

DOI: 10.5846/stxb201401020014

陈阳, 张建军, 杜国明, 付梅臣, 刘凌露. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变研究. 生态学报, 2015, 35(18): - .

Chen Y, Zhang J J, Du G M, Fu M C, Liu L L. Temporal and spatial changes in ecosystem service values in the northern sanjiang plain. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(18): - .

三江平原北部生态系统服务价值的时空演变研究

陈 阳¹, 张建军^{1,*}, 杜国明², 付梅臣¹, 刘凌露¹

1 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

2 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030

摘要: 本文以三江平原北部地区二市五县为研究区, 采用生态系统服务价值评估方法对 1954—2009 年间三江平原北部地区生态系统服务价值进行估算, 以期全面分析土地生态系统服务价值随时空变化的特点。结果表明: (1) 1954—2009 年间三江平原北部地区的不同土地利用类型面积变化显著, 农田变化速度最快, 其次为湿地, 人口数量的增加及保证粮食增产是土地利用变化的主要驱动力。(2) 1954—2009 年三江平原北部地区生态系统服务价值总量逐渐减少, 共减少 779.51 亿元。长期的土地垦殖是三江平原北部地区生态系统服务价值减少的主要驱动因素。(3) 就各土地利用类型生态系统服务价值而言, 55 年间除农田生态系统和水域生态系统生态服务价值是增加外, 其余各生态系统服务价值均在减少。湿地生态系统服务价值减少值最大, 其次为林地生态系统服务价值。各项生态系统服务功能除与农田相关的食物生产在增加, 其余也均呈减少趋势。(4) 不同地区单位面积生态系统服务价值损失量也不相同, 湿地、林地面积比重下降幅度大、且农田面积比重上升幅度大的区域, 其单位面积生态系统服务价值损失量也较大。

关键词: 生态系统服务价值; 土地利用变化; 时空差异

Temporal and spatial changes in ecosystem service values in the northern sanjiang plain

CHEN Yang¹, ZHANG Jianjun^{1,*}, DU Guoming², FU Meichen¹, LIU Linglu¹

1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

2 School of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

Abstract: The northern Sanjiang Plain is an important commodity grain production base, also distributed by the national nature reserves of Qixinghe wetlands, Sanjiang wetlands and Honghe wetlands, which have been included in the list of important international wetlands. In the regional economy and ecology, the stability and health of local ecosystems are closely related to food security and developmental sustainability. Thus, it is desirable to know the capacity of ecosystem services in this area. This paper used the two cities and five counties in the northern Sanjiang Plain for a case study, including Youyi County, Raohe County, Baoqing County, Fuyuan County, Fujin City, Tongjiang City, and Suibin County. Based on RS, GIS, and land use data, the ecosystem service values during 1954—2009 were calculated to reflect the temporal and spatial variations according to multiple assessment models. The results showed that (1) the area of different land use types was drastically changed: farmland increased fastest at 1.08% per year and wetlands followed at a speed of 0.85% per year. The forest land, grassland, built-up land, and waters changed a little, within 10%, and undeveloped land was almost unchanged. The increasing demands of population and grain production were the main driving forces. (2) The total ecosystem service value of the northern Sanjiang Plain declined from $\text{¥} 1.19 \times 10^{11}$ in 1954 to $\text{¥} 7.80 \times 10^{10}$ in 2009.

基金项目: 国家自然科学基金委青年科学基金项目(41101531)

收稿日期: 2014-01-02; **网络出版日期:** 2014-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjianjun_bj@126.com

