

# 基于 TM 遥感技术的永定河生态系统服务价值评估模型及应用

刘旭<sup>1</sup>, 赵桂慎<sup>2</sup>, 邓永智<sup>1</sup>, 陈研<sup>2</sup>, 刘俊国<sup>3</sup>, 张振明<sup>3</sup>, 赵月芬<sup>4</sup>, 杨毅<sup>4</sup>, 魏炜<sup>4</sup>, 刘培斌<sup>4</sup>

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;  
3. 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083; 4. 北京市水利规划设计研究院, 北京 100048)

**摘要:**针对常规生态服务价值评估方法时间长、工作量大、成本高和当量精度低的问题,永定河生态系统服务价值时空动态分析突破了传统静态评估方法。将 GIS 技术与因子当量表法相结合,测算出针对永定河河流生态系统的因子当量表和单位面积生态服务价值表,通过线性优化模型计算不同情景下各类土地利用类型面积,以为生态修复目标提供直接的量化参考依据。测算永定河北京段总当量为 124.91,每当量单位面积生态服务价值基准为 2 001.54 万元/km<sup>2</sup>。林地、草地、耕地、水面和其他土地利用类型单位面积生态服务价值依次为 28 824.7、2 954.3、1 808.5、215 906.3 和 565.8 万元/km<sup>2</sup>,其中水生生态系统文化娱乐服务功能单位面积服务价值最大,为 161 735.1 万元/km<sup>2</sup>。据此,建立了只需遥感影像数据即可快速精准地动态计算区域生态系统服务价值的多元一次回归模型,与基于实地调查法的永定河历史评估结果进行比较,平均偏差为 4.54%。利用线性规划方法计算出研究区域生态系统服务价值最大值为 2 212 亿元,最小值为 513 亿元;当永定河水面面积最大时,生态系统服务价值为 2 212 亿元,水面面积最小时生态系统服务价值为 976 亿元,大于未经优化配置时的 432 亿元。

**关键词:**生态系统服务价值;当量因子;遥感;线性规划;永定河

**中图分类号:**F301.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)05-0006-07

生态系统服务价值评估是生态经济学的研究热点。1997 年, Costanza 等 (1997) 在 *Nature* 上发表《世界生态系统服务与自然资本的价值》,引起学术界对生态系统服务价值评估的极大关注。此后, Ecological Economics 组织 3 次专刊,对生态系统服务价值进行讨论 (Winkler, 2006)。2001 年,千年生态系统评估 (Millennium Ecosystem Assessment, MA) 启动,促进了生态系统服务价值在全球范围的多尺度评价,为生态系统管理和可持续发展提供了科学依据 (MA, 2005)。

国内近年来也对生态系统服务价值评估进行了有益地探索。其中,中国科学院生态环境研究中心 (欧阳志云等, 1999; 欧阳志云和郑华, 2009) 和中国科学院地理科学与资源研究所 (鲁春霞等, 2001; 谢高地等, 2001; 于贵瑞等, 2002; 谢高地等, 2003; 肖玉等, 2003) 承担了重要角色,对生态系统服务价值的内涵和评价方法进行了探索性研究。其中,谢高地等 (2003) 在 Costanza 等 (1997) 研究的基础上,制定

了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,为采用遥感技术进行生态系统服务价值评估奠定了基础。

利用遥感技术对生态系统类型的时空差异进行监测,可以弥补静态估算的不足,更容易反映生态系统服务价值在空间分布上的真实情况,也为长期监测生态系统服务价值变化提供技术支持。然而,采用遥感技术评估生态系统服务价值仍然处于初期探索阶段。本研究旨在结合遥感技术和生态系统服务价值评估,建立永定河生态系统服务价值计算模型,为进一步推动生态系统服务价值遥感定量评估进行探索性研究。在此基础上,本研究采用线性规划方法,根据永定河生态系统服务价值分析最优土地利用关系,为永定河生态修复和土地利用规划提供决策支持。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

