基于主成分分析法的江苏省水土保持区划指标体系研究

承志荣[1]，王新军[1,2]，王雪晴[3]，周 纲[4]，赵言文[1]

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院，江苏 南京 210095；2. 常州工学院 艺术与设计学院，江苏 常州 213002；3. 浙江大学 环境与资源学院，浙江 杭州 310058；4. 江苏省农村水利科技发展中心，江苏 南京 210029)

摘 要：水土保持区划工作是水土保持工作中的基础工作，而水土保持区划指标体系的建立则是水土保持区划中的关键步骤。新水土保持法颁布之后，新一轮的江苏省水土保持区划工作目前尚处于起步阶段，如何选取区划指标，又选取哪些区划指标来综合反映影响江苏省水土保持的因素至关重要。从确立江苏省水土保持区划指标体系建立的原则出发，并结合了江苏省自然、社会、经济、土地利用和水土流失等要素的情况及其特征，从中选取了 22 个江苏省水土保持区划指标。然后采用主成分分析法从 22 个区划指标中提取了 15 个主成分，并计算出各主成分的权重，最终建立了江苏省水土保持区划的指标体系。

关键词：主成分分析法；水土保持区划；指标体系；江苏省

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)06-0181-05 **中图分类号**：S157

Research on Index System of Soil and Water Conservation Regionalization in Jiangsu Province Based on Principal Component Analysis

CHENG Zhi-rong[1], WANG Xin-jun[1,2], WANG Xue-qing[3], ZHOU Gang[4], ZHAO Yan-wen[1]

(1. *College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *Changzhou Institute of Technology, School of Art and Design, Changzhou, Jiangsu* 213002, *China*; 3. *College of Environment and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Jiangsu* 310058, *China*; 4. *Rural Water Science and Technology Development Center of Jiangsu, Nanjing, Jiangsu* 210029, *China*)

Abstract: To establish the index system is the key step of the regionalization of soil and water conservation, which is the basis of soil and water conservation. The new regionalization work is just in its starting stage in Jiangsu Province after the new law on soil and water conservation was published, at which it is important to decide how to choose the index. 22 indexes were selected based on the design principles of index system of soil and water conservation regionalization, combined with the characteristics of natural, social, economic conditions and land use and soil erosion and water loss situation in Jiangsu Province, from which 15 indexes were extracted by principal component analysis, calculated with the weight of every component, and finally the index system established.

Keywords: principal component analysis; regionalization of soil and water conservation; index system; Jiangsu Province

水土保持区划是根据自然和社会条件、水土流失类型、强度和危害，以及水土流失治理的区域相似性和区域间差异性进行的水土保持区域划分，并对各区分别采取相应的生产发展方向布局(或土地利用方向)和水土流失防治措施布局的工作。因此，水土保持区划不但涉及自然资源情况和水土流失情况的调查，还涉及到经济社会状况调查，涉及到农、林、水、国土等其它行业相关情况的调查[1]。2011 年组织开展的全国水土保持区划工作，其作为全国层面上的区划，尺度较大，其结果可作为宏观上的指导，反映了全国自然、社会经济及水土流失防治需求的差异性和统一性[2]。江苏省水土保持研究至今仍停留在区域或流域水土流失和水土保持措施方面，如张磊[3]采用 GIS 对江苏省太湖流域水土流失情况进行了评价，金兆森[4]等提出了江苏省平原沙土区的水土保持措施，朱友银[5]等构建了江苏省平原河网地区的水土流失

收稿日期：2013-01-25 修回日期：2013-03-26
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：承志荣(1988—)，男(汉族)，江苏省江阴市人，硕士研究生，主要从事水土保持、生态规划研究。E-mail：2010103042@njau.edu.cn。
通信作者：赵言文(1965—)，男(汉)，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。

防治措施体系，陈良[6]研究了江苏省低山丘陵区水土流失情况及其治理措施。为了给江苏省水土保持区划提供科学依据，本研究运用主成分分析方法，从自然、社会经济、土地利用和水土流失等方面选取若干个指标，对江苏省水土保持区划指标体系的建立进行了研究。

