

# 南水北调中线水源地长安河流域景观格局变化

王继夏<sup>1</sup>, 孙虎<sup>1</sup>, 李俊霖<sup>2</sup>, 彭鸿<sup>3</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 西安理工大学 理学院, 陕西 西安 710048; 3. 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004)

**摘要:** 在 RS 和 GIS 技术支持下, 利用 1994 年和 2003 年遥感资料, 运用生态学与景观生态学的基本原理, 选取景观斑块数、多样性指数、优势度、均匀度、分维数、破碎度等反映景观空间格局的指数, 从景观斑块特征、景观多样性、景观破碎化方面对南水北调中线水源地长安河流域的景观格局变化进行了分析。结果表明, 长安河流域从 1994—2003 年总的景观斑块数目有了明显的增加, 从 1994 年的 469 块增加到 2003 年的 1 518 块; 长安河流域景观多样性整体较低, 但从 1994—2003 年景观多样性指数增加了 0.161; 1994—2003 年间长安河流域的景观破碎化指数呈增加趋势, 在各个景观斑块类型中, 人为影响林地、旱地、荒草地 3 种景观斑块类型的破碎化程度较高, 且易受到人类活动的影响。

**关键词:** 南水北调; 水源地; 景观格局

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0147-05

中图分类号: Q149, X171

## Landscape Pattern Change of Chang'an River Basin in the Water Source Area of the Middle Route of the South to North Water Diversion Project

WANG Jixia<sup>1</sup>, SUN Hu<sup>1</sup>, LI Junlin<sup>2</sup>, PENG Hong<sup>3</sup>

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. School of Science, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

3. Shaanxi Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an, Shaanxi 710004, China)

**Abstract:** Supported by RS and GIS, the landscape types in the study area are charted based on the landscape classification using remote sensing images obtained in 1994 and 2003. Landscape patterns in the Chang'an River basin, apart of the water source area of the middle route of the South to North Water Diversion Project, are analyzed in view of landscape patch characters, landscape diversity, and landscape fragmentation by selecting the indices of patch number, diversity, dominance, evenness, fractal dimension, and fragmentation. The analysis of the ecological landscape patterns indicates that the patch number in the basin increased obviously from 469 in 1994 to 1518 in 2003. Disturbed by human activities, landscape diversity index increased by 0.61 from 1994 to 2003, but the level of landscape diversity was low. The landscape fragmentation index in the basin increased from 1994 to 2003. Among the landscape patch types, the fragmentation index for the three landscape patch types (artificial woodland, dry land, and grassland) was high and was easily disturbed by human activities.

**Keywords:** South to North Water Diversion; water source area; landscape pattern

南水北调中线工程是我国超大规模跨流域调水工程——南水北调工程的一部分<sup>[1]</sup>。其目标是在保证调水区生态环境质量不降低的前提下, 从水资源相对富余的长江中游地区调出部分水量, 以缓解政治经济地位重要, 水资源消耗量巨大, 水资源匮乏的京津地区日益严重的用水危机, 保持其生态环境和社会经

济发展的动力<sup>[2]</sup>。景观格局及其动态变化研究已成为景观生态学的研究热点和重要研究领域<sup>[3-7]</sup>。通过对某一区域的景观空间格局进行分析, 可以发现格局形成的潜在原因, 确定影响和控制空间格局的主要因子并探究其作用机制, 从而为区域宏观调控和合理管理区域景观提供有用的参考<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2008-02-15

修回日期: 2008-03-18

资助项目: 长江水利委员会水土保持局项目“南水北调中线水源地水土保持预防保护工程对土壤侵蚀、植被恢复和饮水质量影响的研究”(2003-2007); 教育部科学技术研究重点项目(105152)

作者简介: 王继夏(1983-), 男(汉族), 宁夏回族自治区石嘴山市人, 博士研究生, 主要研究景观生态学与水土保持, E-mail: wjx19820420@163.com。

