

基于土地利用变化的生态系统服务价值研究 ——以宁安市为例

彭越^{1,3}, 宋戈^{1,2,3}, 王盼盼^{1,3}, 王学伟^{1,3}

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北大学

土地管理研究所, 沈阳 110819; 3. 黑龙江省村镇发展研究中心, 哈尔滨 150030)

摘 要:选择黑龙江省宁安市为研究区,以 1991 年和 2010 年两期 TM 遥感影像为主要信息源,利用遥感与地理信息系统相结合的方法,提取研究区土地利用/覆盖信息,利用修正后的中国陆地生态系统单位面积服务价值系数及评估方法,结合研究区实际情况,对宁安市土地利用变化引起的生态系统服务总价值进行估算。研究表明:1991—2010 年研究区土地利用变化表现为耕地、建设用地增加,林地、草地、水域和其它用地减少的“2 增 4 减”的趋势;20 a 间宁安市生态服务总价值从 149.14 亿元下降到 144.04 亿元,减幅为 3.42%,大量林地和草地转化为生态服务价值系数较低的耕地是其减少的主要原因;敏感性分析表明,生态系统服务价值对价值系数缺乏弹性。评估研究区生态服务价值,并将其纳入区域环境 and 经济综合核算体系,对加快宁安市的生态建设,推进区域可持续发展具有指导意义。

关键词:土地利用变化;生态系统服务价值;宁安市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0302-05

Study on Ecosystem Service Values Based on Land Use Change —Taking Ning'an City As an Example

PENG Yue^{1,3}, SONG Ge^{1,2,3}, WANG Pan-Pan^{1,3}, WANG Xue-Wei^{1,3}

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030,

China; 2. Institute of Land Management, Northeast University, Shenyang 110819, China;

3. Towns Development Research Center of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: Ning'an City, which is located in Heilongjiang province was selected as the study area. With TM remote sensing images of 1991 and 2010 as the main source of information, the changes of ecosystem service value(ESV) in Ning'an city were analyzed. The parameters were revised by using the methods and models of ecological value estimation in view of the actual condition of the study area. The result indicates that use changes from 1991 to 2010 were notable, with the rapid increase of crop land, constructed land and the decrease of forestland, grassland, water area and other land uses; the ESV of Ning'an city descended from 14.914 billion Yuan to 14.404 billion Yuan during the study period, and the descending rate was 3.42%; large amount of forestland and grassland transformed to cropland with lower ecological value coefficient was the main cause resulting in its decreasing; the sensitivity analysis showed that the ecological value of study area was of instructional meaning to quicken ecological construction, perfect new rural construction plan and push sustainable development of agriculture in Heilongjiang reclamation area.

Key words: change of land use; ecosystem service value; Ning'an City

土地利用/覆盖变化(LUCC)是全球变化的重要原因和驱动因子之一^[1],其过程直接影响着生态系统的结构和功能,由此导致区域生态系统服务价值的变化,这种影响在受人类生产活动干预比较大的中国东

北和西北地区尤为突出,从区域生态安全和可持续发展的角度,研究土地利用/覆盖变化背景下的生态系统服务价值变化具有重要意义^[2-4]。

20 世纪 90 年代,LUCC 受到越来越多的关注,

收稿日期:2013-04-16

修回日期:2013-05-06

资助项目:国家自然科学基金(41071346);黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支撑计划项目(1154G45)

