

基于主成分分析和 GIS 的统筹市域土地利用分区研究^①

——以甘肃天水市为例

潘竟虎, 刘 扬, 石培基

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 以乡镇为研究单元, 从土地利用的经济发展、社会发展、生态、土地利用现状和效益等 5 个方面, 建立区域土地利用综合分区的指标评价体系, 利用主成分分析法对天水市土地利用程度进行综合评价, 结合空间聚类分析, 将天水市分为 3 大土地利用区。根据土地适宜性评价结果, 结合 DEM、坡度、土壤、气温、降雨等资料, 利用 GIS 空间分析方法, 将天水市划分为 5 个管制分区, 并提出各分区内土地利用的管制措施。为区域土地利用规划、生态环境保护与建设规划提供科学依据。

关键词: 土地利用综合分区; 空间管制; 统筹土地利用; 主成分分析; 天水市

中图分类号: F301.2

统筹土地利用分区是根据促进区域内各地合理分工协作和协调发展的目标, 分析行政范围内不同区域的现有开发密度、功能定位和发展方向, 提出土地利用分区和落实重大区域发展战略的土地利用政策与措施^[1], 统筹区域土地利用必须在合理进行土地利用分区的基础上实行^[2]。国外土地利用分区的研究大体经历了 3 个阶段^[3]: 第一阶段是 20 世纪初的萌芽时期, 目的是制定科学合理的土地开发利用方向。最具代表性的是 1922 年美国开创的区域土地综合利用分区的先例, 并成功地应用到田纳西流域整体规划中。第二个阶段是 20 世纪中叶的形成阶段, 目的是解决土地在各部门之间的合理分配与布局。第三个阶段是 20 世纪末的现代化阶段, GIS 技术和数学方法得到了广泛的应用。如 Wu 和 Christopher^[4]借助 GIS 技术和元胞自动机, 构建了在自由市场与增长控制制度下的自然土地利用分区模型; Christopher^[5]提出土地利用分区应体现实用性原则, 并采用独立划分模型展开实证分析。20 世纪 60 年代, 我国在借鉴国外研究基础上, 土地利用分区研究逐步开展^[6], 目前在理论研究、实证研究和方法研究方面均获得了大量成果^[7-9]。但是统筹自然生态环境和社会经济发展格局的分区研究不多; 综合分区多, 功能管制分区少; 常规手段多, GIS 空间分析方法少。此外, 土地利用分区研究的热点主要集中在经济社会发展较快的东南沿海及大都市, 其研究

大多以经济导向及生态服务功能进行综合分区, 因区域的自然地理条件相对较好, 较少考虑地形地貌的影响。黄土丘陵沟壑区是我国资源、环境、人口矛盾最为突出的地区之一, 自然地理条件约束大, 生态环境敏感脆弱, 对区域土地开发利用影响深刻。本文以天水市为例, 探讨统筹该区域市级土地利用分区方法和区域土地利用战略对策, 以期为新一轮土地利用总体规划修编提供案例借鉴。

1 重大发展战略对天水土地利用的要求

1.1 关中-天水经济区发展的要求

天水市是甘肃省唯一纳入《关中-天水经济区发展规划》的城市, 被定位为经济区次核心城市。随着《关中-天水经济区发展规划》的不断实施, 从形势上必然要求进一步调整土地利用结构和布局, 拓展土地利用的广度和深度, 提高土地利用效益, 增加土地承载能力以及恢复生态的功能。

1.2 甘肃省区域发展战略的要求

在甘肃省确定的“中心带动、两翼齐飞、组团发展、整体推进”的区域发展战略中, 天水是重要的增长极。同时, 甘肃省积极推进西陇海-兰新经济带建设, 作为甘肃省东进西出的联接点的水市, 在区域集中的枢纽作用将进一步提升, 对土地的需求将更加旺盛。

^①基金项目: 国家社会科学基金重点项目(08AMZ003)和国家自然科学基金项目(41061017)资助。

作者简介: 潘竟虎(1974—), 男, 甘肃嘉峪关人, 副教授, 研究方向为土地利用与环境遥感。E-mail: panjh-nwnu@163.com

1.3 西部大开发战略和“退耕还林草”政策的调整

天水市实施西部大开发战略基本思路是以市场为导向,以基础设施、生态环境建设和结构调整为重点,走发挥比较优势、壮大支柱产业、发展特色经济的路子。同时,国家退耕还林草政策做出重大调整,提出了加大基本口粮田建设力度,加强农村能源建设,继续推进生态移民,继续扶持退耕还林地区,安排荒山造林等措施。

