

# 平顶山市土地利用景观格局及其稳定性分析

楚纯洁<sup>1,2</sup>, 安春华<sup>3,4</sup>

(1. 平顶山学院环境与地理科学系, 河南 平顶山 467000; 2. 河南省林业厅 低山丘陵区生态修复重点实验室, 河南 平顶山 467000; 3. 河南省科学院 地理研究所, 郑州 450052; 4. 河南省遥感与地理信息系统重点实验室, 郑州 450052)

**摘要:**基于遥感和GIS技术,结合景观格局分析方法,利用遥感影像、地形图、土地利用现状图以及野外调查资料,对平顶山市土地利用景观格局及其稳定性进行定量分析。结果表明,平顶山市土地利用景观类型面积比例从高到低依次为:耕地、建设用地、园地、林草地、水域和工矿用地,形成中心城区以城市建设用地为主、城区外围以耕地和园地为主体景观的总体景观特征,具有较高的景观异质性。各景观类型在面积、形状、破碎化程度等方面存在一定差异,其中园地和耕地具有较大的破碎化影响及边缘效应。总体景观格局处于中等稳定水平。

**关键词:**土地利用; 景观格局; 景观稳定性; 平顶山市

中图分类号:F301.24;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0224-04

## Analysis on the Landscape Pattern of Land Use and Its Stability in Pingdingshan City

CHU Chun-jie<sup>1,2</sup>, AN Chun-hua<sup>3,4</sup>

(1. Department of Environment and Geography, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China;

2. The Key Laboratory of Ecological Restoration in Hilly Areas, Forestry Department of He'nan Province,

Pingdingshan, 467000, China; 3. Institute of Geography, He'nan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China;

4. Key Laboratory of Remote Sensing and Geographical Information System in He'nan Province, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:**Based on remote sensing and GIS technology, combined with landscape pattern analysis methods, using remote sensing image, topographic maps, land-use maps and field survey data, the land-use landscape pattern of Pingdingshan city and its stability were analyzed by quantitative indicators. The results show that: The proportions of six landscape types from high to low were arable land, construction land, orchard and vegetable land, forest and grassland, water area and other industrial and mining land respectively. It formed the overall landscape features of which the urban construction land dominates the landscape of central city, the arable land and orchard and vegetable land dominate the landscape of suburbs. There existed certain differences in size, shape and degree of fragmentation between six landscape types, in which orchard and vegetable land and arable land have greater influences of fragmentation and edge effects. The overall landscape pattern was in moderate level of stable.

**Key words:**land use; landscape pattern; landscape stability; Pingdingshan city

景观格局分析是研究景观功能和动态的基础,数量分析方法经不断修改和完善,已经成为景观生态学中的一个重要组成部分<sup>[1]</sup>。不断新生的城市问题历来是全社会关注的焦点。从景观生态学角度来看,城市生态问题主要是由不合理的土地利用方式和利用强度造成,主要表现在自然生境大量损失、水土流失的加剧、景观破碎度的增加、景观结构单一、景观通达性降低等<sup>[2]</sup>。而景观科学正是试图运用宏观—

微观层面相结合的方式,通过景观分析、评价和规划,科学合理地规划我们所面临的环境,以实现人口、资源和环境的协调与可持续发展<sup>[3]</sup>。当前,景观格局、生态过程和生态环境效应研究正成为我国城市景观生态学研究的一项重要内容,并且3S技术在城市景观生态研究中得到极大的重视<sup>[4]</sup>。景观稳定性是指景观各种参数的长期变化呈现水平状态,或是在水平线上下摆动的幅度和周期性具有统计特征<sup>[5]</sup>。研究

收稿日期:2010-04-14

修回日期:2010-07-21

资助项目:国家林业公益性行业科研专项资助(201004044);平顶山市重大科技攻关资助项目(2008031);平顶山学院高层次人才科研启动经费资助(2008015)