作者简介:彭越(1987—),男,河北秦皇岛人,硕士,主要研究方向为土地利用。E-mail:davidpeng19871010@163.com

通信作者:宋戈(1969—),女,黑龙江庆安人,博士/博士后,教授/博导,主要研究方向为土地利用。E-mail:songgelaoshi@163.com

国内外学者通过一些实例对 LUCC 过程、驱动机制、预测模型等方面进行了研究。近年来,已有学者开始探讨 LUCC 的景观生态效应^[5],但大多数局限于生态效益的定性分析,从生态经济学的角度定量研究生态系统服务价值变化的并不多见,我国学者对受人类活动干扰较大的东北地区土地利用变化中的生态环境效应综合研究更少。宁安市具有黑龙江省典型地貌特征,除山地以外以平原为主,适宜耕种,生产优质水稻、大豆、玉米等农作物,是黑龙江省东南部商品粮基地,在黑龙江省农业发展中具有举足轻重的地位^[6-7]。近年来,随着工业化、城镇化进程的加快,宁安市土地利用结构发生了一定的变化,进而影响生态系统服务功能,导致生态系统服务价值下降,这种情况还未得到各界学者的关注,因此,本文以黑龙江省宁安市为研究区域,在 LUCC 背景下,通过计算不同时期生态系统服务价值,揭示研究区的生态变化,为宁安市生态—环境—经济综合决策提供依据,对宁安市加快生态农业建设,提高农产品市场竞争力,具有一定的参考价值,也为其他地区开展类似研究提供参考^[8-9]。

1 研究区概况

宁安市位于黑龙江省东南部,在长白山支系张广才岭和老爷岭之间的牡丹江上游谷地上。地理坐标为东经 126°07′54″—130°00′44″,北纬 44°27′40″—48°31′24″,属中温带大陆季风气候,年平均气温 4.5℃,气候温和,积温在 2 600~2 700℃之间,平均降水量介于 500~600 mm。土地肥沃,水源充足,耕地、园地、林地、草地等各类用地均有分布,土地利用类型多样。境内有一江(牡丹江)三湖(镜泊湖、小北湖、钻心湖)55 条河,土壤以暗棕壤、白浆土、草甸土、河淤土为主;辖区总面积 72.27 万 hm²,现有耕地 21.80 万 hm²,林地 43.81 万 hm²,草地 1.84 万 hm²,水域 2.32 万 hm²。2010 年总人口 44 万人,实现地区生产总值 99.6 亿元,粮食总产 88.4 万 t,作物种植面积达 15.6 万 hm²,具有发展现代化农业特别是绿色生态农业的独特优势。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究基于 1991 年和 2010 年的 Landsat TM 遥感影像,以及相关图件资料(宁安市土地利用规划图、地形图等);社会经济资料主要来源于《黑龙江省

统计年鉴》(2001—2010)、《宁安市国民经济和社会发展统计公报》(2001—2010),以及宁安市统计部门的相关统计资料。

在 ENVI 4.7 软件的支撑下,对影像数据进行波段合成、几何校正、图像融合、镶嵌、裁剪等一系列遥感图像预处理过程。利用 ArcGIS 9.3 软件对遥感图像进行解译,对研究区二时相影像进行遥感信息的提取。根据本文的研究需要,提取研究区耕地、林地、草地、水域、建设用地和其它用地 6 种土地利用类型。

2.2 土地利用动态度

本文采用单一土地利用类型动态度的方法分析区域土地类型的变化速度,其数学表达式为:

$$K=(U_b-U_a)/U_a\times 1/T\times 100\%$$
 (1)

式中:K——研究时段内某一土地利用类型的年变化率;U_a,U_b——研究初期和末期某一土地利用类型的数量;T——研究时段长^[10]。

2.3 土地利用结构变化

可以利用信息熵、均衡度和优势度等指标描述和刻画土地利用系统的有序程度^[11]。土地利用信息熵 H 表示如下:

$$H=-\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i,$$

其中 $P_i=S_i/S,\sum_{i=1}^m P_i=1$ (2)

式中:S——研究区域土地总面积;S_i——各种土地利用类型的面积;P_i——第 i 种土地利用类型在该区域所有土地利用中出现的可能性。基于信息熵公式可以得到土地利用结构的均衡度 J 和优势度 D^[12]。

信息熵反映了区域土地利用的多样性和复杂程度,均衡度体现的是土地利用结构的均衡性,是信息熵与最大熵之间的比值,其取值为 $J\in[0,1]$,当 J=0 时,区域土地利用处于最不均匀状态,而当 J=1,则表示土地利用类型达到理想的平衡状态。同样,优势度的表达式为 $D=1-J$,优势度反映了区域内一种或几种土地类型支配该区域土地类型的程度,与多样性成反比^[13]。

2.4 土地利用程度变化

土地利用程度可以看作是自然系统和社会系统间物质流和能量流交换情况的一种反映,同时也是原有自然平衡保持状况的一种反映^[14]。按土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡状态将土地利用程度分为若干等级,并分别赋予分级指数^[15](表 1),从而求出土地利用程度综合指数及其变化率。