2 天水市概况与土地利用现状

天水市位于甘肃省东南部(图 1),介于东经 $104^{\circ}35' \sim 106^{\circ}14'$,北纬 $34^{\circ}05' \sim 35^{\circ}10'$ 之间。市域大部分地区属陇中黄土高原,南部和东北部有部分石质山地,渭河横贯中部。地势西北低东南高,海拔 $748 \sim 3\,112\text{ m}$ 。属暖温带半湿润、半干旱气候,年日照时数 $2\,114\text{ h}$,年均降水量在 510 mm ,蒸发量 $1\,294\text{ mm}$,年平均气温 $7 \sim 11^{\circ}\text{C}$ 。全市可利用土地资源有限,土地生产力整体水平低,土地垦殖率较高,生态环境脆弱,

水土流失严重,区域间土地利用不平衡的状况差异明显(表 1)。辖 2 区 5 县,总面积 $14\,313\text{ km}^2$,人口 354 万(2007 年)。天水市自然地理条件和资源环境状况较差,经济发展水平低。2008 年人均生产总值 6 614 元,仅相当于全国平均水平的 28.6%。

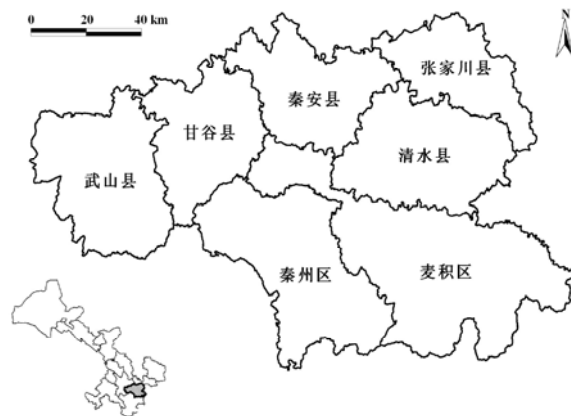


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location diagram of study area

表 1 2005 年天水市土地利用状况

Table 1 Land use situation in Tianshui in 2005

地类	清水县	秦安县	甘谷县	武山县	张家川县	秦州区	麦积区	天水市
耕地	8.92	8.23	7.82	7.91	4.53	8.36	7.02	52.79
园地	0.19	1.2	0.38	0.1	0.52	0.54	0.93	3.86
林地	5.14	0.85	1.87	4.2	3.62	7.63	23.01	46.32
牧草地	3.21	1.49	1.4	3.8	1.98	1.65	0.32	13.85
其他农用地	0.51	1.75	1.81	1.95	0.49	2.67	1.02	11.12
建设用地	0.54	0.89	0.8	0.59	0.49	0.83	0.82	4.96
未利用地	1.55	1.58	1.76	1.34	0.38	2	1.62	10.23
合计	20.06	15.99	15.84	19.89	12.01	23.68	34.74	143.13

3 天水市土地利用综合分区

土地利用综合分区是以行政区为基本单元,按照人地关系禀赋、未来发展需求、资源环境约束、集约用地合理水平等因素的一致性来划定土地利用区域^[10]。市级土地利用综合分区是为了加强对下级行政区土地利用政策和指标调控而进行的一种区域划分。

3.1 统筹市域土地利用综合分区原则

本研究在综合分区中遵循以下原则:①体现区域发展战略和规划的要求。与关中-天水经济区规划和天水市“十一五”总体规划纲要相配合,同时参考天水市城市总体规划研究成果及各专项规划的研究成果,体现区域发展战略要求。②突出土地利用问题和管理

措施的相似性。突出该区域土地利用的主要问题,强调土地管理措施的相似性,最终目标是加强区内土地管理,提高土地利用的经济、社会、生态效益^[11]。③保持行政区划的相对完整性。

