

基于价值系数动态调整的青龙县生态系统 服务价值变化研究*

李晓赛 朱永明 赵 丽** 田京京 李 静

(河北农业大学国土资源学院 保定 071001)

摘要 生态系统服务价值是随着自然和经济条件的变化而不断变化的。本文首先对谢高地等提出的生态系统服务价值当量因子表进行区域修正,然后从生物生产力和社会支付两方面选取指标对以上结果进行功能性和经济性调整,构建了生态系统服务价值的动态评估模型,计算了2003—2012年河北省青龙县单位面积单项生态系统服务价值系数动态变化情况,最后评估了近10年各生态系统服务价值,并揭示了小尺度的县域土地生态系统动态变化规律。研究结果表明:2003—2012年间,青龙县各土地利用类型中,单位面积生态系统单项服务价值系数呈波动上升的变化趋势,10年间生态系统服务总价值提高44.43亿元,平均年增幅为3.78%。空间上,通过区域修正增加了园地和建设用地的当量因子值,得到了青龙县单位面积生态系统服务价值系数表;时间上,通过功能性调整得到林地和园地调整系数分别为1.032和0.903,通过经济性调整得到支付能力和支付意愿综合作用结果在时间跨度上呈现波动上升趋势。研究结果与以往的静态评估模型相比,更具有适宜性,特别是对受经济政策影响极其敏感的小尺度县域来讲,更加能够揭示其生态系统服务价值的动态变化机制和效应。

关键词 青龙县 生态系统服务价值 当量因子 功能性调整 经济性调整 植被净初级生产力 支付能力 支持意愿

中图分类号: F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2015)03-0373-09

Ecosystem services value change in Qinglong County from dynamically adjusted value coefficients

LI Xiaosai, ZHU Yongming, ZHAO Li, TIAN Jingjing, LI Jing

(Institute of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract Ecosystem services value is changing with the change in natural and economic conditions. This paper adjusted the “unit area of ecosystem services value of China’s terrestrial ecosystem” put forward by Xie Gao di et al from national scale to county scale. Then vegetation net primary productivity (NPP) was used to form functional adjustment factor, and adjustment factor of ability to pay and adjustment factor of willingness to pay used to calculate economic adjustment factor to adjust the above results. The paper then constructed a dynamic evaluation model for ecosystem services value and calculated dynamic changes in each ecosystem service value coefficient (value per unit area) in Qinglong County for 2003–2012. Finally, the paper evaluated ecosystem services value for the recent decade, revealed the principles of dynamic change in terrestrial ecosystem at county scale. The functional adjustment factors of forest land and garden plot were set as 1.032 and 0.903, respectively, due to they were the main land use types of biological productivity. Other land use types were without functional adjustment factors. Calculation results indicated that functional adjustment improved distinction degree of vegetation types of different coverages by amending equivalent factor value with functional factor of ecosystem services. The adjustment factor of ability to pay was ratio of GDP per person of Qinglong County to national mean GDP per person, while adjustment factor of willingness to pay was calculated with Engel Coefficient. The

* 河北省社会科学发展研究项目(2014030224)和河北省社会科学基金项目(HB14GL039, HB14GL040)资助

** 通讯作者: 赵丽, 研究方向为土地利用和评价教学与研究。E-mail: zhaoli1606@126.com

李晓赛, 研究方向为土地资源利用与规划。E-mail: lixiaosai1220@163.com

收稿日期: 2014-05-15 接受日期: 2014-12-16

combination of the adjustment factors of ability to pay and willingness to pay (economic adjustment factor) fluctuated in an upward trend in time. The study results showed that each ecosystem service value coefficient fluctuated with an improving trend for different land use types in Qinglong County in 2003–2012. The ecosystem services value improved by 4.443 billion Yuan in the decade, at an average annual rate of 3.78%. Compared with previous static evaluation model, the results were more favorable, especially for small-scale counties that are extremely sensitive to economic policy. The analysis also revealed the mechanism of dynamic changes in ecosystem services value with better effects.

Keywords Qinglong County; Ecosystem services value; Equivalent factor; Functional adjustment; Economic adjustment; Vegetation net primary productivity; Ability to pay; Willingness to pay

(Received May 15, 2014; accepted Dec. 16, 2014)

生态系统作为地球生命支持系统,是人类赖以生存的基础。生态系统服务功能是生态系统与生态过程形成与维持人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],对人类的生存和发展起到了不可替代的作用。近年来,在生态系统服务价值系数的研究中,取得较大进展的就是我国学者谢高地等^[2]提出的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”,其研究成果被广泛应用,多是基于土地利用/覆被变化(LUCC)进行当量赋值,进而研究生态服务价值^[3-5]。

然而,谢高地等^[2]的研究成果是以全国范围内平均水平为基础,如何调整到县域小尺度范围并且反映县域内经济发展与生态系统变化关系是本文研究的出发点。在以往研究中,在谢高地等^[2]的当量因子表基础上进行调整主要分为两类:1)根据“粮食产量法”进行地区调整,取研究区耕地单位面积每年自然粮食产量的生产服务功能的经济价值进行调整,进而确定适合本区域的当量因子表^[6];2)选取指标进行地区调整,赖瑾瑾等^[7]从景观格局方面选取指标(斑块面积、斑块形状指数、破碎度指数、植被归一化指数),设计修正系数,对其地域差异性进行了调整;唐秀美等^[8]利用生态区位指标对生态服务价值当量因子进行调整,验证了同种土地利用类型在不同生态区位具有不同生态服务价值;谢高地等^[9]则利用生物量指标对草地生态系统进行了当量因子调整。上述研究均为对静态时点的讨论,然而生态系统服务价值是随着自然和经济条件的变化而不断变化的^[10],影响生态系统服务价值的因素有很多,包括气候、地貌、土壤和植被等生物生产力的综合影响^[4],也包括市场支付、市场交易等经济条件的综合影响^[11]。