本文选取了南水北调中线工程水源地典型的生态修复区宁陕县长安河流域为研究区,在野外调查的基础上,借助于 RS 与 GIS 技术相结合的方法,对长安河流域的景观格局变化进行了分析研究,为景观格局变化对区域生态环境影响评价提供了科学依据。

## 1 研究区概况

长安河流域位于陕西省南部的宁陕县境内。属于长江流域汉江水系的二级支流。研究区地理坐标为  $108^{\circ}16'53''-108^{\circ}31'33''E$ ,  $33^{\circ}18'08''-33^{\circ}29'22''N$ 。研究区地处秦岭南麓,属于北亚热带山地湿润气候区。平均日照数为  $1\ 626.3\ h$ ,日照百分率为  $36.7\%$ ,全年太阳总辐射能  $101.93\ kJ/cm^2$ 。该区平均年降水量  $915.5\ mm$ ,丰水年高达  $1\ 207.1\ mm$ 。该地区属于土石山区,石多土少,主要基岩及成土母质是花岗岩、片麻岩类坡积、残积母质。流域岩石主要分布结晶灰岩构成陡崖山岭,闪长岩体形成折线状山脊,花岗岩、千枚岩表现为平缓低山。土壤特点是土层薄、沙质重、易流失、肥力低。研究区内植物资源丰富,有树种 60 科 246 种,其中用材树 45 科 77 种,经济树 18 科 38 种,观赏树 9 科 31 种,针叶树 5 科 25

种,珍贵稀有树种 8 种。主要的树种有青冈栎、栓皮栎、锐齿栎、山杨、红桦、马尾松、油松等。

## 2 研究方法

### 2.1 数据的来源与预处理

本次研究的遥感信息数据源选用了美国陆地资源卫星 1994 年 LANDSAT 5 TM 和 2003 年 LANDSAT 7 ETM<sup>+</sup> 影像数据。1994 年 TM 影像数据在 ERDAS IMAGINE 8.5 下将 4, 3, 2 这 3 个波段组合后生成假彩色图像,2003 年影像在此基础上再融合第 8 波段,生成分辨率为  $15\ m$  的影像。利用宁陕县地形图、宁陕县土地利用现状图、宁陕县森林分类区划界定林种布局图等常规数据,将上述的各类专题图件进行扫描、矢量化、编辑、拓扑、编码等处理,生成 coverage 文件,然后采用圆锥等面积投影方式建立统一的坐标系统,以此作为遥感解译的辅助资料<sup>[9]</sup>,编制研究区景观类型图(见附图 1)。

### 2.2 景观类型划分

本文依据 RS 影像分辨率对景观类型提取的情况,综合参照国土资源部发(1999) 511 号文件,结合秦岭山区实际特点,采用二级分类系统进行分类(见表 1)。

表 1 长安河流域景观类型分类系统

一级分类	二级分类	景观类型
自然景观	天然次生有林地	指天然生长的乔木、灌木林,呈现自然恢复状态
	人为影响林地	指受到人为砍伐或人工种植的乔木、灌木林
经营景观	荒草地	指天然草地或人工草场
	灌溉水田	指水田或水旱轮作田
	旱地	指梯田地和坡耕地
人工景观	河流水面	指河流、水库、坑塘
	居民工矿用地	指住宅、工矿企业用地
	交用地	指国家和地方公路,包括其它附属设施用地

### 2.3 景观格局指标体系的建立

在景观生态学的研究和应用中,学者们借鉴传统的生物学和地理学统计方法发展了很多衡量景观特征的指数和其相应的数学计算方法,这些指标为景观空间格局的分析奠定了基础<sup>[10]</sup>。指标体系的确定是在全面考虑研究区生态环境特点的基础上,选取既对表征评价区域景观生态空间格局状况有重大意义,又能反映区域生态环境最主要特征的一系列指标<sup>[11]</sup>。本文选取以下几个参数指标进行分析。

