

# 全球及区域多尺度生态环境数据库建设

祁 曼<sup>1</sup>,郝建华<sup>2</sup>,冯仲科<sup>1\*</sup>,焦有权<sup>3</sup>,黄晓东<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 精准林业北京市重点实验室,北京 100083;2. 北京林业大学 苗圃与树木园管理办公室,北京 100083;  
3. 北京农业职业学院,北京 102442)

**摘要:**生态环境数据库构建是掌握各类生态环境因子精确空间分布规律的关键。以多尺度陆地边界域为研究区域,依1:100 000、1:10 000、1:2 000地形图进行梯形网格、矩形网格划分,按照国际分幅编号规则分别形成10.3万幅、7.37万幅、1.69万幅覆盖全球/全国/北京的格网数据,提取并整合森林植被覆盖数据、地形地貌数据、气候气象数据、土地土壤数据、大气污染物等多种生态环境因子信息,建立属性数据库,进而建成全球及区域多尺度生态环境格网数据库,便于进行多类型数据的时空分布规律研究,实现了现有多类型生态环境基础数据的科学有效管理及可视化表达。构建的多尺度生态环境数据库具有较强的实用性,已应用于森林植被生境因子空间变异研究及北京市可吸入颗粒浓度分布研究,为科研、教学及生产实践提供了可靠的数据支持,为今后进行多因子多维度空间分布模型研究奠定了基础。

**关键词:**生态环境;数据库;多尺度;格网划分

**中图分类号:**S711      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)05-0069-06

Construction of Global and Regional Multi-scale Ecological Environmental Database

QI Man<sup>1</sup>, HAO Jian-hua<sup>2</sup>, FENG Zhong-ke<sup>1\*</sup>, JIAO You-quan<sup>3</sup>, HUANG Xiao-dong<sup>1</sup>

(1. Precision Forestry Key Laboratory of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;  
2. Nursery and Arboretum Management Office, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;  
3. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

**Abstract:** The construction of the eco-environmental database is the key to understand the precise pattern of spatial distribution of all types of ecological environmental factors. This article utilized multi-scale land boundaries as research area, constructed gradient meshes and rectangular grids following the scale of 1:100 000, 1:10 000 and 1:2 000 topographic maps. Following international numbering rules, each scale formed 103 000 73 728 and 16 921 pictures of grid data, covering Beijing, China, and the world. The paper extracted and intergraded many environmental factors, such as forest area data, topography and geography data, climatology data, land and soil data, and atmosphere pollution data etc, to construct attribute database, to further form a global and multi-dimensional database, and to realize the visualization and effective management of multiple types of fundamental eco-environmental data. Through analyzing the data, the distribution pattern of different types of factors in time and space could also be learned. It was empirically proved that the results of the study could be effectively applied in areas such as the spatial variability of forest vegetation habitat factors and repairable particulate matter concentration distribution in Beijing, also could provide reliable data for research and education. Furthermore, it put up the base for multifactor and multi-dimensional distribution modeling.

收稿日期:2016-12-02 修回日期:2017-02-10

基金项目:青年教师科学研究中心长期项目“精准林业关键技术及装备研究”(2015ZCQ-LX-01)。

作者简介:祁 曼,女,在读硕士,研究方向:广义3S及其在林业方面的应用。E-mail:qiman@bjfu.edu.cn

\*通信作者:冯仲科,男,教授,博士生导师,研究方向:精准林业、测绘与3S技术集成。E-mail:fengzhongke@126.com

**Key words:** ecological environment; database; multi scale; grid partition

随着全球变化、地球圈层关系与机理、人地关系与环境效应等重大科学计划的进展,越来越需要经过多年沉淀和积累的科学数据资源支撑<sup>[1]</sup>。从广义的角度讲,生态资源是指能维护自然环境生态功能的一切物质、能量和信息的统称,它包括自然生态资源、经济生态资源和社会生态资源。从狭义的角度讲,生态资源又称为自然资源,包括地球表层的生物资源、水资源、土地资源以及围绕地球的大气资源等<sup>[2]</sup>。

