
综
合
治
理

石家庄市土地利用变化及其生态服务功能响应

赵 晴, 赵旭阳, 刘 征

(石家庄学院 资源与环境科学系, 河北 石家庄 050035)

摘 要: [目的] 探究土地利用变化对生态服务功能的影响, 为今后研究区实现社会经济发展与生态环境稳定、土地可持续利用与发展提供理论依据和决策方法。[方法] 利用河北省石家庄市 2000 年和 2010 年的遥感影像数据, 解译该 2 期土地利用类型图。并对 2 期土地利用图进行变化速度、内部转移矩阵、空间叠加分析, 了解近 10 a 来研究区的土地利用特征。应用谢高地和 Costanza 的研究经验, 结合研究区实际, 对生态服务功能价值进行计算, 并作敏感性分析。并从单项生态服务功能价值、各土地利用类型生态服务价值对生态服务功能价值影响、生态服务价值流向等方面对土地利用变化的生态服务功能响应进行研究。[结果] 土地利用变化是引起生态系统服务价值变化的主要原因, 其中林地和低矮灌木及草地生态系统对生态系统服务价值的提高有显著影响。[结论] 研究区 10 a 间土地利用变化十分明显, 土地利用整体趋势呈平衡状态, 土地利用方向基本合理; 保护区土地利用变化对生态服务功能影响显著, 林地为主要土地利用类型, 对生态服务功能影响最为显著。

关键词: 土地利用变化; 生态服务功能; 地表水源保护区; 石家庄市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0242-08

中图分类号: P951

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.051

Change of Land Use and Its Response of Ecological Service Function in Shijiazhuang City

ZHAO Qing, ZHAO Xuyang, LIU Zheng

(School of Resources & Environmental Science, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei 050035, China)

Abstract: [Objective] To explore the impact of land use change on ecosystem services, and provide theoretical basis and decision-making methods for researching the socio-economic development and the ecological environment stable, and sustainable land use and development. [Method] By using the remote sensing image data of Shijiazhuang City, Hebei Province in 2000 and 2010, the two phases of land use type maps were interpreted, and the velocity, internal transfer matrix, spatial overlay of two phase of the land use map changes were analyzed to understand land use characteristics of the study area in recent 10 years. Based on the research experience of Xie Gaodi and Costanza, combining with the reality of the study area, the ecological service function value and its sensitivity was calculated and analyzed. The responses of ecological service function on land use change were studied, based on the individual's ecological service function value, ecological service value impact of each land use type on the ecosystem service function value, and ecological service value flow. [Results] The changes in the value of the services of ecosystems was caused by land use change, in which, the ecosystem of forest, low shrubs and grassland enhanced the value of ecosystem services significantly. [Conclusion] The change of land use in the study area was very obvious from 2000 to 2010, and the land use overall trend was in balance and reasonable. The effect of land use change on ecosystem service was significant, and as the main land use type, forest land was the critical factor of ecosystem affecting land use change.

Keywords: land use change; ecosystem service function; surface sources protection areas; Shijiazhuang City

土地是人类赖以生存的物质基础,随着人类社会的发展进步,人地关系日益紧张,人类改变着土地利用的方式和结构,进而直接影响着生态环境的变化^[1],以至于带来一系列环境问题。生态系统服务是

收稿日期:2014-04-08

修回日期:2014-05-05

资助项目:河北省自然科学基金项目“生态功能区风险识别与综合评价研究”(D2010001952);河北省科技计划项目“山区土地利用变化的生态地学要素和生态系统服务功能响应研究”(2237126 D-3)

第一作者:赵晴(1987—),女(汉族),河北省石家庄市人,硕士,助教,主要从事土地资源开发与管理工作。E-mail:zhaoping8745@163.com。

通信作者:刘征(1979—),女(汉族),河北省邯郸涉县人,硕士,副教授,主要从事生态环境遥感研究。E-mail:liuzheng111_1979@163.com。

指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[2-5]。M. J. Metzger, M. D. A. Rounsevell^[6]运用易损性评价,介绍了 14 种土地利用类型情况,以及与此相关的一系列生态系统服务功能,结果表明,土地利用变化情况的直接脆弱性运用对于了解土地利用变化对整个欧洲生态环境的影响是十分有益的。Henrik Vejre^[7]以哥本哈根城市边缘区为研究对象,分析生态服务功能。国内多名学者对不同区域研究土地利用变化与生态服务功能价值之间的关系^[8-13],目前大多以 Costanza^[14]等或者谢高地^[15]等人对生态系统服务价值的研究成果为依据,利用遥感解译数据、调查数据,从土地利用面积变化,土地利用空间分布,土地利用方式转变等几个方面进行分析,研究土地利用的变化对生态系统服务功能产生怎样的影响,或通过生物多样性、生物量等修正方法估算区域生态系统服务的价值,进而研究两者之间是怎样相互响应的。近几年少数人考虑谢高地参数的不普遍性,采用其他模型尝试估算生态服务功能价值。李屹峰^[16]等分析流域 1990—2009 年土地利用的变化,采用空间显式的生态系统服务功能评估软件 InVEST 中的“产水量”、“土壤保持”、“水质净化”模型,研究流域土地利用变化对生态系统服务功能的影响。

本文研究区为河北省石家庄市。石家庄市地表水源保护区位于河北省西部太行山中段,地势差距大,地貌复杂。气候主要特点是:四季分明,季节性强,光照充足,降水量偏少,夏暑冬寒,温差较大。研究区包括岗南水库水源地和黄壁庄水库水源地。黄壁庄和岗南水库是市域内 2 座串联的大型水库,总库容量分别为 $1.57 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $1.21 \times 10^9 \text{ m}^3$,已经成为石家庄市区的直接饮用水源地^[17]。保护区总面积为 $4\,372.21 \text{ km}^2$,主要分布在平山县和井陘县大部分地区,其中第一、二、三产业发展较不平衡,第二产业比重较大,主要是第二类和第三类工业,环境污染严重并且发展水平较低、经济效益相对较差。

中国对生态系统服务功能价值的研究很多^[18-19],但是对饮用水源保护区生态服务价值方面的研究较少。饮用水源保护区是人类生存的重要区域,其生态服务功能尤为重要。目前,对饮用水源保护区生态系统服务价值研究较少,对其土地利用变化如何影响生态系统服务总价值结构变化的研究几乎空白。本文通过对石家庄地表水源保护区近 10 a 土地利用类型的结构、时空变化特点进行分析,明确土地利用类型在数量、内部转化等方面的变化,同时计算研究区生态系统服务功能价值,并对研究区各单项生态服务功

