

DOI: 10.5846/stxb201605180962

罗维, 易海杰, 李红举, 贾文涛, 冯兆忠. 洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响. 生态学报, 2017, 37(16): 5342-5351.

Luo W, Yi H J, Li H J, Jia W T, Feng Z Z. Temporal and spatial variation of land use and their influence on ecosystem service function values in the Yanghe Watershed, China. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16): 5342-5351.

洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响

罗 维^{1,*}, 易海杰¹, 李红举², 贾文涛², 冯兆忠¹

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 国土资源部土地整理中心, 北京 100035

摘要: 洋河流域位于我国北方典型的农牧交错地带, 是首都重要水源涵养地和生态保护屏障, 也是 2022 年冬奥会举办地之一。对流域土地利用变化及其生态服务功能价值影响的研究可为首都水源保护以及冬奥会场地环境质量的改善提供重要理论依据和决策支持。利用 ArcGIS 技术分析了洋河流域 1990—2013 年间的土地遥感数据, 估算了这些变化对流域生态服务价值的影响。结果表明: 1990—2013 年洋河流域林地和未利用地面积呈增加, 而水域、草地则呈减少的趋势。由单一土地类型利用动态绝对值说明, 除林地以外 2000—2013 年洋河流域其他土地类型受人类或自然环境变化的影响明显高于 1990—2000 年。土地转移主要发生在流域西部的兴和县、阳高县、天镇县和下游的张家口市、宣化县和怀来县。近年来流域土地面积变化幅度和变化范围均增加。1990—2013 年间洋河流域土地利用的年总生态服务价值经历先增加后减小、总体减少的过程, 但林地和未利用地的生态服务价值却一直增加。由于林地面积增加从而导致 1990—2013 年流域的原材料生产、气候调节、气体调节、生物多样性保护和提供美学景观生态功能占年总价值的比值增加。林地、草地和耕地是洋河流域生态服务的主要贡献者, 也是生态服务价值变化的敏感因子。

关键词: 农牧交错带; 水源地; 生态服务功能; 价值评估; 土地利用变化

Temporal and spatial variation of land use and their influence on ecosystem service function values in the Yanghe Watershed, China

LUO Wei^{1,*}, YI Haijie¹, LI Hongju², JIA Wentao², FENG Zhaozhong¹

1 State key laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Land Consolidation and Rehabilitation Center Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China

Abstract: The Yanghe Watershed is located in a typical farming pastoral zone of North China. It is an important water-source conservation site and an ecological protection barrier for Beijing. Furthermore, the 2022 Winter Olympic Games will be held in Zhangjiakou City, which is a key region of the Yanghe Watershed. A study of land use changes and their ecosystem service-function values of the watershed can provide important theories for effective decision-making regarding water resource protection and environmental quality improvement in fields of the areas where the games will be held. ArcGIS was used to analyze remote sensing data of land-use changes that occurred within the Yanghe Watershed from 1990 to 2013, and ecosystem service-function values of the lands were estimated. The results showed that forest and unused lands within the watershed increased, whereas grassland and aquatic areas decreased during the study period. Based on absolute values of the changing rate of a single land-use type, apart from forestland, the other land-use types were more greatly affected by

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571479, 41271502, C031001); 国土资源部土地整理中心外协项目: 土地整治工程的生态效益评价研究 (2017-20)

收稿日期: 2016-05-18; **网络出版日期:** 2017-03-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luow@rcees.ac.cn

human or natural changes in 2000—2013 than in 1990—2000. Land transfers mainly occurred in Xihe, Yanggao, Tianzhen, Xuanhua, and Huailia Counties, and the land change degree and distribution increased in recent years. The annual value of total ecosystem service functions of the lands increased during 1990—2000 and decreased during 2000—2013; however, overall it decreased from 1990 to 2013. Service function values of grassland, aquatic areas, and farmland decreased, whereas that of forest and unused land increased during 1990—2013. Percentages of values of raw material production, climate regulation, air conditioning, biodiversity conservation, and esthetic landscape increased owing to increases of forestland within the watershed during the study period. Forest-, grass-, and farmlands were not only the main contributors but also sensitive factors to ecosystem service function values of the lands within the Yanghe Watershed from 1990 to 2013.

