

# 基于 GIS 的江苏省水土保持区划方法

王新军<sup>1,2</sup>, 曹磊<sup>2</sup>, 吴颖超<sup>2</sup>, 汤建熙<sup>3</sup>, 赵言文<sup>2</sup>

(1. 常州工学院 艺术与设计学院, 江苏 常州 213002;

2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 3. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 江苏省水土保持区划是为了弥补全国水土保持 3 级区划在江苏省水土保持上的不足, 从而更有效地开展水土保持管理。结合江苏省的特点构建江苏省区划的指标体系, 并通过主成分分析方法对指标体系的要素指标进行降维, 结合 GIS 软件绘制江苏省指标体系中自然、社会经济、土地利用和水土流失 4 个要素分布图, 并运用层次分析法得到各个要素的权重, 在 GIS 软件中使用有条件栅格图像叠置法完成 4 个要素层的叠置, 对叠置成果层的栅格图像进行数据的重分类, 初步完成了江苏省水土保持的定量区划。该方法可提高水土保持区划的效率和准确性, 在一定程度上弥补水土保持区划主观定性的不足。

**关键词:** 水土保持区划; 水土保持; 地理信息系统; 主成分分析法; 层次分析法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)03-0130-05

中图分类号: S157

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.025

## Regionalization Method of Soil and Water Conservation in Jiangsu Province Based on GIS

WANG Xin-jun<sup>1,2</sup>, CAO Lei<sup>2</sup>, WU Yin-chao<sup>2</sup>, TANG Jian-xi<sup>3</sup>, ZHAO Yan-wen<sup>2</sup>

(1. *Changzhou Institute of Technology, School of Art and Design, Changzhou, Jiangsu 213002,*

*China; 2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing,*

*Jiangsu 210095, China; 3. Water Conservancy Department of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210095, China)*

**Abstract:** The regionalization of soil and water conservation in Jiangsu Province is to make up for the deficiencies of the third level of national regionalization in Jiangsu Province and thus to manage soil and water conservation in the province more efficiently. This paper builds the index system of regionalization in accordance with the characteristics of Jiangsu Province, simplifies the factors' indexes by principal component analysis method, and draws, with the aid of GIS software, the distribution maps of the four major factors, namely nature, economy and society, land use, and soil and water loss. In the maps, the analytic hierarchy process(AHP) is employed to get the weight of each factor, and the conditional raster image overlay method is used to complete the superposition of the four factors with GIS software. The resulted raster images are reclassified and thus the quantitative division of soil and water conservation in Jiangsu Province is finished. This method can improve the efficiency and accuracy of the regionalization of soil and water conservation in Jiangsu Province and make up for the deficiency of subjectivity in the current regionalization.

**Keywords:** regionalization of soil and water conservation; soil and water conservation; GIS; principal component analysis; AHP

水土保持区划是水土保持规划的重要内容, 为生态环境建设和区域管理发展提供科学的依据。水土保持区划是在全面了解区域自然地理、生态环境、水土流失特征和区域发展条件等基础上, 做到水土保持

工作分区、分类指导, 因地制宜, 分层次, 有重点地监控和管理, 为区域可持续发展制定科学规划<sup>[1]</sup>, 实现水土保持措施合理布局和资源最优配置, 促进区域生态环境、经济和社会可持续发展。

收稿日期: 2013-07-04

修回日期: 2013-07-26

资助项目: 江苏省水利科技项目“江苏省水土保持规划专题研究”(2012031)

作者简介: 王新军(1978—), 男(汉族), 江苏省常州市人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为生态环境规划与设计、水土保持。E-mail: 670035337@qq.com。

通信作者: 赵言文(1965—), 男(汉族), 江苏省睢宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持、环境生态学、环境影响评价研究。E-mail: ywzhao@njau.edu.cn。

20 世纪 50 年代黄秉维<sup>[2]</sup>在《中国自然区划》中编制的“黄河中游流域土壤侵蚀图”可以看作中国水土保持区划起步。水土保持区划方法随着科学技术的进步不断完善,1990 年,张汉雄<sup>[3]</sup>选择了 7 个指标使用模糊聚类法对陕西安塞县进行了水土保持分区;2008 年张超<sup>[4]</sup>运用层次分析法、系统聚类法,完成了中国水土保持区划,建立了水保区划框架;魏晓等<sup>[5]</sup>依据宁夏地域差异类型及防治措施进行了水土保持区划。以土壤侵蚀类型、地域差异类型等进行区划指导水土保持工作,取得了较好的实际应用效果,但存在方法指标单一、主观定性偏重等不足<sup>[6]</sup>。