3.2 指标体系及技术方法

3.2.1 指标体系构建 土地利用是一个包罗万象的复杂系统,为综合反映区域土地利用状况,若使用指标过多则工作量过大且不利于综合分析,所以要构建一个综合而简明的评价指标体系,即从众多的土地利用指标体系中选择出具有代表性的重要指标组成的、用科学的计算方法来评价区域土地利用的各个侧面及整体发展水平的指标体系。为使分区指标具有科

学性、代表性、可比性、可操作性、易懂并能适应一定变化的弹性等特点,采用范围法和目标法,从经济发展、社会发展、生态环境、土地利用现状和土地利用效益5方面,筛选出具有良好反映能力、可以量化、可比较、数据获取便利的20个指标,建立甘肃省

土地利用综合分区指标体系。所用指标数据均直接或间接来自于《天水年鉴2005》及2005年天水市土地利用变更调查数据。建立数据库后,在ArcView GIS软件支持下,按照自然断点(natural break)聚类法,制作分指标分级图,限于篇幅,图2列出了部分指标分级图。

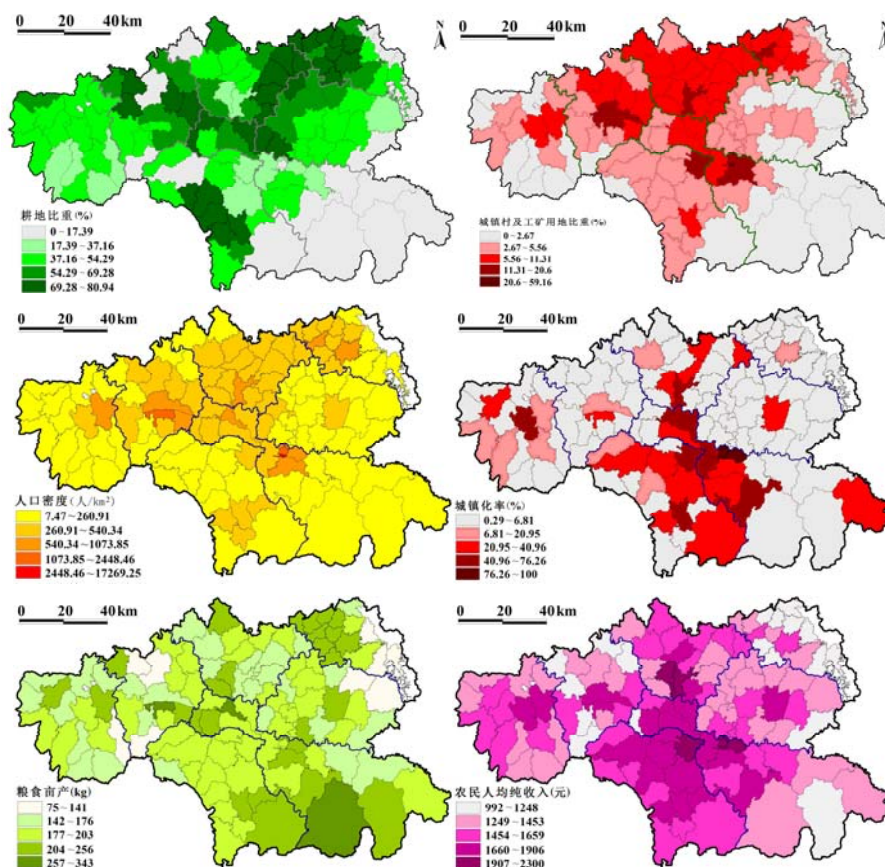


图2 天水市土地利用综合分区指标分级图

Fig. 2 Grade maps of land use comprehensive division index in Tianshui

3.2.2 技术方法 土地利用综合分区方法有聚类法、判别分析法、指标综合加权法、重叠法、聚类分析法、主导因素法和信息系统方法等^[12]。由于土地利用的因素较多,关系较为复杂,以及评价因素的非定量现象的普遍存在,决定了土地利用评价的综合性特征。目前的评价方法只是通过经验来确定指标权重,没有考虑到指标间可能存在的线性关系,所以评价结果仅仅是简单的累加,而不能正确反映和评价原始数据尽可能多的信息。由于指标众多,各个指标之间必然存在较大的相关性,从而会加强某些因素的权重而降低另外一些本来很重要的因素的权重,对指标进行合并,以形成数量较少、综合信

