

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

石晓丽^{1,2,3}, 王 卫^{2,4,*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050016)

摘要:生态系统功能在某种程度上可以衡量区域的生态环境质量,为环境保护与生态建设提供科学依据。近几十年来,许多学者对生态系统功能的价值进行了评估,但在评估过程中考虑空间、质量和时间因素对生态系统功能的影响的研究较少。针对这些问题,选择北方农牧交错带的河北省康保县为研究区,运用遥感和地理信息系统技术,结合生态价值理论,分别构建区域差异性系数、空间异质性系数和服务支付系数对 Costanza 等的计算模式进行空间、质量和时间因素的修正,提出了生态系统功能价值综合评估模型;同时,对康保县生态系统功能价值的动态变化进行了探讨。该模型通过考虑社会、自然和经济对价值的综合作用,使得生态系统功能价值的评估方法进一步完善。基于以上模型对康保县生态系统功能价值进行计算,结果表明,人类对土地的不合理利用会限制生态系统提供功能的能力;而有意识的生态建设可以促进生态系统功能的恢复与发挥。实施以退耕还林、还草为主要内容的生态建设是恢复本区生态系统功能的有效途径。综合考虑空间、质量和时间因素的生态系统功能价值综合评估模型可为区域生态系统保护和经济发展综合决策提供及时、准确的有益信息,对区域的生态建设和环境保护具有重要的现实意义。

关键词:生态系统功能;综合评估模型;系数修正;康保县

文章编号:1000-0933(2008)08-3998-09 中图分类号:F062.2 文献标识码:A

Evaluation method of integrated valuation of ecosystem functions and its application: a case study of Kangbao County, Hebei Province

SHI Xiao-Li^{1,2,3}, WANG Wei^{2,4,*}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China

3 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

4 Hebei Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construction Shijiazhuang 050016, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3998 ~ 4006.

Abstract: Ecosystem functions could be used to evaluate the environmental quality and provide scientific evidence in decision-making of environment protection and ecosystem construction. Many evaluations on the values of ecosystem functions had been done during the last decades, whereas the researches considering the integrated impacts of spatial, quality and temporal factors on the values of ecosystem functions were rare.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40171001);河北省自然地理学重点学科建设项目

收稿日期:2007-09-12; **修订日期:**2008-05-25

作者简介:石晓丽(1981~),女,河北栾城人,博士生,主要从事气候变化与生态系统响应研究. E-mail: shixiaoli_2004@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangwei_hb@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40171001); Key Discipline Construction Item of Physical Geography of Hebei Province

Received date: 2007-09-12; **Accepted date:** 2008-05-25

Biography: SHI Xiao-Li, Ph. D. candidate, mainly engaged in climate change and ecosystem response. E-mail: shixiaoli_2004@163.com

Focusing on these issues, Kangbao County in Hebei Province, which located in the north agro-pastoral ecotone, was selected as the study area, technology of RS and GIS were applied in the study, combined with the theory of ecological value, coefficient of regional difference, coefficient of spatial heterogeneity and coefficient of service-payment were calculated to modify the spatial, quality and temporal factors of the Costanzas' method and model of integrated evaluation of ecosystem functions was put forward in the paper. Meantime, the dynamics values of ecosystem functions of Kangbao County were discussed.

The model improved the evaluation methods of ecosystem functions by comprehensive consideration of social, natural and economy influence on the value. Based on the model, the values of ecosystem functions of Kangbao County was evaluated and the results implied that: the unreasonable land use could limit the supplying capacity of ecosystem functions, while the planned ecosystem construction could promote and resume the ecosystem functions. Ecosystem construction mainly including the returning land for farming to forestry (grass) was effective measure to resume ecosystem functions. Model of integrated evaluation of ecosystem functions with comprehensive consideration of spatial, quality and temporal factors could provide timely, exact and helpful information in decision-making of ecosystem conservation and social development, and had practical significance for ecosystem construction and environment protection.