1 指标体系的建立

1.1 指标体系建立的原则

在选择水土保持区划因子时，不仅要独立考虑各种因素对水土保持的影响方式和程度，而且要把各种与之相关的因素作为系统中的环节综合考虑[7]；不仅要反映区间差异性，也要体现区内相似性。因此，在选择指标构建指标体系时，必须遵循如下原则：(1) 全面性和代表性相结合。影响水土保持的因素比较多，所选择的指标既要尽量全面地反映影响江苏省水土保持的自然、社会经济、土地利用等各个方面，又要求能够突出地体现江苏省水土保持特点和水土流失特征。(2) 系统性和层次性相结合。由于江苏省水土保持区划是一个系统，具有多层次性，所以指标体系也由多层结构组成。同时，系统中各要素又相互联系构成一个有机整体，因此，应从系统出发，选择各层次相协调的因子。(3) 可获取性与可操作性相结合。建立的指标体系往往实践性不强，因此在选取指标时应结合相关江苏省水土保持资料信息的实际，尽量选择那些关键性的、综合性的和易获取的指标，使建立的指标体系简洁明了，易于量化和分析。(4) 动态性和稳定性相结合。江苏省水土保持区划要在一定时期内指导水土保持工作，所以要求指标体系内容不宜频繁变动，在一定时期内保持相对稳定性。同时，指标也应具有一定的动态性，可随着江苏省的发展逐步调整。(5) 普遍性与区域性相结合。不同区域间具有差异性，影响各区域水土保持的因素也是不同的，必须根据江苏省自身的特点建立符合地区相应情况的指标体系。同时也要考虑到指标的可比性，以便进行区域横向与纵向的比较分析。

1.2 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[8]。因此，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。

1.3 指标层指标的选择与分析

1.3.1 自然要素(B_1) 自然要素是水土保持区划指标体系中最重要的要素。影响水土流失的自然因素主要有：降雨、植被、坡面等因子[9]。江苏省位于我国大陆东部沿海，总面积 1.03×10^5 km^2。地貌以平原为主，该省平均海拔 13.3 m；丘陵山区面积 1.47×10^4 km^2，占 14.33%；水面面积 1.73×10^4 km^2，占 16.86%，比例之高居全国首位。江苏省降水充沛，多年平均降水量 800～1 100 mm，且地区差异明显，东部降水多于西部，南部多于北部，太湖南部、宜溧地区和长江附近降水最多，达 1 150 mm，江淮地区为 950～1 100 mm，淮北为 850～950 mm。江苏省稳定通过 10 ℃的活动积温一般达 4 500～5 000 ℃，满足一年两熟或三熟，增加了人为扰动土地的力度；各地平均气温介于 13～16 ℃，江南地区 15～16 ℃，江淮流域 14～15 ℃，淮北及沿海地区 13～14 ℃，由东北向西南逐渐增高。江苏省土壤质地以壤土为主，部分地区为易造成水土流失的沙质土，沙土区主要分布在废黄河两侧、沿海平原及通扬运河以南地区。根据江苏省的地貌地形、气候、林草植被、土壤质地等因子及其特点，选择平均海拔(D_1)、丘陵面积比例(D_2)、年均降水量(D_3)、年均气温(D_4)、林草覆盖率(D_5)、沙土面积比(D_6)、水域面积比(D_7)等指标构成和反映自然要素(表 1)。

1.3.2 社会经济要素(B_2) 社会经济的发展，人口的增加以及频繁的人为活动对新时期水土保持工作带来了很大的挑战。特别是开发建设活动已成为新增水土流失的主要原因[10]。所以，社会经济条件是水土保持重要的影响要素。2010 年末，江苏省共 13 个省辖市，55 个市辖区、26 个县级市、24 个县。该省常住人口 7 869.34 万人，人口密度 767 人/km^2。2010 年江苏省地区生产总值达到 41 425.48 亿元，同比增长 16.8%，人均地区生产总值 5.28 万元，财政总收入 11 743 亿元，三产比例为 6.13∶52.51∶41.36。社会要素选定了人口密度(D_8)，人均 GDP(D_9)，第一产业生产总值比例(D_{10})，第二产业生产总值比例(D_{11})作为组成指标(表 1)。

1.3.3 土地利用要素(B_3) 土地利用类型的不同对水土流失有着十分明显的影响[11]。2010 年底，江苏省有农用地 6.72×10^6 hm^2，占该省总面积的62.91%；建