息能力和独立性较强的新指标。主成分分析法在减少指标相关性、避免信息重叠和克服确定权重的主观片面性等方面显示了其独特的作用^[13],是解决区域利用综合分区的理想工具。

以天水市的116个乡(镇、街道)为基本单元,根据主成分分析法的原理和步骤,运用SPSS14软件进行统计处理,发现其KMO检验值为:0.703>0.7,表明能够进行主成分分析。为使主因子能更好地解释原始变量,采用方差极大法进行旋转。根据特征值>1和累积贡献率≥85%的原则^[14],提取出前5个主因子,其载荷系数、特征值、贡献率及累积贡献率见表2。

表 2 旋转后的主成分载荷矩阵

Table 2 Principal component load matrix with varimax rotation

一级指标	二级指标	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
经济发展指标	人均 GDP	0.319	0.829	0.129	0.037	0.106
	第二产业比重	0.006	0.429	0.004	0.017	0.116
	第三产业比重	0.304	-0.843	-0.128	0.050	-0.017
社会发展指标	人口密度	0.974	0.027	0.021	0.111	0.015
	城镇化率	0.434	0.098	0.250	0.449	-0.044
	农民人均纯收入	0.319	0.052	0.271	0.830	-0.128
自然与生态环境指标	林地比例	-0.173	0.484	-0.247	-0.044	0.734
	牧草地比例	0.013	-0.098	-0.056	-0.093	0.945
	水域比例	0.527	0.071	-0.005	0.141	-0.057
土地利用现状	耕地比例	-0.254	-0.690	-0.229	-0.104	-0.092
	园地比例	0.003	-0.016	0.954	0.190	-0.052
	开发密度	0.761	-0.158	0.128	0.190	-0.106
土地利用效益	人均建设用地	-0.068	0.455	-0.048	0.053	-0.112
	交通用地比例	0.983	0.076	-0.015	0.107	0.060
	土地开发率	-0.041	0.015	0.038	0.100	0.218
	地均 GDP	0.903	0.046	-0.081	-0.006	0.014
	粮食单产	0.021	-0.066	0.005	0.077	-0.135
	人均耕地	-0.240	-0.038	-0.296	-0.227	0.046
	单位农业用地一产产值	0.394	0.012	0.009	0.112	0.146
	单位建设用地二三产业投资额	0.864	0.101	0.083	0.005	0.023
	特征值	5.028	2.408	1.836	1.438	1.191
	贡献率	35.914	17.203	13.111	10.270	8.507
	累积贡献率	35.914	53.117	66.228	76.498	85.005

从因子载荷上分析,交通用地比例、人口密度、地均 GDP、单位建设用地二三产业投资额、开发密度等指标在因子 1 上载荷量绝对值均大于 0.7,它们主要反映区域土地利用的投入产出水平,反映了土地利用的综合效益状况,可称之为土地利用的综合效益因子。且因子 1 的特征值为 5.028、贡献率为 35.914%,均高于其他主因子的相应值,表明天水市区域土地利用的效益在综合分区中占有主要地位,即土地利用综合分区中土地利用效益的特征最为明显。第三产业比重和人均 GDP 指标在因子 2 上有较大载荷,它们主要表示的是土地综合经济发挥水平,综合反映土地经济效果,如产业构成反映区域经济发展性质及程度,人均 GDP 衡量经济发展状况,可称之为土地综合经济水平因子。因子 3 只在园地比重指标上有较大载荷;因子 4 只在农民人均纯收入指标上有较大载荷;因子 5 在牧草地比重和林地比重指标上载荷较大,主要反映土地生态状况。

对 5 个主因子的特征值归一化,得到它们的权重值分别为 0.423、0.202、0.154、0.121 和 0.100。对各

评价单元的主因子得分加权求和,得到天水市各乡镇(镇、街道)土地利用综合评价的评价值。天水市各乡镇土地利用的综合水平受多种因素的影响,如土地利用的结构、投入、产出、生态、规模和效益等等,而这些因素在地域上往往是分布不均,组合有别,使天水市各乡镇土地利用的综合水平在地域空间上存在明显差异。土地利用的综合评价价值介于 -0.575 和 4.297 之间,最高的是秦州区的桥南街道,而最低的是张家川县的连五乡。