本文借鉴以上研究方法并综合发展,主要解决两个问题:空间上,对全国范围内当量因子表进行区域调整,使之由全国大范围调整到适合研究区县域小尺度生态服务价值评估;时间上,选取代表生物生产力的植被净初级生产力(NPP)指标和代表经

济条件变化的社会支付能力和支付意愿两方面指标,对谢高地等^[2]制定的静态当量因子表予以功能性和经济性调整,使其更好地体现生态服务功能随时间的动态变化。

1 研究区域概况和数据来源

1.1 区域概况

青龙满族自治县(简称青龙县)位于河北省东北部,地处东经 118°33'31"~119°36'30",北纬 40°04'40"~40°36'52"。燕山东麓,古长城北侧,秦皇岛市区西北部,处环京津、环渤海经济圈中,具有较好的经济地理优势。全县总面积 3 510 km²,辖 25 个乡镇,396 个行政村。境内中低山耸立,沟谷纵横,丘陵散布,素有“八山一水一分田”之称。地势西北高,东南低,自西北向东南倾斜,北温带大陆性季风气候,四季分明,季风显著,具有丰富的自然资源与物产资源,生态系统变化较为强烈。

2012年,全县共有人口 556 546 人,社会固定资产投资达到 772 666 万元。全县地区生产总值为 1 127 640 万元,其中,第一产业增加值为 218 925 万元,与 2011 年相比增长 7.19%;第二产业增加值为 559 830 万元,增长 6.24%;第三产业增加值为 348 885 万元,增长 14.35%。第一、二、三产业增加值占地区生产总值的比重由 2003 年的 30.9% : 40.8% : 28.3% 调整为 2012 年的 19.41% : 49.65% : 30.94%,经济结构进一步优化。

1.2 数据来源

本研究所采用的 10 年间(2003—2012 年)土地利用数据中,2003—2008 年的数据来源于《河北省土地调查年鉴》,2009—2012 年的数据来源于青龙县国土资源局;10 年间(2003—2012 年)经济数据中,国家经济数据来源于《中国统计年鉴》;青龙县所需经济数据来源于《河北省农村统计年鉴》和《青龙满族自治县国民经济统计资料》;图件数据来自 2007 年 Landsat 遥感影像的 NPP 值,利用(band4+band3)/(band4+band3)计算所得;其他数据均由青龙县国土

资源局和林业局提供。

2 研究方法

2.1 土地利用类型的确定

根据青龙县土地利用和土地覆被的现状，结合 Costanza 等^[12]、谢高地等^[2]的研究成果，采用二级分类系统，对部分土地利用类型进行适当归并，将青龙县域土地分为耕地、园地、林地、水域、湿地、建设用地、未利用地 7 种类型。

2.2 青龙县单位面积生态系统服务价值当量因子确定

谢高地等^[2]在 Costanza 估算的全球各种生态系统的各项生态系统服务价值基础上，通过对我国 200 位生态学家进行问卷调查，根据我国的实际情

况，制定出了“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”。由于该表是以全国平均水平为基础，且未对园地和建设用地的价值当量进行界定，本文参考徐立^[10]、杜金龙^[13]和宗跃光等^[14]的生态系统服务价值系数确定方法，将上述成果由全国范围修正到县域范围。其中，耕地对应谢高地等^[2]制定的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”中农田，林地对应森林，园地取森林与农田之和的 1/2^[10]，水域对应水体，湿地对应湿地，未利用地对应荒漠；建设用地中，水源涵养服务的价值通过消耗淡水资源的价值来近似计算，废物处理服务价值可以通过为处理三废而消耗的社会劳动价值量来估算^[14-15]，其他功能则对应荒漠中相应功能的值，由此得出青龙县单位面积生态系统服务价值当量表(表 1)。

表 1 青龙县单位面积生态系统服务价值当量因子表(f_{ij})

Table 1 Equivalent factors of ecosystem services value per unit area of Qinglong County (f_{ij})

生态服务功能 Ecosystem service	耕地 Arable land	园地 Garden plot	林地 Forest land	水域 Water area	湿地 Wet land	建设用地 Building land	未利用地 Unused land
气体调节 Air regulation	0.50	2.15	3.50	0	1.80	0	0
气候调节 Climate regulation	0.89	1.80	2.70	0.46	17.10	0	0
水源涵养 Water conservation	0.60	2.00	3.20	20.38	15.50	-7.51	0.03
土壤形成与保护 Soil formation and protection	1.46	2.92	3.90	0.01	1.71	0.02	0.02
废物处理 Waste treatment	1.64	1.31	1.31	18.18	18.18	-2.46	0.01
生物多样性保护 Biodiversity conservation	0.71	2.17	3.26	2.49	2.50	0.34	0.34
食物生产 Food production	1.00	0.20	0.10	0	0.30	0.01	0.01
原材料 Raw material	0.10	1.33	2.60	0.01	0.07	0	0
游憩文化 Recreation and culture	0.01	0.66	1.28	4.34	5.55	0.01	0.01

负值为生态系统服务价值的损失，表 4 同。Negative value is the loss of ecosystem services value. The same as the table 4.