设用地 1.93×10^6 hm^2,占该省总面积的 18.12%;未利用地 2.02×10^6 hm^2,占该省总面积的 18.97%。江苏省土地利用类型以农用地为主,建设用地比例高于全国平均水平、未利用地低于全国平均水平。其次,江苏省土地利用还具有土地开发程度和总体效益高,建设用地扩张较快,土地利用的区域差异较大等特点。由于江苏省大面积的农业生产和建设活动,加剧了对土地的扰动,增加了水土流失量。因此,选择园地比例(D_{12})、林地比例(D_{13})、未用地比例(D_{14})、建设用地(D_{15})作为土地利用要素的指标(表 1)。

1.3.4　**水土流失要素(B_4)**　水土流失的状况直接决定水土保持措施的布局和重点工作方向,是水土保持区划的基础。江苏省主要表现为丘陵山区(低山、丘陵、岗地)和平原区水土流失,大部分地区以水力侵蚀为主,水土流失强度以轻、微度流失为主,强度与面积的地域分布特征差异明显[12]。2007 年江苏省水土流失定量监测[13]显示,2007 年全省水土流失总量 1.96×10^7 t,水土流失总面积 89 364.5 km^2;微度水土流失量 6.74×10^6 t,水土流失面积 83 243.4 km^2,占水土流失总面积的 93.15%;轻度水土流失量 4.27×10^6 t,水土流失面积 5 229.4 km^2,占水土流失总面积的 5.85%;中度及以上水土流失量 8.61×10^6 t,水土流失面积 891.7 km^2,占水土流失总面积的 1%。水土流失要素主要为水土流失类型因子,包括水土流失面积比例(D_{16})、微度土壤侵蚀面积比(D_{17})、轻度土壤侵蚀面积比(D_{18})、中度土壤侵蚀面积比(D_{19})、强度土壤侵蚀面积比(D_{20})、极强度土壤侵蚀面积比(D_{21})和烈度土壤侵蚀面积比(D_{22})(表 1)。

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_1	自然要素 B_1	地形地貌因子 C_1	平均海拔 D_1
			丘陵山区面积比例 D_2
		气候因子 C_2	年均降水量 D_3
			年均气温 D_4
		植被因子 C_3	林草覆盖率 D_5
		地面组成物质因子 C_4	沙土面积比例 D_6
		水文因子 C_5	水域面积比 D_7
	社会经济要素 B_2	人口因子 C_6	人口密度 D_8
		经济因子 C_7	人均 GDP D_9
			第一产业生产总值比例 D_{10}
			第二产业生产总值比例 D_{11}
	土地利用要素 B_3	各类用地比例因子 C_8	园地比例 D_{12}
			林地比例 D_{13}
			未用地比例 D_{14}
			建设用地 D_{15}
	水土流失要素 B_4	水土流失类型因子 C_9	水土流失面积比 D_{16}
			微度土壤侵蚀面积比 D_{17}
			轻度土壤侵蚀面积比 D_{18}
			中度土壤侵蚀面积比 D_{19}
			强度土壤侵蚀面积比 D_{20}
			极强度土壤侵蚀面积比 D_{21}
			烈度土壤侵蚀面积比 D_{22}

2　指标体系的主成分分析

2.1　数据来源

江苏省水土保持区划指标体系的主成分分析数据主要来源有于 4 个方面:(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 米分辨率的数字高程模型(DEM)中提取的,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,其它数据均来源于各地水利主管部门上报数据。(2) 社会经济统计数据来源于江苏省统计年鉴和各地水利主管部门上报数据。(3) 土地利用数据为 2010 年江苏省各地土地利用数据,来源于各地水利主管部门上报数据和各地国土部门网站。(4) 水土流失数据来源于江苏省水土流失定量监测成果。数据均以县级行政单元收集,共 105 个县级单元,2 310 个数据。由于资料来源所限,水土流失数据采用

2007 年数据，其它均为 2010 年数据。

2.2 数据标准化

由于选取的江苏省水土保持区划指标的来源不同，量化的方法各异，导致了各种变量的量纲和数量大小是不一致的，变化幅度也不相同。如果直接用指标值来计算，就会削弱绝对值小的变量的作用而突出绝对值大的变量的作用，不利于进一步的分析[14]。因此，为了给每种变量以统一度量，必须在进行主成分分析前，对原始数据进行数据标准化处理。本研究选用标准差标准化方法，以使区划尽量保留实际值中的数值关系。标准化过程通过 SPSS 18.0 软件自动实现。