作者简介:楚纯洁(1978—),男,河南叶县人,硕士,讲师,主要从事资源与生态环境评价方面的教学与研究。E-mail: zcfecj@163.com

者大多都从生态系统的稳定性方面表达景观的稳定性,包括恒定性、持久性、惯性、弹性、恢复性、抗性、变异性、变幅等术语<sup>[6-7]</sup>。在城市化快速发展中,景观的变异是绝对的,稳定是相对的,且在景观斑块、景观和区域等不同的空间尺度下景观稳定性及其表现方式是不同的。平顶山市是我国重要的煤炭资源型城市,煤炭等相关能源化工产业对该市土地利用、城市生态环境质量都具有重要的影响。本文以平顶山市区土地利用为依据,分析其景观格局特征及其景观稳定性,以期平顶山市构建健康稳定的城市生态系统,引导产业空间配置及其规划,并为土地管理决策以及城市生态环境建设提供一定的理论支持。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

平顶山市位于河南省中西部,西依伏牛山,东连黄淮平原,下辖四区、二市、四县。研究区包括新华区、湛河区和卫东区,其范围为北纬  $33^{\circ}41' - 33^{\circ}49'$ ,东经  $113^{\circ}04' - 113^{\circ}26'$ ,东西长约 40 km,南北宽约 17 km,面积  $419.42 \text{ km}^2$ 。区内土地利用以建成区城市用地为主,面积  $106.9 \text{ km}^2$ ;市区西北和西南地势较高,为东西走向的低山丘陵带,向东南逐渐降低,地形多属剥蚀、堆积的丘陵—丘间河谷平原地貌,土地利用依地形变化呈现出由山丘多林草地向平原耕地、园地过渡的特点。市区西南白龟山水库为研究区最大水域,库区总面积达  $70 \text{ km}^2$ ,为河南省省级湿地自然保护区。研究区煤炭资源丰富,仅在市区北部低山丘陵区就点缀着 20 余对矿井。在以煤炭为主导的能源化工产业的带动下,平顶山市社会经济快速发展,但同时城市生态环境也造成了很大影响。研究区属暖温带半干旱季风气候区,四季分明,年均降水量为  $695.12 \text{ mm}$ ,年平均气温  $14.9^{\circ}\text{C}$ ,主导风向为东北风,年平均风速  $1.6 \text{ m/s}$ 。

### 1.2 数据来源及处理

以平顶山市 2000 年 Landsat-7 ETM 遥感影像为基本信息源,并借助研究区 1:50 000 地形图、部分区域的土地利用现状矢量图(1:10 000)、河南省土地利用现状图集(1997 年)(1:100 000)以及 GPS 野外调查获得的数据等相关资料,利用 ERDAS IMAGINE 遥感软件对研究区 ETM 多光谱影像、分辨率为 15 m 的全色影像分别进行几何校正。然后将校正后的 ETM 多光谱影像与全色波段影像进行分辨率融合处理,利用监督分类和非监督分类相结合

的方法解译及分类影像,在 ArcGIS 中处理分析矢量数据,将不同景观类型的信息分层提取,生成研究区土地利用图形数据库和相应的属性数据库。

### 1.3 土地利用及景观分类

根据土地利用属性和景观生态学意义,参照国家土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007),结合平顶山市实际情况,进行景观分类,共包括耕地、园地、林草地、水域、建设用地、工矿用地等 6 类,其中:(1)耕地:包括旱地和水浇地两个二级类型,为粮食生产用地;(2)园地:包括果园和其他园地两种二级类型,主要为各类园地以及蔬菜地;(3)林草地:包括有林地、灌木林地、疏林地、未成林地、苗圃与采煤塌复垦造林迹地等林地类型,以及树木郁闭度  $<0.1$ 、表层为土质、生长草本植物为主、不用于畜牧业的草地;(4)水域:包括河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、内陆滩涂、沟渠以及水工建筑用地等类型;(5)建设用地:主要包括城市商服用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地以及建制镇、村庄等农村居民点用地;(6)工矿用地:包括采矿用地、工业用地、仓储用地等类型。研究区景观如附图 11。