表 1 土地利用程度分级赋值

类型	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用地或难利用地	林地、草地、水域	人工草地、耕地、园地	城镇、居民点、交通用地
分级指数	1	2	3	4

土地利用程度指数表达式为：

$$L_a=100\times\sum_{i=1}^nA_i\times C_i\tag{3}$$

式中： L_a ——土地利用程度综合指数， $L_a\in[100,400]$ ； A_i ——第 i 级土地利用分级指数； C_i ——第 i 级土地利用程度分级面积百分比； n ——土地利用程度分级数。

土地利用程度变化模型表达式为：

$$\Delta L_{b-a}=L_b-L_a=100\times\left[\sum_{i=1}^n(A_i\cdot C_{ib})-\sum_{i=1}^n(A_i\cdot C_{ia})\right]\tag{4}$$

$$R=\frac{\sum_{i=1}^n(A_i\cdot C_{ib})-\sum_{i=1}^n(A_i\cdot C_{ia})}{\sum_{i=1}^n(A_i\cdot C_{ia})}\tag{5}$$

式中： ΔL_{b-a} ——土地利用程度变化量； R ——土地利用程度变化率； L_a,L_b ——研究初期和期末的区域土地利用程度综合指数； A_i ——第 i 级土地利用程度分级指数； C_{ia},C_{ib} ——研究期初和期末第 i 级土地利用程度百分比。如果 $\Delta L_{b-a}>0$ 或 $R>0$ ，则表示该区域的土地利用处于发展期，否则处于调整期或衰退期。

2.5 生态系统服务价值估算

2.5.1 生态系统服务价值系数 本文采用谢高地等人给出的当量因子表，针对研究区的具体情况对单位

面积农田每年自然食物生产的经济价值作了如下修正：以 2001—2010 年宁安市平均粮食产量为该区基准单价，粮食单价按 2001—2010 年黑龙江省粮食平均价格计算，再考虑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经济价值的 $1/7^{[16]}$ ，因此，宁安市单位面积农田生态系统提供的自然食物生产的经济价值估算如下：

$$E_a=\frac{1}{7}\times\left(\sum_{i=1}^nm_ip_iq_i\right)\times\frac{1}{M}\quad(i=1,2,3)\tag{6}$$

式中： E_a ——单位面积农田提供的自然食物生产的经济价值（元/hm²）； i ——作物种类； m_i —— i 种粮食作物面积（hm²）； p_i —— i 种作物平均价格（元/t）； q_i —— i 种粮食作物单产（t/hm²）； M —— n 种粮食作物总面积（hm²）；宁安市主要粮食作物为玉米、大豆和水稻，其价格分别按照近 10 a 黑龙江省粮食平均价格 1 200,3 300,1 800 元/t 计算；粮食作物单产分别按照 7.33,2.18,7.07 t/hm² 计算；将所属统计数据代入公式(6)得出，宁安市单位面积农田提供的自然食物生产的经济价值为 1 271.54 元/(hm²·a)，进而根据“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”^[17]，得到宁安市土地利用类型的生态系统服务价值系数(表 2)。

表 2 宁安市土地利用类型的生态系统服务价值系数 元/(hm²·a)

土地利用类型	林地	草地	耕地	建设用地	水域	其它用地
价值系数	24998.48	9205.95	8786.34	0.00	58490.84	534.05

2.5.2 生态系统服务价值估算 应用公式(7)来评估研究区的生态系统服务价值：

$$V=\sum_{i=1}^nP_i\times L_i\tag{7}$$

式中： V ——研究区系统服务总价值（元）； P_i ——单位面积上土地利用类型 i 的生态系统服务功能经济价值量（元/hm²）； L_i ——研究区土地利用类型 i 的分布面积（hm²）。

2.6 生态系统敏感性分析

生态服务价值敏感度指数表示某种土地利用类型的生态服务价值系数变化后所引起的总生态系统服务价值的变化。本文将各土地利用类型的生态服务价值系数分别上下调整 50%（调整其他比例即可，结果一样），来分析 6 种用地类型的敏感度指数^[18]，方法如下：

$$CS=\left|\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(VC_{jk}-VC_{ik})/VC_{ik}}\right|\tag{8}$$