Key Words: farming pastoral zone; water source site; ecosystem service function; value estimation; land use change

土地利用变化改变土地原有的生态服务价值和功能^[1-2], 深入研究土地利用时空格局变化及其对生态服务价值及功能的影响可揭示土地利用对人类活动程度的响应, 对于理解人与自然的的关系具有重要的意义。我国经济的快速发展和人口的迅速增长^[3-4], 已使土地利用结构和生态服务价值发生显著变化^[5-6], 倍受国内外学者的高度关注^[7-10]。我国北方农牧交错带是一条生态脆弱的过渡带和生态安全屏障带, 也是以生态保护为主体功能的限制性开发区, 具有独特的地理分布格局和土地利用变化过程, 已成为研究的热点^[1, 11]。流域是跨区联系密切、生态关联性很高的有机整体, 以流域为完整研究单元研究我国北方农牧交错带土地利用及其对生态服务功能价值的影响将更具系统性和挑战性。近年来我国北方农牧交错带内大多数流域的土地利用和生态服务价值已发生剧烈变化, 利用土地利用变化速度指数、生态服务价值指数、生态价值贡献率指数和敏感性指数揭示带内典型流域的长时间序列土地利用变化及其生态服务功能价值的影响对于指导我国北方农牧交错带流域土地资源开发利用和生态环境保护将具有重要的理论意义和现实价值。

洋河流域是我国北方农牧交错带的典型流域, 是首都北京重要的水源保护地和生态保护屏障, 对京津冀大都市圈的生态环境保护具有很重要的地位和作用^[12]。目前已有学者对洋河流域部分河段的土地利用变化进行了初步研究^[6, 13-16], 但是对整个流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值影响的研究仍相当匮乏, 这不利于指导整个区域的协调发展。另外, 随着洋河流域的张家口市与北京市联合举办 2022 年冬奥会筹备工作的逐步展开, 国家将对北京-张家口市的原有土地利用格局做出重大调整; 充分理解洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务价值和功能的影响可为冬奥会场地生态环境的合理规划建设提供重要参考。本文以遥感解译数据为基础, 对整个洋河流域长时间序列(1990—2013 年)土地利用格局和过程的变化及其生态系统服务功能价值的影响进行深入地研究, 以期为我国北方农牧交错带流域土地资源的合理利用与管理、为 2022 年北京-张家口冬奥会场地的生态环境保护、甚至整个京津冀大都市圈的可持续发展提供重要的理论依据和决策支持。

1 研究区域概况

洋河流域地处我国北方西部草原牧区和东部农耕区之间的农牧交错地带, 其经纬度 113°29'32"E—115°43'40"E, 39°59'42"N—41°15'3"N 之间, 流域西起内蒙古自治区和山西省, 由西北向东南流入河北省境内, 在张家口市的怀来县与桑干河一起汇入永定河, 最终注入北京官厅水库, 属于永定河支流。洋河干流全长约 262 km, 流域总面积 $1.62 \times 10^4 \text{ km}^2$, 沿途经过内蒙古自治区乌兰察布市的兴和县(1 个县)、山西省大同市阳高县和天镇县(2 个县)与河北省张家口市(1 个县)及其管辖 8 个县(图 1)。