Key Words: ecosystem functions; model of integrated valuation; coefficient modification; Kangbao County

生态环境退化是目前全球面临的最主要问题之一,它直接影响着社会经济的健康发展。因此,生态保护与建设对社会和谐发展十分必要。合理评价生态环境质量是进行生态环境保护的基础,而生态系统功能是考察生态环境质量的一个重要方面。一个国家或地区能否真正实现可持续发展,在很大程度上取决于人们对生态系统功能的正确认识。

生态系统功能的概念可以追溯到 20 世纪 60 年代中期和 70 年代早期^[1-4]。至今,学者对生态系统功能有着不同的解释,对生态系统功能概念的辨识是其价值评估分析的基础。本文采用 Costanza 等^[5]文中的原始表述,即生态系统的功能是指其生境、生物学性质或生态系统过程,生态系统的产品与服务代表着人类从生态系统功能中直接或间接得到的利益。由此可见,生态系统功能是生态系统产品与生态系统服务的结合体。因此,本文将生态系统功能归纳为产品功能与服务功能两种类型。

20 世纪 70 年代以来,生态系统功能的研究日益受到生态学界的重视^[6]。20 世纪 90 年代 Daily^[7] 和 Costanza 等^[5]的研究具有里程碑式的意义。随之而来的环境价值核算热潮极大地推动了生态系统功能价值评估研究。Konarska 等^[8]考察了空间尺度对生态系统功能价值评估的影响;Seidl 等^[9]根据巴西 Pantanal da Nhecolandia 地区干湿两季中生态系统类型的转换进行了较为准确的价值测量;Kreuter 等^[10]对区域尺度的生态系统功能价值的动态变化进行了研究;Sutton 等^[11]制作了全球第 1 张 1km 分辨率的生态价值地图,并分析了生态经济产出的空间分布。国内研究人员也陆续开展了生态系统功能价值评估的研究^[12,13]。谢高地等^[14]根据中国的实际情况,制定出“中国陆地生态系统单位面积服务价值当量因子表”,并将其应用在青藏高原的生态系统功能价值评估中;毕晓丽和葛剑平^[15]证实了使用土地覆盖数据评估生态系统功能的可行性;潘耀忠等^[16]对评估过程中空间异质性的影响进行了探索;陈源泉等^[17]、栗晓玲等^[18]应用发展阶段系数来解决人们对生态系统功能价值的支付意愿变化。

虽然生态系统功能价值评估在国内外有了很大的发展,但仍有一些关键问题没有解决。主要是(1)关于生态系统功能价值的空间尺度转换研究较少,即生态系统的功能价值随其所处区域的不同会有所差异,全球或全国尺度的通用系数应用到区域尺度时需要进行修正。(2)关于质量因素对生态系统功能价值的影响研究较少,即区域内不同质量状况的同一生态系统类型的价值是不同的^[16]。(3)关于时间因素对生态系统功能价值的影响研究较少,即人们对生态系统功能价值的支付意愿随着社会发展而不同,并且,在同一发展阶段,人们对生态系统产品功能和服务功能的支付意愿也会有所不同。针对以上问题,本文选择北方农牧交错带的

河北省康保县为研究区,以遥感数据和统计数据为基础,结合生态价值理论,分别构建区域差异性系数、空间异质性系数和服务支付系数对现有方法进行空间、质量和时间因素的修正,提出了生态系统功能价值综合评估模型,进一步完善生态系统功能价值评估方法;同时,对康保县生态系统功能价值的动态变化进行了探讨,为客观认识康保县的生态系统功能变化以及农牧交错带生态系统的恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况

康保县位于河北省西北部的坝上高原,地处 $41^{\circ}25'24'' \sim 42^{\circ}08'57''N$ 和 $114^{\circ}11'21'' \sim 114^{\circ}55'57''E$ 之间;全境为内蒙古高原张北台地一部分,平均海拔 1450m,地势由东北向西南缓缓倾斜;东亚大陆性季风气候,属中温带半干旱区,自然灾害频繁;土壤保水保肥能力差,耕后易风蚀;植被属于半干旱草原类型。农业集约化和现代化水平低,2004 年人均 GDP 3470.98 元,为全省平均水平的 26.67%,属国家级贫困县;近 100a 来受农耕文化影响深刻,草原生态系统逐渐转变为农业生态系统,生态系统稳定性下降,土地荒漠化十分严重^[19],直接影响到京津地区的空气质量;从 2000 年开始,康保县贯彻实行了以“一退双还”为核心的生态工程,土地利用发生了显著的变化。

2 研究方法

2.1 数据基础

2.1.1 生态系统功能基准单价(E_{ij})

目前, Costanza 等确定的生态系统功能基准单价和谢高地等方法确定的生态系统功能基准单价在国内生态系统功能价值评估中得到较广泛的引用^[20]。与 Costanza 等的研究相比,后者更加符合中国的实际情况。因此,本文以谢高地等人的“中国陆地生态系统单位面积服务价值当量因子表”为基础进行生态系统功能基准单价的计算^[14]。

2.1.2 生态系统类型面积(A_j)