式中： CS ——价值系数的敏感指数； ESV_i,ESV_j ——调整前后的生态服务总价值； VC_i,VC_j ——调整前后的价值系数。如果 $CS>1$ ，表明生态系统服务价值对价值系数敏感；反之，如果 $CS<1$ ，表明生态服务价值

对价值系数不敏感。CS 越大，说明相应的 VC 对 ESV 的影响越大，取值的准确性越重要。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

(1) 通过计算得出宁安市 1991—2010 年各类用地的变化情况、动态度(表 3)。

由宁安市 1991—2010 年各土地利用类型的变化率可知，宁安市土地利用类型面积变化的总体趋势为：耕地和建设用地在增加，林地、草地、水域和其它用地在减少。1991 年林地分布最广，占总面积的 64.46%，其次为耕地，占 22.78%。1991—2010 年耕地、草地、建设用地变化较大，其动态度分别为 1.62，-3.00,3.00,2010 年耕地比例增加到 30.17%，林地比例减少到 60.63%，建设用地增加幅度相对较高，为 1.92%，草地由 6.59%急剧下降到 2.55%，水域和其它用地减少幅度较低，分别为 3.22%和 1.52%。上述分析表明，宁安市以农业和林业为主，客观上反映其城镇化水平不高，基础设施建设相对滞后。近 20 a 来，由于林地、草地和水域的大规模开垦，研究区

的景观发生了较大变化,加大了当地生态环境的潜在危害,所以,在未来一个时期内,宁安市应实施天然林保护工程和水域保护工作,严格落实耕地保护制度,遏制景观破碎化。

表 3 1991 年和 2010 年宁安市各土地利用类型动态度

土地利用 覆盖类型	1991 年		2010 年		1991—2010 年	
	面积/hm ²	面积比例/%	面积/hm ²	面积比例/%	面积变化/hm ²	动态度
耕地	164627.25	22.78	218008.97	30.17	53381.72	1.62
林地	465843.16	64.46	438140.27	60.63	−27702.89	−0.30
草地	47650.16	6.59	18458.37	2.55	−29191.79	−3.00
水域	23535.38	3.26	23236.27	3.22	−299.11	−0.06
建设用地	8653.29	1.20	13849.64	1.92	5196.34	3.00
其它用地	12354.75	1.71	10970.49	1.52	−1384.26	−0.56

(2) 通过计算得出土地利用结构的信息熵、优势度和均衡度(表 4)。

表 4 宁安市 1991 年和 2010 年土地利用结构指数

年份	信息熵(<i>H</i>)	优势度(<i>D</i>)	均衡度(<i>J</i>)
1991	1.06	0.41	0.59
2010	0.99	0.45	0.55

随着人类对土地资源开发利用强度的加大,20 a 间宁安市土地利用结构发生了一定的变化。1991—2010 年宁安市的土地信息熵由 1.06 降为 0.99,优势度指数由 0.41 变为 0.45,均衡度指数由 0.59 降为 0.55,表明此期间,宁安市土地利用程度加剧,土地利用结构向单一化方向发展,土地利用不够均衡。

信息熵、优势度和均衡度指数的变化说明随着社会经济的发展,宁安市土地利用结构朝不均衡、单一化方向发展,耕地、林地、建设用地占主导地位,从而降低了其多样性,不利于经济、社会、生态和环境的协调、健康发展。

1991—2010 年宁安市土地利用程度综合指数由 223.47 上升到 232.51,20 a 间增加了 9 个百分点,说明其土地利用程度不断加强。其中,增幅最大的是耕

地,增加了 22.17%;其次是建设用地 2.88%;而林地、草地、水域和其它用地的土地利用程度综合指数出现了负增长。引用土地利用程度变化模型表达式,得到 1991—2010 年宁安市土地利用程度变化率 $R=0.04>0$,其中耕地和建设用地的 R 值均大于零,说明宁安市在社会经济发展中正确处理了建设用地需求与耕地的关系;同时林地、草地、水域和其它用地的 R 值为负值,说明这四类用地处于调整期。

