的海域,热带湿润气候明显,地带性植被为热带珊瑚岛常绿林。乔木林在西沙群岛的永兴岛、金银岛和甘泉岛等分布面积较大,南沙群岛中个别岛屿上亦有分布。热带珊瑚岛常绿林在群落组成上树种不多,仅有十余种,以麻疯桐林和海岸桐林分布最广,灌木林在各岛屿亦有分布,面积大而连片,亦是珊瑚岛上的主要植被类型,在植被区划上,包含了南海珊瑚岛植被亚区域和东部偏湿性季雨林雨林亚区域的南海北部珊瑚岛植被区。而植物区系分区包含了南海地区的大部分,动物地理区划仅包含了南海诸岛亚区。其具有我国最典型的海洋和海岛生态系统,却是我国自然保护区发展最薄弱的地区,应加强对该区域海洋生态系统和海洋鸟类的保护,促进海洋类型自然保护区的建设和管理。

该自然保护地理大区包括南海诸岛热带湿润地区 1 个自然保护地理地区,以及 4 个自然保护地理亚地区。

## 5 讨论

能够反映区域自然地理特征和生物分异格局的自然保护综合地理区划方案,对我国生物多样性保护策略和行动计划制定具有重要的参考价值和现实意义。综合自然地理区划往往涉及地理学、生态学和生物学等诸多学科,而确定一个理想的、能被普遍接受的自然保护综合地理区划,并非易事<sup>[21]</sup>。将土壤、地貌、气候、植物、动物和植被等生态因子相结合,依据每类生态因子的分布规律,强调区域代表性,排除隐域性特征的干扰是自然保护综合地理区划的必然选择,本研究正是在此基础上实施和开展的。

自然保护综合地理区划研究不是植被分区,也不是生物区系分区,而是以为生物多样性保护和自然保护区建设服务为目的的区划工作,所以该区划的界线不能用单一区划要素的界线来确定,而是依据各类生态因子在地理空间上的总体分布特征确定的,本研究通过 TWINSpan 方法数量分类实现这个过程。而目前我国对自然地理单一要素的区划仍然是自然地理区划工作的重点,综合自然地理区划研究则侧重于对气候、土壤和地貌差异的定性分析研究<sup>[2,15,31]</sup>。本研究的区划结果与任美镔<sup>[18]</sup>、侯学煜<sup>[32]</sup>和赵松桥<sup>[18]</sup>等提出的自然地理区划方案有较大的差异,后者地理界线是在参考地貌和气候界线的基础上划定的,如许多自然地理区划方案均按照气候差异将亚热带气候区和热带季风气候区分开。但在本研究中数量分类结果与之明显不同,其将秦岭淮河以南的区域以秦巴山地东端、云贵高原东南缘和雪峰山为界划分为东西两部分。这条界线与中国地势二、三级阶梯的界线基本一致,离海洋的远近和海拔的差异可能使两侧生物类群间也出现了差异。

另外,本研究借助于计算机技术和相关软件,对地貌、气候和土壤等要素进行分析,确定了基本地理单元,并以其为基础通过考虑气候、动物和植被等多重生态因子的分布特征从上而下逐级划分出低阶的区划单元。这种利用 TWINSpan 数量分类方法进行地理区划探索是区划方法上的创新和尝试,为自然地理区划的研究提供了新的研究途径。同时本研究选取的量化指标是在结合已有专项区划资料提出

的,有助于避免动植物分布指标的人为选择偏差,可以综合反映区域自然地理特征,对生物多样性就地保护和自然保护区体系建设具有较好的指导作用。而量化分析较少掺杂了主观推断,提高了地理区划研究的客观性,同时定性分析避免了量化分析过程中没有考虑指标之间的关联程度的问题,使区划结果更准确。量化和定性分析的综合使用,有助于综合反映区域差异,应作为地理区划工作的必要分析途径。本区划系统仍然需要进一步的探讨以及修改完善,并根据实际情况对该区划方案进行细化。