2.3 青龙县耕地生态系统单位面积食物生产功能价值

青龙县耕地生态系统单位面积食物生产功能价值当量因子为 1 hm² 平均产量的耕地每年自然粮食的产值，其他生态系统生态服务价值当量因子是指生态系统产生该生态服务相对于农田食物生产服务贡献的大小^[2]，具体公式如下：

$$E_a = 1/7 \times T_i / M_i \quad (1)$$

式中： E_a 为单位面积耕地生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元·hm⁻²)，均以 2000 年不变价转

换后进行计算； T_i 为青龙县每年的粮食经济产值(元)； M_i 为研究区每年粮食种植面积(hm²)；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^[2]。青龙县粮食作物种植情况见表 2。

2.4 青龙县生态系统服务价值动态评估模型的构建

基于上述成果，同时参考冯凌^[11]和邓舒洪^[15]的研究，提出青龙县生态系统服务价值动态调整系数，建立了县域生态系统服务价值动态评估模型，具体模型如下：

表 2 2003—2012 年青龙县粮食作物产值情况统计表

Table 2 Grain crop production statistics of Qinglong County from 2003 to 2012

项目 Item	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
种植面积 Cultivation area (10 ⁴ hm ²)	2.85	2.85	2.87	2.89	2.71	2.89	2.87	2.83	2.83	2.80
经济产值 Economic output (10 ⁹ Yuan)	7.44	5.03	6.35	12.50	10.00	11.50	12.90	13.30	15.76	17.40
单位面积粮食价值 Economic output per unit area (10 ⁴ Yuan·hm ⁻²)	2.61	1.77	2.21	4.33	3.69	3.98	4.50	4.69	5.57	6.22

$$V_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_i \times X_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, 7; j=1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

其中:

$$X_{ij} = E_a \times f_{ij} \times p_i \times q_t$$

$$(i=1, 2, \dots, 7; j=1, 2, \dots, 9; t=1, 2, \dots, 10) \quad (3)$$

$$q_t = b_t \times r_t \quad (t=1, 2, \dots, 10) \quad (4)$$

式中: V_t 为青龙县第 t 年生态系统的总服务价值; i 为土地利用类型, j 为生态系统服务功能类型; S_i 为 i 类土地利用类型的面积; X_{ij} 表示最终青龙县第 i 类土地利用类型第 j 类生态系统服务价值系数(单位面积生态系统服务价值); E_a 同上; f_{ij} 表示青龙县第 i 类土地利用类型第 j 类生态系统服务价值当量因子; p_i 表示生态系统功能性调整系数; q_t 表示生态系统功能经济性调整系数; b_t 表示青龙县居民第 t 年对生态系统服务价值的支付能力指数; r_t 表示青龙县居民第 t 年对生态系统服务价值的支付意愿指数。

2.5 青龙县生态系统服务价值系数动态调整

Costanza 等^[12]和谢高地等^[2]的研究成果在生态学、生态经济学领域起到了巨大推动作用,然而却未能反映全球生态系统服务功能的真实价值^[16]。由于生态系统的时空异质性以及社会对其服务提供的支付差异,基于 Costanza 等^[12]和谢高地等^[2]的生态价值系数,本文对青龙县生态系统服务价值系数进行了功能性和经济性调整,前者以生物生产力表示,后者以社会支付能力和支付意愿表示。

2.5.1 功能性系数调整

生物生产力是指从个体、群体到生态系统、区域乃至生物圈等不同生命层次物质生产能力^[17],

植被净初级生产力(NPP)作为计算生物生产力的基础参数,是生态系统中生物在单位时间单位面积上生产和存留的有机物净产量^[18],它决定着系统的物质循环和能量流动,也是指示系统健康状况的重要指标。生物生产力不仅是生态系统自身功能的体现,同时还具有为人类提供各种有形和无形服务的特征,一个生态系统调节气候、控制土壤侵蚀、涵养水源、制造氧气、保护土壤的能力与其生物生产力有着直接的关系,所以它的大小同时也能表征一个生态系统多种调节功能和其他基础支持功能的强弱。Costanza 等^[19]从生态系统的生产力与其价值系数的对应关系方面进行了验证,其结果进一步支持了这一观点^[20-21]。

鉴于以上分析,本文选取生物生产力指标中第 i 类植被的 NPP_i 与所有类型植被的 NPP 平均值的比值对生态系统服务功能性系数(p_i)进行动态调整。具体如下:

$$p_i = NPP_i / NPP_{mean} \quad (i=1, 2, \dots, 7) \quad (5)$$

式中: NPP_i 代表第 i 类植被的净初级生产力值; NPP_{mean} 代表所有类型植被的净初级生产力的平均值。

由于生物生产力主要体现在林地和园地两种地类,并主要通过生物量的计算,从而确定 NPP,其他地类均赋值为 0,即不对其进行功能性系数调整。参考方精云等^[17]的研究,采用生态群落二级分类系统,将林地进一步分为有林地、灌木林地和其他林地 3 类,应用材积源物生物量法^[17],由树干材积推算出不同树种总生物量,结合青龙县林地和园地的实际情况,计算其 NPP,结果见表 3 和图 1。并根据式(5),计算出生态系统服务价值功能性调整系数。

