

基于地形梯度的冀西北间山盆地 生态系统服务价值评估

——以河北省怀来县为例

石 焱¹, 袁大鹏¹, 赵雪杉¹, 封 乾¹, 牛志君¹, 王树涛²

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘 要:为从地形梯度上对怀来县生态系统服务价值进行评估,利用 2003 年、2013 年土地动态数据和 DEM 数据,定量分析了怀来县生态系统服务价值的空间分布及变化特征,并对怀来县敏感性指数进行了分析。结果表明:怀来县生态系统服务总价值在 2003—2013 年共增加了 0.38 亿元,其中园地和林地的生态系统服务价值分别增加了 7 077.63 万元、4 331.36 万元,水域和耕地的生态系统服务价值分别减少 4 190.84 万元、3 292.74 万元;生态系统服务价值在高程上呈南北高、中部低的分布趋势,生态系统服务价值在高程梯度上主要集中于 600~900 m 范围内,在坡度梯度上主要集中在 15°~25°范围内;在单项生态系统服务价值中,水源涵养、废物处理和食物生产生态系统服务价值由于水域和耕地面积的减少而明显减少,共减少 2 451.3 万元;通过对怀来县各地类敏感性指数进行计算,得出的敏感性指数均小于 1,说明怀来县生态系统服务价值(ESV)对于生态价值系数(VC)是缺乏弹性的,文章采用区域生态价值系数核算结果是可信的。

关键词:地形梯度;生态系统服务价值;敏感性指数;怀来县

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0184-07

Evaluation of Ecosystem Service Values of Mountainous Basins in Northwest Hebei Province Based on Terrain Gradient

—A Case Study of Huailai County, Hebei Province

SHI Yao¹, YUAN Dapeng¹, ZHAO Xueshan¹, FENG Qian¹, NIU Zhijun¹, WANG Shutao²

(1. College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding,

Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: To assess the value of the ecosystem service in Huailai County from the terrain gradient, we used the land dynamics and DEM data of 2003 and 2013 to quantitatively analyze the spatial distribution and characteristics of ecosystem services in Huailai County. The county susceptibility index was analyzed. The results showed that the total value of ecosystem service in Huailai County had increased by 38 million yuan between 2003 and 2013, and the values of ecosystem services in the garden and woodland had increased by 70.776 3 million yuan, 43.313 6 million yuan, respectively, and the the values of ecosystem services of water bodies and cultivated lands decreased by 41.908 4 million yuan, 32.927 4 million yuan, respectively; the value of ecosystem services was mainly in the range of 600~900 m in the gradient; the value of water conservation, waste treatment and food production ecosystem services significantly decreased by 24.513 million yuan due to the decrease of water area and cultivated land area. In the range of 15°~25°, the sensitivity index of Huailai County was less than 1, which indicates that the ecosystem value of Huailai County was inelastic to the ecological value coefficient. The result calculated by using the coefficient of the regional ecological value was credible.

Keywords: terrain gradient; ecosystem service value; sensitivity index; Huailai County

生态系统服务功能是指人类赖以生存和维持生态过程的自然环境条件和效用^[1-2],它不仅包括各种生态系统为人类所提供的食物、医药和农业生产的原料,也是支撑和维持地球生命支持系统的重要组成部分^[1]。土地利用变化(LUCC)不仅从地表结构上带来巨大的变化,而且影响其生态过程,如物质循环和能量流动,并影响着整个生态系统的结构和功能,从而影响生态系统服务价值及其人类福祉^[3-4]。伴随着全球人口增长和城市化的发展,环境问题日益突出,生态系统服务受到越来越多的关注。探讨土地利用变化(LUCC)与生态过程之间的相互影响和相互作用,对土地可持续利用、生态环境保护 and 区域生态安全等方面的研究具有重要意义^[5]。

生态系统服务评估有多种方法,而采用经济学的手段,从价值的角度可以更直观的描述生态系统服务价值^[6-7]。Costanza 等^[8]于1997年提出了一种来衡量全球生态系统服务价值的方法,谢高地等^[9]结合中国实际情况建立了“中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量”表,为我国生态系统服务价值核算以及演化过程提供重要依据^[10]。国内大多数学者结合谢高地等^[9]的研究成果,采用单位面积生态系统服务价值的平均值直接测算,或者通过生物多样性、生物量等修正方法间接去估算区域生态系统服务价值^[11],通过建立的区域生态系统服务价值表,可以更为精确地表达研究区域生态系统服务价值的变化。近些年来国内学者主要从LUCC对生态系统服务价值的影响等方面来进行研究,然而,很少通过地形梯度上的土地利用变化对区域生态系统服务价值进行研究^[12]。通过从不同地形梯度分析生态系统服务价值,能够更全面的研究LUCC对生态系统服务价值的影响。