**致谢:**北京林业大学自然保护区学院于梦凡对 TWINSpan 数量分类分析提供帮助,自然保护区学院雷霆和中国林业科学院吴亚丛对写作给予帮助,特此致谢。

## References:

- [1] Xie Y, Li D M, John M K. Preliminary researches on biogeographical divisions of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (10): 1599-1615.
- [2] Gao J B, Huang J, Li S C, Cai Y L. The new progresses and development trends in the research of Physio-geographical regionalization in China. *Progress in geography*, 2010, 29 (11): 1400-1407.
- [3] Sclater P. On the general Geographical Distribution of the Members of the Class Aves. *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London, Zoology*, 1858, (2): 130-136.
- [4] Wallace AR. *The Geographical Distribution of Animals; With A Study of the Relations of Living and Extinct Faunas as Elucidating the Past*. New York: Cambridge University Press, 1876: 50-82.
- [5] Udvardy MDF. A classification of the biogeographical provinces of the world. *IUCN Occasional Paper*, 1975, 18: 1-48.
- [6] Bailey R G, Hogg H C. A world ecoregions map for resource reporting. *Environ Conserv*, 1986, 13(3): 195-202.
- [7] Kreft H, Jetz W. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *J Biogeogr*, 2010, 37 (11): 2029-2053.
- [8] Prentice I, Cramer W, Harrison S, Leemans R, Monserud R, Solomon A. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J Biogeogr*, 1992, 19 (2): 117-134.
- [9] Zhao S Q, Fang J Y, Lei G C. Global 200: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities. *Biodiversity Science*, 2000, 8(4): 435-440.
- [10] Zheng D, Ge Q S, Zhang X Q, He F N, Wu S H, Yang Q Y. Regionalization in China: retrospect and prospect. *Geographical research*, 2005, 24(3): 330-344.
- [11] Wu Z Y. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980: 749-760.
- [12] Zhang R Z. *Zoogeography of China*. Beijing: Science Press,