表 3 青龙县生态系统服务功能性系数(p_i)计算统计表
Table 3 Functional adjustment factor of ecosystem services (p_i) of Qinglong County

土地类型 Land type	二级分类 Second level classification	函数表达式 Function expression	生物量(x) Biomass (t·hm ⁻²)	净初级生产力(NPP, y) Net primary productivity (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	功能性调整系数(p_i) Functional adjustment coefficient
林地 Forest land	有林地 Woodland	$y=5.565x^{0.157}$	55.412	13.452	1.320
	灌木林地 Shrub land	$1/y=1.27/x^{1.196}+0.056$	13.145	10.747	1.055
	其他林地 Other woodland	$y=0.336x+3.121$	12.612	7.359	0.722
园地 Garden plot	果园、其他园地 Orchards, other garden land	$y=9.20$	—	9.200	0.903
	平均值 Mean			10.190	

函数表达式均参照方精云等^[17]的研究成果。Function expressions are referring to the research of Fang, et al^[17].

由图 1 可以看出,经过功能性调整后,从全国范围水平调整到县域水平,不同覆盖度的植被类型在空间上单位面积生态服务价值区分度进一步加强,由于林地进一步分为有林地、灌木林地和其他林地 3

类,为便于调整前后比较,所以本文取 3 类功能调整系数的平均值作为林地的功能性调整系数,为 1.032,园地为 0.903,计算得到功能性系数调整后的青龙县单位面积生态系统服务价值当量因子表(表 4)。

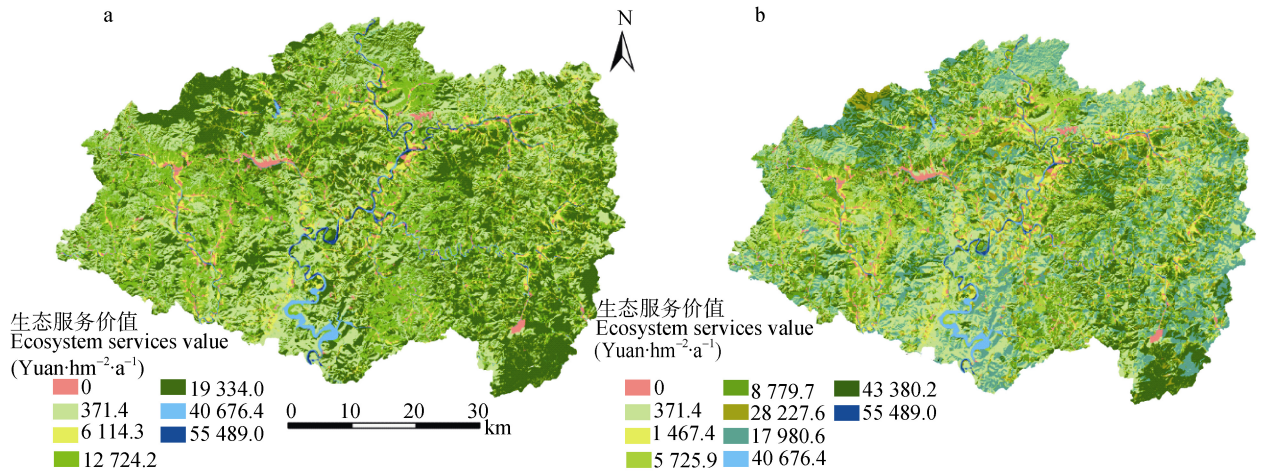


图 1 功能性系数调整前(a)、后(b)青龙县单位面积生态系统服务价值对比

Fig. 1 Comparison of ecosystem services value per unit area before (a) and after (b) the functional factor adjustment of Qinglong County

表 4 功能性系数调整后青龙县单位面积生态系统服务价值当量因子表($f_{ij} \times p_i$)

Table 4 Equivalent factors of ecosystem service values per unit area of Qinglong County after functional adjustment ($f_{ij} \times p_i$)

生态服务功能 Ecosystem service	耕地 Arable land	园地 Garden plot	林地 Forest land	水域 Water area	湿地 Wet land	建设用地 Building land	未利用地 Unused land
气体调节 Air regulation	0.50	1.94	3.61	0.00	1.80	0.00	0.00
气候调节 Climate regulation	0.89	1.63	2.72	0.46	17.10	0.00	0.00
水源涵养 Water conservation	0.60	1.81	3.23	20.38	15.50	-7.51	0.03
土壤形成与保护 Soil formation and protection	1.46	2.64	3.93	0.01	1.71	0.02	0.02
废物处理 Waste treatment	1.64	1.18	1.32	18.18	18.18	-2.46	0.01
生物多样性保护 Biodiversity conservation	0.71	1.96	3.29	2.49	2.50	0.34	0.34
食物生产 Food production	1.00	0.18	0.10	0.00	0.30	0.01	0.01
原材料 Raw material	0.10	1.20	2.62	0.01	0.07	0.00	0.00
游憩文化 Recreation and culture	0.01	0.60	1.29	4.34	5.55	0.01	0.01

2.5.2 经济性系数调整

Costanza 等^[12]和谢高地等^[2]的研究成果均是基于大尺度范围内民众对生态系统支付意愿程度开展的调查^[22]。事实上，对于同一种生态服务价值，不同国家和地区的经济水平、居民收入状况的不同，导致社会对不同生态系统提供的服务存在很大的差异。因此，对生态系统服务功能价值的判定必须综合考虑时间、地域、环境和对象等各方面的因素，这样的计算结果才更具有客观真实性。经济学研究表明，对物品的支付水平与社会在某一时间点上的支付能力和基于物品效用认识的支付意愿有关^[23]。鉴于此，本文从支付能力和支付意愿两方面对生态系统服务功能进行经济性系数调整。