国外在水土保持区划方面开展的研究较少。以往的区划方法缺乏对社会经济因素的考虑,以自然边界为界限,没有考虑行政区划的完整性,分级不够详尽,命名不规则,不符合新时期区划的要求<sup>[7]</sup>。

本研究构建了江苏省水土保持区划指标体系,在对区划指标运用主成分方法降维后,结合 Arcmap 9.3 对江苏省水土保持区划进行了量化分析。

江苏省境内共有 2 个全国 I 级分区(北方土石山区、南方红壤区),3 个 II 级分区(泰沂及胶东山地丘陵区、华北平原区、江淮丘陵及下游平原区)和 7 个 III 级分区(太湖丘陵平原水源涵养人居环境维护区、沿江丘陵岗地农田防护人居环境维护区、江淮丘陵岗地农田防护保土区、江淮下游平原农田防护水质维护区、鲁中南低山丘陵土壤保持区、黄泛平原防风固沙农田防护区、淮北平原岗地农田防护土壤保持区)。III 级分区涉及的行政分区较多、面积较大、自然地理、水土流失、经济发展与社会发展状况较为复杂。

为了更有效地开展水土保持的监控和管理,合理布局水保措施和资源配置,促进生态环境和经济、社会的可持续发展。江苏省在全国水土保持 III 级区划的基础上,展开了以乡镇为基础行政单元的水土保持区划。

从自然、社会经济、土地利用和水土流失 4 个方面选取了 22 个指标进行水土保持区划,使用主成分分析方法对各类指标进行降维,运用 GIS 软件的空间分析功能绘制各类因子的分布图,通过层次分析法得到各类因子的权重,结合叠图法和重分类法计算出水土保持区划的初步划分成果。

## 1 研究的数据与图件来源

### 1.1 研究的数据来源

江苏省水土保持区划指标层的数据主要来源:

(1) 自然要素中的平均海拔数据是通过地理信息系统(GIS)从江苏省 30 m 分辨率的数字高程模型

(DEM)中提取,年均降水量和年均气温来源于江苏省统计年鉴和各县的政府网站,其他数据均来源于市级水利主管部门经统计上报的数据。

(2) 社会经济统计数据来源于江苏省统计年鉴和江苏省市级水利主管部门经统计上报的数据。

(3) 土地利用数据为 2010 年江苏省各地土地利用数据,来源于市级水利主管部门经统计上报的数据。

(4) 水土流失数据来源于江苏省水土流失定量监测成果。

以上数据均基于江苏省乡镇级的行政单元,共 1 432 个行政单元、31 504 个数据。水土流失数据采用 2012 年数据,其他均为 2010 年数据。

### 1.2 研究使用的图件

本研究采用的图件有 1:5 万的江苏省行政区图(乡镇界),用于确定乡镇边界及研究结果的统计分析;江苏省 30 m 分辨率的 DEM 用于提取平均海拔数据。

## 2 指标体系的构建和指标层的降维

### 2.1 指标体系的构成

水土保持是一项复杂的系统工程,它不仅受自然因素的影响,也受社会经济因素的影响,土地利用变化也能引起一系列自然现象和生态过程的变化<sup>[8]</sup>。水土保持影响因素包括自然、社会和经济等多个方面,而对水土保持影响因子的分析,实质上是一个多因素、多指标综合作用的系统分析。根据水土保持区划体系结构,将水土保持区划指标体系分为 4 个层次,包括目标层(A)、要素层(B)、因子层(C)和指标层(D)。其中,要素层(B)包括自然要素( $B_1$ )、社会经济要素( $B_2$ )、土地利用要素( $B_3$ )和水土流失要素( $B_4$ );因子层(C)由各项指标构成,如地形地貌因子( $C_1$ )等;指标层(D)是水土保持各影响因素的具体体现,根据江苏省具体情况进行选择确定(表 1)。

### 2.2 数据指标层的降维

(1) 主成分分析的原理。主成分分析,又称主组元分析、主分量分析,它是利用变量族的少数几个线性组合(新的变量族)来解释多维变量的协方差结构,挑选最佳变量子集,简化数据,揭示变量间关系的一种多元统计分析方法<sup>[9]</sup>。使用主成分方法进行数据降维处理,可以把多个具有一定相关性的指标约化为少数几个综合指标。

(2) 要素层的主成分分析。本文中使用的 SPSS 18.0 软件对原始数据要素层指标进行主成分分析,以自然要素指标为例分析主成分分析步骤如下:

①先在 SPSS 软件下建立自然要素各指标的数据文件。

②执行“分析 | 降维 | 因子分析”命令,其中“抽取”对话框中方法选择“主成分法(Principal compo-

nents)”,抽取因子数量为 5,保证抽取的主成分的累积贡献率大于 85%。“得分”对话框中选择“保存为变量”将会把原始数据经标准化处理后,保存为新的变量,方法选择“回归”。

表 1 江苏省水土保持区划指标

目标层	要素层	因子层	指标层
江苏省 水土保持 区划 指标 (A <sub>1</sub> )	自然要素(B <sub>1</sub> )	地形地貌因子(C <sub>1</sub> )	平均海拔(D <sub>1</sub> )
			丘陵山区面积比例(D <sub>2</sub> )
		气候因子(C <sub>2</sub> )	年均降水量(D <sub>3</sub> )
			年均气温(D <sub>4</sub> )
		植被因子(C <sub>3</sub> )	林草覆盖率(D <sub>5</sub> )
		地面组成物质因子(C <sub>4</sub> )	沙土面积比例(D <sub>6</sub> )
		水文因子(C <sub>5</sub> )	水域面积比(D <sub>7</sub> )
	社会经济要素(B <sub>2</sub> )	人口因子(C <sub>6</sub> )	人口密度(D <sub>8</sub> )
		经济因子(C <sub>7</sub> )	人均 GDP(D <sub>9</sub> )
			第一产业生产总值比例(D <sub>10</sub> )
			第二产业生产总值比例(D <sub>11</sub> )
	土地利用要素(B <sub>3</sub> )	各类用地比例因子(C <sub>8</sub> )	耕地比例(D <sub>12</sub> )
			草地比例(D <sub>13</sub> )
			林地比例(D <sub>14</sub> )
			未用地比例(D <sub>15</sub> )
			建设用地比例(D <sub>16</sub> )
	水土流失要素(B <sub>4</sub> )	水土流失类型因子(C <sub>9</sub> )	微度土壤侵蚀面积比(D <sub>17</sub> )
			轻度土壤侵蚀面积比(D <sub>18</sub> )
			中度土壤侵蚀面积比(D <sub>19</sub> )
			强度土壤侵蚀面积比(D <sub>20</sub> )
			极强度土壤侵蚀面积比(D <sub>21</sub> )
			烈度土壤侵蚀面积比(D <sub>22</sub> )

③由主成分分析总方差表的分析结果可知,提取的前 5 个主成分的累积贡献率为 89.245%,大于 85%,因此自然要素可提取 5 个主成分,表达的信息为原信息量的 89.245%,从而使自然要素的指标由 7 个减少到 5 个,实现了降维。

④根据主成分对应的方差贡献率计算第 1,2,3,4,5 主成分的权重分别为 0.32,0.25,0.16,0.14,0.12。

⑤由主成分分析得到的旋转成分矩阵能简化因子的解释。第 1 主成分在年均降水量(D<sub>3</sub>)、年均气温(D<sub>4</sub>)上有较大载荷,第 1 主成分命名为气候因子;第 2 主成分在平均海拔(D<sub>1</sub>)、丘陵山区面积比例(D<sub>2</sub>)上载荷较大,主要反映丘陵带来的差异,第 2 主成分命名为地形因子;第 3 主成分主要表现在林草覆盖率(D<sub>5</sub>)指标上,因此第 3 主成分命名为林草覆盖因子;第 4 主成分主要表现在沙土面积比(D<sub>6</sub>)指标上,因此第 4 主成分命名为土壤质地因子;第 5 主成分主要表

现在水域面积比(D<sub>7</sub>)指标上,因此第 5 主成分命名为水域因子(表 2)。

表 2 旋转成分矩阵

项目	主成分				
	1	2	3	4	5
平均海拔	-0.23	0.91	0.01	0.05	0.02
年均降水	0.90	-0.26	0.03	-0.04	0.01
年均气温	0.92	0.07	-0.06	-0.05	0.08
林草植被覆盖率	-0.06	0.12	0.96	0.01	-0.04
丘陵山区面积比	0.15	0.65	0.42	-0.23	-0.17
水域面积比	0.08	-0.05	-0.06	-0.03	0.99
沙土面积比	-0.07	-0.05	-0.01	0.99	-0.35

(3) 将主成分分析后 SPSS 自动另存的标准化的指标数据乘以相应的权重得出各因子层的主成分得分,将各因子层主成分得分相加即得到要素层的综合得分。按照此方法分别求得其他 3 要素:社会经济要素、水土流失要素和土地利用要素层的综合得分,作

为 GIS 处理的地理数据。

$$S_N = X_1 \times 0.32 + X_2 \times 0.25 + X_3 \times 0.16 + X_4 \times 0.14 + X_5 \times 0.12 \quad (1)$$