目前,国家层面建立了地球系统科学数据共享平台,国家资源环境数据库,基础地理信息系统数据库,中国自然资源数据库,省市层面根据自身需求建立了中小区域尺度的生态环境数据库<sup>[3-10]</sup>。然而,我国生态环境数据库建设中仍存在3S技术与数据库集成度弱、数据质量差、数据规范化差、网络数据共享困难等问题<sup>[11-13]</sup>,不仅迫切需要用现代计算机技术系统地将各类数据资源整合、集成并建立空间数据库,而且需要科学管理和利用这些数据,为政府宏观决策、国土资源规划、生态环境改善、监测、治理和评价提供有用的信息和服务<sup>[14-15]</sup>。

因此,以生态环境数据为基础,地理信息系统为  
空间数据管理的计算机技术,格网化划分研究区域,  
可实现生态环境数据的管理和维护,进一步拓展管  
理系统的可视化应用,从而提高生态环境数据的利  
用效率<sup>[16-20]</sup>。

为满足现有层级多源异构生态环境基础数据科  
学管理、查询及方便应用于可视化表达、数据统计、  
森林生态、环境污染等领域的需求,解决现有生态环  
境数据库存在的集成度弱、数据质量差、不规范、共  
享困难等问题,本研究通过输入多源异构生态环境  
原始数据,利用格网理论建立梯形、正方形格网,分  
类处理森林植被覆盖数据、地形地貌数据、气候气象  
数据、土地土壤数据、大气污染物等,建立全球及区域  
多尺度生态环境格网数据库。

## 1 构建多级多尺度格网空间数据库

本文在全球、全国以及北京市3种不同尺度上建立生态环境数据库,利用格网理论对全球、全国、北京市的陆地面域进行划分。以全球、全国、北京多层次的陆地界域为研究区域,依1:100 000、1:10 000、1:2 000地形图进行梯形网格、矩形网格划分,按照国际分幅编号规则分别形成10.3万幅、7.37万幅、1.69万幅多层次的地形覆盖图。将空间数据划分成多个格网数据块,实现分块空间数

据的无缝连接,每幅格网图中均包含均质连续的各  
类生态环境属性数据,例如地形地貌因子、森林植被  
覆盖因子、气候气象因子、土地土壤因子、大气污染  
因子,不仅可以直接读取每个格网数据块中的属性  
信息,还能实现各类数据的可视化表达,便于进行数  
据后续的处理分析。

表 1 不同尺度格网创建

Table 1 Information of the creation of different scale nets

尺度	比例尺	格网类型	格网数/万幅
全球	1:100 000	梯形格网	10.3
全国	1:10 000	梯形格网	7.37
北京	1:2 000	矩形格网	1.69

全球尺度以整个地球陆地面域进行划分,为构建全球尺度1:100 000比例尺格网的自然资源数据库,每个格网规格大小设置为0.5度×0.333 3度。(图1)。

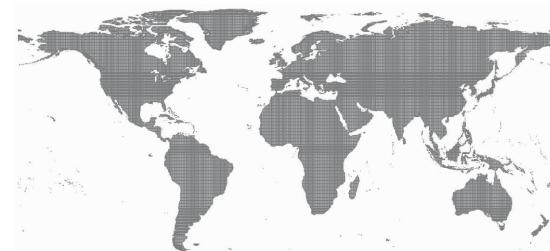


图 1 全球格网划分

Fig. 1 Creation of global grid

全国尺度是以全国陆地面域进行划分(图2)。  
对于中国大陆(包括海南省、台湾省)进行梯形格网  
划分,按照构建比例尺为1:1 000 000可将陆地面域  
划分为约80个格网;构建比例尺为1:100 000可将  
陆地面域划分为11 520个网格;构建比例尺为  
1:10 000可将陆地面域划分为73 728个网格。创  
建1:10 000的比例尺的矩形格网需设置格网规格  
为经度差3'45''、纬度差2'30''。