### 1.4 数据分析

本研究采用景观指数来描述研究区斑块或整个景观的空间格局。当前所能采用的各种景观格局指数累计近百个,但不同指数之间存在很大的冗余,而且有些指标的生态学意义并不明确,甚至相互矛盾<sup>[8-11]</sup>。因此,本研究依据简单性、代表性和统一性的原则,在全面了解所选指标生态意义的前提下<sup>[7]</sup>,根据研究区特点,在斑块水平上选取斑块数目(NP)、边界密度(ED)、平均斑块面积(AMN)、斑块面积变异系数(PSCV)、斑块形状指数(LSI)、景观破碎度指数(FN)和分离度指数(SPLIT),在景观水平上选取 Shannon 多样性指数(SHDI)、Shannon 均匀度指数(SHEI)和景观弹性度指数(Landscape resilience, R),各景观指数公式及其生态学涵义详见文献<sup>[12-14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 景观类型结构分析

研究区各景观类型中,耕地面积最大,为  $15\,326.9 \text{ hm}^2$ ,占研究区总面积的 37%;其次为建设用地,面积达  $7\,839.8 \text{ hm}^2$ ,占 19%;园地面积  $7\,005.2 \text{ hm}^2$ ,占 17%。结合附图 11 可知,除中心城区以城市建设用地为主外,城区外围以耕地、园地为主的种植业占据景观主体。其他景观如林草地占 14%、水域占 13%。工矿用地面积在所有景观类型中面积最小,为  $378.2 \text{ hm}^2$ ,仅占 1%,但平顶山市作为我国重要的新兴煤炭资源型城市,工矿用地的影响范围远不止于此,如市

区因煤炭开采造成的塌陷区东西绵延约 30 km,南北宽约 8 km,塌陷面积达 119.7 km<sup>2</sup>,远远大于工矿用地面积。

2.2 景观面积特征

平顶山市区景观格局指数见表 1。从斑块面积来看,水域平均斑块面积最大,远远超过其他景观斑块,而且面积变异系数也较大,这说明平顶山市水域景观斑块之间面积悬殊非常大,而且以大面积斑块占据水域景观的主体,其中以白龟山水库斑块面积最大,达 4 833.4 hm<sup>2</sup>,占全部水域面积的 89.7%,由此可见,白龟山水库对于平顶山市城市生态系统及其景观的稳定具有积极作用。园地和工矿用地的平均斑块面积最小,面积变异系数也最小,说明这两类景观斑块主要呈点状分布,斑块之间面积差异较小,加之园地斑块数量最多,可见主要为城市居民生活提供果

蔬产品的城郊型园地种植分散且广泛分布。建设用地面积变异系数最大,这与面积处于不断扩展中的城市建设用地斑块的集聚分布以及面积相对稳定的农村居民点斑块的分散分布有关。其原因是建设用地受外界干扰较大,属于引进斑块中的聚居地类型,人类是其中的主导而直接的因素,所以斑块比较零碎,其变异系数相对较大<sup>[15]</sup>。耕地面积变异系数也非常大,仅次于建设用地,主要是受地形条件的影响,市区处于低山丘陵与河谷平原过渡区,因此在地势较低平、土壤条件、水利条件较好的区域,耕地大面积成片分布,而在地形起伏较大的区域,耕地则多被分割为小块状分布。林草地平均斑块面积以及面积变异系数也较大,这主要与平顶山市区地形条件和林草地的分布有关,在北部低山丘陵区林草地呈大面积集中分布,而其他区域则比较分散(附图 11)。

表 1 平顶山市区景观格局指数

景观类型	NP/个	ED/(m·hm <sup>-2</sup> )	AMN/hm <sup>2</sup>	PSCV	LSI	FN	SPLIT
耕地	12237	98.2	125.3	3668.12	93.87	0.29	7.39
园地	21638	119.6	32.4	573.80	169.08	0.52	21.50
林草地	4475	46.8	134.1	1772.65	71.52	0.11	11.41
水域	540	8.7	998.3	2083.34	14.03	0.01	4.41
建设用地	7881	66.8	99.5	3819.41	89.26	0.19	11.60
工矿用地	1269	6.4	29.8	621.55	39.22	0.03	96.44