Long-term land development and cultivation were the main reasons for the variation of ecosystem service values, which caused the loss of wetlands, forest and grasslands, and farmland expansion. (3) During the past 55 years, only the values of farmlands and waters were increasing. By contrast, the other land types had a decrease in ecosystem service values. The value of wetland ecosystem services was reduced the most, reaching $\text{¥}8.56 \times 10^{10}$, followed by woodlands at $\text{¥}4.19 \times 10^9$. The greatest increment in ecosystem service value occurred in farmland, reaching $\text{¥}1.96 \times 10^9$. In conclusion, of all the ecosystem service functions, only the ecosystem service values of food production exhibited a rising trend with an increase of $\text{¥}1.23 \times 10^9$, whereas the others were decreasing, characterized by a decrease of $\text{¥}2.02 \times 10^{10}$ in water conservation, a decrease of $\text{¥}2.19 \times 10^{10}$ in waste treatment, and a decrease in $\text{¥}2.25 \times 10^{10}$ of climate regulation. All in all, the ecosystem services of the northern Sanjiang Plain deteriorated seriously in 55 years and the resilience of ecosystem services should be enhanced. (4) The total ecosystem service value and per unit area ecosystem service value of all regions were both declining from 1954 to 2009. The loss of ecosystem service value per unit area in different parts was not the same. The areas with a vast decrease of wetlands and forest as well as a fast increase in farmland had a significant loss. The ecosystem service value per unit area in Tongjiang City lost most by $\text{¥}2.53 \times 10^4$ per hectare from 1954 to 2009, followed by Tongjiang City, Fujin City, Youyi County, Fuyuan County, Suibin County, Raohe County, and Baoqing County.

Key Words: Ecosystem Service Value; land use change; Temporal and spatial variation

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],是人类生存和发展的前提条件与基础。对生态系统服务价值的定量评估已成为国际可持续发展研究的焦点,是当前生态学、资源经济学、环境经济学以及生态经济学的交叉前沿领域^[2]。我国对生态系统服务的研究起步较晚,从一开始就直接进入了对其评估阶段,主要是对区域范围内、单一的生态系统或者某种生态系统服务的价值进行评估理论与方法的研究利用,大部分研究均集中在国家尺度^[3,4]、森林^[5,6]、草地^[7,8,9]、河流^[10,11]等用地类型尺度上,对因农业开发导致的生态系统服务价值动态变化的研究相对较少^[12,13]。随着 GIS、RS 等技术的发展及其在生态系统服务价值分析中的广泛应用,生态系统服务价值动态变化的研究已成为当前研究趋势之一^[14]。

近 55 年间由于人口的快速增长及国家对于保证粮食安全的需要,三江平原经历了四次大规模的开荒潮^[15],大量的林地、草地、及草甸湿地、沼泽化草地湿地等湿地被开垦为耕地,三江平原的土地利用/覆被及土地利用结构发生了剧烈的变化,加之土地整治工程、农田水利工程等系列工程的扰动,引起了三江平原区域内生态系统结构的变化、水环境变化以及动植物资源的变化等,致使三江平原生态系统遭到破坏,生态系统服务功能较大程度的衰退,生态环境受到严重的影响。三江平原北部地区是我国重要的粮食生产基地,同时其辖内宝清七星河湿地、三江湿地、洪河湿地均为国家级自然保护区,且均已被列入国际重要湿地名录,其生态系统的稳定安全与否关系到我国粮食安全能否得到保证、区域环境能否健康发展,因此对三江平原北部地区生态系统服务价值进行评估具有重要的现实意义。本文选取三江平原北部地区为研究对象,对该区域 1954—2009 年的生态系统服务价值进行评估,揭示 55 年间三江平原北部地区生态系统服务价值的时空变化特征及区域农业开发利用过程对生态系统服务价值的影响,以期三江平原生态环境与社会经济的可持续发展提供理论支持。

1 研究区域概况

三江平原北部地区($45^{\circ}47'50''$ — $48^{\circ}27'59''\text{N}$, $131^{\circ}7'41''$ — $134^{\circ}45'26''\text{E}$)位于黑龙江省的东北部,是由黑龙江、松花江、乌苏里江冲积形成的低平原,气候属于温带湿润半湿润大陆性季风气候,1 月平均气温低于 -18°C ,7 月平均气温 21 — 22°C ,年降水量 500 — 650 mm ,降水季节分配不均,主要集中于夏秋两季。土壤成土母质多为粘土或亚粘土,平原区河道稀疏,河网密度小,除三大江外,多为中小型河流。本文研究区域为友

$$NPP = 3000 [1 - e^{-0.0009695(V-20)}] \quad (2)$$

$$V = \frac{1.05R}{\sqrt{1 + (1 + 1.05R/L)^2}} \quad (3)$$

$$L = 3000 + 25t + 0.05t^3 \quad (4)$$

式中: NPP (Net Primary Productivity) 为自然植被净初级生产潜力 ($t/(hm^2 \cdot a)$); V 为年实际蒸散量 (mm); L 为该地年平均蒸散量 (mm); t 为年平均气温 ($^{\circ}C$); R 为年降水量 (mm)。根据上述公式, 修正得到三江平原北部地区单位面积生态系统服务价值表 (表 1)。