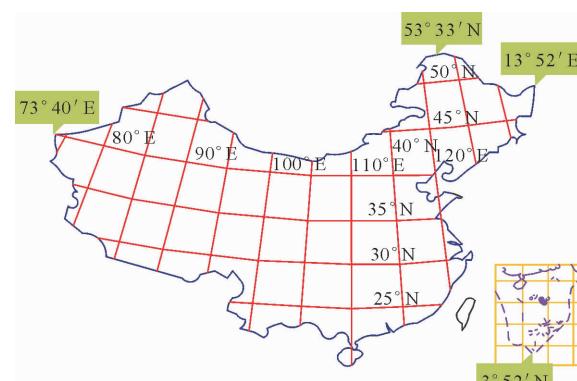


图 2 全国格网划分

Fig. 2 The national dimension large grid

北京市尺度是以北京行政边界划分的;依照1:2 000比例尺的地形图建立矩形格网,以北京54坐标系为参考,经优化分析,最终选定格网规格为1 km×1 km。对北京市的陆地面域进行格网创建,并根据北京市的矢量范围对创建后的格网进行裁剪,经裁剪后即可得到北京市的格网(图3),共计16 921个网格。

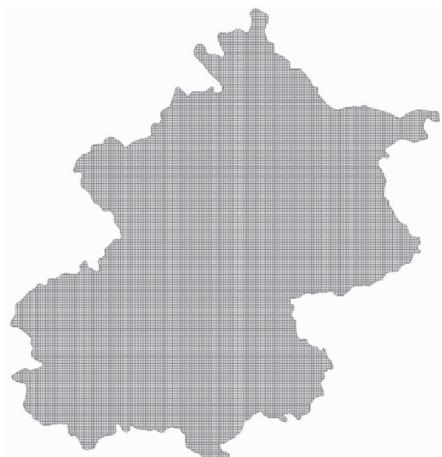


图3 北京市格网划分

Fig. 3 Beijing meshing creation

## 2 建立属性数据库

本文涉及的生态环境基础数据包括地形地貌数据、森林植被覆盖数据、气候气象数据、土地土壤数据、大气污染数据。

属性数据库的结构设计如表2所示(以地形地貌属性数据为例)。

表2 地形地貌属性数据结构

Table 2 Attribute data structure of terrain and landform

字段名称	含义	类型	有效性	主键
Object ID	空间要素实体	VarChar(100)	非空	是
Hmax	最大高程值	Float	非空	否
Hmin	最小高程值	Float	非空	否
Havg	平均高程值	Float	非空	否
SlpMax	最大坡度值	Float	非空	否
...	...	...	...	...

### 2.1 地形地貌数据

SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)数据是由美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)联合测量的,即航天飞机雷达地形测绘使命,获取的雷达影像数据经过处理,制成了数字地形高程模型,该数据可覆盖全球80%以上陆地表面,覆盖中国境内陆地面域。SRTM3为90M分辨率的数字地形高程模型数据,每5个经纬度方格提供1个文件,分块下载全球范围DEM数据。SRTM数据每5个经纬度方格提供1个文件,精度有1 arc-

second 和 3 arc-seconds 2 种,称作 SRTM1 和 SRTM3,或者称作 30M 和 90M 数据。本文使用的中国境内的 SRTM 文件,是由 9 个 30 m 的数据点算术平均得来的 90M 的数据。地形地貌属性包括最大高程值、最小高程值、平均高程值、最小坡度、最大坡度、平均坡度、坡向及其分布比率。

### 2.2 森林植被覆盖数据

为了对全球及区域的植被覆盖度进行不同尺度的研究,本文在国际科学数据服务平台上收集了近些年的 MODIS 遥感影像数据,提取林地的 NDVI 值<sup>[21-25]</sup>,从而反演出林地的植被盖度及类型(裸地、落叶阔叶林、草地、耕地、混交林、火烧迹地、生物量等)。