2 数据来源和研究方法

2.1 洋河流域土地利用数据来源及分析

1990、2000 和 2013 年洋河流域土地利用数据采用中国科学院资源环境数据中心提供的 1:10 万土地利用

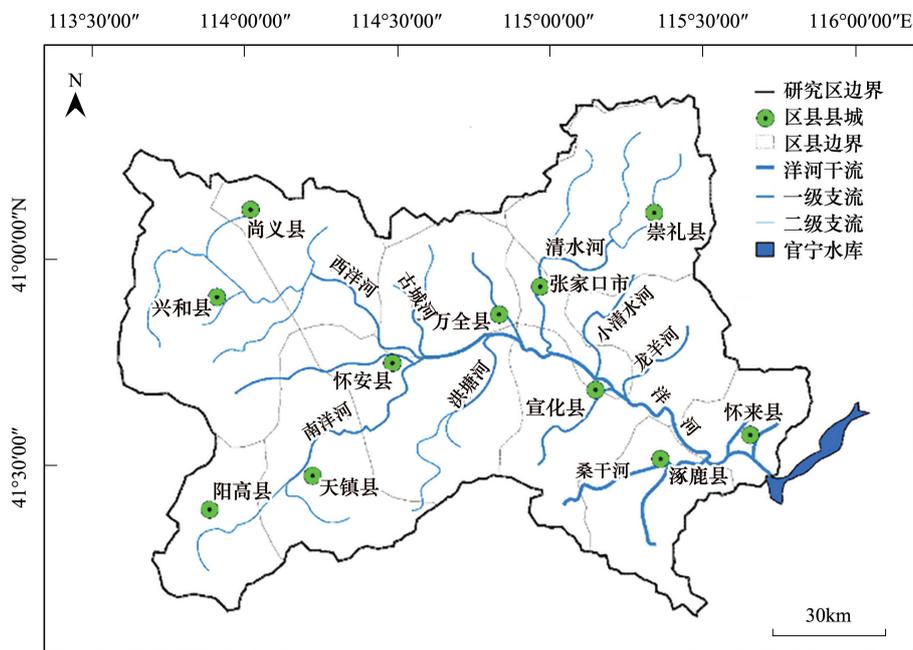


图1 洋河流域地理位置

Fig.1 Map of the Yanghe Watershed, China

数字化地图,并结合相应时段美国陆地卫星 Landsat TM 数字影像进行检查和校正。参照中国科学院资源环境数据中心土地分类系统,结合洋河流域土地利用类型特点,将研究区土地类型分为6个一级类型:耕地、林地、草地、水域、城镇用地、工矿用地和未利用地。为保证获取数据的解译质量和一致性,利用GPS在野外对洋河流域土地利用解译结果进行了选点验证,统计各土地利用类型的解译精度均在85%以上。根据数字地图和高程(DEM)数据,利用ArcGIS 10.2对1990、2000和2013年洋河流域土地数据进行分析。

2.2 洋河流域不同土地的生态服务功能价值

2.2.1 生态服务价值变化

根据生态服务价值功能的估算方法^[11],其计算公式如下:

$$ESV_K = \sum_{F=1}^9 A_K \times V_{VC_{KF}} \quad (1)$$

$$ESV_F = \sum_{K=1}^6 A_K \times V_{VC_{KF}} \quad (2)$$

$$ESV = \sum_{K=1}^6 \sum_{F=1}^9 A_K \times V_{VC_{KF}} \quad (3)$$

式中, ESV_K 表示土地类型 K 的生态服务价值(百元),本研究中6种土地利用类型分别为:耕地 $K=1$ 、林地 $K=2$ 、草地 $K=3$ 、水域 $K=4$ 、未利用地 $K=5$ 、城镇工矿用地 $K=6$ 。由于城镇工矿用地的生态服务价值系数为零^[17,18],因而未参与本文生态服务价值的计算。 ESV_F 代表生态服务功能 F 的服务价值(百元), ESV 代表流域生态服务总价值(百元), A_K 表示 K 类土地的面积(km^2), $V_{VC_{KF}}$ 表示 K 类土地的 F 种生态服务功能的价值系数(百元 $\text{km}^{-2} \text{a}^{-1}$),本研究涉及9种生态服务功能,分别是食物生产 $F=1$,原材料生产 $F=2$,气体调节 $F=3$,气候调节 $F=4$,水源涵养 $F=5$,废物处理 $F=6$,土壤形成与保护 $F=7$,生物多样性保护 $F=8$,提供美学景观 $F=9$ 。利用平均加权法求得洋河流域生态服务价值的修正系数:山西为0.46、内蒙为0.44、河北为1.02,因而整个洋河流域修正系数0.778^[17-18],结合谢高地等对全国土地生态功能服务价值系数的研究^[17-18],得到洋河流域的生态服务价值系数如表1所示。