3.3 空间聚类分析和分区识别

综合分区要求将研究区域按差异进行分类,因此将各乡镇综合评价价值作为新的样本数据,将 GIS 方法与空间聚类分析法相结合,利用 ArcView GIS 软件的自然断点(natural break)法进行空间聚类,结果如图 3 所示。根据分区指标体系数据聚类的结果,综合天水市“十一五”发展规划、“关中-天水经济区规划”、生态规划、产业布局区划、城镇体系规划等相关规划,统筹考虑未来耕地保护、生态建设、人口分布、经济布局、国土利用和城镇化格局,参考综合自然条件、

土地利用特点和区划单元空间位置的连续性, 尽量使区划单元内自然条件与土地利用特点具有一致性。将各乡镇综合评价值作为新的样本数据, 利用 SPSS 软件的分层聚类功能, 进行了 Q 型分类。在程序运行实践中, 经过多次分析对比和论证, 选择标准化方法中的“Range 0 to 1”, 对原始数据进行标准化处理, 并运用系统聚类分析欧氏距离对天水市土地利用类型进行土地利用区的分类。按照市级土地利用规划编制规程, 将天水市现有的 116 个乡镇的土地利用状况划分为 3 个土地利用区域 (图 4)。考虑到资料的可获得性, 部分社会经济指标以县、区为基本评价单元。分析过程中由于部分地区资料的缺失, 使得分区情况不是非常明确, 结合综合分区的原则, 尤其是结合了地域临近性原则, 对聚类结果进行了修正。

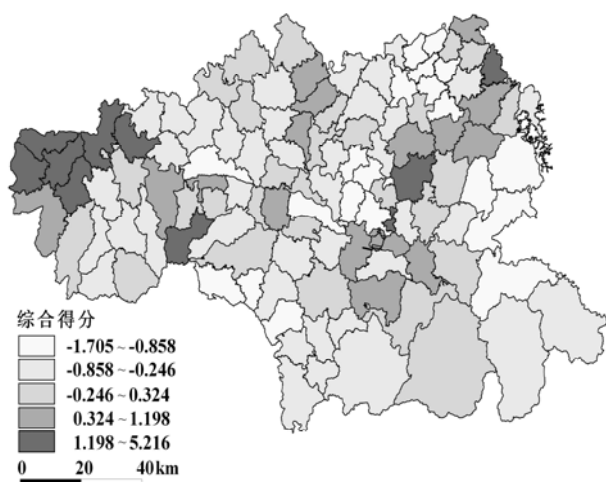


图3 天水市土地利用水平综合评价值空间聚类

Fig. 3 Spatial clustering of land use comprehensive evaluation value in Tianshui



图4 天水市土地利用综合分区结果

Fig. 4 Land use comprehensive division in Tianshui

3.4 分区发展战略和土地利用调控方向

3.4.1 渭河谷川道城镇发展区 土地面积 226 116 hm^2 , 占全市土地面积的 15.8%, 人口约 116 万人, 占全市人口的 33%。包括秦州、麦积、甘谷、武山 4 县的 22 个乡、镇、街道, 本区域大多为城镇和城乡结合部, 城镇分布集中, 属于全市经济发达的地域。该区是今后非农业建设用地的主要区域。以工、农业用地为主导, 支持发展现代农业、观赏农业, 加强水源地保护和水土资源合理利用。发展城郊高效集约化程度高的农业、副食产品基地建设。合理安排城市建设用地, 保障装备制造业等产业用地。

3.4.2 渭北渭南黄土丘陵沟壑农业土地利用区

土地面积 751 682 hm^2 , 占全市土地面积的 52.52%, 总人口 204.66 万, 占总人口的 58.47%。包括麦积、秦安、甘谷、清水、武山、张家川 6 县区的 76 个乡、镇。该区气候温暖, 阳光条件较好, 但水资源分布不平衡。以治理水土流失为重点, 开展小流域综合治理; 稳定耕地面积, 提高耕地质量; 搞好乡村建设规划, 缩并自然村; 严格生态用地的用途管制。

3.4.3 关山-秦岭山地生态保护与林业发展区

土地面积 453 413 hm^2 , 占全市土地面积的 31.68%, 总人口 29.79 万, 占总人口的 8.51%。包括麦积、秦州、甘谷、清水、武山、张家川 6 县区的 18 个乡、镇。该区天水市主要的林业生产基地。土地利用以林为主, 支持天然林保护、防护林营造等工程; 逐步提高牧草地质量和载畜能力; 治理已遭受破坏的山体、水系及植被; 促进生物多样性保护; 加快旅游景点配套设施建设; 保护生态环境。