(1) 景观多样性指数。景观多样性主要指景观单元或生态系统在结构、功能以及随时间变化方面的

多样性,反映了景观的复杂性。多样性指数大小反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化<sup>[12-13]</sup>。景观多样性的计算公式如下

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i) \times \ln P_i$$

式中:  $H$  ——多样性指数;  $P_i$  ——景观类型  $i$  所占面积的比例;  $m$  ——景观类型数目。

(2) 优势度指数。景观优势度指数表示景观多样性与最大多样性的偏离程度<sup>[12-13]</sup>,或描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。优势度指数计算公式为

$$D = H_{\max} - H = H_{\max} + \sum_{i=1}^m (P_i) + \ln P_i$$

式中:  $H_{max}$  ——最大多样性指数,  $H_{max} = \ln m$ 。  
 $P_i$  ——景观类型  $i$  所占面积的比例;  $m$  ——景观类型数目。 $D$  ——某一类景观类型所占优势的程度, 它与多样性指数成反比。

(3) 均匀度指数。均匀度是描述景观里不同景观类型的均匀程度<sup>[12-13]</sup>。Romme(1982) 的相对均匀度计算公式为

$$E = (H/H_{max}) \times 100\%$$

式中:  $H_{max}$  ——给定丰富度景观最大多样性指数;  
 $H$  ——修正了的 Simpson 指数,  $H = -\ln\left[\sum_{i=1}^m P_i^2\right]$

(4) 景观分维数。景观分维数分析是建立于分形理论的基础上, 用来测定斑块形状的复杂程度。

$$F_D = 2\ln(P/4) / \ln A$$

式中:  $F_D$  ——分维数;  $P$  ——斑块周长;  $A$  ——斑块面积, 在实际计算中,  $D$  值得理论范围处于 1~ 2 之间。1.0 代表形状最简单的正方形斑块, 2.0 代表等面积下周边最复杂的斑块。

(5) 破碎度指数。破碎度指数即为描述景观里某一景观类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度<sup>[12-13]</sup>。该指数的计算公式为

$$F_{N1} = (N_p - 1) / N_c, \quad F_{N2} = S_{mp} (N_f - 1) / N_c$$

式中:  $F_{N1}$  ——整个区域的景观斑块破碎度指数;  
 $N_p$  ——景观斑块总数;  $F_{N2}$  ——区域内某一景观类型的斑块破碎度指数;  $N_c$  ——用方格个数表示的研究区景观总面积(即用研究区最小的斑块面积去除总面积);  $S_{mp}$  ——景观里各类斑块的平均斑块面积(以

研究区最小斑块面积为单位);  $N_f$  ——景观中某一景观类型斑块总数。

### 3 长安河流域景观格局变化分析

#### 3.1 景观斑块格局特征分析

1994—2003 年长安河流域景观要素比较发现(表 2), 景观要素有了较明显的变化。首先, 景观斑块类型面积发生了较大变化, 天然次生有林地、旱地景观类型面积呈减少的趋势, 人为影响林地、荒地景观类型面积呈增加的趋势; 其次, 1994—2003 年总的景观斑块数目有了明显的增加, 从 1994 年的 469 块增加到 2003 年的 1 518 块。流域内以天然次生有林地这种景观要素类型的面积比例最大, 连通性最好, 视为基质。天然次生有林地、人为影响次生林地、荒草地 3 种景观类型的斑块呈现大幅度增加, 天然次生有林地景观增加了 482 块; 人为影响林地景观增加了 279 块; 荒草地景观增加了 262 块。这说明在受到人为强干扰作用下, 表现出景观的破碎化; 而灌溉水田、旱地景观的斑块数目变化不大, 1994—2003 年灌溉水田景观斑块数量增加了 34 块, 而旱地景观斑块数量减少了 15 块, 面积减少了 1 085.42 hm<sup>2</sup>, 这是由于国家实施退耕还林工程和天然林保护工程之后, 大量的陡坡耕地退耕为林地或撂荒为荒草地, 使得旱地面积大幅减少。河流水面、交通用地以及居民工矿用地没有大的变化, 这是由于研究区地处秦岭中山区, 特殊的自然条件限制了这 3 类景观的变化。