以研究区 1987 年 Landsat-TM、2000 年和 2004 年 Landsat-ETM + 影像为基础,参考《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》中土地分类系统获取土地利用数据^[21],将此数据按照“中国陆地生态系统单位面积服务价值当量因子表”的生态系统类型进行合并划分。即,森林生态系统和草地生态系统分别对应林地和草地;农田生态系统对应耕地;湿地生态系统对应海涂、滩地和沼泽地;水体生态系统对应除海涂与滩地之外的水域;荒漠生态系统对应除沼泽地之外的未利用地;对城乡工矿用地按 Costanza 等的方法,不估算其生态系统功能价值。据此,得到研究区生态系统类型面积(表 1)。

表 1 1987、2000 和 2004 年康保县各生态系统类型面积(hm^2)

Table 1 Areas of different ecosystem type in 1987, 2000 and 2004 in Kangbao County(hm^2)

生态系统类型 Ecosystem type	年份 Year		
	1987	2000	2004
森林 Forest	9816	10388	27519
草地 Grass	76166	77476	108300
农田 Cultivated land	234131	232251	183552
湿地 Wetland	1466	846	776
水体 Water body	3128	2834	2882
荒漠 Desert	1203	1346	1302
城乡工矿用地 Construction land	10845	11614	12424

2.2 生态系统功能价值综合评估

2.2.1 生态系统功能价值综合评估模型

目前,生态系统功能价值评估大都借鉴 Costanza 等有关生态系统功能价值的计算模式,公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_j \cdot E_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中, V 为区域生态系统功能价值; A_j 为 j 类生态系统面积; E_{ij} 为 j 类生态系统的 i 类生态系统功能基准单

价。这种方法没有考虑区域之间的差异和区域内同类生态系统的空间异质性,并且将人们对生态系统功能的支付意愿看作常量,因此具有一定的局限性。

姜文来^[22]认为,生态价值可以用以下 4 个变量来表示:

$$V_{\text{生}} = f(S, Q, T, C) \quad (2)$$

式中, $V_{\text{生}}$ 代表生态价值, S 代表空间, Q 代表资源质量, T 代表时间, C 代表资源数量。公式表明,生态价值随着空间、资源质量、时间和资源数量的变化而变化。

根据姜文来的研究,以 Costanza 等的计算模式为基础,分别构建区域差异性系数(S_j)、空间异质性系数(Q_j)和服务支付系数(T_i)对影响生态系统功能价值的空间、质量和时间因素进行修正,得到生态系统功能价值综合评估模型。公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_j \cdot E_{ij} \cdot S_j \cdot Q_j \cdot T_i (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, V 为区域生态系统功能总价值; A_j 为 j 类生态系统的面积; E_{ij} 为 j 类生态系统的 i 类生态系统功能基准单价; S_j 为 j 类生态系统区域差异性系数; Q_j 为 j 类生态系统空间异质性系数; T_i 为 i 类生态系统功能服务支付系数。

2.2.2 系数构建

(1) 区域差异性系数(S_j)

生态系统功能基准单价计算时所使用的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表”是以全国平均水平状况下的农田每年自然粮食产量的经济价值为基准的。实际上,生态系统功能大小与其生物量有密切关系,一般来说,生物量越大,生态系统服务功能越强^[23]。因此,不同区域生态系统的功能价值也会随其生物量的变化而变化,用区域差异性系数来体现这一差别,公式如下:

$$S_j = \frac{b_j}{B_j} \quad (4)$$

式中, S_j 为 j 类生态系统区域差异性系数; b_j 为研究区 j 类生态系统的平均生物量; B_j 为全国 j 类生态系统的平均生物量。鉴于数据可获得性,生态系统类型数据以中国科学院植物研究所全国 1:100 万《中国植被类型图》为基础^[24];生态系统生物量数据以中国科学院资源环境科学数据中心 1981 ~ 2000 年间全国 NPP 数据为基础。在 ArcGIS 软件支持下,将生态系统类型与生物量叠加,得到全国每种生态系统的生物量,在全国数据基础上进行裁切获得研究区数据,进行全国和研究区生态系统平均生物量的计算。根据式(4)分别对森林、草地、农田和荒漠生态系统进行空间因素的修正。

(2) 空间异质性系数(Q_j)