### 2.3 气候气象数据

利用 NOAA Earth System Research Laboratory(<http://www.esrl.noaa.gov/>)提供的气象数据,将全球气象数据进行数据库的录入,主要包括降雨量及气温,建立属性数据库。最大降雨量、最小降雨量、平均降雨量、最高气温、最低气温、平均气温等属性数据。

### 2.4 土地土壤数据

土地利用类型数据,GlobCover 为分辨率 300 米的全球陆地覆盖数据,数据格式为 TIF。GlobCover 全球陆地覆盖数据的原始数据来自 Envisat 卫星,由 MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) 传感器拍摄完成。数据生成过程中,主要选取 MERIS 传感器在 2009 年期间所接收的较高质量的影像数据进行信息提取。

土壤属性包括土壤类型、土层厚度、母质类型、有机质最高值、有机质最低值、磷含量最大值、磷含量最小值、全磷等级、钾含量最大值、钾含量最小值。以上数据均由全国各类数据专题图册矢量化获取。

### 2.5 大气污染数据

大气污染插值数据来源于环境监测站公开的数据资源,监测数据包括 PM<sub>2.5</sub>(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、PM<sub>10</sub>(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、一氧化碳(CO)(单位: $\text{mmg}/\text{m}^3$ )和臭氧(O<sub>3</sub>)(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),共 6 种污染物的浓度数据。

## 3 生态环境数据库建设

本数据库建设采用 ArcSDE 为空间数据管理层,Oracle 关系型数据库管理系统为基础属性数据库,实现图形数据和属性数据的一体化管理。

本文生态环境数据库的建设主要包括数据库管理、数据入库、数据查询与应用三大模块<sup>[25]</sup>(图4)。

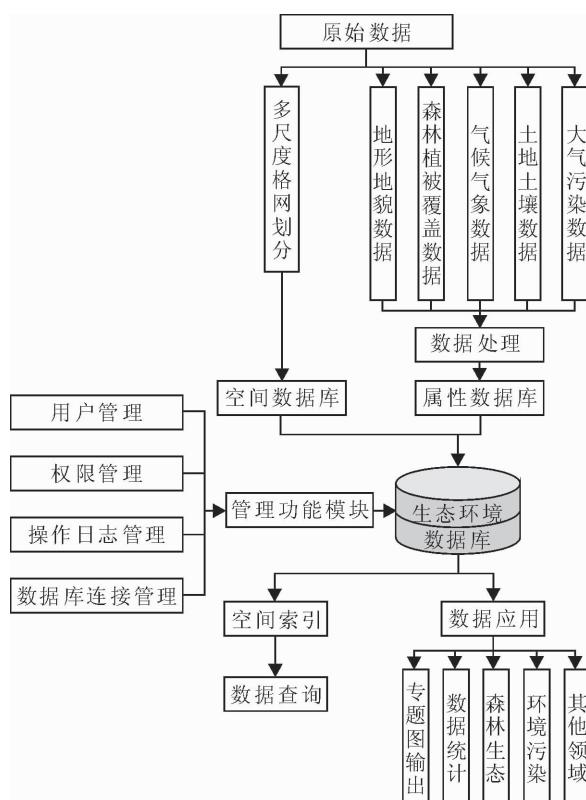


图 4 生态环境数据库设计

Fig. 4 Ecological environment database module design

其中,数据库管理主要实现用户管理、权限管理、操作日志管理、数据库连接等基础管理功能。

数据入库模块,使用栅格镶嵌、格网创建、重采样、配准、定义投影、矢量化、掩膜裁剪、融合等相关技术<sup>[26-27]</sup>处理属性数据,并按格网分块的空间数据组织方式,一个空间数据库中的格网对应属性数据表中的一条记录,完成数据入库。