能的服务价值、各土地利用类型的生态服务价值进行评价,进而分析土地利用变化的生态服务功能响应问题。通过对研究区所在区域的土地利用变化进行监测,分析土地利用的结构与格局变化,并将生态系统服务价值与土地利用变化联系起来,可以为今后研究区实现社会经济发展与生态环境稳定、土地可持续利用与发展提供理论方法和决策依据。

1 数据源及研究方法

1.1 数据源

本项研究所采用的数据主要为研究区 2000 年 Landsat TM 遥感影像、2010 年中国环境一号卫星遥感影像。遥感影像成像时间分别为 2000 年 5 月 7 日和 2010 年 7 月 15 日,分辨率均为 30 m。辅助资料为石家庄市 2010 年 Landsat ETM 遥感影像,地球系统科学数据共享网 2005 年已分类矢量数据,石家庄市 2000 年 1:100 000 地形图和石家庄市 2000 年地区土地利用现状图,并且与 2010 年 5 月实地勘察和调研数据相结合。

1.2 研究方法

(1) 单一土地利用类型动态度模型^[20]:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K ——研究时段内,某种土地利用类型的动态度; U_a ——研究期初某一种土地利用类型的数量; U_b ——研究期末某一种土地利用类型的数量; T ——研究时间段,当 T 时段设定为年时, K 值就表示该研究区某种土地利用类型的年变化率。

(2) 土地利用/覆被变化整体趋势状态分析模型^[20]:

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_{\text{out}-i} - \Delta U_{\text{in}-i}|}{\sum_{i=1}^n |\Delta U_{\text{out}-1} + \Delta U_{\text{in}-1}|} \quad (0 \leq P_i \leq 1) \quad (2)$$

式中: P_i ——区域内土地利用/覆被变化的状态指数和整体趋势; $\Delta U_{\text{in}-1}$ ——转化为第 i 类土地利用类型的面积; $\Delta U_{\text{out}-1}$ ——第 i 类土地利用类型的转出面积。根据 P_i 值对其进行具体分级^[20]:当 $0 \leq P_i \leq 0.25$ 时,定义 LUCC 处于平衡状态;当 $0.25 < P_i \leq 0.50$ 时,定义 LUCC 处于准平衡状态;当 $0.50 < P_i \leq 0.75$ 时,定义 LUCC 处于不平衡状态;当 $0.75 < P_i \leq 1$ 时,定义 LUCC 处于极端不平衡状态。下同。

(3) 生态系统服务单价转换模型^[21]:

$$E_a = 1/7 \sum_{n=i}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (i=1, \dots, n) \quad (3)$$

式中: E_a ——单位农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元/ hm^2); i ——作物种类, p_i —— i

种粮食作物全国平均价(元/kg); q_i —— i 种粮食作物单产(kg/hm²); m_i —— i 种粮食作物面积(hm²); M ——粮食作物总面积,1/7 是指在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的 1/7。下同。

(4) 生态服务价值计算模型^[21]:

$$ESV = \sum_i^n LU_i \times VC_i \quad (4)$$

式中:ESV——生态系统服务价值(元); LU_i ——研究区第 i 种土地利用类型的面积(hm²); VC_i ——第 i 种土地利用类型单位面积的生态系统服务价值(元/hm²); i ——土地利用类型($i=1,2,\dots,n$)。下同。

(5) 敏感性指数分析模型^[21]:

$$CS = \left| \frac{(ESV_k - ESV_j) / ESV_j}{(VC_{ki} - VC_{ji}) / VC_{ji}} \right| \quad (5)$$

式中: J, k ——生态价值系数调整前的初始价值和生态价值系数调整以后的价值; CS—— VC_i 变动 1% 时引起的 ESV 变化情况,当 $CS < 1$,表明生态系统价值缺乏弹性;当 $CS > 1$,表明生态系统价值是有弹性的。

(6) 单项服务功能计算模型^[21]:

$$ESV_f = \sum_i^n LU_i \times VC_{fi} \quad (6)$$

式中:ESV _{f} ——研究区生态系统服务功能 f 的生态系统服务总价值(元); VC_{fi} ——单位面积生态系统服务功能 f 的价值系数(元/hm²)。

(7) 影响度分析模型^[21]:

$$E_i = \frac{|\Delta ESV_i|}{\sum_{i=1}^n |\Delta ESV_j|} \quad (7)$$

式中: E_i ——第 i 类土地利用类型生态服务价值变化对生态服务价值总量变化的影响度; ΔESV_i ——第 i 类土地利用类型的生态服务价值在某一时段内的变化量。下同。

(8) 流向性分析模型^[21]:

$$PL_{ij} = (VC_j - VC_i) \times A_{ij} \quad (8)$$

式中:PL _{ij} ——初始年份第 i 类土地利用类型转化为终了年份第 j 类土地利用类型后的生态服务价值损益; VC_i, VC_j ——第 i 类土地利用类型和第 j 类土地利用类型的生态服务价值系数; A_{ij} ——第 i 类土地利用类型转化为第 j 类土地利用类型的面积。

2 结果与分析

2.1 石家庄市地表水源保护区土地利用变化分析

2.1.1 土地利用信息提取 采用遥感信息与地学信息相结合,室内判读和野外调查相结合的方法,运用 ERDAS imagine 和 ArcGIS 对遥感图像进行处理(附图 6)。最后,利用 ERDAS imagine 软件分别对 2 期分类影像进行土地类型面积统计,并作转移分析。

2.1.2 石家庄市地表水源保护区近 10 a 土地利用基本特征 由统计结果可知石家庄市地表水源保护区土地利用类型,2000 年以林地、低矮灌木及草地和未利用地为主,共占总面积的 79.38%。2010 年仍以林地、低矮灌木及草地和未利用地为主,共占总面积的 80.14%。10 a 间的主要变化趋势是建设用地和林地面积的增加,耕地、低矮灌木及草地、水域和未利用地面积的减少(见表 1)。

表 1 研究区各土地利用类型面积及所占比例

土地利用类型	2000 年		2010 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
建设用地	226.04	5.17	246.11	5.63
林地	1 263.68	28.90	1 550.62	35.47
耕地	581.48	13.30	547.76	12.53
低矮灌木及草地	1 426.09	32.62	1 288.08	29.46
水域	94.01	2.15	74.72	1.71
未利用地	780.91	17.86	664.92	15.21
合计	4 372.21	100.00	4 372.21	100.00

2.1.3 土地利用时间尺度变化特征分析

(1) 土地利用的变化速度分析。根据水源保护区 2000 年、2010 年各期的地类面积,依据单一土地利用类型动态度计算公式(1),得出该研究区域土地利用动态度,建设用地、林地、耕地、低矮灌木及草地、水域、未利用地土地利用动态度分别为 0.89%、2.27%、-0.58%、-0.97%、-2.05%、-1.49%。