永定河发源于内蒙古高原南缘和山西高原北部,流域位于东经 112° ~ 117° 45', 北纬 39° ~ 41° 20', 东邻潮白、北运河系,西临黄河流域,南为大清河水系,北为内陆河。永定河北京段 (幽州—梁各庄) 位于北京西部,主河道长 169.6 km,流经门头沟、石景山、丰台、大兴和房山 5 个区 (见图 1),流域面积 3 168 km<sup>2</sup>, 占总流域面积的 6.7%。近年来,由

收稿日期: 2011-06-28

基金项目: 北京市科学技术委员会“永定河生态修复目标体系研究” (No. D090409004009003); 北京市生态学重点学科项目。

通讯作者: 赵桂慎, 1971 年生, 男, 博士, 副教授, 主要从事生态经济与可持续发展研究。

作者简介: 刘旭, 1986 年生, 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境管理与生态系统评价。E-mail: fairyujube@126.com

万方数据

于三家店以下河道断流,河床裸露,每遇大风则沙尘弥漫,给北京市交通、生产和生活带来恶劣的影响。

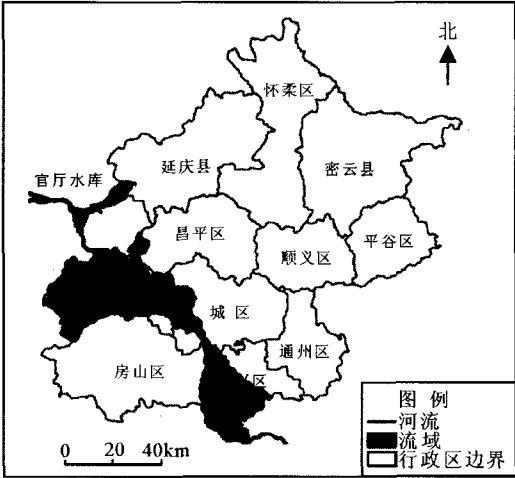


图 1 北京市永定河水系位置

Fig.1 Location of Beijing Yongding River water system

1.2 资料收集

生态修复工程范围主要集中在河道及主河道两侧各 250 m 范围内,本研究将生态修复工程范围作为研究对象。研究所用空间数据为 1988 年、1999 年、2004 年和 2009 年 TM 遥感影像,经过配准后按照图层百分比进行人机互译完成的土地利用栅格图,由北京林业大学林学院地图学与地理信息系统研究室提供(刘俊国和张振明,2011),见图 2。

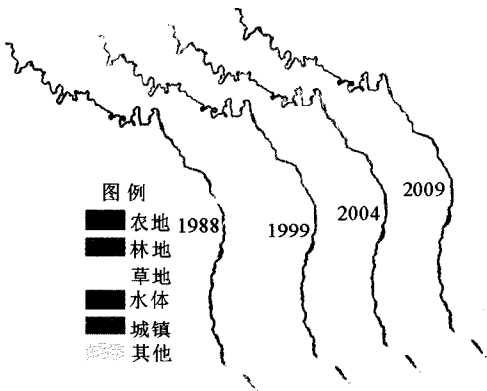


图 2 永定河两侧各 250 m 土地利用变化

Fig.2 Changes of land use within 250 m on both sides of Yongding River

张振明等(2011)以河道及主河道两侧各 250 m 范围内为研究区域,通过对永定河进行现状调查、资料收集、问卷调查和专家会议研讨等多种方式,识别永定河主要的生态系统服务功能,建立符合永定河区域特征的生态系统服务价值指标体系,见表 1。采用市场评估法、替代市场法和模拟市场法等多种货币化手段,计算出 2009 年永定河生态系统各项服务万方数据

务价值。

表 1 永定河生态系统服务价值指标体系(张振明等,2011)

Tab.1 Indices of ecosystem services in Yongding River (ZHANG Zhen-ming et al,2011)