标准差标准化公式为：

$$Z_{ij}=\frac{(X_{ij}-\overline{X_1})}{S_j}\quad(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m)$$

式中：Z_{ij}——第 i 个样本的 j 变量标准化之后的值；X_{ij}——第 i 个样本的 j 变量的值；$\overline{X}_j$——第 j 个变量的算术平均值，$\overline{X}_j=\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{ij})}{n}$；$S_j$——第 j 个变量的标准差，$S_j=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_j)^2}{n-1}}$。

经过标准化变换后即变为：

$$(\boldsymbol{Z_{ij}})_{n\times m}=\begin{pmatrix}\frac{x_{11}-\overline{x_1}}{S_1} & \frac{x_{12}-\overline{x_2}}{S_2} & \cdots & \frac{x_{1m}-\overline{x_m}}{S_m}\\ \frac{x_{21}-\overline{x_1}}{S_1} & \frac{x_{22}-\overline{x_2}}{S_2} & \cdots & \frac{x_{2m}-\overline{x_m}}{S_m}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ \frac{x_{n1}-\overline{x_1}}{S_1} & \frac{x_{n2}-\overline{x_2}}{S_2} & \cdots & \frac{x_{nm}-\overline{x_m}}{S_m}\end{pmatrix}$$

2.3 主成分分析

2.3.1 **主成分分析的原理与算法** 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[15]。通过降维技术，它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，使其尽可能多地包含原始变量的信息[16]。因此，主成分分析被广泛用于指标合成[17]。其计算步骤为：

（1）计算指标数据的相关矩阵。以处理后的数据得到的样本协方差阵为样本相关阵，设此时的数据矩阵为 $\overline{\boldsymbol{X}}=(\overline{X_{ij}})_{m\times n}$，$m$ 为指标数目，n 为分区单元数，则相关系数矩阵 $\boldsymbol{R}$ 为

$$\boldsymbol{R}=(R_{ij})_{m\times m}$$

$$r_{ij}=\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}[(x_{ki}-\overline{x_1})/S_i][(x_{kj}-\overline{x_j})/S_j]$$

$$=\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(Z_{ki}\cdot Z_{kj})$$

其中，$r_{11}=r_{22}=r_{33}=\cdots=r_{mm}=1$，$i,j=1,2,3,\cdots,m$。

（2）计算特征值和特征向量。由特征方程 $|R-\lambda_i|=0$，求得 m 个特征值（$i=1,2,3,\cdots,m$），λ_i 将其按大小顺序排列为 $\lambda_1\geqslant\lambda_2\geqslant\lambda_3\geqslant\cdots\geqslant\lambda_m\geqslant0$，每个特征值对应的特征向量为：

$$Q_i=(a_{i1},a_{i2},\cdots,a_{im})\quad(i=1,2,\cdots,m)$$

将标准化后的指标变量转换为成分表达式：

$$F_m=a_{gm}X_1+a_{gm}X_2+\cdots+a_{gm}X_m\quad(g=1,2,\cdots,m)$$

（3）根据累计贡献率提取主成分及其权数。前 p 个综合指标（$p<m$）的方差与全部指标的总方差之比即为累积贡献率，通常要求提取的主成分的数量 p 满足 $a>0.85$，即：$\sum_{g=1}^{p}\lambda_g/\sum_{g=1}^{m}\lambda_g>0.85$

表示提取的 p 个综合指标基本保留了原来全部指标的 85%以上的信息，这样就达到了用较少指标代替原来较多指标的目的。权数 G 为每个主成分得分方差贡献率：

$$G=\lambda_g/\sum_{g=1}^{m}\lambda_g$$

2.3.2 **各要素的主成分分析** 使用 SPSS 18.0 软件对标准化后的数据进行主成分分析。

（1）自然要素指标主成分分析。① 首先在 SPSS 软件下建立自然要素各指标的数据文件。② 执行“分析丨降维丨因子分析”命令，其中“抽取”对话框中方法选择“主成分法”，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”，方法选择“回归”。③ 由主成分分析解释的总方差分析结果可以看出，提取的前 5 个主成分的累积贡献率为 92.09%，大于 85%。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 0.34,0.26,0.16,0.13,0.11。⑤ 由主成分分析得到的成分矩阵详见表 2，由表 2 可以看出，第一主成分主要在年均降水量（D_3）、年均气温（D_4）上有较大载荷，因此第一主成分命名为气候因子；第二主成分主要在丘陵山区面积比例（D_2）上载荷较大，主要反映丘陵带来的差异，因此第二主成分命名为地形地貌因子；第三主成分主要表现在水域面积比例（D_7）指标上，因此第三主成分命名为水域因子；第 4 主成分主要表现在林草覆盖率（D_5）指标上，因此第 4 主成分命名为林草覆盖因子；第 5 主成分主要表现在沙土面积比例（D_6）指标上，因此第 5 主成分命名为土壤质地因子。