石家庄市地表水源保护区在整个研究期间内,各个土地利用类型变化的速度由大到小依次为:林地 > 水域 > 未利用土地 > 低矮灌木及草地 > 建设用地 > 耕地。在 2000—2010 年期间,林地与其它土地利用类型年变化率相比,居首位,10 a 间增加了 286.94 km²,耕地变化率最小,10 a 间减少了 33.72 km²。

(2) 土地利用的内部转化分析。由表 2 可以看出 2000—2010 年保护区各土地利用类型变化情况:建设用地面积增加量虽小,变化却比较复杂,增加面积主要是由耕地和未利用地转化而来;林地是增加面积最大的土地利用类型,主要由低矮灌木及草地和未利用地转化而来,转移概率分别为 40.07% 和 25.15%;耕地减少量主要转化为建设用地、林地、低矮灌木及草地;低矮灌木及草地保持不变的面积比例为 42.32%,变化的部分主要转化为林地,集中在西部山区,转化概率为 40.07%;水域主要转化为建设用地、耕地、低矮灌木及草地和未利用地;未利用地净减少 115.99 km²,保持不变的概率为 32.13%,2000 年时多分布在井陘地区。随着环境保护的加强,减少的未利用地多转化为林地和低矮灌木及草地(以井陘县最为明显),转化概率为 25.15% 和 24.87%。

表 2 2000—2010 年研究区土地利用类型转化矩阵

km²

土地利用类型	2010 年面积						2000 年 面积合计	变化
	建设用地	林地	耕地	低矮灌木及草地	水域	未利用地		
建设用地	93.77	8.65	40.35	14.10	4.27	64.90	226.04	20.07
林地	12.20	747.71	63.07	385.02	1.05	54.63	1 263.68	286.94
耕地	49.95	23.39	241.82	81.07	4.35	180.88	581.48	-33.72
2000 年 面积	34.30	571.39	105.14	603.47	6.32	105.46	1 426.09	-138.01
低矮灌木及草地	13.14	3.07	4.70	10.20	54.77	8.14	94.01	-19.29
水域	42.75	196.40	92.67	194.21	3.96	250.91	780.91	-115.99
未利用地	246.11	1 550.62	547.76	1 288.08	74.72	664.92	4 372.21	
2010 年合计								

同时,可以在以上土地利用转移矩阵的基础上,从研究区土地利用转移矩阵中提取各个土地利用类型的转入、转出面积,采用土地利用/覆被变化整体趋势和状态分析模型(2),对研究区各土地利用类型转移情况加以分析。计算结果显示研究区 2000—2010 年的 P_i 值为 0.13,表明研究区近 10 a 来,各土地利用类型以双向转换为主要态势,且转入、转出频繁,整体上各土

地利用类型的转换趋势呈现出均衡转换的状态。

2.1.4 土地利用的空间尺度变化分析 选取变化速度最快的林地、水域、耕地作为研究对象,在 GIS 技术的支持下,分别叠加其 2000 年和 2010 年遥感影像解译出的土地利用图(图 1),建立具有多重地理属性的空间分布区域^[22],进而分析出 10 a 间研究区土地利用变化的空间差异。

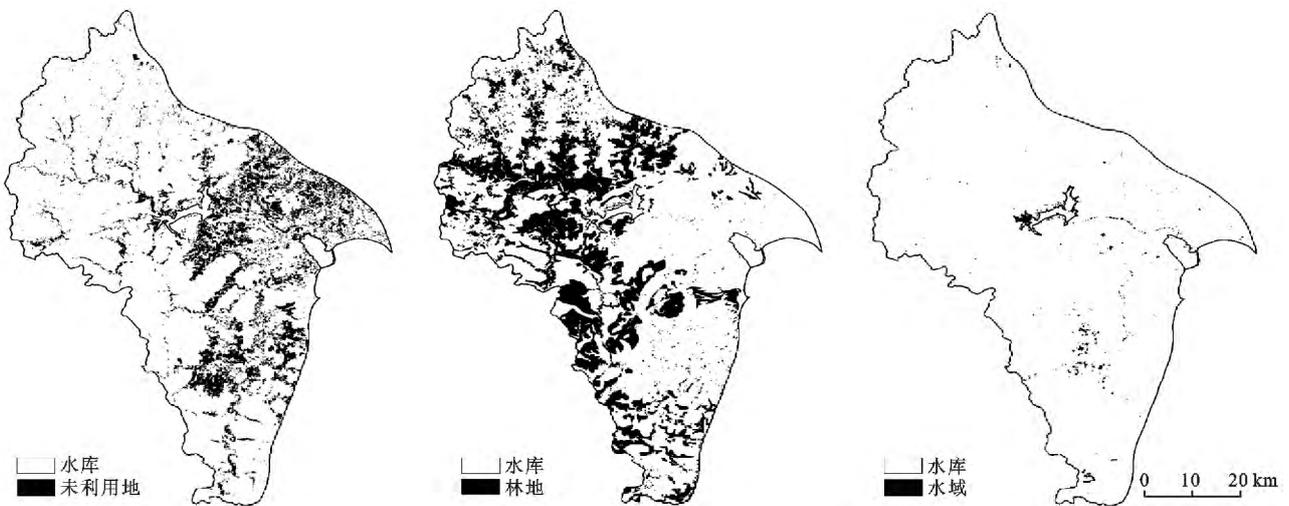


图 1 2000—2010 年研究区林地、水域、未利用地变化

从叠加分析结果图中,可以更清晰地看到林地、水域、未利用地变化面积的空间位置分布。林地增加面积较大,主要集中在岗南水库以西地区,此处属西部山区,适于林木生长,加之人为种植保护的作用,增加面积广大;井陘县城的南、北、西 3 面林地也有所增加,主要是对未利用地的开垦结果。水域面积减少 20.52%,水面萎缩严重,大部分发生在岗南水库西部和井陘县地区,主要是由于人为胡乱占用,矿区开采的影响。未利用地面积的减少基本均匀分布在保护区,主要用于植树造林、开垦耕地和城市建设。

2.2 石家庄市地表水源保护区生态系统服务功能价值分析

土地利用的方式不同,与其对应的生态系统具有

的服务功能就会不同,生态系统的结构和功能必然受土地利用/覆盖变化的影响,这些影响通过生态系统服务功能价值变动体现出来^[23]。

2.2.1 生态系统服务功能价值测算 由统计资料可知,石家庄市地表水源保护区主要粮食作物分为稻谷、玉米、小麦、大豆。本研究分别采用 2000 年和 2010 年河北省平均价格,以石家庄市地表水源保护区 2000 年和 2010 年主要粮食作物的平均粮食产量为该区基准单产,以谢高地等^[15]的生态系统单位面积生态服务价值当量表为基础,在进行修正的基础上,根据公式(3),计算出研究区每个当量的生态服务价值为 1 454.5 元。