在数据查询模块中,建立空间数据格网索引,如图 5 所示,通过空间索引文件,建立数据块范围与存储位置之间的关系,实现目标信息快速查询。

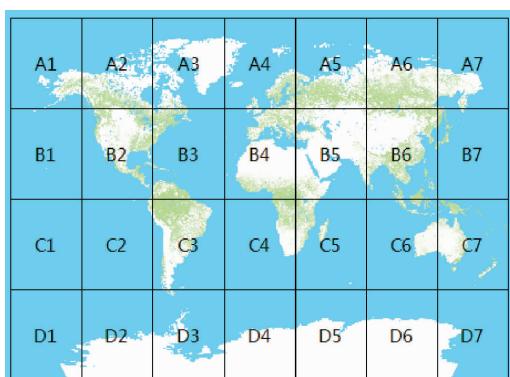


图 5 全球尺度格网索引示意图

Fig. 5 Sketch map of global grid index

生态环境数据库应用模块,实现了各类生态环境专题数据的可视化表达,还可进行数据的统计分

析,综合研究各类生态环境因子的时空分布规律。

如图 6 所示为数据库运行主要界面。

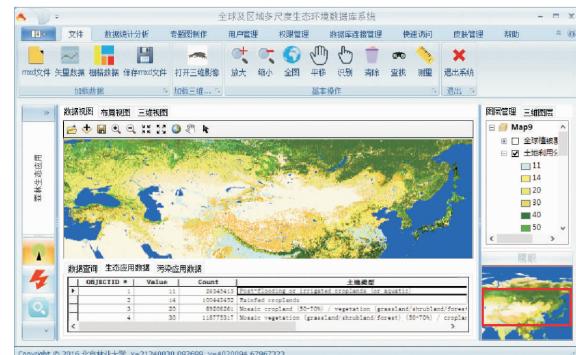


图 6 数据库运行主界面

Fig. 6 Main interface of database to run

## 4 全球/区域生态环境数据库应用实例

### 4.1 全球/全国生态环境专题图

基于本文构建的多尺度生态环境数据库,实现多源生态环境数据的可视化成图,将植被盖度、植被覆盖类型、土地利用类型、降雨量分布等生态环境要素及其对应空间属性直观表达于各类专题图中(图 7),可有效理解生态环境要素的空间分布规律。

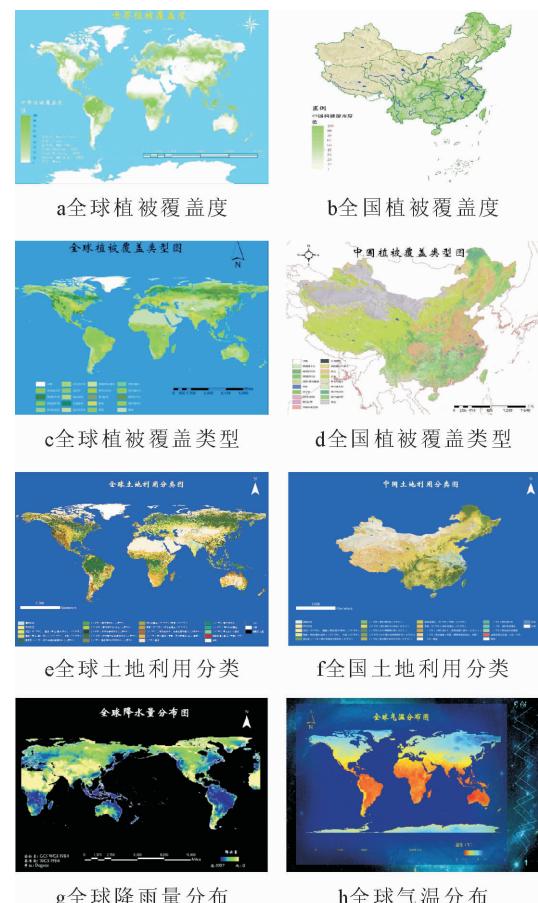


图 7 全球/全国尺度生态环境数据专题

Fig. 7 The layout diagram of global and national scale factors

## 4.2 森林植被生境因子空间变异研究

以中国大陆为研究区域,综合森林植被、土壤地类,气候气象和地形地貌属性数据,可进行森林植被的生境因子空间变异的分析研究。以本文所建立的格网生态环境数据库为基础,通过空间分析,包括欧式距离、标准差椭圆 SDE 分析、空间插值法及聚类分析等,综合分析水文气象、森林土壤和地形地貌等关键因子,可得到各因子最优分布模型,为中国大陆地区的森林环境与关键生境因子的关联性、森林植被适宜生存区间在格网划分下的地理范畴研究奠定一定理论储备和实践基础。