怀来县地形分异明显,南部和北部为山地,中部地区为平原,有较好的地形梯度特征。本文根据怀来县地形梯度上的土地利用变化,通过对不同高程梯度和坡度梯度的分析,对怀来县生态系统服务价值进行研究,同时对怀来县敏感性指数进行测算为怀来县生态环境建设及土地资源的合理利用提供理论支持。

1 研究区概况及数据处理

1.1 研究区概况

怀来县位于河北省西北部,属于张家口市,地处燕山北侧,永定河上游区域从中穿过,介于东经115°16′—115°58′、北纬40°4′—40°35′。怀来县全境属燕山山地,南部和北部为山地,中部为河谷平原,燕山支脉从西北和西南两侧包围,因中部低,两侧高而被称为“怀来盆地”,怀来县主要有山地、河川平原和丘陵等地貌类

型。全县地处于暖温带大陆性季风气候区,受地形及大气环流影响,具有光照充足、雨热同季、四季分明、日温差大等特点。年平均降水为396 mm,南部和北部两山偏多,年平均风速为2.3 m/s。怀来县总面积为1 801 km²,其中河川平原占全县总面积的35%左右,丘陵占全县总面积的24.8%左右,山地占全县总面积的41.7%左右。

1.2 数据来源及处理

本研究所用的土地利用现状数据来源于2003年、2013年怀来县的Landsat TM/ETM+遥感影像;地形数据来自中科院国际数据中心下载的DEM和Slop数据,分辨率为90 m。怀来县2013年Landsat TM/ETM+遥感影像的二次多项式几何校正通过ENVI 4.8软件进行,确保校正后误差小于0.5个像元。将纠正影像作为参考,采用Image to Image模块对2003年遥感影像进行自动配准,并以行政区作为掩膜切割遥感图像,遥感图像的分类是通过监督分类和结合人机交互方法进行的,分别用代码1,2,3,...,6表示,并通过地面测量数据(GPS现场测量)来测试解释精度,随机选择多个样本,使用混淆矩阵法进行评价分析,结果表明:2期遥感图像分类的总体精度分别为83.21%和87.69%,解读精度超过80%^[13]。根据国家一级地类划分标准,将该区域划分为耕地、林地、建设用地、园地、水域、未利用地6大类。基于ArcGIS 10.2软件,运用ArcGIS中自然间断法依据地类特征将其高程分为6类,坡度梯度分为5类(图1),高程分别为0~600 m,600~900 m,900~1 200 m,1 200~1 500 m,1 500~1 800 m,1 800~2 100 m;坡度梯度分别为0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,≥25°。

从图中可以看出,高程分布以600~900 m,900~1 200 m,1 500~1 800 m范围居多,主要分布于怀来县中南部和中北部地区,1 800~2 100 m范围内分布最少;坡度在2°~6°,15°~25°范围内分布较多,同样分布于中南部和中北部地区,≥25°范围内分布最少。

2 研究方法

2.1 生态系统服务价值动态度

生态系统服务价值动态度指研究区某一段时间某种地类生态系统服务价值的变化^[14],它可以在一定程度上反应某种地类的土地利用变化,其动态度值越高,表明该地类土地利用变化越频繁,动态度值越低,表明该地类土地利用变化越少,公式如下:

$$EV = \frac{V_b - V_a}{V_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: V_a , V_b 分别为研究区某种地类研究期初和期末的生态系统服务价值; T 为研究时间; EV 为某种地类生态系统服务价值动态度。