区域内同类生态系统的质量具有空间异质性,其功能价值应当随质量的差别而变化。植被是生态系统的重要组成部分,根据植物或植物群落可以判断其生境条件^[25],因此,本文采用植被生长状况来代表生态系统质量。植被指数是公认的表征植被生长的有效参数,其中,归一化植被指数($NDVI$)对植被生长状况、生产率及其他生物物理、生物化学特征敏感,能较准确的反映植被的覆盖程度、生长状态、生物量、光合作用强度等,是反映植被状态的活跃要素之一^[26];并且其运用广泛,运算结果有较好的外延接轨前景,便于从其它应用中取得补充和印证^[27]。因此,采用 $NDVI$ 为基础进行空间异质性系数的构建。针对 TM 影像,在 ERDAS IMAGE 软件支持下,选用 3 波段(红色波段)与 4 波段(近红外波段)进行 $NDVI$ 计算,将其进行标准化处理后即可得到空间异质性系数,公式如下:

$$Q_j = \frac{NDVI_j - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} (0 < Q_j < 1) \quad (5)$$

式中, Q_j 为 j 类生态系统空间异质性系数; $NDVI_{\min}$ 为 j 类生态系统 $NDVI$ 的最小值; $NDVI_{\max}$ 为 j 类生态系统 $NDVI$ 的最大值。鉴于水体和湿地面积较小,空间异质难以区分,故其 Q_j 值设为 100%。根据式(5)分别对森林、草地、农田和荒漠生态系统功能价值进行质量因素的修正。

(3) 服务支付系数(T_i)

生态系统功能价值的评估带有一定的人为意愿表达,生态系统功能价值是随支付意愿的发展而发展的动态概念^[28,29]。但是, Costanza 等人的研究将人们对生态系统功能的支付意愿看作常量,事实上,人们对生态系统功能的支付意愿会随着社会经济发展水平的不断提高而逐渐提高。一些学者通过社会发展阶段系数来解决这一问题^[18,30,31],计算方法如下^[32]:

$$l = \frac{L}{1 + e^{-(1/E_n - 3)}} \quad (6)$$

式中, l 为与现实支付意愿有关的社会发展阶段系数; L 为极富阶段的支付意愿,取值为 1; e 为自然对数; E_n 为恩格尔系数。

但是,社会发展阶段系数的直接应用不能体现生态系统的产品功能与服务功能随社会发展水平变化的差异。一般情况而言,处在较低发展水平的人们对生态系统产品的需求会比较强烈,因此对生态系统产品功能的支付意愿也会相对高于服务功能的支付意愿,反之亦然。本文在社会发展阶段系数的基础上构建服务支付系数来体现这一差别。假设“中国陆地生态系统单位面积服务价值当量因子表”提出的当年,人们对生态系统的产品功能与服务功能的支付意愿是没有差别的,服务支付系数构建如下:

$$T_i = \begin{cases} 1 & (\text{当生态系统功能为产品功能时}) \\ l_{\text{研究区}}/l_{\text{全国}} & (\text{当生态系统功能为服务功能时}) \end{cases} \quad (7)$$

式中, T_i 为 i 类生态系统功能的服务支付系数,代表人们对不同类型的生态系统功能的支付意愿; $l_{\text{全国}}$ 为中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表提出当年全国平均社会发展阶段值; $l_{\text{研究区}}$ 为研究区某年份的社会发展阶段值。本文认为,生态系统提供的功能与中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表中一致,并将其中的食物生产和原材料功能归为产品功能,其余归为服务功能。恩格尔系数的计算以新中国 55a 统计资料汇编、河北经济统计年鉴和康保县统计年鉴为基础,根据式(7)对生态系统功能价值进行时间因素的修正。