2.3 景观形状分析

斑块形状指数是反映景观形状复杂性以及受人为活动影响大小的重要指标。由表 1 可知,园地斑块形状指数最大,这主要是因为园地斑块大多种植面积小、分布零散,因而其形状具有较高的复杂性。受北方农业地域因素以及土地整理和城镇建设规划等影响,耕地和建设用地 LSI 相对园地较小,形状趋于简单化。而水域和工矿用地 LSI 最小,表明斑块形状比较规则,这主要是因为平顶山市区水系基本上均为人工水系,包括白龟山水库、人工拓宽、截弯取直的城市河道(湛河等)、利用采煤塌陷地积水坑塘整理的人工湖泊等,而工矿用地受资源采掘产业特点等人工因素影响非常大,其形状和结构也比较简单。

2.4 景观破碎化与边缘分析

平顶山市区园地斑块数最多,占全部景观斑块数的 45%;其次为耕地,斑块数占 25.5%。相应地,园地与耕地的破碎化程度也最高,破碎度指数分别为 0.52 和 0.29,说明园地和耕地受人为扰动的破碎化影响最大,可见城郊果园菜地以及耕地对市区整体景观影响最为广泛。水域斑块数量少,而且由于大面积斑块白龟山水库的聚集作用使其对景观破碎化的影响最小,仅为 0.01。工矿用地由于斑块数量较少对景观的破碎化影响也较小。

边界密度揭示了景观类型被边界的分割程度。

由表 1 可知,平顶山市区景观边界密度最大的为园地,其次为耕地,表明在人类干扰影响下,园地和耕地边缘最复杂,边缘效应大。建设用地和林草地的边界密度在各景观类型中适中,虽然近年来城市用地不断扩张,但由于建设用地斑块主要以城市建设用地为主,具有较强的团聚式扩张特点,从而边界密度相对较小;而林草地主要集中分布于市区北部的低山丘陵区域,斑块数量少,且分布相对稳定,因而边界密度也相对较小。边界密度最小的是水域和工矿用地,这主要是因为水域分布比较集中且面积大,受人类扰动较小,而工矿用地虽然产生的环境影响较大,但斑块面积小且呈点状分布。

2.5 景观异质性分析

多样性、均匀度以及分离度等景观异质性指数可反映各景观斑块内部的空间分布状况,从而在整体上反映景观的空间结构特征。平顶山市区 Shannon 多样性指数较大,为 1.564 6,说明景观异质性较高;Shannon 均匀度指数也比较大,为 0.873 2,说明市区优势景观类型不太明显。这主要是因为园地、林草地、水域以及建设用地等 4 种景观类型的面积差异较小且占整体景观的比重较大(63%),从而使面积最大的耕地景观优势并不突出。从分离度来看(表 1),景

观面积(包括总面积和斑块平均面积)最小、斑块数量较少的工矿用地分离度最高;其次为园地,斑块数量虽然最多,但斑块平均面积小,破碎化程度最大,因而其分离度也比较高;水域虽然斑块数量最少,但平均斑块面积最大,而且由于个别超大面积斑块影响,其景观分离度最低。

2.6 景观稳定性分析

景观的稳定性主要从生态系统健康程度方面考虑,利用景观弹性度指数( $R$ )进行分析, $R$  值越高,生态系统受压力胁迫后,保持系统结构和功能的能力越大,系统越健康。根据不同景观特点,采取专家咨询方式对不同土地利用景观弹性度分值进行界定(表