表 2 长安河流域景观斑块特征计算结果

景观类型	1994 年				2003 年			
	斑块数	占斑块总数/%	平均斑块面积/m <sup>2</sup>	平均斑块周长/m	斑块数	占斑块总数/%	平均斑块面积/m <sup>2</sup>	平均斑块周长/m
天然次生有林地	46	9.80	3 098 753.70	8 771.4	528	34.78	198 003.5	1 855.1
人为影响林地	213	45.42	76 084.60	1 936.5	492	32.42	129 693.1	2 078.9
灌溉水田	39	8.32	41 802.40	1 400.9	73	4.82	11 570.5	1 034.8
旱地	74	15.77	153 870.20	2 870.3	59	3.88	9 020.0	545.1
荒草地	32	6.83	646.87	720.0	294	19.36	6 987.7	790.6
河流水面	13	2.77	69 346.00	62 058.2	14	0.93	64 392.0	97 855.0
交通用地	23	4.91	12 174.00	70 016.0	39	2.56	7 179.0	70 016.0
居民工矿用地	29	6.18	7 931.00	10 200.0	19	1.25	12 105.0	10 200.0
整个研究区	469	100.00			1 518	100.00		

#### 3.2 景观多样性分析

对长安河流域 1994, 2003 年的景观多样性进行比较研究(表 3), 发现与最大多样性指数相比, 1994 年和 2003 年的景观多样性指数都比较低, 1994—2003 年,

景观多样性指数增加了 0.161。计算结果表明, 1994 年景观多样性低(0.705), 优势度高(1.375), 均匀度低(0.339), 这反映出在 1994 年景观多样性对最大多样性的偏离程度大, 主要由天然次生有林地这种景观类

型控制,面积比例占绝对优势,总体上各土地利用景观类型所占比例差异大;2003年仍然是天然次生有林地景观占优势,景观多样性指数 0.866,优势度 1.214,均匀度 0.416。景观面积占全流域面积的 59.65%,但不如 1994 年的天然次生林控制面积大,这正体现了山地景观因为森林资源丰富而造成的固有的多样性低,优势度高的特点。

表 3 长安河流域景观格局指标计算结果

景观破碎化特征指标	平均斑块分维数		景观类型破碎度	
	1994 年	2003 年	1994 年	2003 年
天然次生林地	1.068	1.090	0.205	0.602
人为影响林地	1.085	1.096	0.093	0.367
灌溉水田	1.078	1.094	0.009	0.005
旱地	1.080	1.079	0.064	0.003
荒草地	1.045	1.103	0.001	0.012
河流水面	1.942	1.942	0.005	0.005
交通用地	1.558	1.558	0.002	0.002
居民工矿用地	1.071	1.071	0.001	0.001

### 3.3 景观破碎化分析

通过对斑块分维数的分析(表 3)得出,河流水面、交通用地景观的平均斑块分维数较高,在 1.5 以上,表明这两类斑块形状较为复杂。因为这些景观主要分布于河谷地中,斑块形状取决于自然地貌的平面形态,但这类景观的分维数一般没有变化。景观分维数变化最大的类型是荒草地,从 1994 年的 1.045 增长到 2003 年的 1.103,由此可以看出荒草地斑块形状逐渐趋向复杂化。这是由于荒草地往往分布在沟谷两侧,大多数是陡坡耕地退下来的,所以它的地形取决于沟谷的平面形状,还有原来的农田多沿沟底和沟缘分布,在退耕还林政策实施后,逐渐演化为荒草地,这些取决于沟底或沟边的形状,所以平均斑块分维数逐渐增大,景观形状复杂化。