式中:  $S_N$ ——自然因子的综合得分;  $X_1, X_2, \dots, X_5$ ——降维过程中原始数据经标准化处理后保存的变量。

### 3 基于 GIS 的要素层空间分析

GIS 是为解决资源与环境等全球性问题而发展的以地理空间数据库为基础,由计算机硬件、软件组成的高新技术系统,具有采集、处理、分析、建模和显示空间数据等功能<sup>[10]</sup>。将地理信息数据与 GIS 相结合进行水土保持区划,可以快速、准确地完成数据的处理,直观地显示出区划结果,便于调整和修改,提升区划工作的质量和效率。

江苏省水土保持区划在上述数据分析的基础上进行,结合 Arcmap 9.3 完成数据的空间分析。首先将 4 要素的综合得分与江苏省乡镇边界的行政区划图进行数据连接,在 Arcmap 中使每个乡镇的属性数据表中都有自然要素、社会经济要素、土地利用要素和水土流失要素的综合得分属性;第二步,利用 Arcmap 的空间分析功能分别绘制 4 个要素的空间分布栅格图,通过该图能够显示个各要素在江苏省乡镇行政单元上的分布情况;第三步,通过层次分析法确定 4 个要素的权重关系,使用 Arcmap 进行有条件的栅格图像叠置,形成 4 个要素的叠置成果图,由于该图数值分布区间较分散,无法直观地反映区划成果因此需要进行数值的重分类;最后,使用重分类生成初步的区划成果。

#### 3.1 GIS 乡镇行政区的空间连接

将 SPSS 主成分分析得到的 4 要素的综合得分与江苏省乡镇行政边界的电子地图相结合进行空间分析,首先要将处理的综合得分与乡镇行政边界的电子地图属性数据表进行连接。在 Arcmap 中打开江苏省乡镇边界的电子地图,在图层的属性表中使用的 Option | Joins and Relates | Join 完成操作,该步骤需要将地图中的乡镇与数据中的乡镇名称顺序相对应。

#### 3.2 生成各要素的空间分布栅格图

将 4 个要素的综合得分与江苏省乡镇行政区划图相连接,在 Arcmap 中可以使用该得分绘制各要素的空间分布图(附图 5),执行 ArcToolbox 中的“Convert tools | To Raster | Feature To Raster”命令,分别对 4 个要素的综合得分转换为栅格数据集。

附图 5 中色相和亮度相同的区域从数据上表示具有相近的数据区间,区划意义表示为具有相近的功能属性,而色相和亮度不同的区域数据上表示数据区间差异,区划意义上表示为功能属性存在较大的差异。

#### 3.3 GIS 图层的空间叠置

空间叠置分析主要用于两层或多层以上的数据图层生成新的数据图层,从数据结构角度看有栅格叠置和矢量叠置,从叠置条件看有条件叠置和无条件叠置<sup>[11]</sup>。水土保持区划中应用的有条件栅格叠置,以各因子的权重构成的算数表达式作为叠置条件。

3.3.1 层次分析法(AHP)确定各因子权重 AHP (analytic hierarchy process)是美国运筹学家萨迪于 20 世纪 70 年代提出,是一种定性定量分析相结合的多目标决策分析方法,通过两两对比的方式确定层次中诸因素的相对重要性顺序<sup>[12]</sup>。运用 AHP 确定权重的步骤如下<sup>[13]</sup>:

(1) 对问题涉及的因素进行分类,构造一个各因素之间相互联结的层次结构模型。

(2) 构造两两比较的判断矩阵,采用 1—9 及其倒数的标度方法,对重要性程度进行量化。

(3) 通过判断矩阵计算准则权重,并进行一致性检验。

(4) 计算各层元素对系统目标的合成权重,进行排序。

由于将人的判断与数量相结合,肯定会存在误差,反映了估计结果与标度的不一致,因此通过公式(2)对判断矩阵的一致性进行判断:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

式中:CI——一致性标准;  $\lambda_{\max}$ ——判断矩阵的最大特征值;  $n$ ——判断矩阵的维数。当一致性标准  $CI = 0$  时,为完全一致,CI 值越大,判断矩阵的完全一致性就越差。引入平均随机一致性指标 RI,并取 CR 为衡量矩阵一致性的指标:

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

一般情况下  $CR \leq 0.1$ ,则可认为判断矩阵的一致性可以接受,否则应修正判断矩阵。

研究中为了计算江苏省水土保持区划的自然要素、社会经济要素、土地利用要素、水土流失要素的权重,首先构建各个要素的判断矩阵,按重要性的赋值区间为 1—9 及其倒数,进入 AHP 计算软件中计算出各要素的权重(表 3)。