功能	评价指标	评价功能能量	计算方法	计算结果/亿元
供给	供水	工业供水量	市场价值法	2.62
	水产品	渔业生产	市场价值法	0.01
	水力发电	水电站发电量	市场价值法	0.04
调节	水资源存贮	水资源量	替代工程法	41.11
	水质净化	COD	替代工程法	0.69
	调蓄洪水	调蓄总量	替代工程法	206.12
	固碳释氧	初级生产力干重	造林成本法	2.39
		初级生产力干重	工业制氧法	0.86
文化	游憩	旅游娱乐	直接市场法	0.41
		休闲	旅行费用法	7.09
	水文化传承	水文化价值	支付意愿法	156.98
支持	生物多样性	一级保护物种	支付意愿法	10
		二级保护物种		4.5

1.3 测算生态系统单位面积生态服务价值表

结合谢高地等(2003)人的研究成果,将永定河生态系统服务价值指标体系和土地利用类型按照内涵和特点进行重新分类。校正中国陆地生态系统服务当量表(谢高地等,2003)时,本研究设定了 2 个假设条件。假设条件一为某一时期内生态系统质量是稳定的,提供的生态服务也相应保持稳定,因此某一时期内生态系统生态服务总当量保持恒定。根据假设条件一,按照转换后的各项服务价值占总服务价值的比重将恒定的总当量 E 各生态服务功能间进行重新分配,即进行区域生态服务当量结构的重新分配,计算出各项相关服务功能的当量 E<sub>i</sub>。假设条件二为某一时期内生态系统的功能和结构是稳定的,提供的生态服务也相应保持稳定,因此某一时期内各类生态系统样元的某一项生态系统服务价值间的比例保持恒定。根据假设条件二,将以上计算结果按照原有的当量比例关系在不同土地利用类型上进行再分配,计算 j 类土地利用类型的 i 类生态服务功能当量 E<sub>ij</sub>,即将 E<sub>i</sub> 在不同土地利用类型间进行再分配,制定符合实地调查的永定河生态系统服务价值结构的当量因子表。

根据 2009 年永定河生态系统服务总价值计算结果和永定河生态系统单位面积生态服务价值当量表,将 2009 年各类土地利用类型面积带入公式

(1): 
$$V_0 = \frac{V - V_1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_j \cdot E_{ij}}$$
 (1)

式中: V<sub>0</sub> 为研究区域生态系统单位面积生态服务价值基准(元/km<sup>2</sup>); V 为研究区域生态系统服务

总价值(元/km<sup>2</sup>);  $V_i$  为在指标体系法计算过程中生态服务价值不随时间变化的恒定量;  $S_j$  为  $j$  类生态系统的面积(km<sup>2</sup>);  $E_{ij}$  为  $j$  类生态系统的  $i$  类生态系统服务当量;  $i$  为生态系统服务功能类型;  $j$  为生态系统类型;  $n$  为生态系统服务功能类型总数;  $m$  为生态系统类型总数。

根据永定河生态系统单位面积生态服务价值当量表和永定河生态系统单位面积生态服务价值基准,制定永定河生态系统单位面积生态服务价值表,见公式(2):  $V_{ij} = V_0 \cdot E_{ij}$  (2)

式中:  $V_{ij}$  为  $j$  类生态系统  $i$  类生态服务功能的单价(10<sup>4</sup> 元/km<sup>2</sup>)。

#### 1.4 生态系统服务价值计算模型

根据公式(2)计算结果,汇总计算永定河  $j$  类生态系统单位面积总价值,见公式(3):  $V_j = \sum_{i=1}^n V_{ij}$  (3)

式中:  $V_j$  为永定河  $j$  类生态系统单位面积总价值(10<sup>4</sup> 元/km<sup>2</sup>)。

设  $V_j$  作为参数,永定河  $j$  类生态系统面积  $S_j$  作为自变量,永定河生态系统服务总价值  $V$  作为因变量,水库价值  $V_1$  作为恒定量,建立多元线性回归方程;见公式(4):  $V = \sum_{j=1}^m V_j \cdot S_j + V_1$  (4)