2)。借鉴相关研究<sup>[16]</sup>,景观弹性度分级标准为: $R<20$ ,景观处于弱稳定状态; $21<R<40$ ,景观不稳定; $41<R<60$ ,景观中等稳定; $60<R<80$ ,景观较稳定; $R>80$ ,景观很稳定。经计算,平顶山市景观弹性度值为 49.25,表明平顶山市区土地利用景观格局处于中等水平。由于水域和林草地对于维持生态系统和景观稳定起积极作用,建设用地和工矿用地对维持景观稳定具负面作用,而对整体景观影响较大的园地和耕地,对于维持景观稳定具有边缘效应,如利用得不好,则容易退化而使区域景观稳定性降低。因此,要提高平顶山市区的景观稳定性,必须对建设用地、工矿用地、园地和耕地进行科学规划、管理。

表 2 不同土地利用类型景观弹性度分值与意义

土地利用类型	分值	对维持区域景观格局的意义
水域	1	对稳定区域生态系统和提高景观弹性度有着极其重要意义
林草地	0.8	对稳定区域生态系统和提高景观弹性度有重要意义
耕地	0.5	具较重要意义,如过分干扰,易退化,导致景观弹性度下降
园地	0.4	具一定意义,对景观弹性度起边缘效应,容易转变为负面影响
建设用地、工矿用地	0	对维持景观稳定贡献非常小,必须慎重利用和管理

3 结论与讨论

(1)平顶山市景观类型构成比例大小依次为:耕地、建设用地、园地、林草地、水域和工矿用地,形成中心城区以城市建设用地为主、城区外围以耕地和园地为主体景观的总体景观特征。平顶山市景观多样性与均匀度均较高,没有明显的优势景观类型,工矿用地和园地景观分离度最高,水域景观分离度最低。各景观类型面积大小及其变化受人为活动和地形等自然条件影响,其中水域由于大面积斑块白龟山水库影响而对平顶山市城市生态系统及其景观的稳定产生积极作用。园地由于平均斑块面积小、分布零散,其形状具有较高的复杂性,而水域和工矿用地受城市水系整治及资源采掘业等人为因素影响大形状比较简单。园地和耕地的破碎化程度及边缘效应最突出,应作为重点调控类型进行生态规划。

(2)平顶山市整体景观处于中等稳定水平,应通过积极的调控,以实现景观稳定性的不断提高。其一,增强水域、林草地对于维持景观稳定的积极作用,对城市水系进行景观规划与生态修复,加强低山丘陵区生态建设,实施退耕还林还草,扩大林草地面积;其二,对建设用地和工矿用地进行科学规划与管理,降低其对景观破碎化的影响;其三,加强园地和耕地的土地整理,杜绝耕地和园地的无序开发利用,促使园地和耕地所具有的边缘效应向有利方向转变。

(3)通过空间格局分析,获取了平顶山市景观特

征及其稳定性的初步认识。在此基础上可进行空间格局的动态演变分析,运用 DEM 分析进一步开展有关坡度、坡向等地形因子对平顶山市土地利用格局影响以及土地利用空间适宜性等课题的研究,从而为平顶山市生态建设和土地资源持续利用等提供理论与实践依据。

参考文献:

[1] 马克明,傅伯杰.北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J].植物生态学报,2000,24(3):320-326.

[2] 张惠远,倪晋仁.城市景观生态调控的空间途径探讨[J].城市规划,2001,25(7):15-18.

[3] 王云才,巩乃斯河流域游憩景观生态评价及持续利用[J].地理学报,2005,60(4):645-655.

[4] 黄奕龙,陈利顶,吴健生.我国城市景观生态学的研究进展[J].地理学报,2006,61(2):224.

[5] Forman R T T, Moore P N. Toword a throry of bound-aries in landscape mosaics[M]//Cagri F H. Landscape boundaries: Consequences for Biotic Divresity and Eco-logical Flows. New York:Springer-Verlag,1990.

[6] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2002.

[7] 肖笃宁,李秀珍,高峻,等.景观生态学[M].北京:科学出版社,2003.

[8] 何兴元.应用生态学[M].北京:科学出版社,2004.

[9] 彭建,王仰麟,张源,等.土地利用分类对景观格局指数的影响[J].地理学报,2006,61(2):157-168.