从景观类型的破碎度来分析,整体研究区的破碎度从 1994 年到 2003 年明显增大,景观破碎化指数由原来的 0.243% 增加到 0.788%。从单个景观斑块类型来分析,天然次生林地、人为影响林地、旱地、荒地的 4 种景观斑块类型的破碎度指数在 1994—2003 年间都发生了较大变化,其中天然次生林地、人为影响林地、荒地 3 种景观斑块类型的破碎度指数呈现出增长的趋势,灌溉水田和旱地的破碎度指数在这几年呈现出减少的趋势。这充分说明了在实施“天然林保护”工程和“退耕还林”工程之后,天然次生林地、人为影响林地、

荒地 3 种景观斑块数目的增加,面积的增长。旱地景观斑块数目、景观面积的减少。这是由于“天然林保护工程”和“退耕还林”工程的实施都是以家庭或个人为单位,这种实施模式在效果上有很好的可控制性,但这种实施模式带来的结果是虽然景观面积增加,但斑块的数目同样增加,导致景观破碎度增加。

## 4 结论

研究结果表明,作为南水北调中线工程水源地之一的长安河流域从 1994—2003 年总的景观斑块数目有了明显的增加,从 1994 年的 469 块增加到 2003 年的 1 518 块。流域内以天然次生有林地的面积比例最大,连通性最好,视为基质,其它景观斑块类型镶嵌其中;长安河流域的景观多样性发生了较大变化,景观多样性指数增加了 0.161;长安河流域的景观破碎化指数是增加的,在各个景观斑块类型中,人为影响林地、旱地、荒草地 3 种景观斑块类型的破碎化程度较高,说明长安河流域景观受人类活动影响强烈,人类活动对于景观格局的影响程度较大。“天然林保护工程”和“退耕还林”工程作为国家实施的重要生态环境工程,在采取以家庭或个人为单位的实施模式的同时,应该注重“个体”与“整体”的协调发展,在注重“个体”效果的同时,关注“整体”效果,使区域景观完整性增加,生态系统的稳定性增强。

随着人类干扰强度的增强,人类活动不断分割景观使得承载生物栖息的生境斑块数量和斑块面积不断减少或变小,加速了一些物种种群数量的减少甚至消失<sup>[4]</sup>。由于长安河流域位于南水北调中线工程水源区这一特殊的地理位置,其生态环境意义极其重要。通过对典型小流域的景观格局变化研究,可以揭示出该地区生态环境变化规律,可以在促进地区经济发展和生态保护的基础上,进一步协调好“开发”与“保护”之间的关系。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 沈泽昊,张全发,岳超,等.南水北调中线水源区土地利用土地覆被的空间格局[J].地理学报,2006,61(6):633—644.
- [2] 李善同,许新宜.南水北调与中国发展[M].北京:经济科学出版社,2004.
- [3] 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,2001.
- [4] 肖笃宁,赵羿,孙中伟.沈阳西郊景观格局变化的研究[M]//肖笃宁.景观生态学理论、方法及应用.北京:中国林业出版社,1991:186—195.
- [5] 陈康娟,王学雷.人类活动影响下的四湖地区湿地景观

- 格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 219—223.
- [6] 宁龙梅, 王学雷, 吴后建. 武汉市湿地景观格局变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 44—49.
- [7] 高小红, 王一谋, 杨国靖. 基于RS与GIS的榆林地区景观格局动态变化研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 168—171.
- [8] 胥晓, 郑伯川, 陈友军. 嘉陵江流域植被景观的空间格局特征[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(3): 373—378.
- [9] BOUNLOM Vinliam, 卞建民, 林年丰. 3S技术在霍林河流域下游湿地景观演变中的应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(2): 221—225.
- [10] 丁圣彦, 梁国付. 近20年来河南沿黄湿地景观格局演化[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 653—661.
- [11] 查轩, 张萍. 基于GIS的重要水源地东圳库区土壤侵蚀与景观格局分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 43—47.
- [12] 赵羿, 李月辉. 实用景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [13] 肖笃宁. 景观生态学研究进展[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999.
- [14] 欧维新, 杨桂山, 李恒鹏. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 610—615.