3.2 生态系统服务价值变化

在计算各类土地生态服务价值时,当量因子按以下原则操作:耕地对应农田,林地对应森林,居民工矿用地及交通用地按照 Costanza 等学者的方法,不估算其生态系统服务功能的经济价值,因此本研究分类中的建设用地生态系统服务价值为 0。以 Costanza 等对全球生态系统服务单位价值的平均估算方法和谢高地等^[17]制定的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量为基础,结合研究区特点来估算各土地利用类型单位面积生态系统服务功能经济价值 P_i (表 2)和具体各年土地利用类型生态系统服务功能经济总价值(表 5)。

表 5 1991 年和 2010 年宁安市生态系统服务经济价值

土地利用 覆盖类型	单位面积价值/ (元·hm ^{−2} ·a ^{−1})	1991 年		2010 年		1991—2010 年	
		生态价值/ (亿元·a ^{−1})	价值比/ %	生态价值/ (亿元·a ^{−1})	价值比/ %	生态价值变化/ (亿元·a ^{−1})	生态价值 变化率/%
耕地	8786.34	14.46	9.70	19.16	13.30	4.70	32.50
林地	24998.48	116.45	78.08	109.53	76.04	−6.92	−5.94
草地	9205.95	4.39	2.94	1.70	1.18	−2.69	−61.28
水域	58490.84	13.77	9.23	13.59	9.43	−0.18	−1.31
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
其它用地	534.05	0.07	0.05	0.06	0.05	−0.01	−14.29
合计	102015.66	149.14	100.00	144.04	100.00	−5.10	−3.42

由表 5 知:(1) 宁安市 1991 年和 2010 年土地利用类型的生态系统服务价值总额分别为 149.14 亿元和 144.04 亿元,该区域所在地理位置、资源优势,使其生态系统服务价值高于其它地区,但仍减少了 5.10 亿元,年均减少 0.26 亿元,减少率为 3.42%,主要源于宁安市的林地和草地面积减少,使得宁安市的生态

系统服务价值减少。(2) 从土地利用类型的生态系统服务价值看,耕地的生态服务价值有所增加,为 4.70 亿元,增幅为 32.50%,年均增加 0.24 亿元,主要是研究区 20 a 来耕地面积增加的结果,耕地自身生态服务价值的增长是以其它土地利用类型生态服务价值的损失为代价。林地的生态服务价值减少量最

多,为 6.92 亿元,减幅为 5.94%,年均减少 0.35 亿元,其次为草地,为 2.69 亿元,减幅 61.28%,年均减少 0.13 亿元,水域面积减少 299.11 hm²,其生态系统服务价值减少了 0.18 亿元,可见单位面积的水域所提供的生态服务功能价值高于其它用地类型,是地球上生物多样性较丰富且生产力较高的生态系统,水域面积的减少将大大削弱水域在生物多样性保护、水源涵养、废物处理以及娱乐文化等方面的功能。其它用地减少了 0.01 亿元,建设用地的生态服务价值为 0,因此没有变化。

上述分析表明,1991—2010 年该地区生态系统服务功能经济总价值呈下降趋势,出现“1 增 4 减”现象,即耕地生态服务价值增加,林地、草地、水域和其它用地生态服务价值减少。提供的服务价值中以耕地、林地和水域为主,2010 年分别占总服务价值的 13.30%、76.04%和 9.44%。因此,随着宁安市经济社会的不断发展,经济与环境容量、资源开发与保护的矛盾仍然比较突出,要实现经济、社会和环境的可持续发展目标,就必须维持生态系统服务功能的稳定性和完整性。实施积极的天然林保护和鼓励人工造林、保护水域,遏制景观破碎化;严格落实耕地保护制度,推进土地合理开发、整理和复垦。这是恢复区域生态系统服务功能的有效途径,也是推进区域农业可持续发展的重要举措。