3 结果与分析

根据生态系统功能价值综合评估模型,运用遥感和地理信息系统技术,对康保县 1987 年、2000 年和 2004 年的生态系统功能价值进行评估(图 1)。

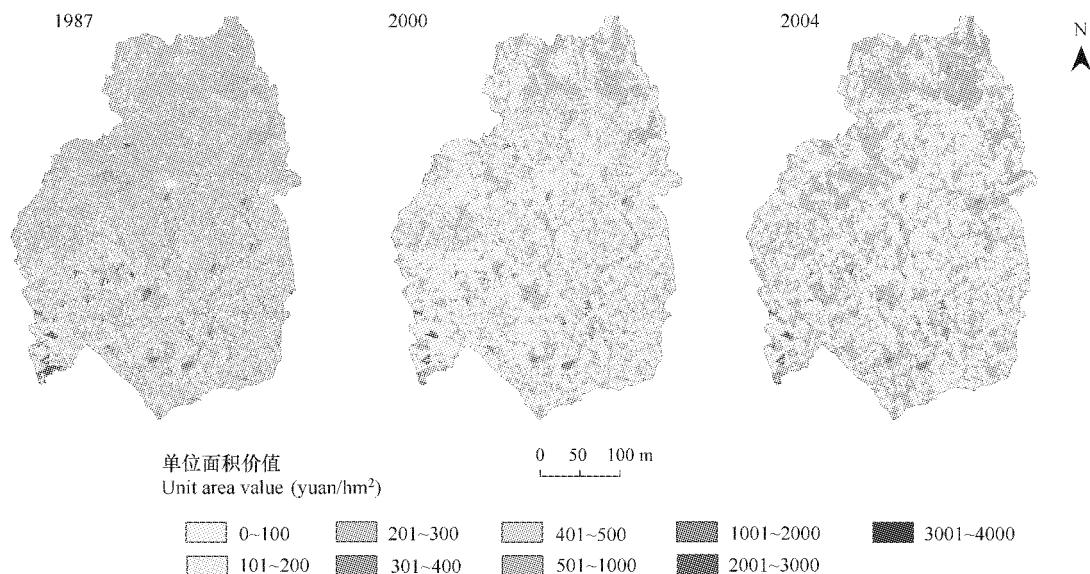


图 1 1987~2004 年康保县单位面积生态系统功能价值分布图

Fig. 1 Distributions of unit area value of ecosystem functions in Kangbao County from 1987 to 2004

3.1 价值总量变化分析

1987~2004 年,康保县生态系统功能价值由 1987 年的 8389.79 万元下降到 2000 年的 7946.55 万元,13a 来损失了 443.24 万元,损失速率为 34.10 万元/a;到 2004 年,生态系统功能恢复到 8185.52 万元,恢复速率为 59.74 万元/a,高于前一阶段的损失速率。生态系统功能价值先减少后增加,最终损失 2.43% (图 2)。

3.2 各生态系统类型功能价值变化分析

1987~2004 年,森林生态系统功能价值持续增加;草地生态系统功能价值先减少后增加并最终增加,荒漠呈现先增加后减少并最终减少的趋势;其余生态系统持续减少。从生态系统功能价值的变化量来看,森林生态系统功能价值的增加最大(1005.10 万元),2000~2004 年的增加量(987.56 万元)远远大于 1987~2000 年的增加量(17.54 万元);其次为草地,增加量为 656.16 万元;而农田生态系统功能的减少量最大(1564.88 万元),其中 1987~2000 年减少了 213.56 万元,2000~2004 年的损失量为 1351.32 万元;湿地和水体的损失分别为 191.60 万元和 108.76 万元;荒漠的损失最少

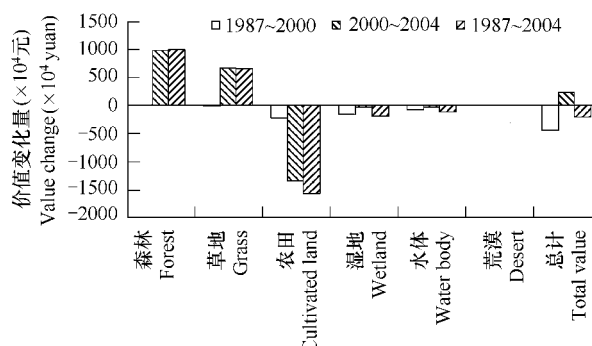


图 2 1987~2004 年康保县各生态系统类型功能价值变化

Fig. 2 Variation of ecosystem functions value of different ecosystem type from 1987 to 2004 in Kangbao County

(0.31 万元)。从生态系统功能价值的变化率来看,森林生态系统功能价值增加率最大(162.92%);湿地的减少率最大(53.52%);荒漠生态系统损失幅度最小(4.82%);农田、水体的功能价值的损失率分别为 33.21% 和 21.52%。

1987~2000 年生态系统功能价值损失表明了研究区生态系统的退化趋势。据研究,人类不合理活动是其主要原因^[33]。康保县处于生态脆弱的农牧交错带,生态系统本底质量差,农牧交错进行的土地利用方式使得农田生态系统与草地生态系统的相互转化较为强烈,影响农牧业产值的稳定性,从而造成农田与草地生态系统质量下降,影响其生态系统功能;而在此期间,当地人口增加了 4.81%,人口增长和经济发展的需求使得大量具有较高生态价值的耕地向没有任何生态价值的城乡工矿用地的转换(599hm²),从而导致生态系统功能价值降低,生态系统处于胁迫状态。伴随着生态系统功能价值的损失,康保县农林牧副渔产值增加了 118%,表明:在此期间,区域经济和人口增长对生态环境具有明显的压力和负面作用,区域的发展在一定程度上是以牺牲生态系统服务功能为代价的。