溉条件较早 25~30 d,灌溉+膜覆盖较灌溉+无覆盖早 5 d。

### 3 结论

(1)两种覆盖保水措施对辣木人工林样地土壤水分均具有一定效果。总体看,膜覆盖条件下的保水效果高于草覆盖膜式,而土壤经过草覆盖后,土壤水分变化相对稳定,表层的土壤水分很均匀。在覆盖模式选择上,盖膜处理保水效果虽高于盖草措施,但易损坏,不及时处理可能影响农田环境,属短期断续覆盖。盖草模式前期保持土壤水分,后期草杆还田,增加土壤肥力,可作长期覆盖模式。加上元谋干热河谷草被在植被中占 90% 以上<sup>[8-9]</sup>,是一种可就地选材,成本低、实用、操作性强的模式。

(2)试验表明两种覆盖保水措施对辣木物候均有影响。干热河谷旱坡地辣木人工林灌溉后经过地表覆盖措施后,一方面土壤水分即有不同程度的增加,另一方面辣木生育期也相应提前,可促进辣木开花结实,提高单位面积辣木生长量及种子产量。

(上接第 227 页)

- [10] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [11] Uuemaa E, Antrop M, Roosaare J, et al. Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research, Living Rev[J]. Landscape Res., 2009, 3(1): 1-28.
- [12] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

(上接第 231 页)

不同水生植物群落对富营养化水体净化能力为,沉水植物苦草、金鱼藻对各种营养元素的净化效果都较好,产氧能力也较高,浮叶植物菱的净化效果比较稳定,凤眼莲可能由于在移栽过程中的叶片残损,导致其净化能力不稳定,挺水植物芦苇对于总磷的净化效果稍好,其他各项净化能力都较弱,莲对于各种营养元素和有机物的净化效果为 39.66%~50.18%。

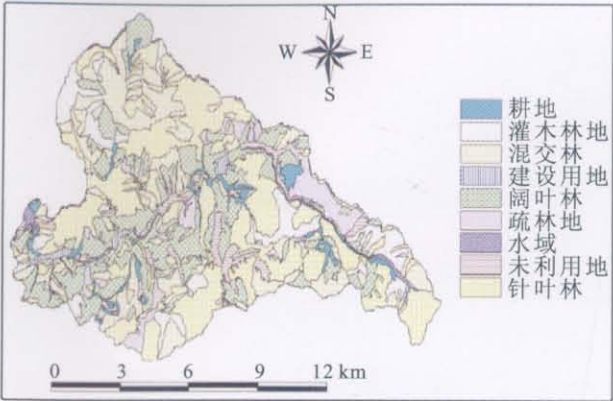
参考文献:

- [1] 高建平,王珊玲. 水体富营养化评价和防治的一些进展[J]. 农村生态环境, 1989(3): 55-60.
- [2] 张金屯. 应用生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 史丹. 我国湖泊富营养化问题及防治对策[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(1): 17.
- [4] 鞠澍. 玄武湖湿地生态系统植物群落人工恢复研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.
- [5] Holland D. Down the riverside[J]. Landscape Design,

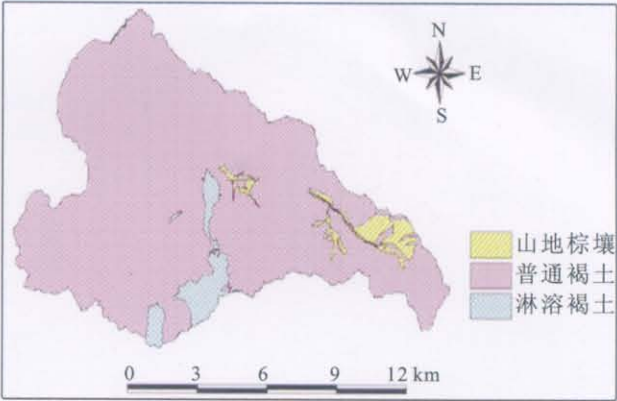
参考文献:

- [1] 欧晓昆. 云南省干热河谷区生态环境建设[J]. 长江流域资源与环境, 1994, 3(3): 271-275.
- [2] 张建平, 张信宝, 杨忠, 等. 云南元谋干热河谷生态环境退化及恢复重建试验研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 26(6): 733-738.
- [3] 张映翠. 金沙江干热河谷土地资源及其开发潜力[J]. 山地研究, 1996, 14(3): 188-193.
- [4] 龙会英, 沙毓沧. 干热河谷草和灌木资源引种及综合利用研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010(2): 203-210.
- [5] 张明忠, 朱红业, 张映翠, 等. 云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 27(3): 38-40.
- [6] 李保国, 龚元石, 左强, 等. 农田土壤水的动态模型及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 168-180.
- [7] 柴宗新, 范建容. 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地研究, 2001(8): 381-384.
- [8] 龙会英, 张德, 沙毓沧, 金杰. 云南金沙江干热河谷区牧草种质资源的研究利用与开发[J]. 西南农业学报, 2004, 17(S): 313-316.
- [13] 叶延琼, 陈国阶. GIS 支持下的岷江上游流域景观格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(1): 112-115.
- [14] 隋欣, 童飞, 姚长青, 等. 黄河流域青海片土地利用景观空间格局分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 123-127.
- [15] 赵明华, 杨树佳, 牟文龙. 山东半岛县域土地利用景观格局分析: 以招远市为例[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 155-157.
- [16] 赵雪雁. 甘肃省生态承载力评价[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 506-512.
- [6] 谢建华, 杨华. 不同植物对富营养化水体净化的静态试验研究[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(6): 23-25.
- [7] Robyn A O, David L P. The uptake of uranium by *Eleocharis dulcis* (Chinese water chestnut) in the Ranger Uranium Mine constructed wetland filter[J]. Environmental Pollution, 2004, 132: 307-320.
- [8] Todd L I, Lawrence A R. Nitrate removal in wetland microcosms[J]. Water Research, 1998, 32(3): 677-684.
- [9] 孔繁翔. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [10] 苗明升, 史凤琴. 水生维管束植物分布与水质污染的相关性研究[J]. 山东师范大学学报: 自然科学版, 1994, 9(1): 111-114.
- [11] 侯亚明. 水生植物在污水净化中的应用研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(2): 184-188.
- [12] 吴振斌, 詹德昊, 张晟, 等. 复合垂直流构建湿地的设计方法及净化效果[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(1): 12-16.