3.3 敏感性

敏感性指数是通过生态服务价值单价的变化来显示生态系统服务价值变化状况的,应用公式(6)计算得出各类土地的生态服务价值敏感度指数。

表 6 生态系统服务价值敏感度

价格系数	生态价值/亿元		敏感指数	
	1991 年	2010 年	1991 年	2010 年
耕地(VC+50%)	21.70	28.73	0.10	0.14
耕地(VC-50%)	7.23	9.58	0.10	0.14
林地(VC+50%)	174.68	164.30	0.78	0.76
林地(VC-50%)	58.23	54.77	0.78	0.76
草地(VC+50%)	6.59	2.55	0.02	0.02
草地(VC-50%)	2.20	0.85	0.02	0.02
水域(VC+50%)	20.66	20.39	0.10	0.10
水域(VC-50%)	6.89	6.80	0.10	0.10
其它用地(VC+50%)	0.11	0.09	0.01	0.01
其它用地(VC-50%)	0.35	0.03	0.01	0.01

由表 6 知:(1) 各类土地利用类型的敏感度均小于 1,说明研究区生态系统服务功能价值对生态价值系数缺乏弹性,从侧面反映出本研究所采用的修正价值系数无论在绝对值还是相对值上具有合理性,利用其计算区域生态系统服务功能价值的变化情况是合理的。(2) 在各地类中,林地的敏感度系数最大,达到 0.78 和 0.76,这与林地的占地面积大,其产生的生态系统服务价值接近总价值的 80%有关。其次是耕

地和水域,分别为 0.10、0.14 和 0.10,水域占地面积虽小,但其生态系统服务功能强大,产生了相当多的价值,故其敏感度值较高。草地的敏感系数最小,仅为 0.02。表明林地在宁安市生态系统中占有非常重要的地位,耕地和水域次之。

4 结论与讨论

本文以宁安市为研究区,在遥感和地理信息系统技术的支撑下,结合研究区的社会经济状况背景资料,揭示了宁安市土地利用类型的数量变化、变化程度以及结构变化;并在土地利用变化分析的基础上,借助生态系统服务评价方法,定量分析了土地利用动态变化所引起的生态系统服务功能的价值损益,引入敏感度系数来分析生态系统服务价值对价值系数的依赖程度,得出以下结论:

(1) 1991—2010 年该地区土地利用/覆盖情况发生了一定的变化,集中表现为耕地、建设用地增加,林地、草地、水域和其它用地减少的“2 增 4 减”趋势。

(2) 生态系统服务功能经济价值呈下降趋势,形成了与土地利用结构变化对应的格局,土地利用覆盖变化导致生态系统服务价值损失了 3.42%,生态系统服务价值的减少主要来源于林地和草地的减少,其主要被开发为耕地,并且土地利用信息熵、优势度和均衡度的变化说明宁安市土地利用趋向于单一化,从而降低了其用地类型的多样性。

(3) LUCC 对生态系统服务功能的发挥及生态安全具有一定的影响,不应片面地为追求耕地数量的增加而进行毁林开荒,制止盲目开发行为,合理利用土地资源,对更好地维持和保护生态系统服务功能,促进经济社会的可持续发展具有重要意义。

本文分析土地利用变化对生态系统服务价值的影响,只针对各个土地利用类型面积数量的变化,对于土地利用类型的空间结构变化及整体的景观格局变化并未涉及;利用各土地利用类型单位面积的生态系统服务价值量估算生态系统服务价值总量,其不能完全涵括区域土地利用变化的综合效应,区域土地利用变化生态效应的综合评价还应结合土地利用的适宜性评价,分析研究区不同位置地块的土地适宜性,确定区域土地利用生态系统服务价值的理论最大值,探讨土地利用类型之间合理的空间组合与分布,还需进一步深化和努力。

参考文献:

[1] 李娜,宋戈,李静,等.建三江垦区土地利用/覆盖变化与生态环境效应作用机理研究[J].经济地理,2011,31(5): 816-821.

[2] 谭荣,曲福田,郭忠兴. 中国耕地非农化对经济增长贡献的地区差异分析[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3): 277-281.

[3] 吴群,郭贯成,万丽平. 经济增长与耕地资源数量变化: 国际比较及其启示[J]. 资源科学,2006,28(4):45-51.

[4] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J]. 自然资源学报,2001,16(2):121-127.

[5] 杨大兵,刘惠德,郑丙辉,等. 基于 GIS 的中国西部耕地变化原因动态分析[J]. 水土保持研究,2006,13(1):170-172.

[6] 史娟,张凤荣,赵婷婷. 1998—2006 年中国耕地的时空变化特征[J]. 资源科学,2008,30(8):1191-1198.