表 1 洋河流域生态系统服务价值系数 ($V_{VC_{KF}}$)

Table 1 Coefficients for evaluation of ecosystem service-function values within the Yanghe Watershed

一级服务功能 First level service function	二级服务功能 Second level service function	耕地 Farm land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water area	未利用地 Unused land
供给服务 Supply service	食物生产/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	349.329	115.276	150.209	185.142	6.985
	原材料生产/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	136.239	1041.003	125.762	122.269	13.97
调节服务 Regulating service	气体调节/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	251.516	1509.102	523.994	178.157	20.963
	气候调节/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	338.852	1421.773	544.957	719.622	45.41
	水源涵养/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	268.986	1428.758	530.979	6556.915	24.455
	废物处理/(百元 km ⁻² a ⁻¹)	485.569	600.845	461.113	5187.546	90.829
支持服务 Support services	土壤形成与保护/ (百元 km ⁻² a ⁻¹)	513.517	1404.303	782.495	143.224	59.388
	生物多样性保护/ (百元 km ⁻² a ⁻¹)	356.314	1575.475	653.248	1198.198	139.732
文化服务 Cultural Service	提供美学景观/ (百元 km ⁻² a ⁻¹)	59.388	726.607	303.919	1551.019	83.836
合计 Total		2759.71	9823.142	4076.677	15842.093	485.569

2.2.2 生态贡献率

分析 1990—2000, 2000—2013, 1990—2013 年 3 个时期洋河流域各类土地的生态贡献率, 可以确定流域生态服务价值的主要贡献因子和敏感因子。生态贡献率计算公式如下^[19]:

$$S_{KT} = \frac{|\Delta ESV_{KT}|}{\sum_{K=1}^6 |\Delta ESV_{KT}|} \times 100\% \quad (4)$$

式中, S_{KT} 表示 K 类土地在时间段 T 的生态服务贡献率 (%); ΔESV_{KT} 表示 K 类土地在时间段 T 内的生态服务价值变化量 (万元)。

2.2.3 敏感性

用敏感性指数 (C_{CS}) 表征生态服务价值随时间变化对价值指数变化的依赖程度^[20-23], 若 $C_{CS} > 1$, 说明研究区域内的生态服务价值 ESV 对 C_{CS} 富有弹性; 如果 $C_{CS} < 1$, 则不富有弹性, 说明价值系数适合研究区域。 C_{CS} 越大, 表明准确性越关键。本文在洋河流域生态服务价值系数基础上, 上下调整 50%^[20], 其计算公式 (5) 所示^[20]:

$$C_{CS} = \frac{(ESV_J - ESV_I) / ESV_I}{(V_{VC_{KI}} - V_{VC_{KI}}) / V_{VC_{KI}}} \quad (5)$$

式中, ESV_I 和 ESV_J 表示价值系数调整前后的总价值 (万元); $V_{VC_{KI}}$ 和 $V_{VC_{KI}}$ 代表值系数调整前后 K 类土地的价值系数。

2.2.4 单一土地利用动态度

单一土地利用动态度是刻画不同土地利用类型在一定时间段内的变化速度和幅度的指标, 反映人类活动对单一土地利用类型的影响, 其公式为^[24]:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{t_1 - t_2} \quad (6)$$

式中, k 值为 t_1 到 t_2 时段内某土地利用类型动态度 (%), u_a 、 u_b 为研究初期 t_1 及研究末期 t_2 某类型土地面积 (km²), t_1 为 1990 和 2000 年, t_2 为 2000 和 2013 年。

3 结果与分析

3.1 洋河流域土地利用的时空演变

1990、2000 和 2013 年洋河流域的土地面积变化如表 2 所示。洋河流域土地主要类型以耕地、林地和草地为主,分别占总面积的 43%, 33% 和 17% 以上,与中国北方农牧交错带其他地区的主要土地类型基本一致^[24-25]。1990—2013 年洋河流域的耕地、草地和水域面积减少,林地、未利用地面和城镇工矿用地面积增加,城镇工矿用地变化幅度相对较大,这可能与 2013 年洋河流域核心区域张家口市的均 GDP 比 1990 年增加 35.252 万元,人口增长 23.62 万^[26],耕地被大量建设成住宅和公共设施有关^[3-4];该结论与其他研究相类似。另外,北方的退耕还林还草政策^[27-28]是导致洋河流域耕地减少,林地增加的原因之一。