1) 支付能力指数调整(b_i)

对生态系统服务价值的支付最终是以个人为单位表现出来的，人均生产水平越高，支付能力就越高^[15]。由于谢高地等^[2]的研究是在全国范围对生态系统服务功能价值进行的计算，因此本文将青龙县 2003—2012 年人均国内生产总值与 2003—2012 年

全国人均国内生产总值的比值进行模拟，作为支付能力指数调整的依据。表达式如下：

$$b_i = \text{GDP}_i / \text{GDP}_{i\text{mean}} \quad (i=1, 2, \dots, 10) \quad (6)$$

式中： GDP_i 表示第 i 年青龙县人均国内生产总值； $\text{GDP}_{i\text{mean}}$ 表示第 i 年全国人均国内生产总值。通过式 (6) 的计算，得出青龙县 2003—2012 年生态服务价值支付能力调整指数(表 5)。

2) 支付意愿指数调整(r_i)

人们对生态资源的需求是随着社会发展阶段而呈现“S”型的变化趋势：社会发展水平低时，人们对生态资源的需求比较少；随着经济水平的提高，进入城市化、工业化阶段后，人们对环境舒适度的需求迅速提高；但当发展到极富阶段后，这种需求又趋于饱和^[11]。这种变化曲线可以借助 Logistic 生长曲线模型来刻画，其表达式为：

$$r_i = 2 / (1 + ae^{-bn}) \quad (7)$$

式中： n 为时间变量，在此表示社会发展阶段；为简化计算， a 、 b 取常数 1， e 为自然对数。当 n 值很小时，即发展水平很低， r_i 趋向于 0；反之， r_i 趋向于饱

和值 1。

恩格尔系数是衡量一个地区居民生活水平高低和经济发展成就的重要标准之一。社会发展阶段的计算通常与代表经济社会发展水平和人民生活水平的恩格尔系数的倒数对应起来进行计算^[16]，表达式如下：

$$n = 1/En - 2.5 \quad (8)$$

表 5 青龙县生态系统服务经济性动态调整系数(q_t)时间序列

Table 5 Time series of dynamically economically adjusted factor (q_t) of ecosystem service value of Qinglong County

指标 Index	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
支付能力调整指数(b_t) Adjustment factor of ability to pay (b_t)	0.755	0.76	0.774	0.821	0.757	0.745	0.707	0.725	0.733	0.758
支付意愿调整指数(r_t) Adjustment factor of willingness to pay (r_t)	0.957	0.942	0.976	1.001	1.022	1.033	1.015	1.107	1.111	1.128
经济性调整系数(q_t) Economic adjustment factor (q_t)	0.723	0.716	0.755	0.822	0.774	0.770	0.718	0.803	0.814	0.855

为了更准确描述青龙县不同社会经济发展阶段对生态服务的支付意愿动态差异，本文借助 Logistic 生长曲线对其进行模拟，当社会进入小康阶段 ($En=0.4$)时，居民对生态服务意愿具有正向为 1 的拐点。通过上述模型计算可得，青龙县在 2006 年总恩格尔系数接近 0.4，生态服务支付意愿趋近于 1，2006 年前后则相应大于或小于 1。表 5 表明，以 Logistic 生长曲线为模型，借助恩格尔系数能够较为

准确地刻画社会对生态服务的支付意愿。

通过式(7)和式(8)的计算，得到青龙县 2003—2012 年生态服务价值支付意愿调整指数；根据式(4)，得到 2003—2012 年经济性调整系数。结果见表 5。

准确地刻画社会对生态服务的支付意愿。

2.6 生态系统价值系数调整结果及分析

根据式(2)、(3)和表 2、表 4、表 5 的数值，可以计算出最终青龙县 2003—2012 年单位面积生态系统单项服务价值系数(X_{ij})，主要包括气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性保护、食物生产、原材料、游憩文化 9 种功能，其动态变化情况见图 2。