[7] 侯松廷,陈晓燕. 三峡库区耕地动态变化驱动力研究 [J]. 水土保持研究,2007,14(3):51-54.

[8] 李景刚,何春阳,史培军,等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J]. 地理学报,2004,59(2):274-282.

[9] 郑海霞,童菊儿,徐扬. 发达地区耕地资源的时空变化及其驱动力实证研究[J]. 农业工程学报,2007,23(4):75-78.

[10] 刘新平,吕晓,罗桥顺. 1996—2005 年新疆耕地数量变

化分析[J]. 水土保持研究,2008,15(1):128-130.

[11] 汪洋洁,张静. 基于区域发展视角的耕地保护政策失灵 及对策选择[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(1): 76-81.

[12] 朱红波. 我国耕地保护政策运行效果分析[J]. 地理与 地理信息科学,2007,(6):50-53.

[13] 李穗英,孙新庆. 青海省近 10 年耕地面积动态变化及 驱动因子分析研究[J]. 中国农业资源与区划,2009,30 (5):39-44.

[14] 俞文政,曲福田,仙珠. 青海湖地区各县耕地利用变化 驱动机制和演变趋势分析[J]. 农业系统科学与综合研 究,2008,24(3):363-366

[15] 谢爱良,刘忠秀,杨太保. 青海省耕地资源开发利用分 析及对策研究[J]. 水土保持研究,2006,13(5):302- 305.

[16] 李成英,陈怀录. 基于能值生态足迹的青海省耕地可持 续发展研究[J]. 青海师范大学学报:哲学社会科学版, 2010,34(3):35-39.

[17] 鞠正山. 基于 PSR 框架下的中国土地利用变化研究 [D]. 北京:中国农业大学,2003.

(上接第 306 页)

[2] 王伟林,黄贤金,钟大洋. 区域土地利用变化的生态系统 服务价值响应:以南京市为例[J]. 水土保持研究,2009, 16(1):212-221.

[3] 李冰,毕军,田颖. 太湖流域重污染区土地利用变化对生 态系统服务价值的影响[J]. 地理科学,2012,32(4):472- 476.

[4] 王亚娟,刘小鹏,关文超. 土地利用变化对生态系统服务 价值的影响分析:以宁夏彭阳县为例[J]. 生态环境, 2010,225(5):146-149.

[5] 侯鹏,王桥,王昌佐,等. 流域土地利用/覆盖变化的生态 效应[J]. 地理研究,2011,30(11):2093-2098.

[6] 赵月森,王卓识. 黑龙江省宁安市特色农业发展问题调 研[J]. 时代金融,2012,475(3):305-306.

[7] 崔登攀. 宁安市耕地生态安全评价研究[D]. 哈尔滨:东 北农业大学,2011.

[8] 邹积慧. 构建垦区区域农业可持续发展生态安全指标体 系初探[J]. 农业经济管理,2007(4):9-10.

[9] 贡璐,吕光辉,丁建丽,等. 塔里木河上游土地利用变化 中的生态价值损益分析[J]. 生态学杂志,2006,25(5): 526-527.

[10] 郝士龙. 土地利用/土地覆被变化研究:以宁夏南部山 区为例[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009.

[11] Duan L, Liu T, Wang X, et al. Water table fluctuation and its effects on vegetation in a semiarid environment [J]. Hydrology and Earth System Sciences,2011,8(2): 3271-3304.

[12] 赵菲菲,刘东,刘萌. 基于信息熵和灰关联的建三江分 局土地利用结构驱动力分析[J]. 水土保持研究,2012, 19(3):251-258.

[13] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研 究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):105-111.

[14] 张小虎,张合兵,雷国平. 大庆市土地利用变化及驱动 机制分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(9):110- 113.

[15] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the word' s ecosystem services and nature[J]. Na- ture,1997,387(6630):253-260.

[16] 苏飞,张平宇. 大庆市生态系统服务价值时空变化分析 [J]. 农业现代化研究,2009,30(2):216-219.

[17] 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):189-195.

[18] 程琳,李锋,邓华锋. 中国大城市土地利用状况及其生 态系统服务动态演变[J]. 生态学报,2011,31(20): 6195-6203.