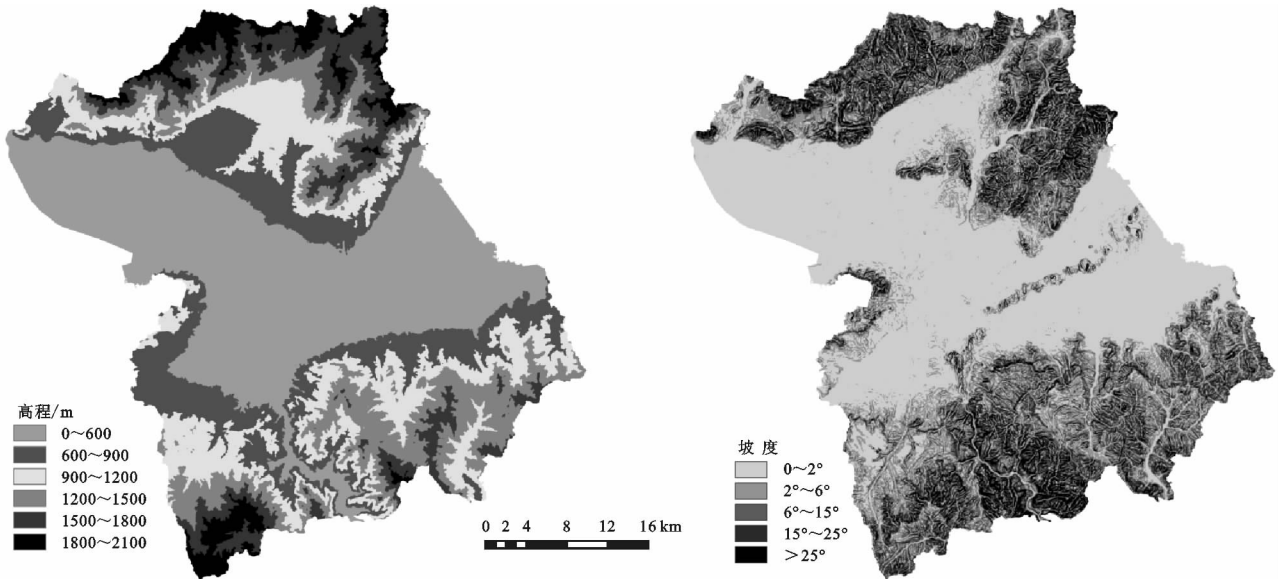


图 1 研究区高程梯度和坡度梯度

2.2 生态系统服务价值测算

本文利用 Costanza 等^[8]提出的生态服务价值计算公式,基于谢高地等^[9]人建立的中国陆地生态系统单位面积服务价值的基础上,陈影等^[15]人结合研究区实际情况对其修正制定了怀来县生态系统单位面积生态系统服务价值表(表 1),参照怀来县生态系统

单位面积生态系统服务价值表计算怀来县生态系统服务价值,生态系统服务价值计算公式如下:

$$ESV = \sum (A_i \times VC_i)$$

式中:ESV 表示生态系统价值; A_i 表示研究区第 i 类土地类型的面积; VC_i 为第 i 种地类生态系统服务价值的系数。

表 1 怀来县生态系统服务单位面积价值表 元/hm²

功能	耕地	园地	林地	城乡用地	水面	未利用地
气体调节	446.74	1921.10	3127.35	0.00	0.00	0.00
气候调节	795.22	1608.36	2412.51	0.00	410.99	0.00
水源涵养	536.10	1787.04	2859.25	26.76	18209.92	26.76
土壤形成与保护	1304.56	2613.56	3484.72	17.87	8.89	17.87
废物处理	1465.42	1170.56	1170.56	8.89	16244.25	8.89
生物多样性保护	634.35	1943.41	2912.87	303.75	2224.90	303.75
食物生产	893.57	178.73	89.37	8.89	89.37	8.89
原材料	89.37	1183.89	2323.14	0.00	8.89	0.00
娱乐文化	8.89	589.72	1143.70	8.89	3877.83	8.89
合计	6174.22	12996.38	19523.47	375.04	41075.03	375.04

2.3 敏感性分析方法

借鉴相关研究成果^[16-19],运用经济学中常用的弹性系数概念,计算价值系数的敏感性指数(CS)^[20],确定生态系统服务价值在时间的变化过程中对于价值系数的依赖程度。将各种地类的价值指数分别调整 50%,来衡量生态系统服务总价值的变化。敏感指数计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_m - ESV_n) / ESV_n}{(VC_{mi} - VC_{ni}) / VC_{ni}} \right|$$

式中:ESV 表示生态系统总价值;VC 表示生态系统服务价值系数; m,n 分别为调整前后生态服务价值系数。如果 $CS > 1$,则 ESV 相对于 VC 是有弹性的;

如果 $CS < 1$,则表明 ESV 是缺乏弹性的,比值越大,表明生态系统服务价值指数的准确性越高。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

由图 2 分析可知,怀来县土地利用主要以林地和未利用地为主,主要以南部和北部山地居多。2003—2013 年期间,怀来县园地、林地和建设用地面积呈增加趋势,增长面积分别为 7 077.63 hm²,4 331.36 hm²,157.12 hm²;水域、耕地和未利用地呈减少趋势减少面积分别为 4 190.84 hm²,3 292.74 hm²,207.3 hm²。具体变化区域为,园地增加的主要区域为官厅水库西部山地,随着人

类社会经济活动的扩大,部分耕地转为经济效益较好的园地;林地增加的主要区域为怀来县南部和北部的山地,由于退耕还林工程的实施,将耕地坡度较大的区域退耕为林地,因此林地面积明显增加,耕地面积减少;建设用地在中部河谷平原地区扩张明显,其原因是该地区