经过验证 CR 值为 0.021 2 < 0.1,因此由该判断矩阵得到的江苏省水土保持区划的各要素的权重可以被接受。

表 3 层次分析法计算矩阵及权重

水土保持区划	自然要素	社会经济要素	土地利用要素	水土流失要素	$W_i$
自然要素	1.00	4.00	5.00	2.00	0.49
社会经济要素	0.25	1.00	2.00	0.33	0.12
土地利用要素	0.20	0.50	1.00	0.20	0.07
水土流失要素	0.50	3.00	5.00	1.00	0.32

注: $W_i$ 为权重;判断矩阵一致性指标CR为0.0212,对总目标的权重为1.0。

3.3.2 要素层的有条件栅格叠置 借助GIS软件平台与各要素的权重,将江苏省水土保持区划4个组成要素的分布图进行栅格叠置,计算机按照各要素图层的权重逐像元进行计算,可以得到由4要素栅格图叠置的结果图。在Arcmap中使用“Spatial Analysis | Raster Calculator”工具,将AHP的权重( $W_i$ )输入图层叠置的计算公式。栅格叠置的结果图是连续区间的具有数值的栅格图像(见附图6)。

3.3.3 图层叠置的重分类计算 GIS绘制的区划成果需要符合水土保持区划的区内相似性和区间差异性、区域连片的特性,而由图层叠置产生的结果是具有连续区间的栅格图像,无法满足区划的要求。因此对叠置结果进行处理,将栅格图像中的数值进行聚类,设定相应的数据区间,使数值相近的聚成一类,即可实现区划的目标。使用Arcmap中的Spatial Analysis | Reclassify工具,选择图层叠置的结果图层,使用Standard Deviation的方法进行重分类,江苏省水保区划的叠图结果被划分成6个数据区间进行重新分类,其结果见附图7。

## 4 结论

(1) 基于GIS的江苏省水土保持区划方法综合自然要素、社会经济要素、土地利用要素和水土流失要素4个方面,全面、综合地分析了江苏省水土保持区划,弥补了以往水土保持区划指标单一、主观定性的不足。

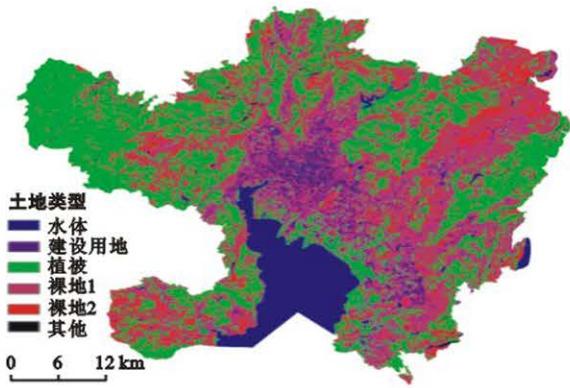
(2) 运用SPSS软件的主成分分析方法对大量数据进行处理,使用地理信息系统软件对数据进行计算和分析,提高了水土保持区划效率和准确性;整个区划过程明晰,易于掌握,可广泛使用。

(3) 遵照水土保持区划定量分析与定性分析相

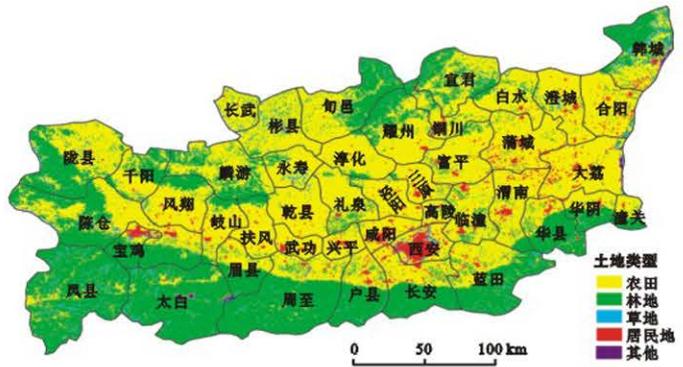
结合的原则,基于GIS的水土保持区划成果作为定量分析的结果,为下一步开展水土保持区划定性分析奠定了基础。