气象因子是影响植被生境空间变异的重要因素,通过气象因子的空间分布规律研究,由欧式距离计算可获得气象因子空间分布变异的趋势模型。以气象因子中的平均降水量为例,如表 3 所示,为平均降水量空间变异趋势模型,经全国范围矩形网格的平均降水量空间分析结果表明,该值在经向的变异度为 86.2,纬向空间变异度(欧式距离)为 86.0;在对平均降雨量的空间数据分别建立径向和纬向趋势模型并进行参数分析发现,全国尺度的平均降水量三阶趋势模型能比较准确地反映平均降水量的径向和纬向各向异性<sup>[28]</sup>。

表 3 平均降水量空间趋势模型

Table 3 Spatial trend model of average rainfall

阶数	走向	模型表达式
一阶	纬向	$p\bar{A}VG = -43.483y + 2199.199$
	经向	$p\bar{A}VG = 19.580x - 1419.007$
二阶	纬向	$p\bar{A}VG = 7.777y^2 - 318.068y + 6994.636$
	经向	$p\bar{A}VG = -0.580x^2 + 139.523x - 7497.762$
三阶	纬向	$p\bar{A}VG = 0.038y^3 - 0.36y^2 - 1134.836y + 35531.059$
	经向	$p\bar{A}VG = -0.04x^3 + 11.835x^2 - 1134.836x + 35531.059$

## 4.3 北京市可吸入颗粒浓度分布研究

本文以北京市 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布为示例,制作 0:00—24:00 北京市 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布专题图(图 8)。数据采用 2015 年 4 月 7 日北京市 PM<sub>2.5</sub> 数据。

以本文构建的北京市生态环境格网数据库为基础,针对空气质量指标,包括空气中可吸入颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 以及平均温度、平均降雨量等,结合北京市森林植被分布,利用空间距离相关法,不仅可量化研究植被覆盖分布对大气污染的缓解效应,还可研究各类生态因子对环境的综合效应<sup>[29]</sup>。

## 5 结论与讨论

利用格网理论划分全球、全国、北京多尺度地形图,并在此基础上汇总了丰富的生态环境基础数据,建立多因子属性库,从而构建全球及区域多尺度生

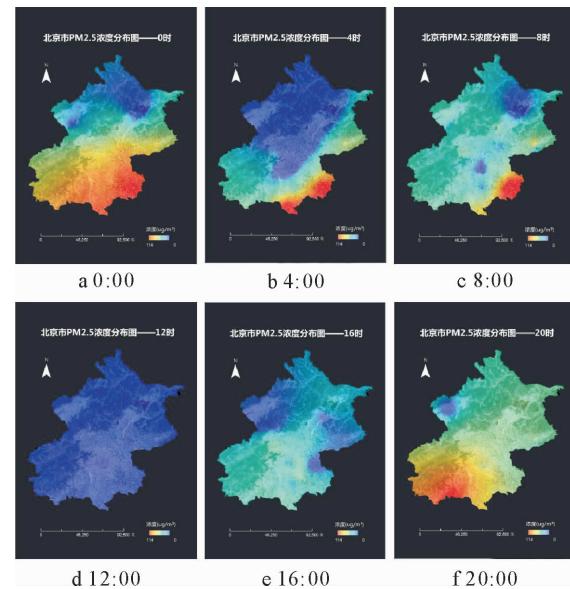


图 8 北京市 2015 年 4 月 7 日 PM<sub>2.5</sub> 浓度动态分布

Fig. 8 Dynamic data of PM<sub>2.5</sub> in April 7, 2015 in Beijing  
生态环境数据库。

本文构建的多尺度格网空间数据库,将全球/全国/北京地形图数据按分块空间数据组织方式划分成格网数据块,可直接读取每幅格网图中均质连续的各类生态环境属性数据,同时实现各类数据的可视化表达。