交通便利、地势平坦和人口集中,随着怀来县经济迅速发展,建设面积不断增加;水域面积减少区域主要为怀来县中部的官厅水库周边区域,主要原因为干旱加之人类生产生活对水资源的需求增加等因素;近些年人们对未利用地的开发及利用使其面积逐渐减少。

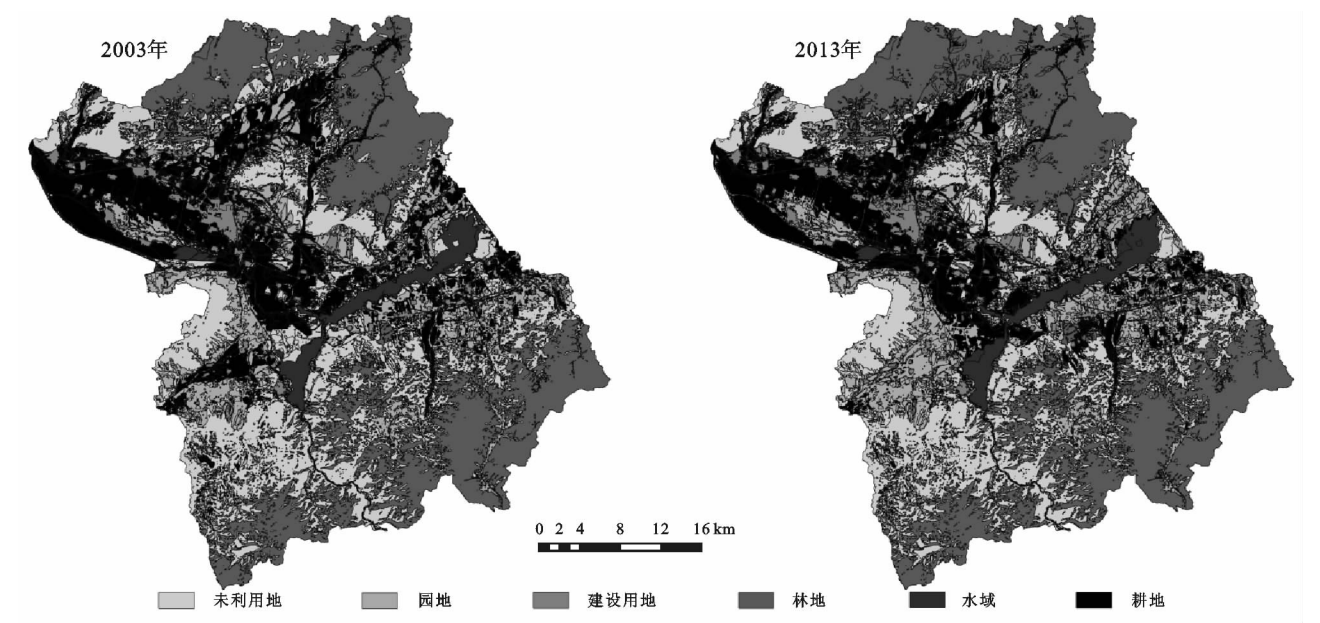


图 2 怀来县 2003 年、2013 年土地利用类型

3.2 生态系统服务价值的时空特征

怀来县生态系统服务价值分布及变化趋势见图 3,其生态系统服务价值总体程南北高中部低的分布趋势,生态系统服务价值高的地区主要分布于南北的山地地区,中部平原生态系统服务价值较低。2003—2013 年怀来县生态系统服务总价值增加 0.38 亿元,其中建设用地

和园地的生态系统服务价值动态度较高,增加生态系统服务价值分别为 157.12 万元、7 077.63 万元,年递增率分别为 0.43%,0.19%,增加区域主要在中部平原区;耕地和水域的生态系统服务价值分别减少 3 292.74 万元、4 190.84 万元,年递减率分别为 0.17%,0.16%,减少区域主要分布在北部山地和中部官厅水域地区。