#### 1.5 土地利用优化模型

采用线性回归方法,将公式(4)设为目标函数,其中土地利用类型面积为决策变量。永定河两岸面积限制设定为约束条件,旨在通过约束条件和不同决策目标,计算各类土地利用类型的面积。约束条件见公式(5):

$$\begin{cases} S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \leq 194.94 \\ 6.87 \leq S_4 \leq 72.92 \\ S_1 \geq 59.18 \\ 21.86 \leq S_5 \leq 81.42 \\ S_1 + S_2 \leq 122.00 \\ S_2 \geq 1.24 \\ S_3 \geq 13.19 \end{cases} \quad (5)$$

式中:林地面积为  $S_1$ ,草地面积为  $S_2$ ,耕地面积为  $S_3$ ,水面面积为  $S_4$ ,其他面积为  $S_5$ 。函数目标分别为永定河最大生态服务价值和设定的不同生态系统服务价值目标。约束条件中,194.94 km<sup>2</sup> 为永定河河道两侧各 250 m 范围内总面积,是 4 期遥感数据中总面积最大值,设定为模型研究边界。72.92 km<sup>2</sup> 为河道总面积,是 4 期遥感数据中河道面积最大值,设定河道面积小于等于历史河道面积最万方数据

大值;修复后水面面积大于等于现在水面面积 6.87 km<sup>2</sup>;122.00 km<sup>2</sup> 为河道两侧 500 m 范围总面积,是永定河河道两侧 500 m 范围最大面积与最小河道面积的差值,设定林地面积和草地面积之和小于等于河道两侧各 250 m 范围总面积;设定林地面积和草地面积大于等于 2009 年林地现有面积 59.18 km<sup>2</sup> 和 1.24 km<sup>2</sup>;其他面积大于 2009 年建设居住面积 21.86 km<sup>2</sup>。

采用等距梯度法对水面面积  $S_4$  在最大值与最小值间插值,计算不同水面面积情景下其他土地利用类型面积和对应的总服务价值。

## 2 研究结果

### 2.1 永定河生态系统单位面积生态服务价值表

根据中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,将本研究收集的永定河生态系统服务价值指标体系和土地利用类型进行再分类。按照生态系统服务功能的定义,本研究将永定河生态系统服务价值指标体系归为 5 项指标:气候调节、水源涵养、废物处理、娱乐文化和生物多样性。其中,气候调节指吸收 CO<sub>2</sub> 的能力;水源涵养表示供水、水资源存贮、调蓄洪水和水力发电 4 项与水量相关的服务价值之和;废物处理指水质净化的能力;娱乐文化表示旅游娱乐、休闲功能和文化遗产 3 项服务功能之和;生物多样性指珍稀濒危动物的价值。本研究将 TM 遥感影像土地利用类型重新分为 5 类:林地、草地、耕地、水面和其他。需要指出的是,由于永定河目前处于断流状态,因此将水面和湿地归为一类进行人机互译。干涸河道、建筑用地和未利用土地的生态系统服务价值均较低,归为其他类型对应于中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表中的荒漠生态系统。

根据假设条件一,重新分类后的 5 项生态系统服务功能总当量为 124.91,按照永定河  $i$  类生态系统服务功能当量占总当量百分比,计算  $i$  类生态系统总当量  $E_i$ 。根据假设条件二,将  $i$  类生态系统服务价值当量在  $j$  类生态系统进行再分配,制定出永定河生态系统单位面积生态服务价值当量表,见表 1。需要指出的是,表 2 中水面不包括永定河上游水库,水库的生态服务价值根据库容量计算,结果为 206.11 亿元。