属性数据库归纳整理了覆盖全球、全国及北京各级尺度且类型丰富的生态环境数据,科学有效地管理现有生态环境基础数据,便于进行多类型数据的综合统计分析。

本文构建的多尺度生态环境数据库具有较强的实用性,已应用于森林植被生境因子空间变异研究及北京市可吸入颗粒浓度分布研究,为今后进行生态环境多因子多维度空间分布模型研究奠定了基础。本数据库成果可为科研、教学及生产实践提供数据支撑和参考,为相关科研提供思路和服务。

## 参考文献:

- [1] 王卷乐,诸云强,谢传节. 地球系统科学数据共享网络平台的设计和开发[J]. 地学前缘,2006(3):54-59.  
WANG J L,ZHU Y Q,XIE C J. Network platform design and development for earth system science data sharing[J]. Earth Science Frontiers,2006(3):54-59. (in Chinese)
- [2] 刘武琼. 河北省生态资源数据库的构建与元数据规范模式研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2011:12.
- [3] 王卷乐,孙九林. 地球系统科学数据共享标准规范体系研究与应用[J]. 地理科学进展,2009(6):839-847.  
WANG J L,SUN J L. Study on scientific data sharing standards and specifications system for earth system science and its application[J]. Progress in Geography,2009(6):839-847. (in Chinese)