为了更加科学准确的使用谢高地的当量表,本文

将林地生态当量与森林对应,低矮灌木及草地生态当量与草地对应,耕地生态当量与农田对应,未利用地生态当量与荒漠对应,计算出石家庄地表水源保护区不同土地利用类型单位面积生态服务价值。在确定了每个当量的价值之后,根据公式(4)利用所得数据与两年各土地利用类型面积相乘,可以得出 2000 年和 2010 年研究区生态系统服务价值(见表 3)。

2.2.2 生态系统服务功能赋值的敏感性分析 生态价值系数是否准确,生态系统类型对土地利用类型是否具有代表性,需要进一步验证。根据公式(5),分别

将各土地利用类型单位面积的生态服务价值上下调整 50%,再将 2000 年和 2010 年研究区的生态服务总价值用调整后的生态价值系数分别进行估算,结果见表 4。从数据可以看出, VC_i 上下调整 50%后的各类地敏感性指数均小于 1,说明生态系统服务价值(ESV)对于生态系统服务价值系数(VC)是缺乏弹性的,即各个土地利用类型单位面积的生态服务价值变化没有对研究区的生态服务总价值产生较大影响,本文选取的生态系统服务价值系数对于研究区而言是比较合适的,取值是可信的。

表 3 研究区各生态系统生态服务价值

类型	生态服务价值/ 10^6 元									
	林地		低矮灌木及草地		耕地		水域		未利用地	
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
气体调解	652.24	800.34	168.24	151.96	42.88	40.39	0.00	0.00	0.00	0.00
气候调解	503.16	617.41	189.27	170.96	76.32	71.90	6.38	5.07	0.00	0.00
水源涵养	596.34	731.74	168.24	151.96	51.45	48.47	282.54	224.57	3.45	2.94
土壤形成与保护	726.78	891.81	410.10	370.41	125.20	117.94	0.14	0.11	2.30	1.96
废物处理	244.13	299.56	275.50	248.84	140.63	132.48	252.04	200.32	1.15	0.98
生物多样性保护	607.52	745.46	229.23	207.05	60.88	57.35	34.52	27.44	39.15	33.34
食物生产	18.64	22.87	63.09	56.99	85.75	80.78	1.39	1.10	1.15	0.98
原材料	484.52	594.54	10.52	9.50	8.58	8.08	0.14	0.11	0.00	0.00
娱乐文化	238.53	292.70	8.41	7.60	0.86	0.81	60.17	47.82	1.15	0.98
总价值	4 071.86	4 996.43	1 522.60	1 375.27	592.55	558.20	637.32	506.54	48.35	41.18

表 4 研究区生态系统服务价值敏感性分析

土地利用类型	VC_i 上下调整	生态服务价值/ 10^9 元		敏感性指数 C_s	
		2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
林地	$VC_i + 50\%$	8.908 60	9.975 85	0.592 5	0.668 2
	$VC_i - 50\%$	4.836 75	4.979 41		
低矮灌木及草地	$VC_i + 50\%$	7.634 00	8.165 24	0.221 5	0.183 9
	$VC_i - 50\%$	6.111 39	6.789 98		
耕地	$VC_i + 50\%$	7.168 94	7.756 69	0.086 2	0.074 6
	$VC_i - 50\%$	6.576 40	7.198 51		
水域	$VC_i + 50\%$	7.191 33	7.730 89	0.092 7	0.067 7
	$VC_i - 50\%$	6.554 02	7.224 35		
未利用地	$VC_i + 50\%$	6.896 88	7.498 22	0.007 0	0.005 5
	$VC_i - 50\%$	6.848 51	7.457 03		

2.3 土地利用变化及其生态服务功能响应分析

本文选择石家庄市地表水源保护区为研究对象,通过对研究区的生态系统服务功能进行测算,研究其与土地利用之间的关系,确定土地利用方式的改变是否对生态系统服务功能造成影响,甚至使其发生功能缺失^[18],这不仅是对近 10 a 间研究区由于土地利用变化产生的各种生态环境效应的总结,也是为今后研究区经济发展与资源、环境、土地利用结构的合理调整提供方向。

2.3.1 生态系统单项服务功能价值变化分析 根据公式(6)得到研究区生态系统单项服务功能价值及其变化情况(表 5)。由表 5 可知,土壤形成和保护、水源涵养、生物多样性保护、气体调节、废物处理的单项生态系统服务功能价值所占总价值较大,即这 5 项功能是研究区生态系统的主要生态服务功能。10 a 间,单项服务功能价值减少最多的是废物处理功能,减少 3.13×10^7 元,变化率为 4.58%,这主要是由于价值系数较大的水域由于人为不当利用,造成面积萎缩而

引起的;单项生态系统服务功能价值减少的还有食物生产,减少 7.3×10^6 元,变化率为 1.07%,变化不显著,但主要是由于以提供食物生产功能为主的耕地面积减少所致,应当引起重视;单项生态系统服务功能价值增加的主要是土壤形成和保护、水源涵养和生物多样性保护功能,由于退耕还林、植树造林、土地不合

理利用、建设用地增加等原因,造成低矮灌木及草地、耕地、水域面积均有所减少,但价值系数较大的林地面积增加,使得这 3 项功能的价值在 10 a 间是增加的,共增加 2.75×10^8 元,占总增加值的 45.41%,即在各土地利用类型中,林地对单项生态系统服务功能起主导作用。

表 5 2000—2010 年研究区生态系统单项服务功能价值变化

生态系统服务功能	生态服务价值 EVS/ 10^6 元		占总价值比例/%		变化量/ 10^6 元	变化率/%
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年		
气体调解	863.36	992.69	12.56	13.28	129.33	18.96
气候调解	775.13	865.34	11.28	11.57	90.21	13.23
水源涵养	1 102.02	1 159.68	16.03	15.51	57.66	8.45
土壤形成与保护	1 264.52	1 382.23	18.40	18.48	117.71	17.26
废物处理	913.45	882.18	13.29	11.80	-31.27	4.58
生物多样性保护	971.30	1 070.64	14.13	14.32	99.34	14.56
食物生产	170.02	162.72	2.47	2.18	-7.30	1.07
原材料	503.76	612.23	7.33	8.19	108.47	15.90
娱乐文化	309.12	349.91	4.50	4.68	40.79	5.98
总计	6 872.68	7 477.62	100.00	100.00	604.94	100.00