2000~2004 年,康保县生态系统功能开始恢复,生态环境质量有所提高,以“一退双还”为核心的生态工程的成功实施是主要原因。自 2000 年退耕还林还草和防沙治沙工程启动实施以来,康保县采取了人工造林、封山育林等措施,有效地增加了当地植被覆盖度,生态环境开始改善。在此期间,4.21 万 hm² 的农田转化为草地,1.18 万 hm² 的农田转化为森林。如此大范围的低价值生态系统类型向高价值类型的转移导致生态系统功能增长 3.01%;与此同时,农林牧副渔总产值增长了 148.56%,此期间康保县在生态系统功能价值恢复的过程中促进了经济增长,实现了生态效益与经济效益的双赢发展,对生态脆弱而又落后的北方农牧交错带的生态治理具有一定的借鉴意义。

3.3 各生态系统功能价值变化分析

1987~2004 年,水源涵养、娱乐文化、原材料功能价值先减少后增加并最终增加;气候调节功能价值先减少后增加并最终增加;废物处理与食物生产功能价值持续减少;其余功能价值持续增加。从生态系统功能价值的变化量来看,1987~2004 年,食物生产功能减少最大(399.22 万元),其次为废物处理(241.81 万元),均由两个时段的持续减少累计所致;而气体调节是价值增加最多的功能(139.48 万元),其次为生物多样性保护(111.64 万元);其余功能的价值变化量不太显著。从生态系统功能价值的变化率来看,增加幅度最大的是原材料功能,在 1987~2004 年增加了 40.05%,娱乐文化功能位居第二(28.47%),气体调节紧跟其后

(21.52%);食物生产以 37.16% 的减少率成为损失最为明显的生态系统功能,与其最大的损失量相对应;其余功能变化幅度均在 20% 以内(表 2)。

表 2 1987~2004 年康保县各生态系统功能价值变化

Table 2 Variation of ecosystem functions value of different function type from 1987 to 2004 in Kangbao County

生态系统功能类型 Ecosystem functions type	变化量(10 ⁴ 元) Variation (10 ⁴ yuan)			变化率 Variation rate(%)		
	1987~2000	2000~2004	1987~2004	1987~2000	2000~2004	1987~2004
气体调节 Gas regulation	10.24	129.25	139.48	1.58	19.63	21.52
气候调节 Climate regulation	-35.19	14.26	-20.93	-3.48	1.46	-2.07
水源涵养 Water resource conservation	-52.23	66.18	13.94	-5.15	6.88	1.37
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	23.07	51.05	74.12	1.42	3.09	4.55
废物处理 Waste treatment	-59.79	-182.02	-241.81	-3.35	-10.56	-13.56
生物多样性保护 Biodiversity conservation	21.50	90.14	111.64	2.39	9.80	12.43
娱乐文化 Amusement culture	-19.00	53.85	34.85	-15.52	52.07	28.47
食物生产 Food production	-284.06	-115.16	-399.22	-26.44	-14.57	-37.16
原材料 Raw materials	-47.78	131.43	83.66	-22.87	81.58	40.05
合计 Total value	-443.24	238.97	-204.27	-5.28	3.01	-2.43

若将生态系统功能分为产品功能和服务功能来看,1987~2004 年,产品功能先减少后增加并最终减少,其价值从 1987 年的 1283.23 万元减少至 2000 年的 951.38 万元,到 2004 年恢复至 967.66 万元,最终损失幅度达到 24.59%。服务功能先减少后增加并最终增加,1987~2000 年,其价值从 7106.57 万元减少到 6995.17 万元,13a 损失了 1.57%;2000~2004 年间增加了 222.70 万元,最终服务功能增加 111.30 万元。1987~2004 年,服务功能占总功能价值的比例由 1987 年的 84.70% 增加至 2004 年的 88.18%,呈逐渐上升趋势,产品功能与之相反。随着服务功能占总功能比例的上升,服务功能的变化趋势与数量也在 2000~2004 年间取代产品功能而主导了总价值的变化,贡献率达到 93.19%。研究区生态系统服务功能在总功能中的地位随着社会水平的提高而提高。

4 结论与讨论

(1) 本文应用遥感和地理信息系统技术,将 Costanza 等的计算模式和生态价值理论相结合,构建了生态系统功能价值综合评估模型,模型中区域差异性系数可以较准确的反映价值随区域的不同而产生的差异,空间异质性系数可以体现价值随生态系统内部质量的不同而产生的差异,而服务支付系数则关注处于不同社会发展阶段的人们对生态系统的产品功能与服务功能的支付意愿的差别。模型将价值放在社会、自然和经济的综合系统中进行评估,考虑了空间、质量和时间因素对生态系统功能价值的影响,为完善区域生态系统功能价值的综合评估做出了有益探讨。