- [4] 马新明,许鑫,席磊,等.基于元数据的农田信息存储、管理和共享[J].农业工程学报,2010(11):209-214.  
MA X M, XU X, XI L, et al. Storage, management and sharing of farmland information based on metadata[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transaction of the CSAE), 2010(11): 209-214. (in Chinese)
- [5] 张定祥,李宪文,杨冀红.基于高光谱和高分辨率影像的土地利用数据库更新研究[J].农业工程学报,2004(6):272-276.
- [6] 冯永忠.西北地区农业、资源、环境、生态数据库系统[D].杨陵:西北农林科技大学,2003.
- [7] 廖克,陈文惠,陈毓芬,等.生态环境综合信息图谱的初步研究——以福建省为例[J].测绘科学,2005(6):12-15,4.  
LIAO K, CHEN W H, CHEN Y F, et al. Study of ecological environment comprehensive informatic tupu[J]. Science of Surveying and Mapping, 2005(6): 12-15, 4. (in Chinese)
- [8] 李旭霖,隋鹏飞,郝晋珉.县域农田生态环境质量监测数据库的设计与建立[J].生态环境,2003(3):303-308.  
LI X L, SUI P F, HAO J M. County farmland eco-environmental quality monitoring database design and build[J]. Ecology and Environment, 2003(3): 303-308. (in Chinese)
- [9] 周勇,张海涛,R. V. Birnin,等.土壤资源与生态环境数据库的建立及应用——以三峡库区秭归县为例[J].土壤学报,2002(5):653-663.  
ZHOU Y, ZHANG H T, BIRNIN R V, et al. Establishment and application of land resources and eco-environment database——a case study on Zigui country in the three gorges area [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002(5):653-663. (in Chinese)
- [10] 闫丽洁,安春华,杨瑞霞,等.河南省资源环境数据库系统设计[J].地域研究与开发,2011(4):145-148.
- [11] 郭文聚,王志刚.农用地分等国家级数据库系统总体设计与关键技术[J].农业工程学报,2005(4):61-64.
- [12] 曾国金,凡宸,邓焕祥,等.基于ArcSDE和ArcServer的生态环境数据库的构建[J].环境科学与技术,2014(Supp. 1):339-345.  
ZENG G J, FAN C, DENG H X, et al. Construction of eco-environmental database based on arcsde and arcserver [J], Environmental Science & Technology, 2014, 37 (Supp. 1): 339-345. (in Chinese)
- [13] 黄宽.鄱阳湖流域生态数据库和信息共享平台功能设计与实现[D].抚州:东华理工大学,2013.
- [14] 刘荣梅.中国多目标区域地球化学调查数据库建设研究[D].北京:中国地质大学,2013.
- [15] SULONG I, MOHD-LOKMAN H, MOHD-TARMIZI K, et al. Mangrove mapping using landsat imagery and aerial photographs: kemaman district, terengganu, malaysian environment [J]. Development and Sustainability, 2002(4):135-152.
- [16] 孙伟,侯瑞霞,庞丽峰,等.荒漠化和沙化监测数据库框架设计与应用[J].西北林学院学报,2012(6):139-145.  
SUN W, HOU R X, PANG L F, et al. Framework design and application of desertification and sandification monitoring database[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012 (6):139-145. (in Chinese)
- [17] 马宇龙.基于GIS的生态环境数据管理系统的建设与研究[D].西安:西北大学,2014.
- [18] 陈志强.区域多尺度LUCC及空间数据库研究[D].福州:福建师范大学,2006.
- [19] 李明阳,刘方,徐婷,等.基于GIS的森林资源空间数据挖掘方法研究——以紫金山为例[J].西北林学院学报,2012(3):180-186.  
LI M Y, LIU F, XU T, et al. Mining of spatial data of forest resources based on GIS——a case study of Zijin Mountain [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012(3): 180-186. (in Chinese)
- [20] 傅仲良,吴建华.多比例尺空间数据库更新技术研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2007,12:1115-1118,1146.  
FU Z L, WU J H. Update technologies for multi-scale spatial [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 12: 1115-1118, 1146. (in Chinese)
- [21] 冯仲科,毛海颖,于景鑫.我国森林植被遥感调查及建库研究[J].地理信息世界,2013(6):6-12.  
FENG Z K, MAO H Y, YU J X. Database researches and forest vegetation survey based on remote sensing [J]. Geomatics World, 2013(6): 6-12. (in Chinese)
- [22] 贾哲,秦安臣,赵志江,等.狼牙山森林公园旅游资源数据编码及数据库建立研究[J].西北林学院学报,2009(2):181-184.  
JIA Z, QIN A C, ZHAO Z J, et al. Data coding and database building of tourism resources in Langya Mountain Forest Park [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009 (2):181-184. (in Chinese)
- [23] 纪亚洲,顾和和,李保杰.基于多层次感知器神经网络的土地利用数据库更新模型及应用[J].农业工程学报,2015(7):227-237.  
JI Y Z, GU H H, LI B J. Updating model for land use database based on multi-layer perception network and its application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transaction of the CSAE), 2015(7): 227-237. (in Chinese)
- [24] 谢绍锋,肖顺.森林资源时态GIS数据存储与时空分析方法研究[J].西北林学院学报,2011(1):181-186.  
XIE S F, XIAO H S. Storage and spatio-temporal analysis of forest resources temporal GIS data [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011(1):181-186. (in Chinese)
- [25] 肖鸣.基于Geodatabase的空间数据库系统设计与实现[D].武汉:武汉大学,2005.
- [26] 郭琳,王飞,张寅,等.农作物遥感监测业务管理系统设计与实现[J].农业工程学报,2013(3):132-138.
- [27] 余明,廖克,李春华.福建生态环境信息图谱数据库系统设计与实现[J].地球信息科学,2005(4):117-121.  
YU M, LIAO K, LI C H. The study of database system building and realization on the environmental complex information TUPU in Fujian Province[J]. Geo-Information Science, 2005 (4):117-121. (in Chinese)
- [28] 焦有权.森林植被生境因子空间变异及生境适宜性研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [29] 冯仲科,毛海颖,李虹.环首都圈植被分布与可吸入颗粒物的空间相关性[J].农业工程学报,2015(1):220-227.  
FENG Z K, MAO H Y, LI H. Spatial correlation between vegetation distribution and respirable particulate matter around capital region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transaction of the CSAE), 2015 (1):220-227. (in Chinese)