4 土地利用管制分区

4.1 分区标准与结果

土地利用综合分区是将行政区内的土地按照主导功能进行的划分, 要保持某级别的行政界限完整, 且一般要连续并连片; 土地利用用途管制分区则是按照土地基本用途的不同划定土地利用区, 它以实现国家目标为原则, 强化政府的调控手段, 鼓励土地用途向社会、经济、生态综合效益最佳的方向转移, 并制定切实可行的土地用途分区管制措施, 一般均打破行政界限。采用 GIS 辅助下的多指标模糊综合评判法, 首先将参与分区的各栅格图层统一投影到 Albers 投影系下, 依据 DEM (数字高程模型) 和坡度分布图, 进行单要素区域划分, 作局部调整后, 生成地貌控制区。在此基础上, 根据土壤类型图、气温图、降雨量图、积温图进行生态要素区划界线的叠置, 取重合最多处

为界线,进行必要的修正。最后,依据天水市土地适宜性评价栅格图,结合天水市生态功能区划、土地利用现状图以及重点土地开发整理和生态修复项目规划,按主导管制功能或主导因子划分界线,进一步调整分区方案。最终分区结果如图 5。

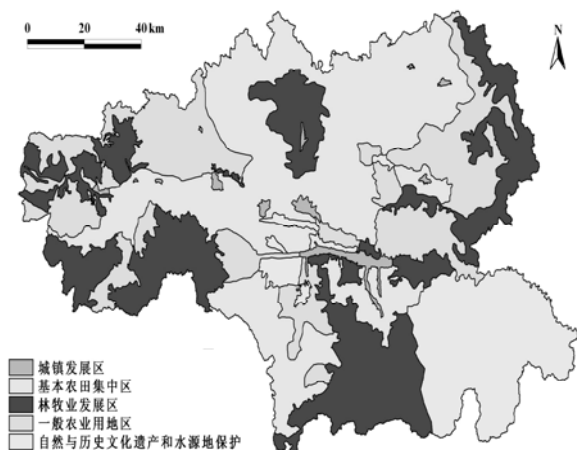


图 5 天水市土地利用用途管制分区图

Fig. 5 Map of land use regulation division in Tianshui

4.2 差别化的土地利用政策

4.2.1 城镇发展区 面积 196.48 km², 占全市土地总面积的 1.37%。主要包括天水市中心城区、各县级中心城区、规划人口 5 万以上的镇区(社棠、花牛、平南、西川等)。优化中心城区功能和产业布局,在中心城区形成分工明确、协调合理的产业组团结构和功能分区,引导产业适当转移;提高区内土地集约利用水平,保护和改善城镇生态环境;整合市区用地空间,完善城市布局;做好三阳川地区前期开发的准备工作。

4.2.2 基本农田集中区 面积 5 071.2 km², 占全市土地总面积的 35.43%。严格落实基本农田保护目标,确保耕地数量不降少,质量不降低。加强基本农田基础设施建设,完善农田基础设施。加大基本农田集中区的整治力度,推进规模化、集约化、产业化利用土地。大力发展农业园区。

4.2.3 林牧业发展区 面积 1 183.77 hm², 占全市土地总面积的 8.27%。主要分布在秦安县、麦积区和武山县。严禁各类建设占用名、特、优、新种植园地;优化果树结构,改造低产果园,提高土地利用率;严禁各类建设占用水土保持林、水源涵养和防护林等用地;加强林地集约化管理,扩大林地面积。保护优良草场,控制放牧载畜量;加强对牧草地的改造。

4.2.4 一般农业发展区 面积 3 166.73 km², 占土

地总面积的 22.13%。巩固提高粮食生产能力,实施优质农产品产业工程,积极推动农业产业化经营;鼓励荒草地、田坎植树造林。

4.2.5 自然与历史文化遗产和水源地保护区 面积 4 693.82 km², 占土地总面积的 32.80%。包括森林公园、自然保护区、饮用水源地、风景名胜用地。严格执行保护区内的总体规划和相关法律法规。加强对禁止开发区域的土地利用调控,对自禁止开发区域要依法实行强制性保护,控制人为因素对自然生态的干扰和破坏。