2.3.2 各土地利用类型生态服务价值对生态系统服务价值的影响 为了确定 10 a 间,各土地利用类型的生态系统服务价值变化对生态系统服务价值总量的影响,何种土地利用类型主导研究区生态系统服务价值总量变化,根据公式(7)计算可知。由计算结果得到表 6。由表 6 可以看出,10 a 间研究区生态服务总价值增加了 6.05×10^8 元,说明研究区在注重经济发展的同时,对生态环境建设也十分重视。在各个土地利用类型中,林地和低矮灌木及草地的价值比例最为明显,2000 年和 2010 年林地的价值比例均超过 50%,且 2010 年比 2000 年增加了 7.57%;低矮灌木及草地生态服务总价值的贡献率在 22.15%~18.39%,2010 年比 2000 年价值比例降低了 3.76%。

在各土地利用类型中,对生态服务价值变化的影响度大小依次为:林地 > 低矮灌木及草地 > 水域 > 耕地 > 未利用地,其中,林地提供的生态服务价值在各地类中所占比例最大,达 2/3 上,影响度为 74.31%,10 a 间增加生态服务价值 9.25×10^8 元,也就是说,林地不仅是单项服务功能中起主要作用的土地利用类型,同时对生态系统服务功能总量影响显著;其次为低矮灌木及草地,影响度为 11.84%,10 a 间减少 1.47×10^8 元,也是生态服务价值减少最多的土地利用类型;对生态服务价值变化影响度最小的是未利用地,为 0.58%,影响不显著,10 a 间减少 7.17×10^6 元,主要是由于其在各年份的生态服务价值和研究期间的价值变化相对于其他土地利用类型很小。

表 6 2000—2010 年研究区生态系统服务总价值及价值构成变化

土地利用类型	每年每 hm^2 价值/元	生态服务价值 EVS/ 10^6 元		占总价值比例/%		EVS 10 a 间变化/ 10^6 元	影响度/%
		2000	2010	2000	2010		
林地	32 222.20	4 071.86	4 996.43	59.25%	66.82%	924.57	74.31
低矮灌木及草地	10 676.84	1 522.60	1 375.27	22.15%	18.39%	-147.33	11.84
耕地	10 190.18	592.55	558.20	8.62%	7.46%	-34.35	2.76
水域	67 791.97	637.32	506.54	9.27%	6.77%	-130.78	10.51
未利用地	619.39	48.35	41.18	0.70%	0.55%	-7.17	0.58
总计	121 500.58	6 872.68	7 477.62	100	100	604.94	100

注:影响度为分项价值变化绝对值/各分项价值变化绝对值之和。

2.3.3 各土地利用类型引起的生态服务价值流向分析 根据公式(8)得到表 7。从表 7 中可以看出,林地除了转化为水域外,向其他土地利用类型的转变引起的生态系统服务价值流动,有损于林地生态系统的价

值,价值损失 1.14×10^9 元。低矮灌木及草地的价值流向主要为林地和未利用地,其中向林地和水域转化属于正流向,而向未利用地转变损失价值,但由于与增加的价值相比较小,整个低矮灌木及草地生态系统

的价值流向仍为正流向,价值增加 1.16×10^9 元。耕地的转化除转化为未利用地带来的是负价值外,向林地、低矮灌木及草地、水域转化均产生正价值,由于转化为未利用地的面积较大,价值损失 9.258×10^7 元。水域的价值流向都属于负流向,有损于水域生态系统,共损失 1.51×10^8 元。未利用地价值流向为林地、低矮灌木及草地、耕地、水域,转化均有利于服务价值的增加,共增加 9.31×10^8 元。建设用地的生态

服务价值还无法准确量算,但可以肯定的是这种转换的价值流向都是负流向,因此,为了城市发展建设等占用林地、耕地等的现象,从生态角度考虑,是不经济的。总体上看,近 10 a 间各个土地利用类型的转化是有利于研究区生态系统的,但其中不乏价值的大量流失,所以应在维持现有土地利用格局的基础上,加大对林地和水域的保护,停止对林地和水域的破坏,即上述转化过程。

表 7 2000—2010 年土地利用变化的生态服务价值流向分析

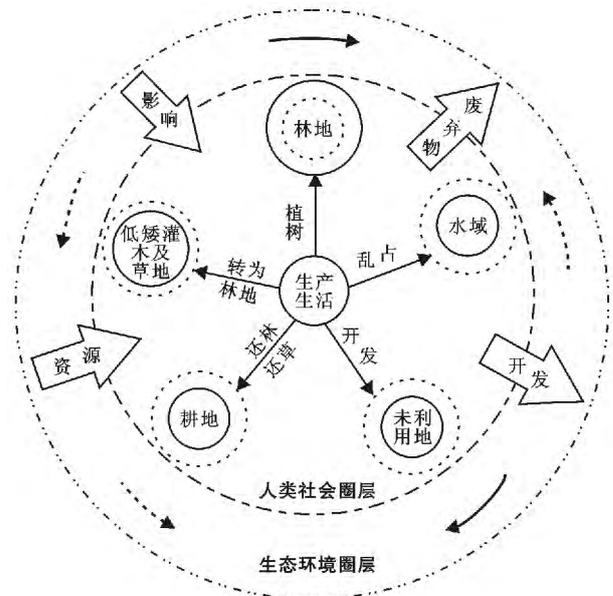
10⁶ 元

土地利用类型	2000 年					损益
	林地	低矮灌木及草地	耕地	水域	未利用地	
2010 年 林地	0.00	-829.54	-138.96	3.73	-172.65	-1 137.41
低矮灌木及草地	1 231.08	0.00	-5.12	36.10	-106.07	1 155.99
耕地	51.53	3.95	0.00	25.06	-173.12	-92.58
水域	-10.92	-58.26	-27.07	0.00	-54.68	-150.93
未利用地	620.68	195.33	88.69	26.60	0.00	931.30