表 2　自然要素主成分矩阵

指 标	主成分				
	1	2	3	4	5
平均海拔	−0.586	0.526	0.115	−0.480	0.186
年均降水量	0.876	0.131	−0.234	0.017	0.251
年平均气温	0.804	0.341	−0.126	−0.175	0.279
林草植被覆盖率	−0.383	0.429	−0.269	0.723	0.208
丘陵山区面积比例	−0.213	0.873	−0.001	−0.084	0.034
水域面积比例	0.232	0.064	0.911	0.239	0.233
沙土面积比例	−0.462	−0.550	−0.129	−0.106	0.654

注:已提取了 5 个成分。

(2) 社会经济要素指标主成分分析。分析计算过程同上,共提取 3 个社会经济要素主成分,累积贡献率 92.98%,第 1,2,3 主成分的权重分别为 0.50,0.37 和 0.13,根据成分矩阵各主成分分别命名为社会经济要素综合因子、二产比例因子、人均 GDP 因子。结果详见表 3。

表 3　社会经济要素主成分矩阵

指 标	主成分		
	1	2	3
Z_{score}(人口密度)	0.647	−0.641	−0.299
Z_{score}(人均 GDP)	0.786	0.372	0.459
Z_{score}(一产比例)	−0.894	−0.176	0.203
Z_{score}(二产比例)	−0.039	0.912	−0.358

注:已提取了 3 个成分。

(3) 土地利用要素指标主成分分析。分析计算过程同上,共提取 4 个主成分,累积贡献率 100%,第 1,2,3,4 主成分的权重分别为 0.36,0.25,0.21 和 0.18,根据成分矩阵分别命名为土地利用综合因子、未利用地因子、园林地因子和建设用地因子。结果详见表 4。

表 4　土地利用要素主成分矩阵

指 标	主成分			
	1	2	3	4
Z_{score}(园地面积比例)	0.658	0.013	0.687	0.307
Z_{score}(林地面积比例)	0.682	−0.028	−0.599	0.419
Z_{score}(未利用地面积比例)	−0.438	0.798	0.016	0.413
Z_{score}(建设用地面积比例)	−0.587	−0.615	0.063	0.524

注:已提取了 4 个成分。

(4) 水土流失要素指标主成分分析。分析计算过程同上,共提取 3 个主成分,累积贡献率 95.06%,第 1,2,3 主成分的权重分别为 0.64,0.24 和 0.12,根据成分矩阵分别命名为水土流失综合因子、微度因子和轻度因子。结果详见表 5。

表 5　水土流失要素主成分矩阵

指 标	主成分		
	1	2	3
水土流失面积比例	0.585	0.757	0.289
微度土壤侵蚀面积比例	−0.078	0.979	−0.161
轻度土壤侵蚀面积比例	0.680	−0.104	0.716
中度土壤侵蚀面积比例	0.932	−0.184	−0.079
强度土壤侵蚀面积比例	0.956	−0.165	−0.146
极强度土壤侵蚀面积比例	0.975	−0.075	−0.196
烈度土壤侵蚀面积比例	0.834	0.129	−0.317

注:已提取了 3 个成分。

3　结果与分析

根据主成分分析,最终得到各要素主成分 15 个,达到了简化数据,提取重点的效果。从各主成分权重来看,自然要素主要由气候因子和地形地貌因子等构成,基本能反映江苏省自然情况的区内一致性和区间差异性,其中水域因子在自然要素中也占了一定比重,体现了江苏省水域宽广,河网密集,内部差异显著的特点;社会经济要素主要由综合因子和第二产值比例因子等构成,反映了江苏省产业发展水平、特别是第二产业发展(尤其是生产建设项目)对江苏省水土保持产生较大影响的特征;土地利用要素主要由综合因子和未利用地因子等构成,说明江苏省不同土地利用类型对水土保持产生了不同程度的影响;水土流失要素主要由水土流失综合因子及微轻度因子组成,符合江苏省主要以微轻度水土流失为主的实际,作为水土流失要素的主成分,能够有效划分不同水土流失情况和特征的区域(表 6)。