(上接第139页)

例如贵阳火电厂已计划搬迁至贵州省织金县, 对贵阳电池厂等可选择关闭或搬迁, 逐步减少工业对南明河的污染; 其次, 修建污水处理厂, 将城市生活污水、雨水等引入污水处理厂进行处理后排放, 严格控制水质; 第三, 对上游农业结构进行调整, 走绿色农业与可持续发展之路, 不用或少用化肥和农药, 减少化肥和农药的污染, 降低水体富营养化和农药对水生生物造成的危害, 同时对小河区 and 花溪区靠近南明河的畜禽养殖业、水产养殖业进行调整, 减少污水的排放。

## 5 结语

采取生态系统自我修复能力和人工辅助相结合的技术手段, 同时从污染源抓起, 治其根本, 使南明河生态系统恢复到污染前的自然状态, 恢复南明河生态

系统合理的内部结构、高效的系统功能和协调的内在关系, 这样既有利于保护南明河的水生态环境, 又有利于提高水体的自净能力, 同时也能构筑具有亲水理念的景观河道, 实现人与自然和谐共处的生态环境。

### [参 考 文 献]

- [1] 雷阵. 浅论南明河城区段水环境的修复[J]. 水电勘测设计, 2004, 3: 12—13.
- [2] 孙东亚, 董哲仁, 许明华, 等. 河流生态修复技术和实践[J]. 水利水电技术, 2006(12): 4—5.
- [3] 周怀东, 彭文启. 水污染与环境修复[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 179—180.
- [4] 周杰, 章永泰, 杨贤智, 等. 人工曝气治理黑臭河流[J]. 中国给水排水, 2001, 17(4): 47—49.
- [5] 张锡辉. 水环境修复工程原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 211—212.

## 欢迎订阅 2009 年《中国水土保持》

《中国水土保持》是水利部主管、黄河水利委员会主办的全国性水土保持业务与技术综合性期刊, 全国中文核心期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊、全国水利系统优秀科技期刊、河南省优秀科技期刊。本刊紧密围绕全国水土保持中心工作, 贯彻水土保持方针政策, 报道水土保持科技成果, 推广生态建设先进技术, 介绍监督执法新鲜经验, 普及水土保持基础知识, 提供水土保持动态信息。20多年来, 杂志形成了融政策性、技术性、新闻性和实用性为一体的独特风格, 开设了20多个栏目, 深受读者欢迎。读者对象为从事水土保持管理、规划、设计、施工与科研的业务人员, 有关农、林、水、牧、地理、生态行业的管理者与科研、教学人员, 以及关心我国水土保持生态建设的社会各界人士。

本刊为大16开, 每月5日在郑州出版, 每册定价7.00元, 全年定价84.00元。本刊为杂志社自办发行(请直接汇款到杂志社), 订阅款可信汇也可邮汇。

信汇开户行: 郑州交行政二街支行;

账 号: 411060200010149028852;

收款人: 《中国水土保持》杂志社;

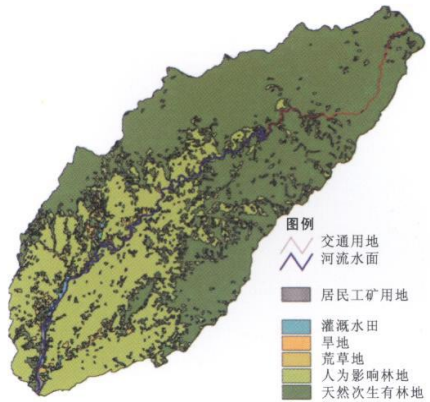
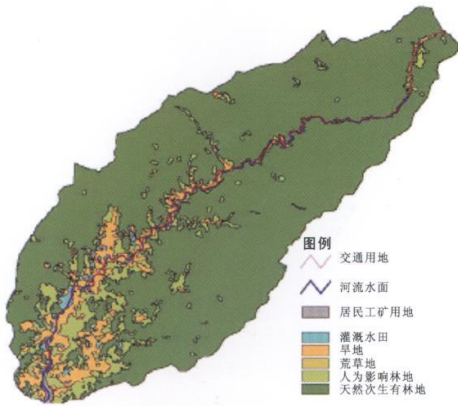
联系电话: 0371-66020720, 66022619, 66022338(含传真)