2.3.4 生态系统服务价值与土地利用变化的关系

土地利用变化是引起生态系统服务价值变化的主要原因,近 10 a 间,石家庄市地表水源保护区土地利用类型的变化引起了生态服务功能和价值的变化。从生态服务价值总量看,研究区生态系统主要是由林地和低矮灌木及草地支撑,他们的生态系统服务价值占总价值的 80% 以上,其中林地对研究区的生态系统服务价值影响最大。通过前面的分析,10 a 间研究区低矮灌木及草地、耕地和水域面积的减少,均对生态环境产生负效应,使总的生态系统服务价值下降。林地面积的增加和未利用地面积的减少对生态环境具有正效应,近 10 a 研究区生态系统服务价值总量的增加主要是由于林地面积的大幅增加,抵消了其他土地利用类型变化产生的生态环境负效应。从单个土地利用类型生态服务功能价值看,林地以 28.9%~35.47% 的面积提供着 59.25%~66.82% 的生态系统服务价值;低矮灌木及草地以 29.46%~32.62% 的面积提供着 22.15%~18.39% 的生态系统服务价值;耕地以 12.53%~13.3% 的面积提供着 8.62%~7.46% 的生态系统服务价值;水域的面积仅为 1.71%~2.15%,却提供着 9.27%~6.77% 的生态系统服务价值;未利用地面积为 15.21%~17.86%,生态系统服务价值占总量的 0.70%~0.55%。由此可见,林地和低矮灌木及草地生态系统对生态系统服务价值的提高有显著影响,研究区土地利用方式影响着生态系统服务功能的价值构成。由于城市发展,人口增加,致使土地需求量增加,必然导致低矮灌木及草地、耕地、水域和未利用地面积的减少,进而引起生态系

统服务价值的相应变化,生态环境又会对地理环境进行反作用,影响土地利用方式形成新的土地利用结构(详见图 2)。因此,石家庄地表水源保护区应在经济建设的同时,注重土地的利用和开发,从可持续发展的角度调整土地利用结构,加强林地和水域保护,优化农业种植结构,合理发展畜牧业,优先考虑有利于生态环境建设的项目,提升生态系统服务功能,提高生态系统服务价值,实现石家庄市地表水源保护区的可持续发展。



注:在人类社会圈层中,虚线代表各土地利用类型的原有面积大小,实线代表各土地利用类型的现有面积大小;在生态环境圈层中,虚线逆时针箭头代表土地利用变化对生态环境产生负效应,实线顺时针箭头代表土地利用变化对生态环境产生正效应。

图 2 石家庄市土地利用变化及其生态服务功能响应关系

3 结论

(1) 10 a 间石家庄市地表水源保护区土地利用变化十分明显。石家庄市地表水源保护区的土地利用类型由 2000 年以低矮灌木及草地为主转变为 2010 年以林地为主。从时间尺度看,各个土地利用类型变化速度由大到小依次为:林地>水域>未利用土地>低矮灌木及草地>建设用地>耕地。10 a 间土地利用类型主要的变化趋势是低矮灌木及草地、未利用地向林地的转变,以及未利用地向低矮灌木及草地的转变。从空间尺度看,变化速度较快的三种土地利用类型中,林地增加面积主要集中在岗南水库以西地区,水域减少面积主要集中在岗南水库西部和井陘县地区,未利用地减少面积基本均匀分布于整个保护区。

(2) 石家庄市地表水源保护区土地利用整体趋势呈平衡状态,土地利用方向基本合理。研究区各土地利用类型以双向转换为主要态势,且转入、转出频繁,土地利用/覆被的整体趋势呈现出均衡转换的状态。从时间、数量上看,从空间格局上看,各类型间空间发展趋于不平衡状态。与此同时,10 a 间研究区的生态服务价值增加了 6.05×10^8 元,优势地类林地的大面积增加,抵消了由于低矮灌木及草地、耕地和水域面积的减少对生态服务功能价值造成的负影响。研究区应在注重林地保护的同时,注意各类地的空间开发格局,做到多样化均匀发展,并且保护人类赖以生存的地表淡水资源,提升水域生态服务价值。

(3) 石家庄市地表水源保护区土地利用变化对生态服务功能影响显著。总体上看,近 10 a 间各个土地利用类型的转化使研究区生态服务价值增加,价值流向有利于研究区生态系统,主要是因为对生态服务功能影响度最大的林地的大面积增加,对生态环境产生正效应,但其中不乏价值的大量流失,应在维持现有土地利用格局的基础上,加大对林地和水域的保护,停止对林地和水域的破坏。石家庄市地表水源保护区应在经济建设的同时,注重土地的利用和开发,从可持续发展的角度调整土地利用结构,加强林地和水域保护,优化农业种植结构,合理发展畜牧业,优先考虑有利于生态环境建设的项目,提升生态系统服务功能,提高生态系统服务价值,实现石家庄市地表水源保护区的可持续发展。

(4) 石家庄市林地为主要土地利用类型,对生态服务功能影响最为显著。林地为研究区变化速度最快的土地利用类型,变化率为 2.27%,10 a 间增加了 286.94 km²,主要由低矮灌木及草地和未利用地转化而来,为 2010 年的主要土地利用类型。从单向生态

系统服务价值看,研究区生态系统的主要生态服务功能包括:土壤形成和保护、水源涵养、生物多样性保护、气体调节、废物处理这五项功能,其中土壤形成与保护、水源涵养和生物多样性保护功能价值的增加,主要是林地面积大幅增加的原因;在各土地利用类型对生态服务价值影响度中,林地影响度最大,其提供的生态服务价值占各类型土地提供总价值的 2/3。说明林地不仅是单项服务功能中起主要作用的土地利用类型,同时对生态系统服务功能总量影响显著。

[参 考 文 献]

- [1] 吴传钧,郭焕成. 中国土地利用[M]. 北京:科学出版社,1994:35-36.
- [2] 吴海珍,阿如旱,郭田保,等. 基于生态服务价值的土地利用/覆盖变化生态效应测评[J]. 地理科学,2011,31(1):110-116.
- [3] 杨智杰,崔纪超,谢锦升,等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理科学,2010,30(3):475-480.
- [4] 周洪华,李卫红,杨余辉,等. 干旱区不同土地利用方式下土壤呼吸日变化差异及影响因素[J]. 地理科学,2011,31(2):190-196.
- [5] 梁发超,刘黎明,许瑾璐. 闽北典型盆地土地利用系统协调性研究:以周宁县狮浦盆地为例[J]. 地理科学,2011,31(4):447-449.
- [6] Huang Xiang, Chen Yaning, Ma Jianxin, et al. Study on change in value of ecosystem service function of Tarim River[J]. Original Research Article Acta Ecologica Sinica, 2010,30(2):67-75.
- [7] Vejre H, Jensen F S, Thorsen B J. Demonstrating the importance of intangible ecosystem services from peri-urban landscapes[J]. Ecological Complexity, 2010, 7(3):338-348.
- [8] 吴连喜. 20 a 巢湖流域土地利用变化及生态服务功能价值分析[J]. 土壤,2009,41(6):986-991.
- [9] 李静,宋戈,王秀峰. 黑龙江垦区土地利用变化的生态价值损益分析:以建三江垦区为例[J]. 农业现代化研究,2008,29(2):201-203.
- [10] 李云生,周广金,梁涛,等. 巢湖流域的土地利用变化及其生态系统功能损益[J]. 地理研究,2009,28(6):1657-1664.
- [11] 孙慧兰,李卫红,陈亚鹏,等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报,2010,30(4):887-894.
- [12] 赵丹,李锋,王如松. 城市土地利用变化对生态系统服务的影响:以淮北市为例[J]. 生态学报,2013,33(4):2343-2349.
- [13] 吴后建,王学,宁龙梅,等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(2):185-190.