### [参 考 文 献]

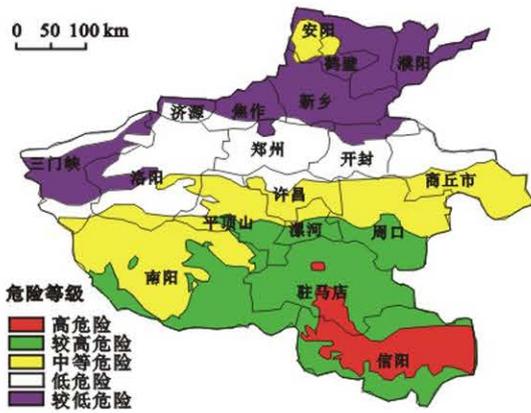
- [1] 夏继红,胡玲.生态河岸带功能区划的定性定量研究[J].水利学报,2007(S1):542-546.
- [2] 黄秉维.中国综合自然区划的初步草案[J].地理学报,1958,24(4):348-364.
- [3] 张汉雄.模糊聚类在水土保持区划中的应用[J].中国水土保持,1990(11):52-54.
- [4] 张超,王志国,王秀茹,等.我国水土保持区划的回顾与思考[J].中国水土保持科学,2008,6(4):100-104.
- [5] 魏晓,孙峰华.宁夏水土保持及区划研究[J].水土保持研究,2005,12(6):119-121.
- [6] 吴海波,赵晓慎.基于Bayes判别分析模型的水土保持区划[J].中国水土保持科学,2012,10(2):88-91.
- [7] 赵岩,王治国,孙保平,等.中国水土保持区划方案初步研究[J].地理学报,2013,68(3):307-317.
- [8] Renschler C S, Harbor J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales: The role of geomorphologists in land management research and implementation[J]. Geomorphology, 2002,47(2):189-209.
- [9] 范国忠,杨作糜.现代统计分析方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [10] 黄杏园.地理信息系统概论[M].北京:中国统计出版社,1992.
- [11] 马晓群,王效瑞,徐敏,等. GIS在农业气候区划中的应用[J].安徽农业大学学报,2003,30(1):105-108.
- [12] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977,15(3):234-281.
- [13] 周峰,许有鹏,石怡.基于AHP-OWA方法的洪涝灾害风险区划研究:以秦淮河中下游地区为例[J].自然灾害学报,2012,20(6):83-90.



附图1 云南省土地覆被类型



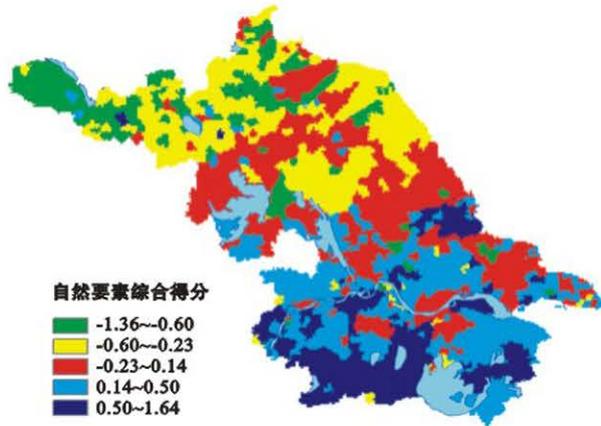
附图2 陕西省关中地区土地覆被类型



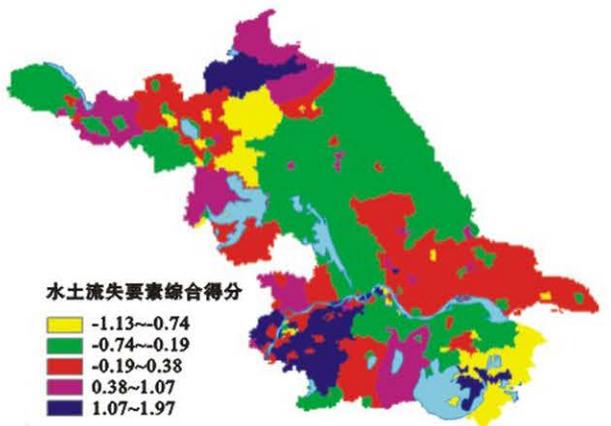
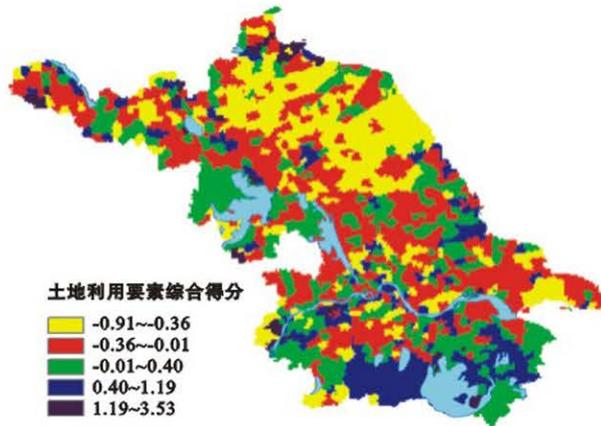
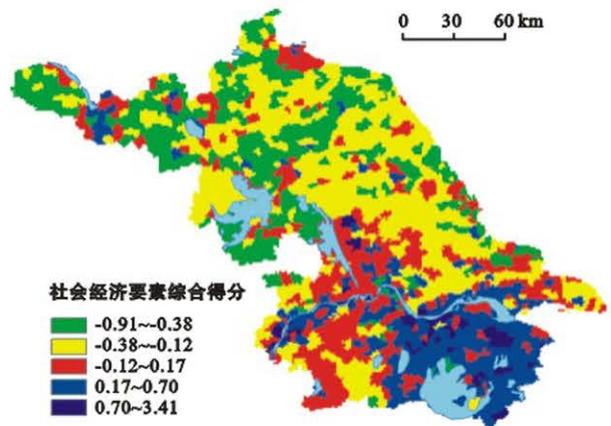
附图3 河南省洪水危险等级分布