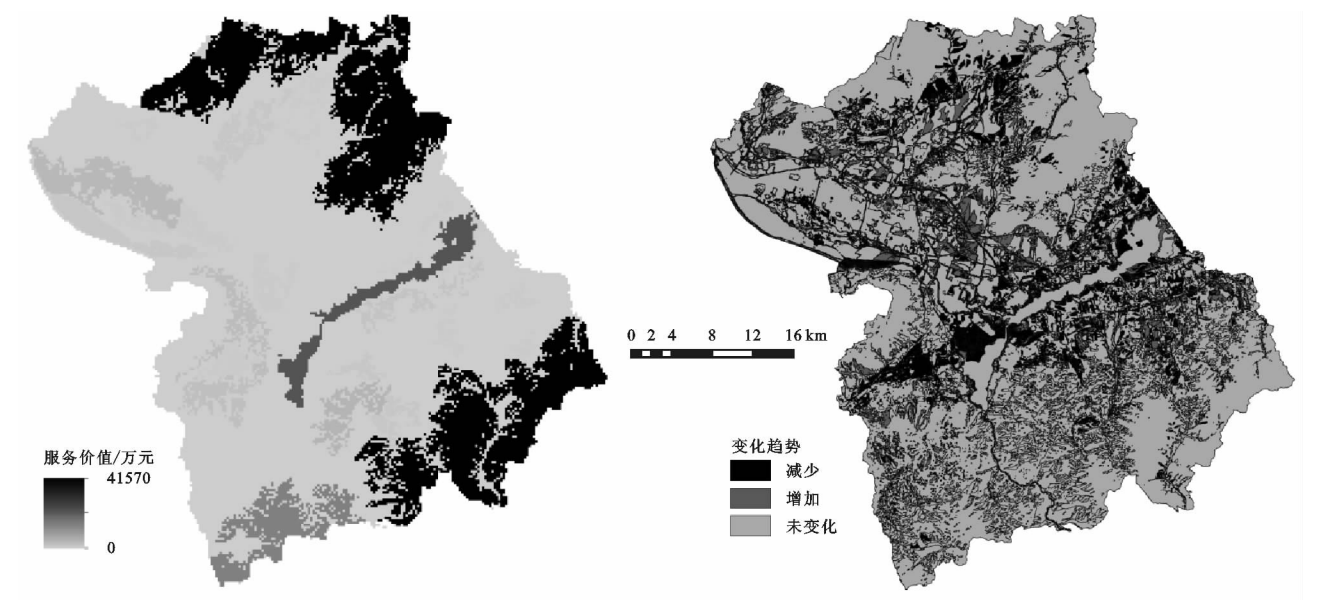


图 3 怀来县生态系统服务价值分布及变化趋势

3.3 生态系统服务价值的地形梯度特征

怀来县生态系统服务价值在高程梯度上呈先减少再增加的分布特征,分布不均。在 0~600 m 的高

程梯度范围内,50%的耕地生态系统服务价值集中于该梯度范围,占该梯度总价值的 13.8%。在 600~900 m 高程梯度范围内,82.8%的水域、68.6%的建设用地和

57.3%的园地生态系统服务价值主要集中于该高程梯度。高程梯度在900~1 200 m范围内有34.2%林地和33.6%的未利用地生态系统服务价值,其他用地分布较少。在高程梯度为1 200~1 500 m范围内各土地利用类型生态系统服务价值均较少。在1 500~1 800 m高程梯度内,主要有42.2%的林地生态系统服务价值集中在该梯度。在1 800~2 100 m高程梯度范围内各土地利用类型生态服务价值最少,主要分布于南部和北部的山地地区。

根据高程梯度上生态系统服务变化图(图4)分析可知。在0~600 m高程梯度上,园地生态系统服务价值增加最多为4 869.87万元,水域生态系统服务价值减少的最多,减少了3 958.10万元,主要由于生产生活对水资源需求的增加及其干旱等因素,使其水域面积呈减少趋势;600~900 m和900~1 200 m高程梯度内,耕地生态系统服务价值显著减少,减少2 682.41万元,主要是由于人类开发建设活动占用了大量的耕地以及部分耕地转向了经济效益较好的园地^[13];在1 200~1 500 m,1 500~1 800 m和1 800~2 100 m的高程范围内,林地生态系统服务价值增加显著为3 247.98万元,生态保护政策的实施和退耕还林工程是其变化的主要原因。

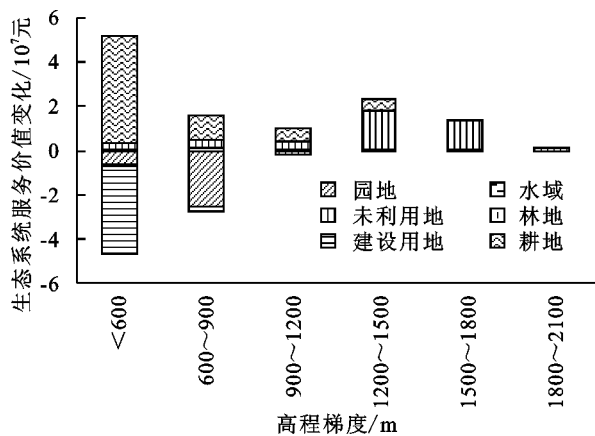


图4 基于高程梯度的生态系统服务价值变化

怀来县生态系统服务价值在坡度上呈波浪型分布,在0°~2°和2°~6°坡度梯度内生态系统服务价值随坡度的增加而增加,6°~15°坡度范围内缓慢减少,在15°~25°坡度梯度内达到最大,>25°坡度范围又逐渐减少。0°~2°坡度梯度主要分布于中部平原地区,该梯度内生态系统服务总价值为21 907.96万元。15°~25°坡度梯度面积在该区分布最广,其生态系统服务价值约为63 011.98万元,达最大值,主要分布于南部和北部山地地区。