银行户名: 黄河水利委员会新闻宣传出版中心

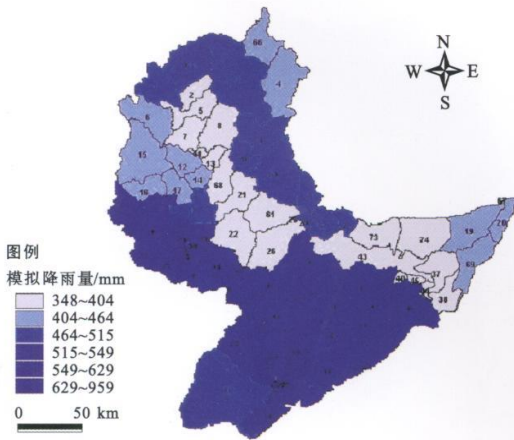
邮汇地址: 郑州市金水路11号

邮政编码: 450003

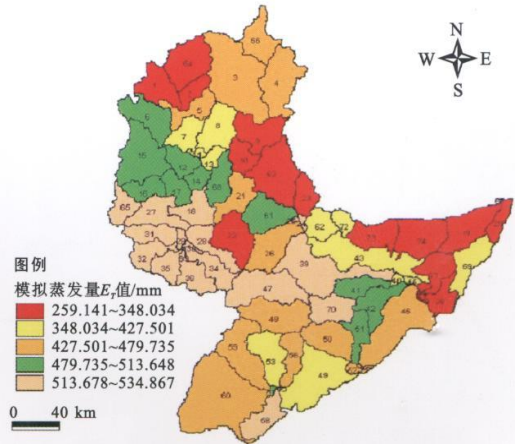
E-mail: swcc2000@sina.com



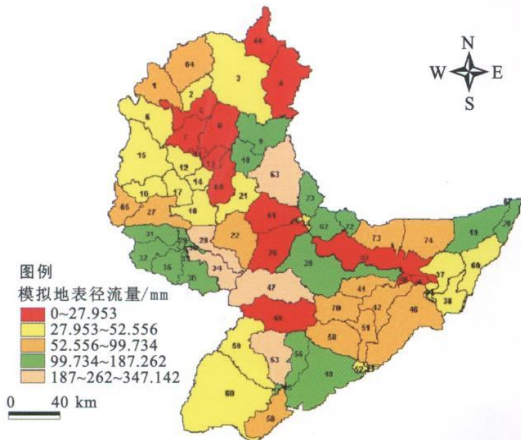
附图1 长安河流域1994, 2003年景观类型图



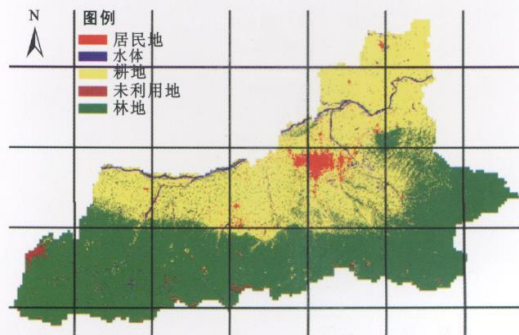
附图2 SWAT模型模拟降雨量空间分布



附图3 SWAT模型模拟蒸发量 $E_t$ 值空间分布



附图4 SWAT模型模拟地表径流空间分布



附图5 西安地区1990年土地利用图谱