根据公式(1)确定永定河生态系统单位面积生态服务价值基准为 2 001.54 万元/km<sup>2</sup>。

根据公式(2),将 2 001.54 万/km<sup>2</sup> 与各个当量

因子相乘, 制定出永定河生态系统单位面积生态服务价值, 见表 3。

表 2 永定河生态系统单位面积生态服务价值当量

Tab. 2 Ecosystem services value of unit area of Yongding River ecosystem					
功能	林地	草地	耕地	水面	其他
气候调节	0.15	0.05	0.05	0.99	0.00
水源涵养	2.07	0.52	0.39	23.21	0.02
废物处理	0.01	0.01	0.01	0.24	0.00
娱乐文化	10.46	0.33	0.08	80.79	0.08
生物多样性	1.71	0.57	0.37	2.62	0.18

表 3 永定河生态系统单位面积生态服务价值

Tab. 3 Yongding River ecosystem services value of unit area of different ecosystem types					
功能	林地	草地	耕地	水面	其他
气候调节	304.5	101.5	100.4	1980.6	0.0
水源涵养	4 144.8	1 036.2	777.2	46 474.0	36.5
废物处理	17.0	17.0	21.3	472.5	0.1
娱乐文化	20 932.4	654.1	163.5	161 735.1	166.1
生物多样性	3 426.0	1 145.5	746.1	5 244.1	363.1
合计	28 824.7	2 954.3	1 808.5	215 906.3	565.8

2.2 永定河生态系统服务价值计算模型

根据公式(3), 计算出  $j$  类生态系统单位面积价值  $V_j$ 。将  $V_j$  代入公式(4), 测算出永定河生态系统服务价值计算模型, 见公式(6), 其中  $V$  的单位为亿元,  $S_j$  的单位为  $\text{km}^2$ 。

$$V=2.88S_1+0.30S_2+0.18S_3+21.59S_4+0.05S_5+206.11$$

(6)

2.3 土地利用类型优化的模型计算结果

根据目标函数公式(6)和约束条件公式(5), 设定不同生态服务价值总目标对永定河土地利用类型进行线性规划求解, 见图 3a。模型计算结果表明, 永定河生态系统服务价值最大值为 2 212 亿元, 对应的水面面积为  $73\text{ km}^2$ , 林地面积为  $86\text{ km}^2$ , 其余土地利用类型均为最小值。永定河生态系统服务价值在线性规划合理配置下最小值为 513 亿元, 大于实地调查的 2009 年生态系统服务价值。其中, 对应的水面面积为  $6.87\text{ km}^2$ , 林地面积面积为  $59\text{ km}^2$ , 耕地面积为  $46\text{ km}^2$ 。随着水面面积减小, 生态系统服务价值有减小的趋势。

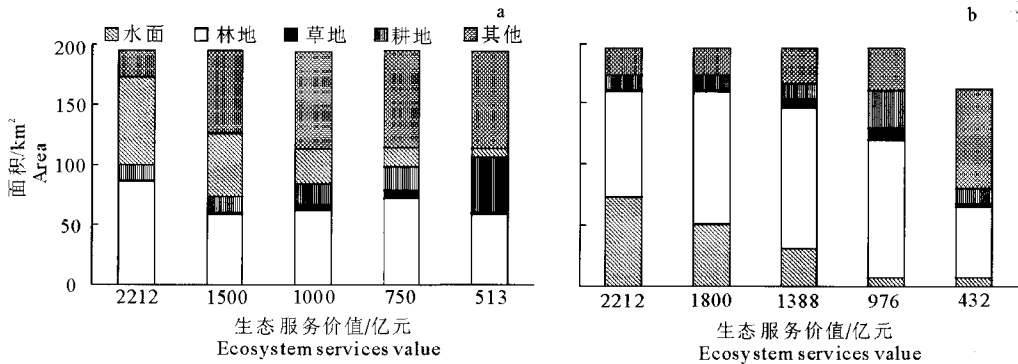


图 3 土地利用面积优化 (a. 生态服务价值限制; b. 水面面积限制)