根据公式 (1) 及三江平原北部地区各县市土地利用信息, 评算出 55 年来三江平原北部地区各年生态系统服务价值 (表 2)。

表 1 三江平原北部地区单位面积生态系统服务价值表/(元/ hm^2)

Table 1 Ecosystem services value per unit area of Northern Sanjiang Plain ecosystem

| 市县 City | 林地 Forest | 草地 Grassland | 农田 Farmland | 湿地 Wetland | 水域 Water | 未利用地 Unused land |
|---------|-----------|--------------|-------------|------------|----------|------------------|
| 友谊县 | 14073.95 | 4663.53 | 4450.83 | 40392.55 | 29609.89 | 270.36 |
| 饶河县 | 15359.99 | 5089.68 | 4857.54 | 44083.51 | 32315.57 | 295.06 |
| 宝清县 | 14839.13 | 4917.08 | 4692.81 | 42588.62 | 31219.73 | 285.05 |
| 富锦市 | 15001.23 | 4970.79 | 4744.08 | 43053.86 | 31560.78 | 288.17 |
| 同江市 | 14571.84 | 4828.51 | 4608.29 | 41821.50 | 30657.39 | 279.92 |
| 抚远县 | 16109.06 | 5337.89 | 5094.43 | 46233.36 | 33891.52 | 309.45 |
| 绥滨县 | 15075.47 | 4995.39 | 4767.56 | 43266.94 | 31716.98 | 289.60 |

表 2 三江平原北部地区生态系统服务价值表

Table 2 Ecosystem services value of Northern Sanjiang Plain

| 价值类型 Value types | 年份 Year | 富锦市 | 友谊县 | 饶河县 | 同江市 | 宝清县 | 抚远县 | 绥滨县 |
|---|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 总价值/(10^8 元) Total value | 1954 | 278.74 | 53.81 | 153.97 | 208.17 | 215.32 | 208.05 | 76.70 |
| | 1976 | 210.99 | 24.78 | 118.00 | 170.83 | 185.44 | 168.50 | 38.58 |
| | 1996 | 150.14 | 14.59 | 95.91 | 98.17 | 111.03 | 120.02 | 32.68 |
| | 2009 | 70.89 | 10.41 | 78.54 | 53.19 | 103.87 | 68.27 | 30.08 |
| 单位面积服务价值/(元/ hm^2) Ecosystem services value per unit area | 1954 | 32978.88 | 29511.12 | 24057.46 | 34160.11 | 21632.66 | 34552.14 | 22952.53 |
| | 1976 | 25146.89 | 13851.66 | 18513.13 | 28187.11 | 18729.45 | 28043.23 | 11765.03 |
| | 1996 | 18000.06 | 8228.24 | 15084.22 | 16219.11 | 11322.08 | 19974.82 | 9969.28 |
| | 2009 | 8524.23 | 5888.37 | 12398.97 | 8833.63 | 10591.22 | 11413.21 | 9199.83 |

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

三江平原北部地区的土地利用结构在 1954—2009 年间发生了较大的变化 (图 2)。图 2 表明, 1954—2009 年间三江平原北部地区的不同土地利用类型面积变化显著。55 年间, 农田比重持续加大, 湿地比重不断减少, 研究期间区域内主要景观类型由湿地转变为农田, 至 2009 年农田增幅达 59.49%, 湿地减幅 47.01%, 其他地类的变化幅度相对较小均在 10% 内, 未利用地面积变化不大。

这一现象产生的主要原因是 1949 年以后, 大量的农民、城市知识青年及部队转业兵涌入三江平原, 人口大量增加, 为了解决人们的吃、住问题以及国家相关政策的支持和鼓励, 三江平原北部地区进入了土地垦荒的时代, 虽然 1996—2009 年间国家出于对自然保护的意识加强了开垦湿地的审批手续, 但是粮价的上涨和监管力度的不够使作为经济人的农民追求利益最大化^[24], 不断开垦湿地、林地和草地, 导致研究期内农田、建设用