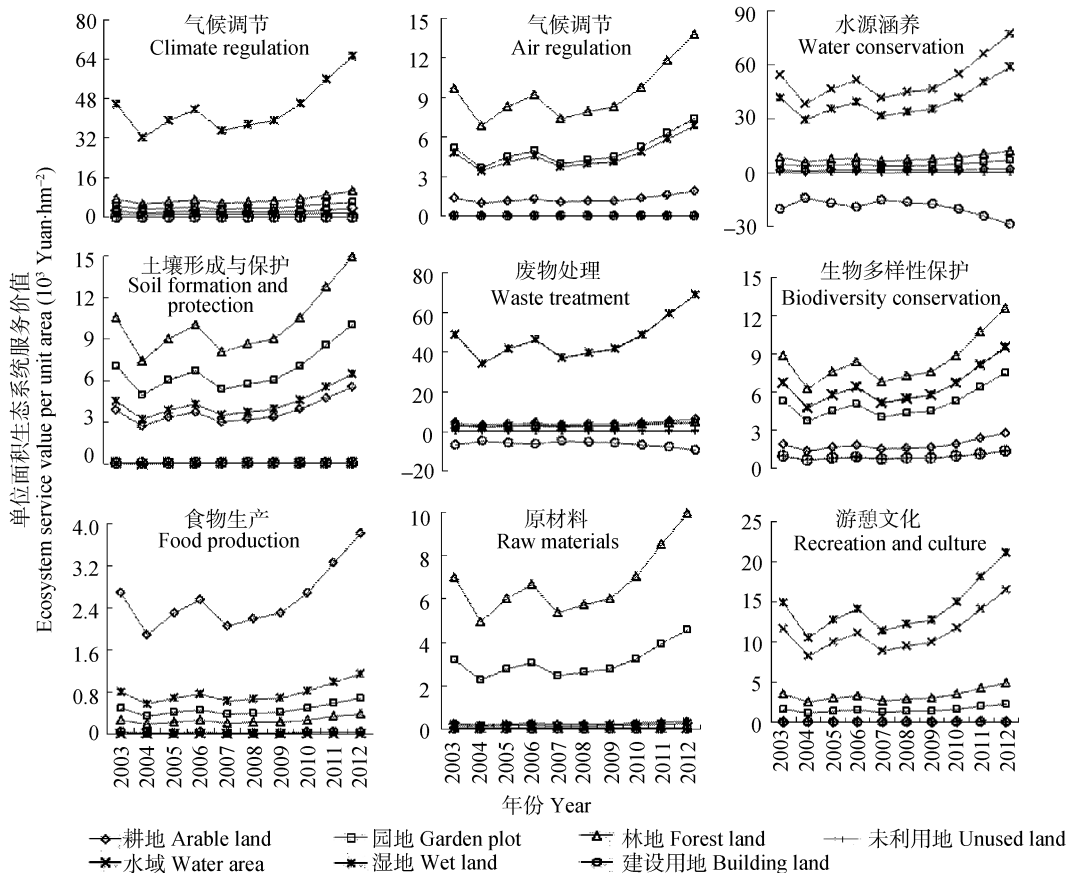


图 2 2003—2012 年青龙县生态系统单项服务价值系数(单位面积生态系统服务价值, X_{ij})变化

Fig. 2 Changes of each ecosystem services value per unit area (ecosystem service value coefficient, X_{ij}) of Qinglong County from 2003 to 2012

从上图可以看出, 青龙县各类土地利用类型单项生态系统服务价值系数呈波动上升的变化趋势, 在 2006 年达到一个高峰值。2003—2004 年, 青龙县经济发展水平较低, 粮食单产水平较低, 产业结构不稳定, 人们支付意愿不强烈, 生态服务价值系数降低; 2004—2006 年, 随着经济的不断发展, 单位面积粮食产值不断提高, 人们生活水平逐渐好转, 对生态系统的支付意愿和支付能力逐渐加强, 并在 2006 年达到最大值, 所以各生态系统价值系数呈现波动上升; 2007 年之后, 青龙县实施了工业化生

产的发展战略, 城乡居民生活水平进一步改善, 支付能力和支付意愿进一步加强, 粮食产量进一步提高, 从而使得生态系统价值系数呈不断上升趋势。

3 生态系统服务总价值变化

根据图 2 的 2003—2012 年各土地类型价值系数, 结合 2003—2012 年土地利用变化数据, 通过式(2), 可以得到 2003—2012 年不同土地利用类型的生态系统服务总价值, 结果见表 6。

表 6 青龙县 2003—2012 年不同土地利用类型的生态系统服务总价值(V_i)
Table 6 Ecosystem service values of different land use types from 2003 to 2012 of Qinglong County (V_i) 10^8 Yuan

年份 Year	耕地 Arable land	园地 Garden plot	林地 Forest land	水域 Water area	湿地 Wet land	建设用地 Building land	未利用地 Unused land	合计 Total
2003	5.51	17.38	87.34	6.40	3.47	-3.69	1.14	117.56
2004	3.90	12.28	61.72	4.56	2.47	-2.62	0.80	83.11
2005	4.68	14.90	74.89	5.55	2.97	-3.13	0.98	100.83
2006	5.21	16.64	83.37	6.15	3.31	-3.48	1.09	112.28
2007	4.21	13.25	66.31	5.00	2.63	-2.81	0.89	89.49
2008	4.52	14.01	69.52	5.28	2.87	-2.99	0.92	94.13
2009	4.73	14.68	72.79	5.63	2.95	-3.14	0.94	98.58
2010	5.51	17.49	87.89	6.51	3.48	-3.84	1.10	118.13
2011	6.67	20.37	102.94	7.92	4.26	-4.77	1.33	138.71
2012	7.76	23.79	120.20	9.24	4.94	-5.51	1.55	161.99
2003—2012 总价值变化 Total value change from 2003 to 2012	2.25	6.41	32.86	2.84	1.48	-1.82	0.41	44.43
2003—2012 价值变化率 Value change rate from 2003 to 2012 (%)	40.79	36.89	37.62	44.40	42.67	49.35	35.52	37.79

从表 6 可以看出, 2003—2012 年间青龙县生态系统服务总价值提高了 44.43 亿元, 在 2003 年的幅度上提高了 37.79%, 平均年增幅为 3.78%。增加最多的为林地 32.86 亿元, 增幅达到 37.62%; 其次为园地和水域, 增加值分别为 6.41 亿元和 2.84 亿元; 价值降低的仅建设用地一项, 降低值为 1.82 亿元, 降幅达 49.35%; 增幅最大的为水域, 达 44.40%; 其次为湿地和耕地, 增幅均在 40%以上。各类土地利用类型生态系统服务总价值均有不同程度的提高。不同类型土地对生态系统服务价值的影响方向及影响程度不同, 生态系统服务总价值中占比重较大的是林地, 其次是园地、水域、耕地, 各地类生态服务总价值变化趋势及其原因分析如下。