Fig. 3 Optimum land use area (a. limited by ESV; b. limited by water area)

水域单位面积服务价值最大, 水又是影响其他土地利用变化的重要因子。故首先确定水域面积, 根据多年的水域面积统计得到最大水域面积为  $72.92\text{ km}^2$ , 现有水面面积  $6.87\text{ km}^2$ , 再利用等距梯度法构建 4 个水域面积值, 其次根据相关研究方法确定其他土地利用类型的取值比例及范围, 最后利用线性规划函数功能求解对应的生态系统服务价值, 见图 3b。水面面积为  $6.87\text{ km}^2$  时, 对应的线性规划求解生态服务价值最大值为 976 亿元, 大于实地调查生态服务价值结果 432 亿元。

3 讨论

3.1 生态系统服务价值结构分布

将中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当  
万方数据

量表(谢高地等, 2003)与永定河生态系统单位生态系统服务价值当量表(表 2)进行对比, 见图 4。通过当量对比, 永定河生态系统娱乐文化服务总当量占总当量 73.4%。中国陆地生态系统文化服务功能总当量仅占总当量 7.7%。在谢高地等(2003)的研究中, 气候调节、水源涵养和废物处理 3 项服务功能总当量之和占总当量百分比为 71.1%, 均远高于通过实地调查的这 3 项占永定河生态系统服务价值比重。因此, 推断出中国陆地生态系统服务价值当量表中服务价值结构与永定河生态系统服务价值结构存在较大偏差。

3.2 永定河生态系统服务价值多元回归模型验证

将 1988、1999 和 2004 年遥感解译的永定河河道及主河道两侧各 250 m 范围内土地利用类型数据

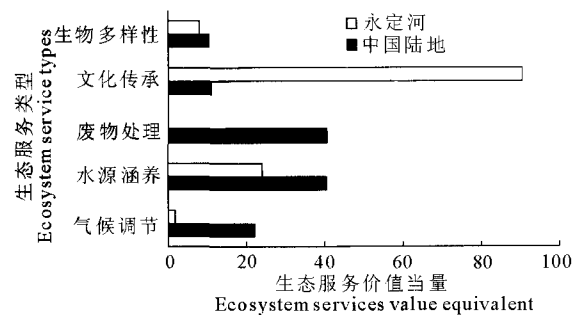


图4 生态系统服务价值分布

Fig.4 Distribution of ecosystem services

带入永定河生态服务价值计算模型,验证模型准确性,见表4。采用校正后的当量因子表计算永定河生态服务价值,与基于实地调查法的评估结果具有较好的可比性。必须指出的是,模型的2个假设是建立计算模型的关键,即假设某一时段内生态系统的质量与结构是稳定的,提供的生态服务也相应保持稳定,才能根据单位面积生态服务价值当量表(表2)计算永定河生态服务价值。然而,从生态系统本身而言,单位面积生态服务总量是随着生态系统质量的变化而变化的,不会是一个恒定量。再者,生态系统服务价值结构也随着生态系统功能的变化而变化,比例不能保持恒定。另外,不同生态服务类型的价值还随人类需求的不同而有差异生态服务价值还会随着人们的期望发生变化,其价值系数会因为资源短缺或需求增加而改变(高练和周勇,2008)。

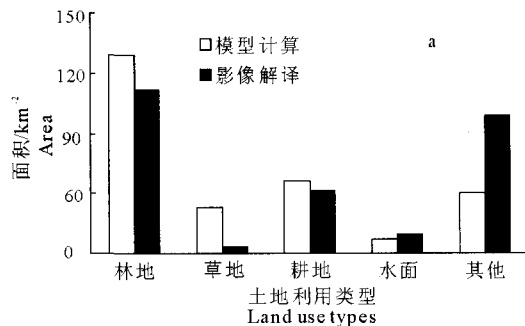


图5 1988年土地利用类型对比(a. 生态服务价值 = 630.51 亿元;b. 水面面积限制)