地面积的迅速扩张,湿地、林地和草地面积的缩减,尤以湿地缩减规模最大,人类大规模的垦荒活动是导致三江平原北部地区土地利用格局发生改变的直接原因,由此人口数量的增加及保证粮食增产是土地利用变化的主要驱动力。草地面积在 1954—1976 年间出现与整体趋势相反的增加,主要是由于 60 年代初的自然灾害,农田大面积的撂荒继而成为草地,虽然此后出现新的土地开发潮,但是撂荒的草地并未完全转化为农田,草地面积在此阶段出现增加^[13]。80 年代中期以后,大规模开发所导致的生态问题逐渐引起人们的关注,植树造林等系列措施逐渐实施,森林覆盖率有效提高^[25],林地面积因此在 1976—1996 年间增加了 13.15 万 hm^2 。水域面积则因水库及排灌沟渠的修建而增加。

3.2 生态系统服务价值时间变化分析

1954—2009 年间,三江平原北部地区生态系统服务价值的变化大致情形为(表 3):总生态系统服务价值在 55 年间不断减少,由 1954 年的 1194.76 亿元降到 2009 年 415.25 亿元,减少值为 779.51 亿元,年均减少 14.17 亿元。由表 3 可看出,研究区生态系统服务价值的构成主体不断发生变化,随着农田的进一步开垦,由湿地和林地生态系统服务价值转变为农田和林地生态系统服务价值。

从各生态系统服务价值变化来看(表 3),湿地、林地、草地生态系统服务价值呈减少趋势,其中湿地生态系统服务价值减幅最为显著,由 1954 年的 946.93 亿元锐减至 2009 年 90.88 亿元,减少了 856.04 亿元,贡献率由最初的 79.26% 下降至 21.89%,主要是由于湿地大面积的农田化,湿地生态系统服务价值的损失量是总生态系统服务价值损失量的 1.09 倍,因此土地垦殖所导致的湿地面积减少是导致区域内生态系统服务价值减少的主要原因;与 3 种生态系统服务价值变化趋势相反的是农田生态系统服务价值的大幅度增加,造成此种现象的主要原因是农业开发使其他地类大规模的向农田转化,农田面积迅速增加,农田生态系统服务价值随之增加,增加值为 119.60 亿元,年均增加量为 2.17 亿元,贡献率至 2009 年已由 1954 年的 1.34% 上升至 32.67%,在一定程度上弥补了生态系统服务价值的损失。三江平原北部地区现是我国重要的商品粮生产基地,该地区对于保证我国粮食安全有重要的作用,然而长期的农业生产活动对于区域环境仍带来了巨大的压力^[26]。

表 3 1954—2009 年各生态系统服务价值及变化量/(单位:10⁸元)

Table 3 Change in values of ecosystem services in 1954, 1976, 1996 and 2009

| 年份 Year | 指标 Index | 林地 Forest | 草地 Grassland | 农田 Farmland | 湿地 Wetland | 水域 Water | 未利用地 Unused land | 总价值 Total value |
|--|-------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|-------------|---------------------|--------------------|
| 1954 | ESV | 164.71 | 22.55 | 16.06 | 946.93 | 44.52 | 0.00 | 1194.76 |
| | 贡献率 | 13.79% | 1.89% | 1.34% | 79.26% | 3.73% | 0.00% | |
| 1976 | ESV | 162.65 | 25.00 | 47.39 | 644.41 | 37.67 | 0.00 | 917.11 |
| | 贡献率 | 17.74% | 2.73% | 5.17% | 70.27% | 4.11% | 0.00% | |
| 1996 | ESV | 183.40 | 4.42 | 96.88 | 268.78 | 64.88 | 0.00 | 618.35 |
| | 贡献率 | 29.66% | 0.71% | 15.67% | 43.47% | 10.49% | 0.00% | |
| 2009 | ESV | 122.84 | 4.35 | 135.66 | 90.88 | 61.52 | 0.00 | 415.25 |
| | 贡献率 | 29.58% | 1.05% | 32.67% | 21.89% | 14.82% | 0.00% | |
| 1954—2009 年变化量 Value change from 1954 to 2009 | | -41.87 | -18.20 | 119.60 | -856.04 | 17.00 | 0.00 | -779.51 |
| 1954—2009 年均变化量 Annual value change from 1954 to 2009 | | -0.76 | -0.33 | 2.17 | -15.56 | 0.31 | 0.00 | -14.17 |