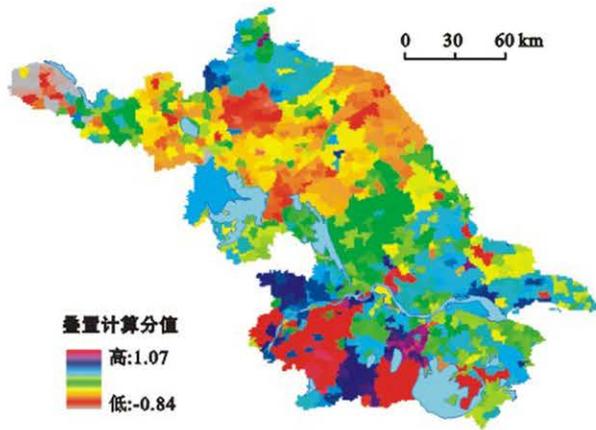


附图4 河南省洪灾风险等级分布

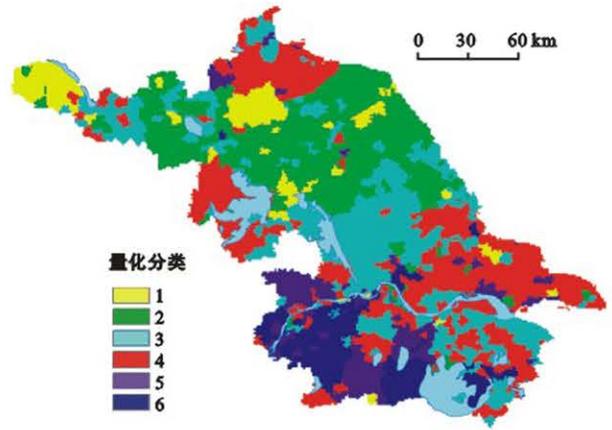


附图5 江苏省水土保持指标体系中的自然要素、社会经济要素、土地利用要素、水土流失要素空间分布



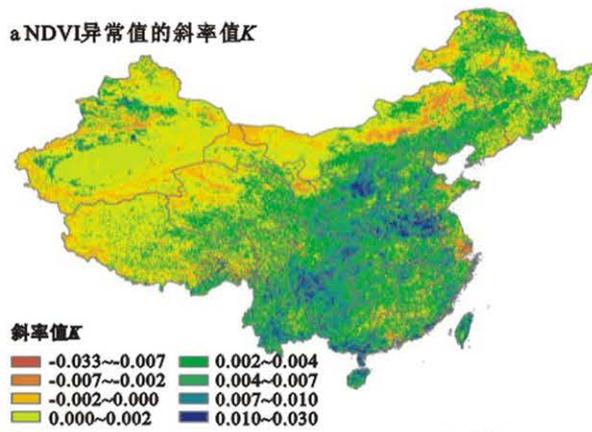


附图6 江苏省水土保持区划指标要素图层有条件栅格图像

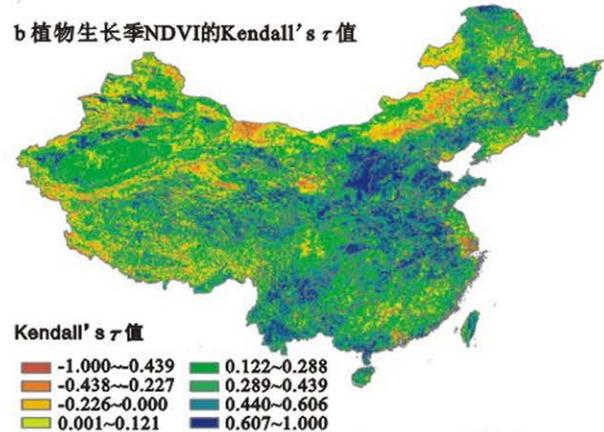


附图7 江苏省水土保持区划量化分类

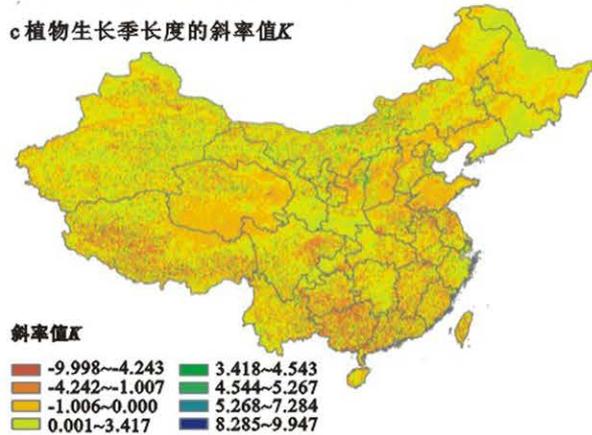