Fig.5 Comparison of land use types in 1988 (a. ESV = 630.51 × 10<sup>8</sup> yuan;b. limited by water area)

相同生态系统服务价值情景下,模型计算结果水面面积和其他面积小于影像解译结果,林地面积、草地面积和耕地面积大于影像解译结果,见图5a。相同水面面积情景下,模型计算结果草地面积、耕地面积和其他面积小于遥感影像结果,林地面积大于影像解译结果,见图5b。采用与1988年水面面积相同的优化模型计算,永定河生态系统服务价值为1 016 亿元,大于模型计算结果630.51 亿元和实地

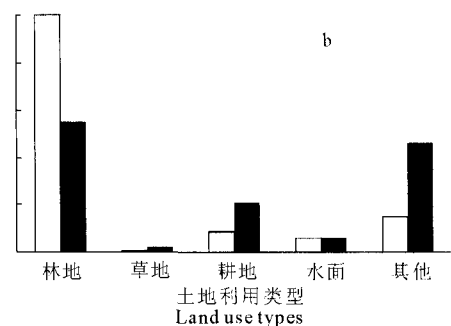
3.3 永定河土地利用类型线性规划分析

根据生态系统服务价值限制条件下线性规划求解结果(图3a),永定河生态系统服务价值最小值为513 亿元,大于2009 年实地调查结果432 亿元。可能的原因是耕地面积大于TM 遥感影像耕地面积,使得计算结果偏大。根据水面面积限制条件下线性规划求解结果(图3b),当水域面积为最小值6.87 km<sup>2</sup> 时,永定河生态系统服务模型求解最大值为976 亿元,大于2009 年实地调查结果432 亿元。可能的原因是线性规划约束条件中,总面积采用1988 年TM 遥感影像总面积,为4 期遥感数据中的总面积最大值,见公式(5),大于2009 年研究面积。因此,将1988 年TM 遥感影像数据与生态服务价值630.51 亿元(模型计算出的当年生态服务价值)对应的土地利用类型进行对比,见图5a,并将1988 年TM 遥感影像数据与1988 年对应水面面积下的永定河生态系统服务价值进行对比,见图5b。

表4 永定河生态服务价值计算模型验证结果

Tab.4 Validity of Yongding River ecosystem services value calculation model

年份	模型计算 结果/亿元	实地调查 结果/亿元	绝对相对 偏差/%	平均相对 偏差/%
2009	432.82	432.82	0.00	
2004	472.59	473.49	0.19	
1999	609.48	567.27	6.93	4.54
1988	630.51	560.98	11.03	



调查结果560.98 亿元,见表4。需要指出的是,线性规划仅能根据给定约束条件进行数量优化,没考虑土地利用类型相互空间转换和配置的限制。

4 小结

将TM 遥感影像与价值评估法相结合,建立了针对永定河生态系统单位面积因子当量表的评估方法,用于测算出只需遥感影像数据即可快速动态评

估土地利用变化下的生态系统服务价值变化。采用多元回归模型对永定河生态系统服务价值进行回顾性评估,与实地调研评估结果平均偏差为4.54%。采用线性回归模型计算等差生态系统服务价值情景下和等差水面面积情景下土地利用面积。永定河生态系统服务价值最大值为2 212亿元,最小值为513亿元。永定河水面面积最大值时生态系统服务价值2 212亿元,水面面积最小值时为976亿元。

本文以遥感影像为基础,建立了当量因子法快速评估生态服务价值的方法,进而估算不同生态系统服务价值情景下的各类土地利用类型面积,以期生态修复提供一定的参考价值。但是,模型建立在一定时期内生态系统的功能和过程稳定的假设基础上,因此在评估的合理性和准确性方面存在一定的不足。如何合理地将生态系统的服务质量和价值结构变化等因素纳入生态系统服务价值评估体系,将是以后研究的重点问题之一;如何反映土地利用类型结构变化引起的生态系统服务功能和价值的变化,将是下一步研究的重点。另外,下一步的研究中还将关注不同尺度和影像数据精度对生态系统服务价值估算的影响。

志谢:感谢北京林业大学为本研究提供遥感影像解译数据和永定河生态系统服务价值实地评估数据。

#### 参考文献

高练,周勇. 2008. 土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J]. 农业工程学报, 24(增1): 73-77.