怀来县坡度梯度上生态系统服务价值的变化见

图5。在0°~2°坡度梯度内,园地和林地的生态系统服务价值分别增加1 425.18万元和278.71万元,耕地和水域的生态系统服务价值分别减少1 495.27万元和635.21万元;在2°~6°坡度梯度内,园地的生态系统服务价值增加最多为4 285.09万元,由于园地的经济效益较好,怀来县的耕地较多的转变为园地,水域的面积在人类活动和自然环境的影响下日益减少,其生态系统服务价值减少最多为2 924.24万元;6°~15°梯度范围内,林地生态系统服务价值增加943.91万元,水域生态系统服务价值减少600.7万元;在15°~25°坡度梯度内,林地生态系统服务价值增加最多,为1 902.23万元,该梯度主要分布与南部和北部山地地区,由于退耕还林工程的实施,怀来县耕地的生态系统服务价值减少,林地生态系统服务价值增加;在大于25°坡度梯度内,林地的生态系统服务价值共增加450.66万元,该梯度范围主要分布于怀来县东南部和东北部山地地区,该地区是林地生态系统服务价值增长的主要原因。

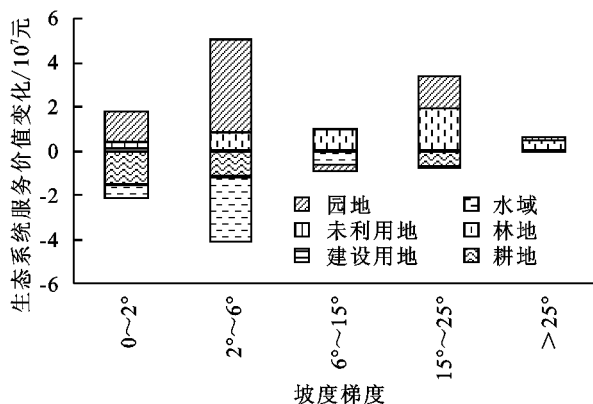


图5 基于坡度梯度的生态系统服务价值变化

3.4 基于地形梯度的单项生态系统服务价值变化分析

水体具有最高的废物处理生态系统服务功能,而怀来县水域面积较少,因此大部分的废物处理生态系统服务价值由耕地和林地提供。食物生产生态系统服务价值主要由耕地提供,其他土地利用类型的食物生产生态系统服务价值较低。怀来县废物处理和食物生产生态系统价值因耕地面积的大量的减少而导致供给服务大幅减少,其中食物生产生态系统服务价值为369.41万元,废弃物处理为1 542.36万元。食物生产生态系统服务价值是当地居民的生存与发展的物质基础,因此,食物生产价值的显著减少应当引起有关部门的重视^[12]。森林具有较高的土壤形成与保护、气体调节和生物多样性保护等生态系统服务价值,由于林地的增加,气体调节、土壤形成与保护和生物多样性保护等生态系统服务价值增多,分别为

1 501.93 万元、1 497.85 万元、1 099.59 万元。

2003—2013 年单项生态系统服务价值在高程梯度上变化见图 6。

在 0~600 m 高程梯度内,水源涵养、废物处理、食物生产和娱乐文化均有不同程度的减少,分别减少 1 096.48 万元、1 254.48 万元、30.53 万元、119.94 万元,其他单项生态系统服务价值均有所增加;高程梯度在 600~900 m 梯度范围内,气候调节、生物多