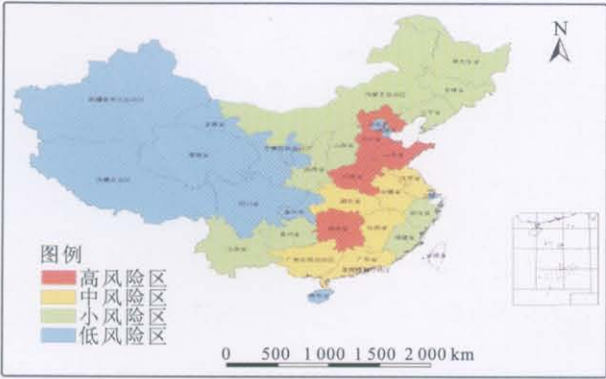




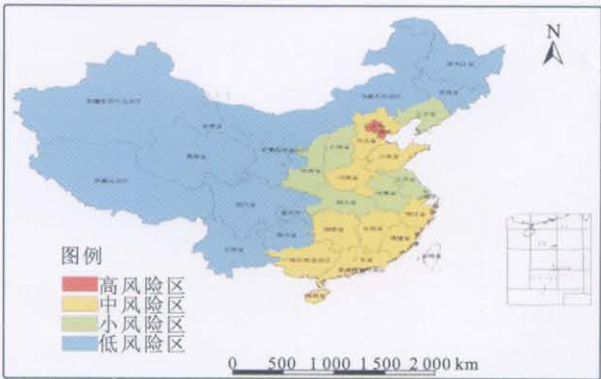
附图5 红门川流域2005年土地利用图



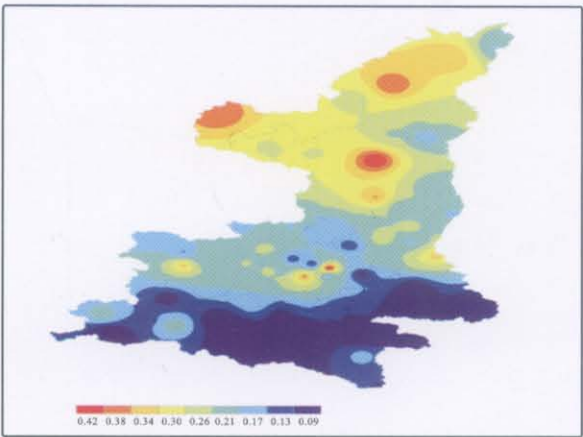
附图6 红门川流域土壤类型图



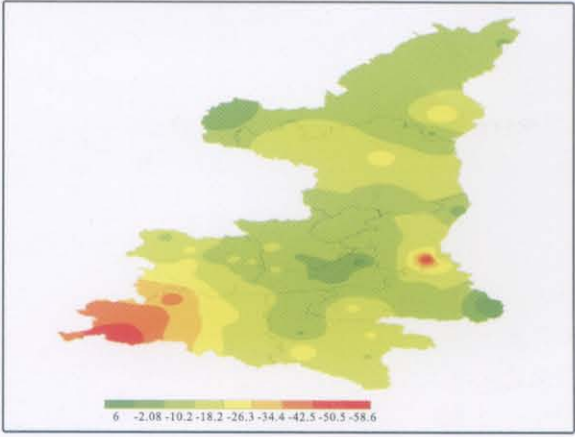
附图7 2020年我国旱灾风险等级图



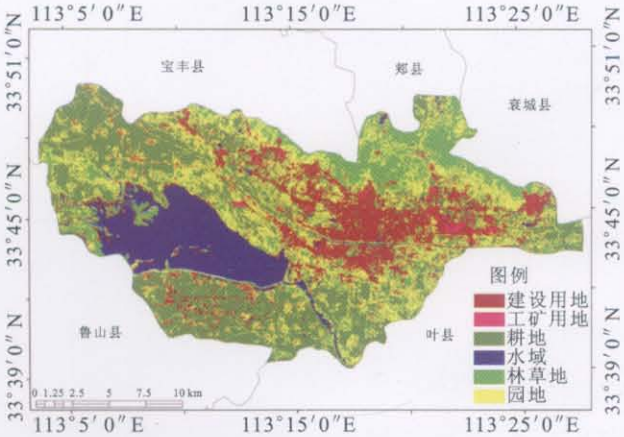
附图8 我国旱灾相对减产风险等级图



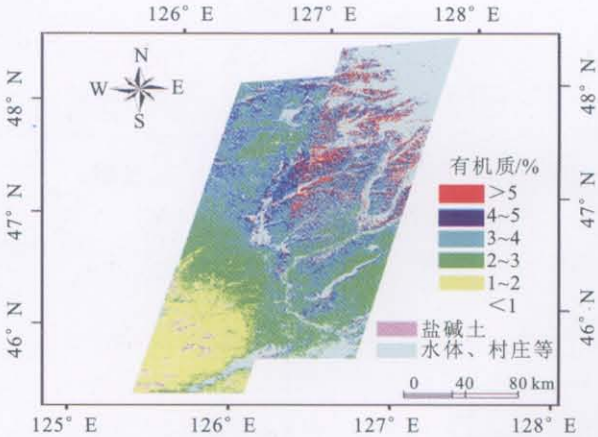
附图9 1961-2008年陕西省气温线性趋势空间分布



附图10 1960-2008年陕西省降水线性趋势空间分布



附图11 研究区景观分类图



附图12 土壤有机质含量空间分布图