a NDVI异常值的斜率值K



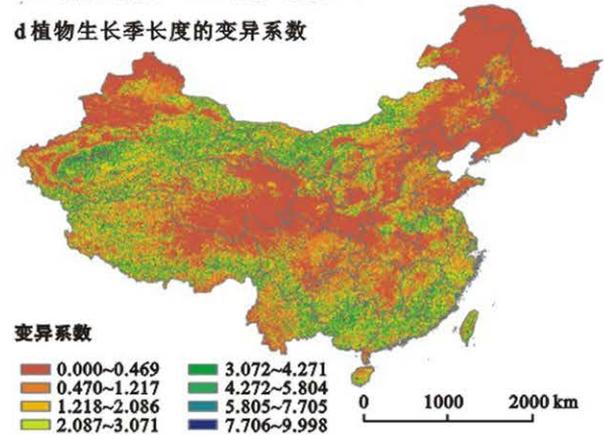
b 植物生长季NDVI的Kendall's  $\tau$  值



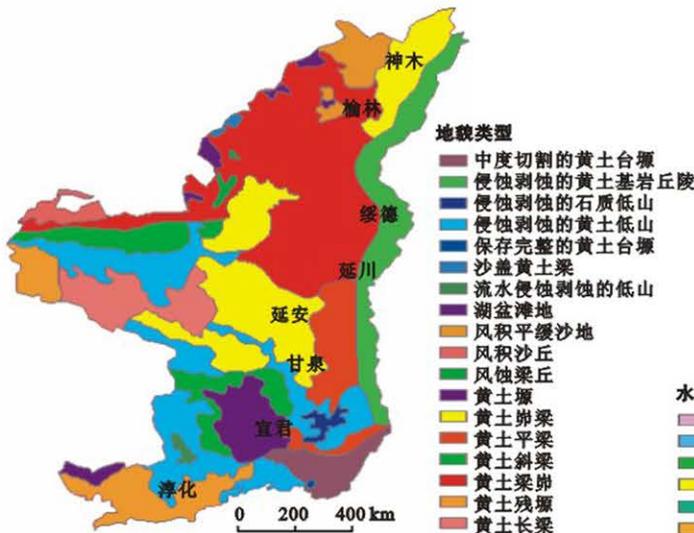
c 植物生长季长度的斜率值K



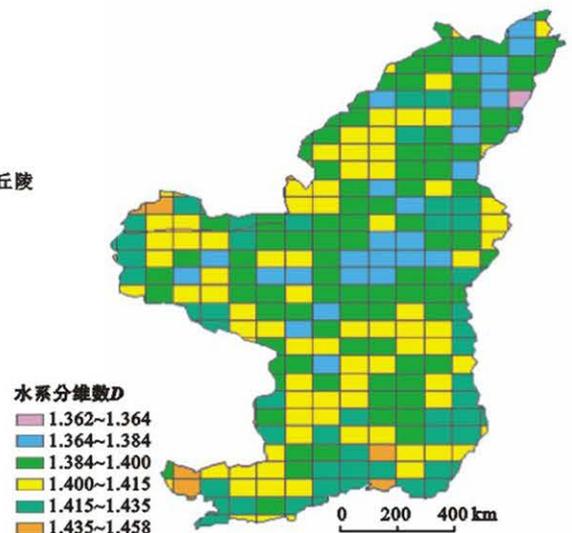
d 植物生长季长度的变异系数



附图8 中国1999—2010年植被覆盖特征趋势空间分布



附图9 陕北黄土高原地貌类型



附图10 陕北黄土高原单元幅水系分维数可视化结果