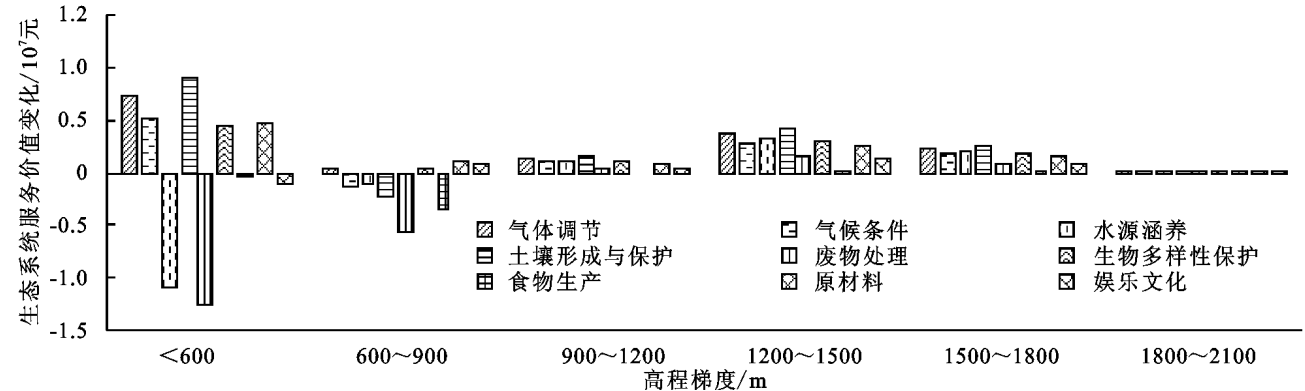


图 6 基于高程梯度的单项生态系统服务价值变化

图 7 为各单项生态系统服务价值在坡度梯度上的变化。在坡度梯度 0°~2° 的范围内,水源涵养、废物处理和食物生产等的生态系统服务价值均有所减少,其他各单项生态系统服务价值均增加;在 2°~6° 坡度梯度内,水源涵养与废物处理生态系统服务价

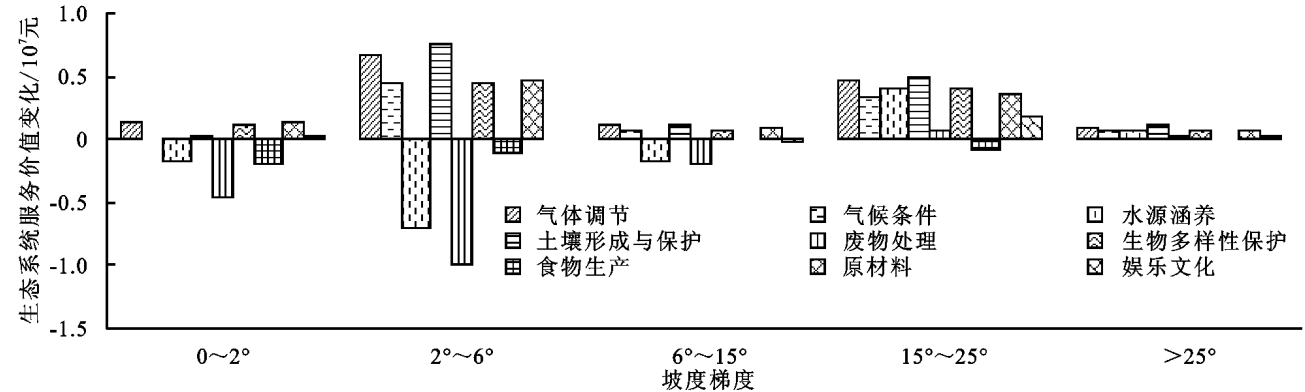


图 7 基于坡度梯度的单项生态系统服务价值变化

3.5 敏感性分析

通过将研究区各土地利用类型的价值系数分别上下调整 50%，并计算出研究区 2003 年、2013 年 2 期各土地利用类型的敏感性指数(图 8)。研究结果表明,怀来县所有地类生态系统服务价值系数(VC)的敏感性指数(CS)均小于 1,并且都接近于 0,从高到低分别为耕地、园地、林地、水域、未利用地、建设用地,说明研究区内生态系统服务总价值(ESV)对生态系统服务价值系数(VC)缺乏弹性,通过怀来县生态系统服务价值系数核算的结果是可信的。

值均减少最多,分别为 697.42 万元、993.84 万元,气体调节、气候条件、土壤形成与保护、生物多样性和原材料的生态系统服务价值均增长最多;在 6°~15°, 15°~25° 和大于 25° 范围内各单项生态系统服务价值增减程度不一。