ESV: Ecosystem Service Value

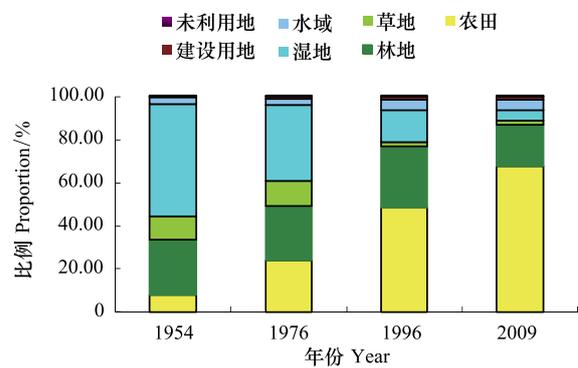


图 2 1954—2009 年三江平原北部地区土地利用结构

Fig.2 Land Use Structure Comparison Chart in the Northern Sanjiang Plain from 1949 to 2009

从生态系统各种功能的价值总额来看(表4),55年间生态系统各种功能的价值量均有变化,总体趋势是:除食物生产功能的功能价值增加外,其余功能的功能价值均在不同程度的减少。三江平原突出的生态系统服务功能是水源涵养,废物处理和气候调节,这三项功能的价值量在55年间减少甚多,分别减少201.81亿元,218.87亿元,225.29亿元,整个研究区域内土壤形成与保护和原材料生产功能的价值量减少幅度相对较小。

三江平原北部地区湿地具有较高的生态系统服务价值,对于调节区域气候、降水及湿度等以及维持区域的生物多样性具有重要的作用,研究期内湿地大面积的开垦为农田使气候调节功能大幅度降低、生物多样性因湿地生境的破碎遭到弱化,生物资源也因人类活动的加剧而出现衰退^[26],致使湿地所提供的生态系统服务功能(气候调节、废物处理、水源涵养、娱乐文化)的价值量损失较大。由于食物生产价值系数最高的农田面积持续增加,食物生产功能的价值量因此增加12.30亿元。同时,大面积的林地被砍伐及部分与草地向农田的转化使二者提供的生态系统服务功能(原材料生产和气体调节)也受到影响而减少。总体看来,三江平原北部地区生态系统服务功能在55年间退化较严重,在求得经济价值的同时要注重生态价值的提高与维护,力求经济效益、社会效益和环境效益的“三效”合一。

表4 1954—2009年生态系统服务功能价值量/(单位:10⁸元)

Table 4 Ecosystem services values of different function from 1949 to 2009

| 年份 Year | 食物生产 Food production | 原材料生产 Raw material | 气体调节 Gas regulation | 气候调节 Climate regulation | 水源涵养 Water conservation | 废物处理 Waste treatment | 土壤形成 与保护 Soil formation and protection | 生物多样性 保护 Biodiversity conservation | 娱乐文化 Entertainment culture |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------------------|
| 1954 | 8.64 | 21.05 | 57.22 | 283.88 | 281.79 | 309.89 | 42.31 | 69.78 | 97.80 |
| 1976 | 11.80 | 20.94 | 50.74 | 205.40 | 206.67 | 227.24 | 40.71 | 60.63 | 70.32 |
| 1996 | 16.42 | 23.57 | 44.69 | 110.86 | 132.05 | 139.59 | 38.47 | 52.35 | 41.23 |
| 2009 | 20.94 | 16.72 | 32.58 | 58.59 | 79.99 | 91.03 | 33.50 | 39.88 | 21.27 |
| 价值变化量 Value change | 12.30 | -4.33 | -24.64 | -225.29 | -201.80 | -218.86 | -8.81 | -29.90 | -76.53 |

3.3 生态系统服务价值空间变化分析

1954—2009年的55年间,三江平原北部地区各市县的土地利用数量与结构均发生了较大的变化,各市县生态系统服务价值也发生了较大的变化,且不同市县之间变化情况也不相同(图3)。