3.1 林地、园地生态系统服务价值波动式提升

林地、园地生态系统服务价值在总价值中所占比例分别为 73.96%和 14.43%。2003—2004 年, 林地、园地生态系统服务价值下降, 主要是由于 2004

年前青龙县经济发展水平限制, 经济性动态调整指数降低, 致使 2004 年生态系统价值均达到最低值 61.72 亿元和 12.28 亿元; 2005—2006 年, 青龙县紧紧围绕实现“环境立县, 魅力青龙”为主旨, 园地面积骤增了 1 044.45 hm^2 , 加之积极发展特色林果业, 令这一时期林地和园地生态系统服务总价值大幅度提高, 2006 年总价值达到峰值, 为 112.28 亿元; 2007—2008 年, 虽然人们的支付意愿与支付能力不断提升, 但是生态系统服务价值系数较高的林地、园地面积骤减, 使得整体生态服务总价值降低; 2009 年以后, 人们生态意识逐步加强, 伴随青龙经济的快速发展使得林地和园地生态系统服务价值不断升高。

3.2 水域、耕地和湿地生态系统服务价值稳中有升

水域、耕地和湿地生态系统服务价值在总价值中所占比例分别为 6.39%、5.06%和 3.33%。耕地和水域在生物多样性保护、食物生产和游憩文化等生

态系统服务功能上具有较高的价值系数值,加之 10 年间面积基本维持不变,所以水域和耕地的生态服务总价值分别提高了 10.09 亿元和 8.63 亿元。另外,10 年间青龙县加快实施“工业强县,钢铁立县,开放活县,和谐兴县”发展战略,城乡居民生活水平进一步改善,经济性动态调整指数升高;加之湿地面积增加近 300 hm²,是湿地生态服务总价值波动上升的原因之一。

3.3 未利用地生态系统服务价值变化程度较小

未利用地生态系统服务价值在总价值中所占比例为 0.92%。究其原因,主要是由于青龙县未利用地大部分为荒草地和裸地,10 年间面积共减少近 5 000 hm²,而且各项生态服务价值系数较低、变化程度较小,10 年间生态服务总价值增加仅 0.41 亿元。

3.4 建设用地生态系统服务价值损失程度减缓

建设用地是生态服务价值损失的主要来源,其生态服务价值占总价值比例为 4.10%。建设用地在气体调节、废物处理和水源涵养等生态服务功能上具有负向调节作用;另外,10 年间建设用地规模共增长 710.21 hm²,导致建设用地生态服务价值损失 1.82 亿元。尤其是 2008 年以后,由于城镇经济快速发展,建设用地规模不断扩大,占用了大量未利用地和城镇周边耕地,是生态服务总价值损失的原因,2012 年土地规划的实施加强了建设用地控制力度,使问题有所改善。

4 讨论与结论

4.1 讨论

生态系统服务价值系数的波动性变化体现了青龙县经济发展和土地利用类型两者之间的动态变化,符合受经济政策影响极其敏感的县域小尺度不断变化的生态过程。通过本文构建的生态系统服务价值系数动态调整体系对青龙县生态系统服务价值系数进行动态调整后,与之前谢高地等^[2]提出的瞬时静态生态系统服务价值系数相比,更能反映研究区的真实动态变化过程。

本文所得出的结果中生态系统服务价值系数和总价值均有提高,为确定因价值系数动态变化在提高的总价值中所占比例,拟作以下处理:采用谢高地等^[2]的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”这一静态指标计算 2003—2012 年青龙县生态系统服务总价值的变化,即可作为因土地类型增减导致的生态系统服务总价值的变化^[3](13.54 亿元,占总价值的 30.47%),本文计算结果(44.43 亿元)扣除以上值,即可作为因价值系数动态变化导致的总价值变

化(30.89 亿元,占总价值比例的 69.53%)。上述结果均为初步计算,仍需做更深一步细致探讨。

在过去几十年中,已对大量生态系统服务价值进行了许多研究,由于市场失效、价格空缺和生态系统功能与服务的复杂性(主要是时空动态异质性),对生态系统服务功能价值的评估结果有较多争议^[9]。尽管本文研究中,在参考前人研究成果基础上根据青龙县区域特点将单位面积生态系统服务价值系数由全国范围初步修正到县域尺度,然后通过功能性调整和经济性调整,以期体现研究区生态系统服务价值的时空动态异质性。但就结果来看,以谢高地等^[2]针对全国范围的系数本底值为基础的研究与青龙县的实情依然存在较大出入(前者占后者的 30.47%)。经过初步研究,得到主要生态系统类型单位面积生态系统单项服务价值均呈现波动上升趋势,主要是研究区粮食产量,以及支付能力和支付意愿综合作用的结果;最后需要指出的是,本文所选取的生态服务价值系数动态调整指标均为初步探索,指标考虑不够全面,其他如气候、土壤等影响因素日后可以继续做单独深入研究^[8]。