- 2011; 299-347.
- [13] Ni J, Chen Z X, Dong M, Chen X D, Zhang X S. An ecological regionalization for biodiversity in China. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(4): 370-382.
- [14] Li X. Protection value evaluation and reasonable distribution of national forest nature reserve [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.
- [15] Zheng D. The study on regional ecological geography of China. Beijing: Commercial press, 2008; 125-132.
- [16] Fu B J, Liu G H, Chen L D, Ma K P, Li J R. Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 1-6.
- [17] Li B Y, Pan B T, Cheng W M, Han J F, Qi D L, Zhu C. Research on geomorphological regionalization of China. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(3): 291-306.
- [18] Liu G M. Physical Geographic atlas of China. Beijing: Sinomap press, 2010; 19-202.
- [19] Luo K F. Physical Geographic Partition Draft of China. *Acta Geographica Sinica*, 1953, 20(4): 379-394.
- [20] Huang B W. Comprehensive natural regionalization preliminary draft of China. *Acta Geographica Sinica*, 1958, 24(4): 348-365.
- [21] Zhang R Z, Li B Y, Zhang H X, Liu L S. Regional system of natural reserves in China. Beijing: China Environmental Science Press, 2012; 1-19.
- [22] Huang B W. Comprehensive study of geography and interdisciplinary. *Science*, 1998, 50(5): 2-5.
- [23] Cui G F. Special research fields and hotspots in science of nature reserves. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(6): 102-105.
- [24] Tang X P. Analysis of the current situation of Chinese nature reserve network and a draft plan for its optimization. *Biodiversity Science*, 2005, 13(1): 81-88.
- [25] Yan Y, Wang Z, Gao J, Xu W G, Jiang M K. Regional distribution characteristics of nature reserves and the influencing factors in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 5091-5097.
- [26] Lu A G, Wang S J. Analysis on the development of nature preserves of China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(11): 7-11.
- [27] Wu J, Liu H. Economic Analysis on the Spatial Distribution of Nature Reserves in China. *Journal of natural resources*, 2012, 27(12): 2091-2101.
- [28] Guo Z L, Cui G F. Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6264-6276.
- [29] Hill M O, Bunce R G H, and Shaw M W. Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification and its application to a survey of native pinewoods in Scotland. *Journal of Ecology*, 1975, 63(2): 597-613.
- [30] Hill M O. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*, 1973, 61(1): 237-249.
- [31] Yang Q Y, Zheng D, Wu S H, Ge Q S. Review and prospects: integrated physical geography in China since the 1950s. *Geographical research*, 2005, 24(6): 899-910.
- [32] Hou X Y. Development of natural ecological regionalization in China and its big agriculture (I). *Bulletin of Chinese academy of sciences*, 1988, (01): 28-37.
- 参考文献:**
- [1] 解焱, 李典谟, J MacKinnon. 中国生物地理区划研究. *生态学报*, 2002, 22(10): 1599-1615.
- [2] 高江波, 黄姣, 李双成, 蔡运龙. 中国自然地理区划研究的新进展与发展趋势. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1400-1407.
- [9] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. *生物多样性*, 2000, 8(4): 435-440.
- [10] 郑度, 葛全胜, 张雪芹, 何凡能, 吴绍洪, 杨勤业. 中国区划工作的回顾与展望. *地理研究*, 2005, 24(3): 330-344.
- [11] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980; 749-760.
- [12] 张荣祖. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 2011; 299-347.
- [13] 倪健, 陈仲新, 董鸣, 陈旭东, 张新时. 中国生物多样性的生态地理区划. *植物学报*, 1998, 40(4): 370-382.
- [14] 李霄宇. 国家级森林类型自然保护区保护价值评价及合理布局研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [15] 郑度. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008; 125-132.
- [16] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 1-6.
- [17] 李炳元, 潘保田, 程维明, 韩嘉福, 齐德利, 朱澈. 中国地貌区划新论. *地理学报*, 2013, 68(3): 291-306.
- [18] 刘光明. 中国自然地理图集. 北京: 中国地图出版社, 2010; 19-202.
- [19] 罗开富. 中国自然地理分区草案. *地理学报*, 1953, 20(4): 379-394.
- [20] 黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案. *地理学报*, 1958, 24(4): 348-365.
- [21] 张荣祖, 李炳元, 张豪禧, 刘林山. 中国自然保护区区划系统研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2012; 1-19.
- [22] 黄秉维. 地理学与跨学科的综合研究. *科学*, 1998, 50(5): 2-5.
- [23] 崔国发. 自然保护区学当前应该解决的几个科学问题. *北京林业大学学报*, 2004, 26(6): 102-105.
- [24] 唐小平. 中国自然保护区网络现状分析与优化设想. *生物多样性*, 2005, 13(1): 81-88.
- [25] 闫颜, 王智, 高军, 徐网谷, 蒋明康. 我国自然保护区地区分布特征及影响因素. *生态学报*, 2010, 30(18): 5091-5097.
- [26] 卢爱刚, 王圣杰. 中国自然保护区发展状况分析. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(11): 7-11.
- [27] 吴健, 刘昊. 中国自然保护区空间分布的经济分析. *自然资源学报*, 2012, 27(12): 2091-2101.
- [28] 郭子良, 崔国发. 中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标. *生态学报*, 2013, 33(19): 6264-6276.
- [31] 杨勤业, 郑度, 吴绍洪, 葛全胜. 20 世纪 50 年代以来中国综合自然地理研究进展. *地理研究*, 2005, 24(6): 899-910.
- [32] 侯学煜. 论我国自然生态区划及其大农业的发展(I). *中国科学院院刊*, 1988, (01): 28-37.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Advance in the study on drought index ..... LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops .....  
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem .....  
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web .....  
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China .....  
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining .....  
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the  
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ..... ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrissi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill  
sludge ..... CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

**Autecology & Fundamentals**

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi .....  
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* ..... XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil .....  
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy .....  
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice .....  
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress .....  
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices .....  
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses ..... LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...  
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents .....  
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant  
plants and soil in alpine meadow ..... LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses ..... XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

### Population, Community and Ecosystem

The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ..... ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)

Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ..... ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)

The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ..... ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)

Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland ..... LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)

Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China ..... LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

### Landscape, Regional and Global Ecology

The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation ..... GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)

Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years ..... MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)

Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought ..... LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)

Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 ..... DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

### Resource and Industrial Ecology

The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ..... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 象伟宁 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 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

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 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
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 WANG Rusong  
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 90.00 元