各市县的生态系统服务价值是单位面积生态系统服务价值与行政面积的乘积,因此本文主要分析1954—2009年各市县单位面积生态系统服务价值的变化。根据1954—2009年间各市县单位面积生态系统服务价值变化量的特点,在Arcgis中采用Natural Breaks(Jenks)方法将三江平原北部地区分为三类(图3):高损失区、中损失区和低损失区。各市县单位面积生态系统服务价值均处于不同程度的减少,说明生态系统受到了破坏,生态环境恶化,应加大保护力度。

各市县所处损失区域的不同,主要是各市县各土地利用类型面积比重变化量不同造成的。湿地、林地面积比重下降幅度大、农田面积比重上升幅度大的区域,其单位面积生态系统服务价值损失量也较大。由图3可知,高损失区主要包括富锦市和同江市,这类区域内农田面积比重大幅度的增加且其他地类面积比重均不同程度的减小,尤以湿地面积比重下降显著,分别下降63.18%和67.62%,而湿地、林地、草地单位面积生态系统服务价值较大,农田单位面积生态系统服务价值较少,农田面积的增加不足以弥补区域内湿地、林地以及草地面积的减少所引起的生态系统服务价值的减少,研究期末因其农田比重过大而导致单位面积生态系统服务价值较小,该区域研究期内单位面积生态系统服务价值损失量显著。低损失区主要包括绥滨县、宝清县和饶河县,这类区域的主要特点是虽然农田面积扩张明显,但是湿地、草地等生态系统服务价值系数高的地类面积比重下降的相对较小,至2009年宝清县林地比重34%和湿地比重6%、饶河县林地比重48%和湿地比重5%

均相对较大,致使区域内其单位面积生态系统服务价值相对较大,单位面积生态系统服务价值损失程度较低。

4 结论与讨论

(1) 1954—2009 年间三江平原北部地区的不同土地利用类型面积变化显著,主要景观类型由湿地转变为农田,其中农田、建设用地、水域面积呈增加趋势,湿地、林地、草地面积呈减少趋势,经济的发展、机械化程度的提高、人口数量的增加及保证粮食的增产是土地利用变化的主要驱动因素。这与三江平原北部地区成为我国重要的粮食生产基地相符。剧烈的土地利用变化使 1954—2009 年三江平原北部地区生态系统服务价值整体呈减少趋势,农田、水域生态系统服务价值呈增加趋势,湿地、林地和草地生态系统服务价值呈减少趋势,研究对象突出的气候调节、水源涵养及废物处理功能的价值量也大幅下降,长期的土地垦殖造成的湿地、林地大面积向农田的转化是生态系统服务价值减少的主要原因。

(2) 本文利用现有资料和数据,对三江平原北部地区生态系统服务价值进行了动态的估算,直观的揭示和反映了研究区生态系统服务功能的动态演变及时空变化的特点,对区域生态系统的保护和环境质量的提高有重要的指导意义。但是本文存在一定的局限性:一是在研究过程中对单位面积生态系统服务价值进行估算时仅采用 9 种评价因子,且忽略了建设用地的生态系统服务价值;二是三江平原北部地区是我国水稻的重要产区,水田与旱地交错分布,由于作物种类等性质的不同,两者生态系统服务价值系数也有较大差异,本文在进行生态系统服务价值评估时没有将水田与旱田的生态系统服务价值系数进行单独的估算,可能造成对研究区生态系统服务价值的低估,以后将在此方面展开进一步深入的研究。

(3) 由于三江平原北部地区存在着三江湿地、七星河湿地及洪湖湿地等大量的沼泽湿地,其对整个东北地区乃至全国的生态安全都有着重要的影响,因此其生态系统服务价值的下降趋势必须引起当地政府的高度重视。各市县当地政府应加强土地管理,制定合理的土地利用规划,同时对长期从事农业生产所带来的相关土壤污染、水污染等一系列问题加以重视,加大力度保护湿地,加重处罚措施严禁湿地向农田的转化,应努力寻找粮食生产的经济效益与湿地的生态效益之间的平衡点,恢复与提高区域内生态功能,争取达到经济效益、社会效益、生态效益的有效统一。

参考文献 (References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [2] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-23
- [3] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [4] 孙新章, 谢高地, 成升魁, 肖玉, 鲁春霞. 中国农田生产系统土壤保持功能及其经济价值. 水土保持学报, 2005, 19(4): 156-159
- [5] 石培礼, 李文华, 何维明, 谢高地. 川西天然林生态服务功能的经济价值. 山地学报, 2002, 20(1): 75-79.
- [6] 王晓学, 沈会涛, 李叙勇, 景峰. 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法. 生态学报, 2013, 33(4): 1019-1030.
- [7] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [8] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯, 王瑞杰, 徐斌, 卢琦. 中国草地生态系统服务功能价值遥感估算研究. 自然资源学报, 2007, 22(2): 161-170.
- [9] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究. 草业学报, 2011, 20(1): 167-174.