(下转第 255 页)

溢洪道等水工设施;对已有放水建筑物但损坏严重的进行维修加固。

(2) 强化淤地坝坡面保护措施,减少坡面侵蚀。在巩固现有淤地坝坡面植被恢复的同时,跟进削山造田、石油开采以及道路建设等破坏坡面的植被恢复,减少进入沟道的来水来沙量,保证淤地坝长期健康运行。

(3) 合理设计淤积年限,提高防洪标准。在小流域坝控系统内,由于受经济规律影响,中小型淤地坝的防洪标准一般偏低。因此,应从流域实际情况出发,在统一规划的前提之下,设计合理的淤积年限和校核标准。对于淤地坝建设不足的地区,应在流域内增设一些控制性的治沟骨干坝和淤地坝,有效减轻现有淤地坝工程的防洪压力。

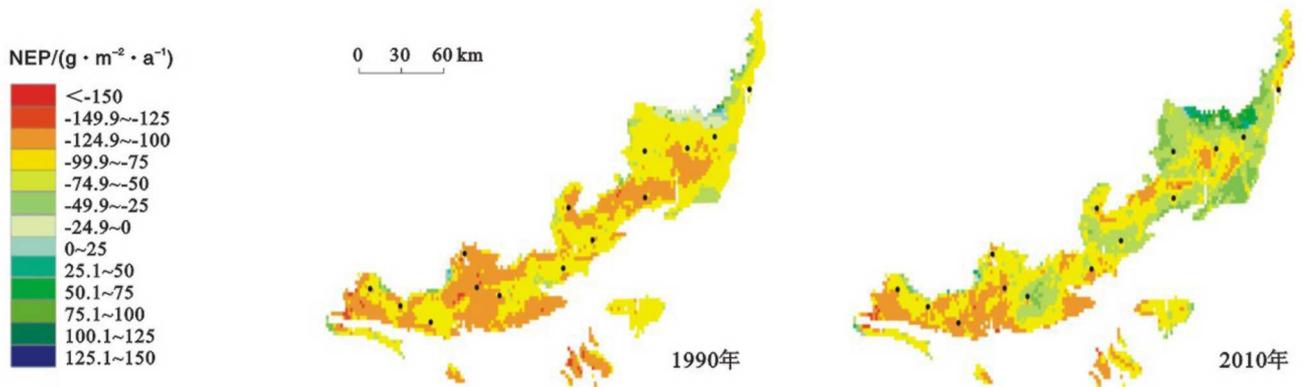
(4) 基于小流域特征科学合理规划坝系建设,并进一步加大管理投入。新时期要不断更新设计理念,针对近些年退耕还林还草效果显著,侵蚀模数有减小趋势的流域,应调整设计库容,合理规划规模,科学设计布坝格局,形成完整的沟道工程防护体系,充分发挥淤地坝工程的规模效益^[8]。同时,应确保淤地坝规划设计、工程施工、监理监测科学规范,工程质量不断提高。也应加大管理投入,建立病险坝数据库,例行检查,及时维护检修,防患于未然。

(5) 建立健全淤地坝安全法律法规,研发监测及预警预报系统^[9]。加强公众保护和公众参与意识,杜绝破坏淤地坝工程的行为^[10],制定应急管理措施,新

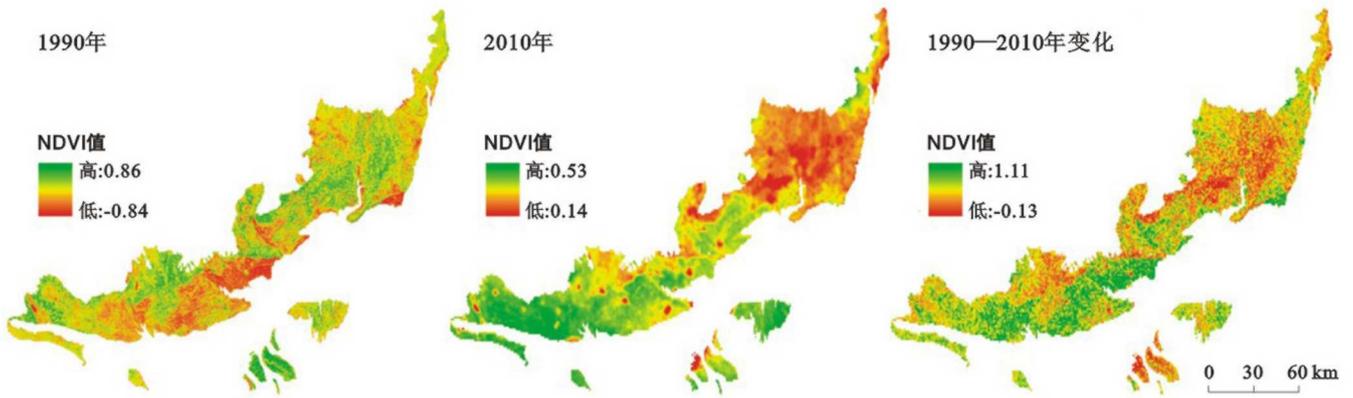
建坝应在保证工程质量的基础上,在暴雨发生时加强防范,最终实现水土保持和淤地坝发展的管理创新、战略创新、技术创新和人力创新^[11]。

[参 考 文 献]