- 刘俊国,张振明. 2011. 永定河生态修复目标体系研究报告[R]. 北京:北京林业大学.
- 鲁春霞,谢高地,成升魁. 2001. 河流生态系统的休闲娱乐功能及其价值评估[J]. 资源科学, 23(5):77-81.
- 欧阳志云,王效科,苗鸿. 1999. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 应用生态学报, 19(5): 607-613.
- 欧阳志云,郑华. 2009. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 29(11):6183-6188.
- 肖玉,谢高地,安凯. 2003. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J]. 应用生态学报, 14(5):676-680.
- 谢高地,鲁纯霞,冷允法,等. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 18(2):189-196.
- 谢高地,鲁春霞,成升魁. 2001. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6):5-9.
- 于贵瑞,谢高地,于振良,等. 2002. 我国区域尺度生态系统管理中的几个重要生态学命题[J]. 应用生态学报, 13(7):885-891.
- 张振明,刘俊国,申碧峰,等. 2011. 永定河(北京段)河流生态系统服务价值评估[J]. 环境科学学报, 31(9):1851-1857.
- Costanza R, Arger R, Groot R, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 387: 253-260.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment[M]. Washington: Island Press.
- Winkler R. 2006. Valuation of ecosystem goods and services part 1: an integrated dynamic approach[J]. Ecological Economics 59:82-93.

(责任编辑 杨春艳)

## Evaluation Model and Application of Ecosystem Service Value Based on TM Remote Sensing in Yongding River

LIU Xu<sup>1</sup>, ZHAO Gui-shen<sup>2</sup>, DENG Yong-zhi<sup>1</sup>, CHEN Yan<sup>2</sup>, LIU Jun-guo<sup>3</sup>, ZHANG Zhen-ming<sup>3</sup>,  
ZHAO Yue-fen<sup>4</sup>, YANG Yi<sup>4</sup>, WEI Wei<sup>4</sup>, LIU Pei-bin<sup>4</sup>

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

4. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China)

**Abstract:** To improvement the disadvantage of traditional static evaluation, including long period work, mass amount of work, high price and low precision, this literature value Yongding river ecosystem services dynamically. By correlating GIS and equivalent weight factor, it calculated ecosystem services value unit area of Yongding River and the ecosystem services value. The model is aimed to provide quantificational evidence for ecosystem restoration. The total equivalent weight factor is 124.91, and the unit value is  $2001.54 \times 10^4$  yuan/km<sup>2</sup>. The unit value per area of forest, meadow, farmland, water and other ecosystem is  $28824.7 \times 10^4$ ,  $2954.3 \times 10^4$ ,  $1808.5 \times 10^4$ ,  $215906.3 \times 10^4$  and  $565.8 \times 10^4$  yuan/km<sup>2</sup> separately. The highest unit price is entertainment services of water ecosystem which equals to  $161735.1 \times 10^4$  yuan/km<sup>2</sup>. According to these parameter, it is established multi linear equation to calculate the ecosystem services which is compared with the historical investigation value and the average relative deference is 4.54%. Further more, it is established multi regression equation, which caculates the highest value is  $2212 \times 10^8$  yuan and the lowest is  $513 \times 10^8$  yuan. With the the biggest water area, the value equals to  $2212 \times 10^8$  yuan, and  $976 \times 10^8$  yuan with the smallest water area correspondingly.

**Key words:** ecosystem service value; remote sensing; linear programming; Yongding River Beijing segment