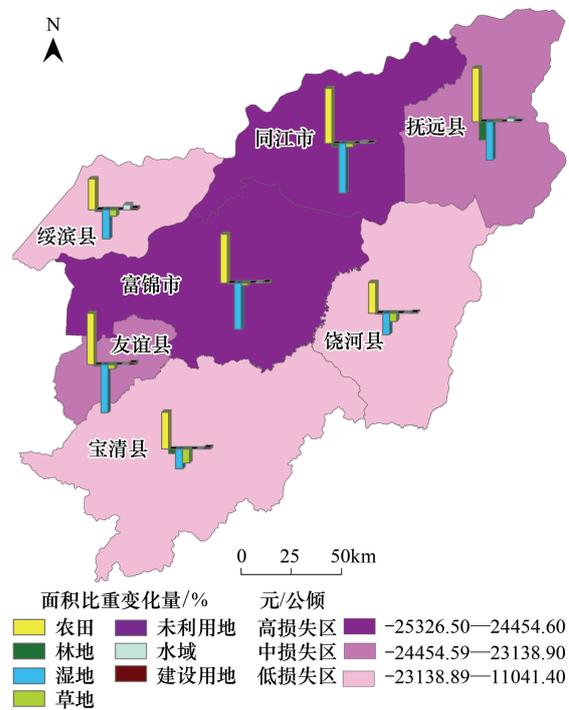


图 3 1954—2009 年各市县单位面积生态系统服务价值变化量图
Fig.3 The change of Ecosystem services value per unit area of every city in Northern Sanjiang Plain from 1954 to 2009

- [10] 张振明, 刘俊国, 申碧峰, 刘培斌, 魏炜, 高鹏杰, 张艺. 永定河(北京段)河流生态系统服务价值评估. 环境科学学报, 2011, 31(9): 1851-1857.
- [11] 杨丽, 谢高地, 甄霖, 冷允法, 郭广猛. 泾河流域土地利用格局的时空变化分析. 资源科学, 2005, 27(4): 26-32.
- [12] 薛振山, 姜明, 吕宪国, 刘晓辉, 赵登宇. 农业开发对生态系统服务价值的影响——以三江平原浓江—别拉洪河中下游区域为例. 湿地科学, 2012, 10(1): 40-45.
- [13] 张苗苗. 三江平原的农业开发对区域生态环境影响的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2007
- [14] 赵亮, 刘吉平, 田学智. 近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化. 生态学报, 2013, 33(10): 3169-3176.
- [15] 刘殿伟. 过去 50 年三江平原土地利用/覆被变化的时空特征与环境效应 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [16] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [17] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [18] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [19] 郭娜, 刘剑秋. 植物生物量研究概述(综述). 亚热带植物科学, 2011, 40(2): 83-88.
- [20] 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估算模型. 科学通报, 1993, 38(15): 1422-1426.
- [21] 王宗明, 梁银丽. 植被净第一性生产力模型研究进展. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 104-107.
- [22] 张宪洲. 我国自然植被净第一性生产力的估算与分布. 自然资源. 1993, (1): 15-21.
- [23] Lieth H, Box E O X. Evapotranspiration and primary productivity: C. W. Thornthwaite memorial model. Publications in Climatology, 1972, 25(2): 37-46.
- [24] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 张柏, 张树清, 李方, 任春颖, 金翠, 杨婷, 张春华. 1954—2005 年三江平原沼泽湿地农田化过程研究. 湿地科学, 2009, 7(3): 208-217.
- [25] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 张柏, 金翠, 李方, 刘焕军. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力. 地理学报, 2008, 63(1): 93-104.
- [26] 孙志高, 刘景双, 秦泗刚, 李新华, 李彬, 杨继松. 三江平原湿地农业开发的生态环境问题与区域可持续发展. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 55-60.