(2) 应用本研究构建的生态系统功能价值综合评估模型对北方农牧交错带的康保县生态系统功能价值的动态变化进行考察发现:生态系统在 1987~2000 年间处于退化状态,而在 2000~2004 年间又逐渐恢复,最终生态系统功能还是没有恢复到原有水平。人类对土地的不合理利用会限制生态系统提供功能的能力,导致生态环境退化;而有意识的生态建设可以促进生态系统功能的恢复与发挥。康保县生态系统的服务功能在总功能中的地位随社会发展水平的提高而提高。由此可知,在经济发展过程中,应当对生态环境给予极大关注,否则生态系统功能一旦受到损害,将很难恢复至原有水平,进而影响人类福利;生态工程的实施可以作为生态环境保护的切实有效的方法,在实施过程中,应当注意保障当地居民的经济利益不受损失,以提高他们生态建设与环境保护的积极性,促进生态利益与经济利益的共同发展。

(3) 鉴于生态系统相互作用和价值核算的复杂性,目前生态系统功能价值评估还有很多不完善的地方。本文只是对空间、质量和时间因素对生态系统功能价值的影响进行了初步探索,而如何将其他因素整合在一起,全面的评估生态系统功能,使其更好地服务于生态环境决策则是生态学家、经济学家共同面临的挑战。另

外,生态系统功能市场的缺失导致其价值的测定有很大的不确定性,其结果有待于检验。因此,今后的研究应当将社会、自然和经济系统进行综合,进一步完善生态系统功能价值评估的方法,分析人类活动对生态系统功能的影响机制,检验生态价值核算结果,进而提高评估结果的科学性及其在管理决策中应用的可靠性。

References:

- [1] King R T. Wildlife and man. New York Conservationist, 1966, 20(6): 8—11.
- [2] Helliwell D R. Valuation of wildlife resources. Regional Studies, 1969, (3): 41—49.
- [3] Hueting R. Moet de natuur worden gekwantificeerd? (Should Nature be quantified?). Economica Statistische Berichten, 1970, 55(2730): 80—84.
- [4] Odum E P, Odum H T. Natural areas as necessary components of man's total environment. In: Transactions of the 37th North American Wildlife and Natural Resources Conference, 1972, 3(37): 12—15.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253—260.
- [6] Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment. American Scientist, 1974, 62: 282—292.
- [7] Daily G C. Nature's Service: Societal dependence on natural ecosystems, Washington DC: Island Press, 1997. 392.
- [8] Konarsk K M, Sutton P C, Castellon M. Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: a comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. Ecological Economics, 2002, 41: 491—507.
- [9] Seidl A F, Moraes A S. Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolandia Brazil. Ecological Economics, 2000, 33: 1—6.
- [10] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, *et al.* Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. Ecological Economics, 2001, 39: 333—346.
- [11] Sutton P C, Costanza R. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. Ecological Economics, 2002, 41: 509—527.
- [12] Ou Y, Wang X K, Miao H, *et al.* A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological economic values. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607—613.
- [13] Chen Z X, Zhang X S. The value of ecosystem benefit in China. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(1): 17—22.
- [14] Xie G D, Lu C X, Leng Y F. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189—196.
- [15] Bi X L, Ge J P. Evaluating Ecosystem Service Valuation in China Based on the IGBP land cover datasets. Journal of Mountain Science, 2004, 22(1): 48—53.
- [16] Pan Y Z, Shi P J, Zhu W Q, *et al.* Valuation of the Chinese terrestrial ecosystem based on the remote sensing. Chinese Science (series D), 2004, 41(4): 375—384.
- [17] Chen Y Q, Gao W S. Green accounting for agriculture production based on the value of agro-ecosystem services: a case study of Ansai County. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 250—259.
- [18] Li X L, Kang S Z, Tong L. A dynamic evaluation method and its application for the ecosystem service value of an inland river basin: A case study on the Shiyanghe River Basin in Hexi Corridor of Gansu Province. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 2011—2019.
- [19] Liu M, Hu Y M, Bu R C, *et al.* Landscape change in Kangbao County of Hebei Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1729—1734.
- [20] Cai B C, Lu G F, Song L J, *et al.* Variation of ecosystem services' value of Kunshan based on the land use change. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3005—3010.
- [21] Liu J Y. Dynamics and remote sensing investigation of the resources and environment of China. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. 10—11.
- [22] Jiang W L. Research on the depreciation of natural resources. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(5): 8—11.
- [23] Li B, Yang C, Lin P. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 1999. 263.
- [24] Hou X Y. Atlas of Chinese vegetations. Beijing: Science Press, 2001.
- [25] Ding G D. Study on Indicative Feature and Cover Classification of Vegetation in Regional Desertification Assessment: Taking Mu U s Sandland as an Example. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 159—160.
- [26] Liu S J, Li T F, Chen H L, *et al.* Research on the Simulation of NDVI Dynamic Monitoring Based on Temporal GIS. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(4): 165—169.
- [27] Ding J L, Ta X P L T. Study on Oasis Vegetation Ecological Landscape Change Based on NDVI. Geography and Territorial Research, 2002, 18