5 结语

采用主成分分析法对各乡镇的土地利用程度进行综合评价,采用空间聚类法进行综合分区,采用 GIS 空间分析法进行管制分区,将天水市划分为 3 个土地利用区和 5 个管制区,提出各分区内土地利用方向、战略对策和管制措施,为区域土地利用规划、生态环境保护与建设规划的编制提供科学依据。研究表明,基于主成分分析与 GIS 空间分析方法的土地利用分区,是在综合分析 with 主要因子评价和地理区划相对一致性基础上,增加了土地利用分区研究的科学性和量化水平。天水市今后的土地利用与规划应有针对性地提出分区管制措施及调控指标,统筹区域经济发展,缓解区域发展和资源环境间的矛盾。基于栅格的主成分分析和多因子加权地图代数建模将是今后土地利用区划研究的重要课题。

参考文献:

- [1] 潘竟虎, 石培基, 吕立刚. 张掖市统筹土地利用分区研究. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(4): 391-395
- [2] 王玉波, 雷国平, 唐莹, 王静. 统筹黑龙江省土地利用分区与战略对策研究. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 61-65
- [3] 郑文聚, 范金梅. 我国土地利用分区研究进展. 资源与产业, 2008, 10(2): 9-13
- [4] Wu FL, Christopher JW. Simulation of natural landuse zoning under free-market and incremental development control regime. Computer, Environment and Urban Systems, 1998, 22(3): 241-256
- [5] Christopher PC. Allocation rules for land division. Journal of Economic Theory, 2005, 121(2): 236-258
- [6] 范树平, 程久苗, 程美琴, 田葵新, 沈非. 国内外土地利用分区研究概况与展望. 广东土地科学, 2009, 8(4): 22-27
- [7] 林霞, 任学慧, 张海静. 统筹县域土地利用及其分区研究. 资源与产业, 2008, 10(2): 31-34
- [8] 丛明珠, 欧向军, 赵清, 王仲智, 葛兆帅. 基于主成分分析法

- 的江苏省土地利用综合分区研究. 地理研究, 2008, 27(3): 574-582
- [9] 葛浩, 周生路, 吴绍华. 当前形势下土地利用总体规划中功能分区方法研究. 土壤, 2008, 40(4): 534-539
- [10] 潘竞虎, 石培基, 孙鹏举. 统筹甘肃省土地利用分区研究. 中国土地科学, 2009, 23(9): 9-14
- [11] 余德贵, 吴群, 赵亚莉. 土地利用主体功能分区方法与应用. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(2): 196-200
- [12] 周志跃, 陈俐谋, 张孝成. 重庆市土地利用现状分区研究. 西华师范大学学报(自然科学版), 2006, 27(2): 149-152
- [13] 张超, 杨秉庚. 计量地理学基础. 北京: 高等教育出版社, 1991
- [14] 潘竞虎, 石培基, 董晓峰. 中国地级以上城市腹地的测度分析. 地理学报, 2008, 63(6): 635-645

Research on Overall Planning of Land Use Division in Tianshui Based on PCA and GIS

PAN Jing-hu, LIU Yang, SHI Pei-ji,

(College of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Overall planning of land use division is the key content of general land use planning revision at provincial level. According to the requirements of the strategy for regional development policy and socio-economic development of Tianshui City, the regional land use divisional comprehensive evaluation index system was built up by selecting 20 indexes from the following 5 fields of regional land use: economic development, social development, environment, land utilization situation and benefit. Comprehensive evaluation of land use extent taking counties and cities as units in Tianshui was made by using principal component analysis. Combined with clustering analysis, Tianshui was divided into 3 land-use zones, and some countermeasures and advices for land-use strategy and policy were put forward. Furthermore, based on land suitability evaluation, Tianshui was divided into 5 regulation zones using GIS spatial analysis, combined with data of DEM, slope, soil, temperature and precipitation, and the regulation measures were suggested for land utilizations in various zones. This study can provide scientific basis for regional land use planning, eco-environment protection and construction planning.

Key words: Comprehensive land use division, Spatial regulation, Overall planning of land use, Principal component analysis, Tianshui