表 6　江苏省水土保持区划指标体系

目标层	要素层	主成分	权 重
江苏省水土保持区划指标体系 A_1	自然要素 B_1	气候因子	0.34
		地形地貌因子	0.26
		水域因子	0.16
		林草覆盖因子	0.13
		土壤质地因子	0.11
	社会要素 B_2	社会经济要素综合因子	0.50
		二产比例因子	0.37
		人均 GDP 因子	0.13
	土地利用要素 B_3	土地利用综合因子	0.36
		未利用地因子	0.25
		园林地因子	0.21
		建设用地因子	0.18
	水土流失要素 B_4	水土流失综合因子	0.64
		微度因子	0.24
		轻度因子	0.12

每类主成分取代原来各要素的全部指标，可综合反映各要素的特征。因此，以得出的 15 个主成分重新构建江苏省水土保持区划指标体系，结合相应的权重，即可计算出各类要素的综合得分，为下一步的区划奠定了基础。

4 结 论

(1) 从自然要素、社会经济要素、土地利用要素和水土流失要素 4 个方面选取 22 个指标，通过主成分分析，从中选取 15 个主成分，并分别确定其权重，来建立江苏省水土保持区划指标体系，为下一步江苏省水土保持区划工作提供了依据。

(2) 从指标建立原则出发，依据江苏省自然、社会、经济、土地利用和水土流失特点选取的指标和主成分，比较全面地反映了江苏省地区特色和江苏省水土保持特征，结果表明采用的主成分分析方法科学、成熟、有效。

[参 考 文 献]

[1] 张超，王志国. 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.

[2] 王治国，鲁胜力. 全国水土保持区划成果概述及应用研究[C]//江苏 扬州：中国水土保持学会规划设计专业委员会 2012 年年会论文集. 2012.

[3] 张磊，孟亚利. 基于 GIS 的江苏省太湖流域水土流失评价[J]. 江西农业学报，2009，21(6)：129-132.

[4] 金兆森，陶涛. 江苏省平原沙土地区水土保持措施及其作用[J]. 水土保持研究，2005，12(5)：119-121.

[5] 朱友银，丛小祥. 江苏省平原河网地区水土流失及防治措施体系构建[J]. 中国水土保持，2012(10)：45-47.

[6] 陈良. 低山丘陵区水土保持治理与生态环境效应[J]. 长江流域资源与环境，2004，13(4)：370-374.

[7] 周世波，刘乐融，史玲芳. 利用多因子定量分析进行水土保持区划的研究：以窟野河、孤山川流域为例[J]. 水土保持学报，1993，7(1)：35-45.

[8] Chris S R, Jon H. Soil erosion assessment tools from point to regional scales: The role of geomorphologists in land management research and implementation[J]. Geomorphology, 2002, 47(3): 189-209.

[9] 尹忠东，周心澄，朱金兆. 影响水土流失的主要因素研究概述[J]. 世界林业研究，2003，16(3)：32-36.

[10] 姜德文. 开发建设项目水土流失影响度评价方法研究[J]. 世界林业研究，2007，5(2)：107-109.

[11] 赵护兵，刘国彬，曹清玉，等. 黄土丘陵区不同土地利用方式水土流失及养分保蓄效应研究[J]. 水土保持学报，2006，20(1)：20-24.

[12] 邹碧莹，丁美. 江苏省丘陵山区及平原沙土区水土流失综合治理及效益评估研究[J]. 水土保持通报，2012，(1)：156-180.

[13] 李璐，何玉琴，姜小三. 江苏省水土流失定量监测动态研究[C]//新疆 乌鲁木齐：中国自然资源学会 2011 年学术年会论文集. 2011.

[14] 李云晋. 非标准化数据的聚类分析方法[J]. 昆明冶金高等专科学校学报，2005，21(1)：34-36.

[15] 范国忠，杨作糜. 现代统计分析方法[M]. 北京：中国统计出版社，1992.

[16] 于秀林，任雪松. 多元统计分析[M]. 北京：中国统计出版社，1999.

[17] Rao C R. The Use and interpretation of principal component analysis in applied research[J]. Sankhya(A), 1964, 26(4): 329-358.