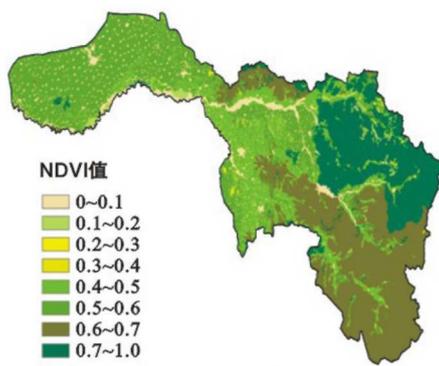
- [1] 高云飞,郭玉涛,刘晓燕,等. 陕北黄河中游淤地坝拦沙功能失效的判断标准[J]. 地理学报,2014,69(1):73-79.
- [2] 马宁,朱首军,王盼. 陕北大、中型淤地坝现状调查与分析[J]. 水土保持通报,2011,31(3):155-160.
- [3] 延安持续强降雨,受灾人口攀升至逾百万人次[EB/OL]. (2013-07-27). <http://www.chinanews.com/gn/5092197.shtml>.
- [4] 李传哲,王浩,于福亮,等. 延河流域水土保持对径流泥沙的影响[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):1-8.
- [5] 魏霞,李占斌,沈冰,等. 淤地坝建设中的水毁问题及其防御措施[J]. 水资源与水工程学报,2004,15(4):55-59.
- [6] 李靖,张金柱,王晓. 20世纪70年代淤地坝水毁灾害原因分析[J]. 中国水利,2003(9):55-57.
- [7] 杨爱玲. 淤地坝建设更应注重与林草措施相结合[J]. 农业科技与信息,2007(7):30-31.
- [8] 李昭淑. 黄土高原淤地坝的建设与前景分析[J]. 水土保持学报,1995,9(3):43-49.
- [9] 郭军. 欧美国家近期溃坝研究及发展动向[J]. 中国水利,2005(4):23-29.
- [10] 王保清,卫三平,张淑珍. 从吕梁“9·19”特大暴雨洪水看淤地坝的防洪减灾作用[J]. 中国水土保持,2011(7):22-24.
- [11] 周月鲁. 新时期黄河水土保持创新发展的探索与实践[J]. 中国水土保持,2006(10):5-8.
- (上接第249页)
- [14] Contanza R, Arge R d', Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,387(15):253-260.
- [15] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [16] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响:以密云水库流域为例[J]. 生态学报,2013,33(3):726-736.
- [17] 吴海珍,阿如早,郭田保,等. 基于RS和GIS的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理科学,2011,31(1):110-116.
- [18] 姚成胜,朱鹤健,吕晞. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J]. 自然资源学报,2009,24(2):225-233.
- [19] 白军红,余国营,王庆改. 石家庄市地表水环境分析[J]. 干旱区研究,2001,18(2):1-4.
- [20] 朱有法. 基于遥感和GIS的县域土地利用变化动态监测研究:以河北省沽源县为例[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [21] 石晓丽,王卫. 生态系统功能价值综合评估方法与应用:以河北省康保县为例[J]. 生态学报,2008,28(8):3998-4006.
- [22] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001,58-59.
- [23] 邬建国. 景观生态学:格局、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2007,42-80,106-124,126.



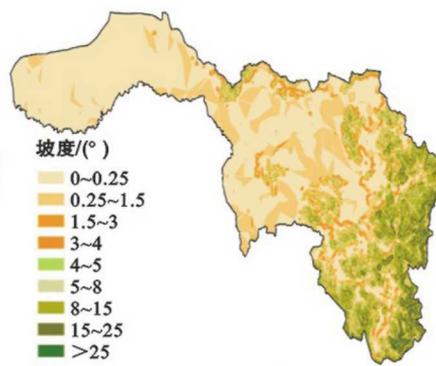
附图1 1990年与2010年陕西黄土台塬区植被土壤系统植物净生态系统生产力(NEP)估算(233页)



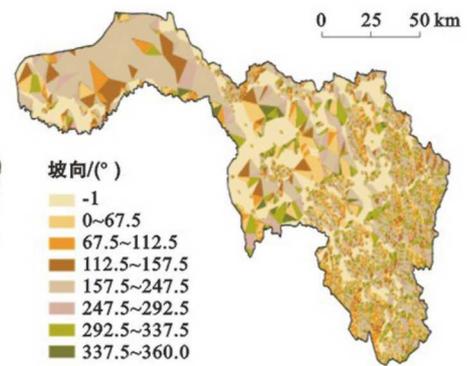
附图2 1990—2010年陕西黄土台塬区NDVI值空间格局变化(233页)



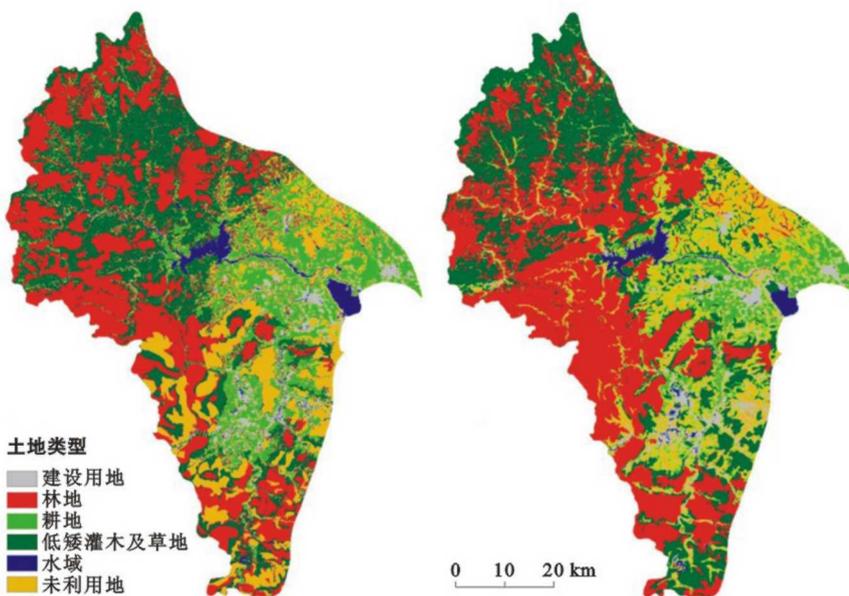
附图3 1992—2012年黑龙江省拉林河流域NDVI分级(236页)



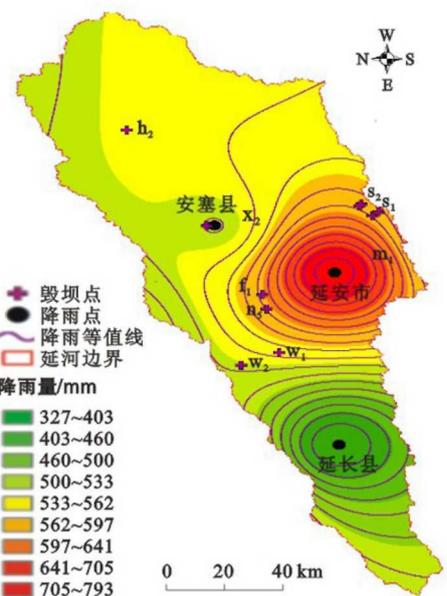
附图4 1992年黑龙江省拉林河流域坡度分级(236页)



附图5 1992年黑龙江省拉林河流域坡向分级(236页)



附图6 2000—2010年河北省石家庄市土地利用状况(244页)



附图7 延河流域2013年7月降雨量分布(251页)