4.2 结论

1)2003—2012 年,青龙县各类土地利用类型单项生态系统服务价值系数呈波动上升的变化趋势,是土地类型和经济发展对生态系统变化综合作用的结果;10 年间生态系统服务总价值提高 44.43 亿元,各类生态系统服务总价值差异较大,按从大到小的顺序为:林地>园地>水域>耕地>湿地>未利用地>建设用地,因此从保育生态系统功能方面考虑,林地、园地和水域均应该是需重点保护的土地利用类型。

2)空间上,通过添加园地和建设用地各项生态系统服务功能价值系数,将全国范围平均水平的价值系数表修正到县域小尺度范围;时间上,通过对 NPP 的计算,得到林地和园地调整系数分别为 1.032 和 0.903,体现了植被、地貌对县域小尺度的影响;通过 GDP 和恩格尔系数等指标的计算,得到支付能力和支付意愿在时间上的变化情况,两者综合作用表现为经济性调整系数呈现波动上升趋势,体现了经济水平和市场交易对县域小尺度的影响。因此,对于山地众多、经济发展迅速的青龙县而言,经过功能性和经济性价值系数调整后的生态系统服务总价值更加符合青龙县实际情况。

3)建立的生态系统服务价值动态评估模型,运用生物生产力、支付能力和支付意愿指数对生态系统服务价值系数进行调整,很好地结合了土地类型、经济发展以及生态系统变化三者的动态过程,

与以往的瞬时静态评估模型相比,更具有适宜性,特别是对受经济政策影响极其敏感的小尺度县域来讲,更加能够揭示其生态系统服务价值的动态变化机制和效应。

参考文献

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington: Island Press, 1997: 1-317
- [2] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196
Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196
- [3] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其社会经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640
Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640
- [4] 郭青霞, 陈焕伟, 周欣. 大同市南郊区土地利用生态服务价值空间分布及变化[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 188-192
Guo Q X, Chen H W, Zhou X. Spatial distribution and changes of ecological service value of land use in the southern suburb of Datong City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 188-192
- [5] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1918-1926
Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D. Valuation of ecosystem services and natural capital[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11): 1918-1926
- [6] 肖玉, 谢高地, 安凯. 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, 2003, 14(5): 676-680
Xiao Y, Xie G D, An K. Economic value of ecosystem services in Mangcuo Lake drainage basin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 676-680
- [7] 赖瑾瑾, 刘雪花, 靳强. 顺义地区生态系统服务功能价值的时空变化[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(9): 1466-1471
Lai J J, Liu X H, Jin Q. Spatial-temporal changes of ecosystem services in the Shunyi District[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(9): 1466-1471
- [8] 唐秀美, 陈百明, 路庆斌, 等. 生态系统服务价值的生态区位修正方法——以北京市为例[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3526-3535
Tang X M, Chen B M, Lu Q B, et al. The ecological location correction of ecosystem service value: A case study of Beijing City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(13): 3526-3535
- [9] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53
Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(1): 47-53
- [10] 徐立. 土地利用变化对长沙市生态系统服务价值的影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009
- Xu L. Effects of land use change on ecosystem services value in Changsha City[D]. Changsha: Hunan University, 2009
- [11] 冯凌. 土地持续利用与农民福利提升的生态服务价值补偿[M]. 北京: 旅游教育出版社, 2011: 61-94
Feng L. Ecological Service Value Compensation of Land Sustainable Use and Farmers' Welfare Promotion[M]. Beijing: Tourism Education Press, 2011: 61-94
- [12] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260
- [13] 杜金龙. 土地利用变化及其对生态系统服务价值影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010
Du J L. Study on land use change and its impact on the value of ecosystem services[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010
- [14] 宗跃光, 陈红春, 郭瑞华, 等. 地域生态系统服务功能的价值结构分析——以宁夏灵武市为例[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 148-155
Zong Y G, Chen H C, Guo R H, et al. The systematic analysis on value of regional ecosystem services: A case study of Lingwu City[J]. Geographical Research, 2000, 19(2): 148-155
- [15] 邓舒洪. 区域土地利用变化与生态系统服务价值动态变化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012
Deng S H. Dynamic effects on ecosystem services value with regional land use change[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012
- [16] Opschoor J B. The value of ecosystem services: Whose values?[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 41-43
- [17] 方精云, 柯金虎, 唐志尧, 等. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系[J]. 植物生态学报, 2001, 25(4): 414-419
Fang J Y, Ke J H, Tang Z Y, et al. Implications and estimations of four terrestrial productivity parameters[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(4): 414-419
- [18] Whittaker R H, Lieth H. Primary Productivity of the Biosphere[M]. New York: Springer-Verlag, 1975
- [19] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, et al. The value of ecosystem services: Putting the issues in perspective[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 67-72
- [20] Costanza R, Hannon B M. Dealing with the 'Mixed Units' problem in ecosystem network analysis[M]//Wulff F, Field J G, Mann K H. Network Analysis in Marine Ecology: Methods and Applications. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1989: 90-115
- [21] Costanza R, Neill C. The energy embodied in the products of the biosphere[M]//Mistch W J, Bosserman R W, Klopatek J M. Energy and Ecological Modeling. Amsterdam: Elsevier, 1981: 745-755
- [22] Howarth R B, Farber S. Accounting for the value of ecosystem services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 421-429
- [23] 艾自胜, 高歌, 程晓明, 等. 职工支付能力和支付意愿的 logistic 回归分析[J]. 中国卫生统计, 2002, 19(3): 155-158
Ai Z S, Gao G, Cheng X M, et al. Logistic regression analysis on payment ability and willing of employee[J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2002, 19(3): 155-158