(1):23—26.

- [28] Li J C. Value assessment is the key of environmental assessment. *China Population, Resources and Environment*, 2002, 12(3):11—17.
- [29] Lei M. Trial Estimate of 1995 CSEEA and Chinese Green GDP. *Systematic Engineering Theories and Practices*, 2000, (11):1—9.
- [30] Xiao Y, Mao X Q, Yuan D, *et al.* An econometric model for water environmental degradation loss and its application. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(6):127—130.
- [31] Luan W X, Cui H Y. Submerged loss assessment of potential sea-level rise of Liao River Delta Region based on GIS. *Geographical Research*, 2004, 23(6):805—814.
- [32] Li J C, Jiang W L, Jin L S, *et al.* Research on value ecosystem. Chongqing: University of Chongqing Press, 1999:2—39.
- [33] Sun J Z, Sheng X B, Liu Y X. A study on the human activities and ecological and environmental changes in the Bashang area of Hebei Province. *Advances in Environmental Science*, 1999, 7(4):102—111.

参考文献:

- [12] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 等. 中国陆地生态系统服务及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5):607~613.
- [13] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45(1):17~22.
- [14] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2):189~196.
- [15] 毕晓丽, 葛建平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务价值评估. *山地学报*, 2004, 22(1):48~53.
- [16] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量. *中国科学(D 辑)地球科学*, 2004, 41(4):375~384.
- [17] 陈源泉, 高旺盛. 基于农业生态服务价值的农业绿色 GDP 核算——以安塞县为例. *生态学报*, 2007, 27(1):250~259.
- [18] 栗晓玲, 康绍忠, 佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用——以甘肃河西走廊石羊河流域为例. *生态学报*, 2006, 26(6):2011~2019.
- [19] 刘森, 胡远满, 布仁仓, 等. 河北省康保县景观变化研究. *应用生态学报*, 2005, 16(9):1729~1734.
- [20] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 等. 土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2006, 26(9):3005~3010.
- [21] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 10~11.
- [22] 姜文来. 自然资源资产折补研究. *中国人口、资源与环境*, 2004, 14(5):8~11.
- [23] 李博, 杨持, 林鹏. *生态学*. 北京: 高等教育出版社, 1999. 263.
- [24] 侯学煌. *中国植被图集(1:100 万)*. 北京: 科学出版社, 2001.
- [25] 丁国栋. 区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究——以毛乌素沙区为例. *水土保持学报*, 2004, 18(1):159~160.
- [26] 刘少军, 李天富, 陈汇林, 等. 基于时态 GIS 的植被 NDVI 动态监测的模拟方法研究. *水土保持研究*, 2006, 13(4):165~169.
- [27] 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜. 基于 NDVI 的绿洲植被生态景观格局变化研究. *地理学与国土研究*, 2002, 18(1):23~26.
- [28] 李金昌. 价值核算是环境核算的关键. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(3):11~17.
- [29] 雷明. 1995' 中国环境经济综合核算矩阵及绿色 GDP 估计. *系统工程理论与实践*, 2000, (11):1~9.
- [30] 肖杨, 毛显强, 袁达, 等. 水环境退化经济损失的计量方法及其应用. *环境科学研究*, 2006, 19(6):127~130.
- [31] 栾维新, 崔红艳. 基于 GIS 的辽河三角洲潜在海平面上升淹没损失评估. *地理研究*, 2004, 23(6):805~814.
- [32] 李金昌, 姜文来, 靳乐山, 等. *生态价值论*. 重庆: 重庆大学出版社, 1999:2~39.
- [33] 孙建中, 盛学斌, 刘云霞. 河北坝上地区人类活动与生态环境变化研究. *环境科学进展*, 1999, 7(4):102~111.