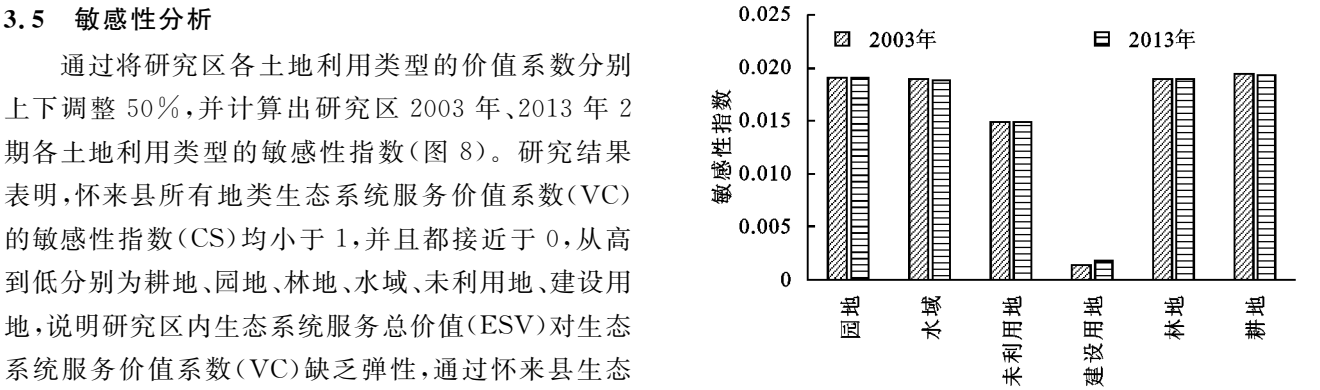


图 8 研究区敏感性指数

4 结 论

怀来县在 2003—2013 年期间园地、林地和建设用地面积呈增加趋势;水域、耕地和未利用地呈减少趋势;怀来县生态系统服务价值在 2003—2013 年共增加了 0.38 亿元,增加区域主要为中部平原区,以建设用地和园地为主;生态系统服务价值在高程上呈南北高、中部低的分布趋势,主要集中于 600~900 m 高程梯度内,在坡度上随坡度的增加呈波浪型变化,在 15°~25°坡度梯度内达到最大值;单项生态系统服务价值中,由于水域和耕地面积的减少,水源涵养、废物处理和食物生产等生态系统服务价值损失严重,分别损失 539.53 万元、1 542.36 万元、369.41 万元,应引起高度重视;怀来县各地类生态系统服务价值 (ESV) 对于价值系数 (VC) 的敏感性指数均小于 1,表示缺乏弹性,说明本文所采用的怀来县生态服务价值系数是可信的。

本文从地形梯度上对怀来县生态系统服务价值进行评估,可为怀来县生态环境建设及土地资源的合理利用提供理论支持。在今后的研究中,应当结合修正不同梯度范围内的单位面积生态系统服务当量,从而更加精确的计算出不同梯度范围内的生态系统服务价值。

参考文献:

- [1] 欧阳志云,王效科. 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]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [2] 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.
- [3] Li B L T, Skole D L, Sanderson S, et al. Land-Use and Land-Cover Change: science/research plan[J]. Global Change Report, 1995,43:669-679.
- [4] 石龙宇,崔胜辉,尹锴,等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响[J]. 地理学报,2010,65(6):708-714.
- [5] 刘秀丽,张勃,张调风,等. 黄土高原土石山区土地利用变化对生态系统服务的影响:以宁武县为例[J]. 生态学

杂志,2013,32(4):1017-1022.

- [6] 赵景柱,肖寒. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报,2000,11(2):290-292.
- [7] 江波,陈媛媛,饶恩明,等. 博斯腾湖生态系统最终服务价值评估[J]. 生态学杂志,2015,34(4):1113-1120.
- [8] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital 1[J]. Nature, 1989,25(1):3-15.
- [9] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 重庆第二师范学院学报,2003,18(3):189-196.
- [10] 曾杰,李江风,姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. 应用生态学报,2014,25(3):883-891.
- [11] Feng L, Cheng S, Su H, et al. A theoretical model for assessing the sustainability Of ecosystem services[J]. 生态经济:英文版,2008,4(3):258-265.
- [12] 王晓峰,薛亚永,张园. 基于地形梯度的陕西省生态系统服务价值评估[J]. 冰川冻土,2016,38(5):1432-1439.
- [13] 哈凯. 基于地形梯度的怀来县土地利用景观格局变化及优化研究[D]. 河北保定:河北农业大学,2015.
- [14] 赵永华,张玲玲,王晓峰. 陕西省生态系统服务价值评估及时空差异[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2662-2672.
- [15] 陈影,哈凯,贺文龙,等. 冀西北间山盆地景观格局变化及优化研究:以河北省怀来县为例[J]. 自然资源学报,2016,31(4):556-569.
- [16] 周德成,罗格平,许文强,等. 1960—2008 年阿克苏河流域生态系统服务价值动态[J]. 应用生态学报,2010,21(2):399-408.
- [17] 张伟,张宏业,王秀红,等. 伊犁新垦区土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. 资源科学,2009,31(12):2042-2046.
- [18] N. 格里高利·曼昆,曼昆,梁小民. 经济学原理上[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [19] 赵艳霞,武爱彬,刘欣,等. 浅山丘陵区土地利用地形梯度特征与生态服务价值响应[J]. 水土保持研究,2014,21(3):141-145.
- [20] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas☆[J]. Ecological Economics, 2001,39(3):333-346.