表 2 1990—2013 年期间洋河流域各土地利用类型面积和占总面积的百分比

Table 2 Area of different land use and its percentage to the total area of all lands with the Yanghe Watershed during 1990—2013

年份 Year	耕地 Farm land		林地 Forest land		草地 Grass land		水域 Water area		未利用地 Unused land		城镇工矿用地 Urban, industrial and mining land	
	面积/ km ²	百分 比/%	面积/ km ²	百分 比/%								
1990	7018	43.97	2716	17.02	5448	34.13	257.7	1.614	76.37	0.478	443.8	2.781
2000	7026	43.89	2743	17.14	5443	34	256.9	1.605	76.25	0.476	463.4	2.895
2013	6939	43.52	2721	17.07	5427	34.04	254.9	1.598	78.86	0.495	524.9	3.292

土地的转移情况如图 2 所示,土地的转移主要发生在耕地、林地和草地之间。1990—2000 年耕地的转出主要发生在阳高县和天镇县的上游和洋河的张家口河段,在阳高县和天镇县主要是耕地转化成林地和草地,而在洋河的张家口段主要是转化为城镇工矿用地;林地和草地的转移主要发生在阳高县、天镇县和尚义县和兴和县,在阳高县、天镇县林地主要向耕地转移,其次是草地,在兴和县主要向草地转移;草地主要向耕地转移(图 2)。2000—2013 年兴和县发生大面积的耕地转移,在阳高县、天镇县和兴和县耕地主要转化为林地、草地、其次是城镇工矿用地,在洋河中下游张家口市、宣化县和怀来县耕地主要转向城镇工矿用地;在小清水河上游林地向草地转移。草地在兴和县主要转向耕地,在清水河的张家口市主要转向城镇工矿用地(图 2)。不同时期尚义县、阳高县和天镇县土地主要在林地、草地和耕地之间转移,在张家口市和宣化县主要由其他用地向城镇工矿用地转移(图 2)。不同时期洋河流域的土地变化主要发生在兴和县、阳高县、天镇县和张家口市,但是 2000—2013 年比 1990—2000 年的土地变化范围更大(图 2)。

1990—2013 年洋河流域各市县不同土地利用类型面积的变化如表 3 所示,张北县和尚义县的耕地略有增加;其他县均在减少,减少最多的是阳高县和张家口市,这是由于旱地的减少所致^[14]。万全县、兴和县和阳高县的林地面积增加,增加最大的是阳高县。兴和县、天镇县和怀安县的草地增加,其中兴和县增加最大。兴和县、阳高县和张家口市的水域面积减少,其他县市增加。未利用地的面积变化主要集中在城镇工矿用地面积较大的怀来县、怀安县、张家口市、天镇县和阳高县。每个县市的城镇工矿用地面积都在增加,增加最快的是张家口市,其次是怀来县和宣化县。不同时期耕地、草地、水域、未利用地和城镇工矿用地的面积变化幅度为:2000—2013 年>1990—2000 年,而在城镇面积较大的张家口市、阳高县、宣化县和崇礼县的林地面积变化幅度为:2000—2013>1990—2000,其他县市则相反,这主要是由于 2000 年后我国北方实施的退耕还林还草所致^[15]。

3.2 洋河流域土地利用类型变化的速度

1990—2013 年间洋河流域单一土地利用类型变化的速度(动态度) k 由大到小分别为:城镇工矿用地>林地>水域>未利用地>耕地>草地(表 4)。2000—2013 年间流域城镇工矿用地的 k 最大,其次是未利用地。除林地以外,2000—2013 年其他单一土地利用动态度 k 的绝对值均高于 1990—2000 年,说明该时段洋河流域大多数土地类型明显受人类或自然环境变化的影响。

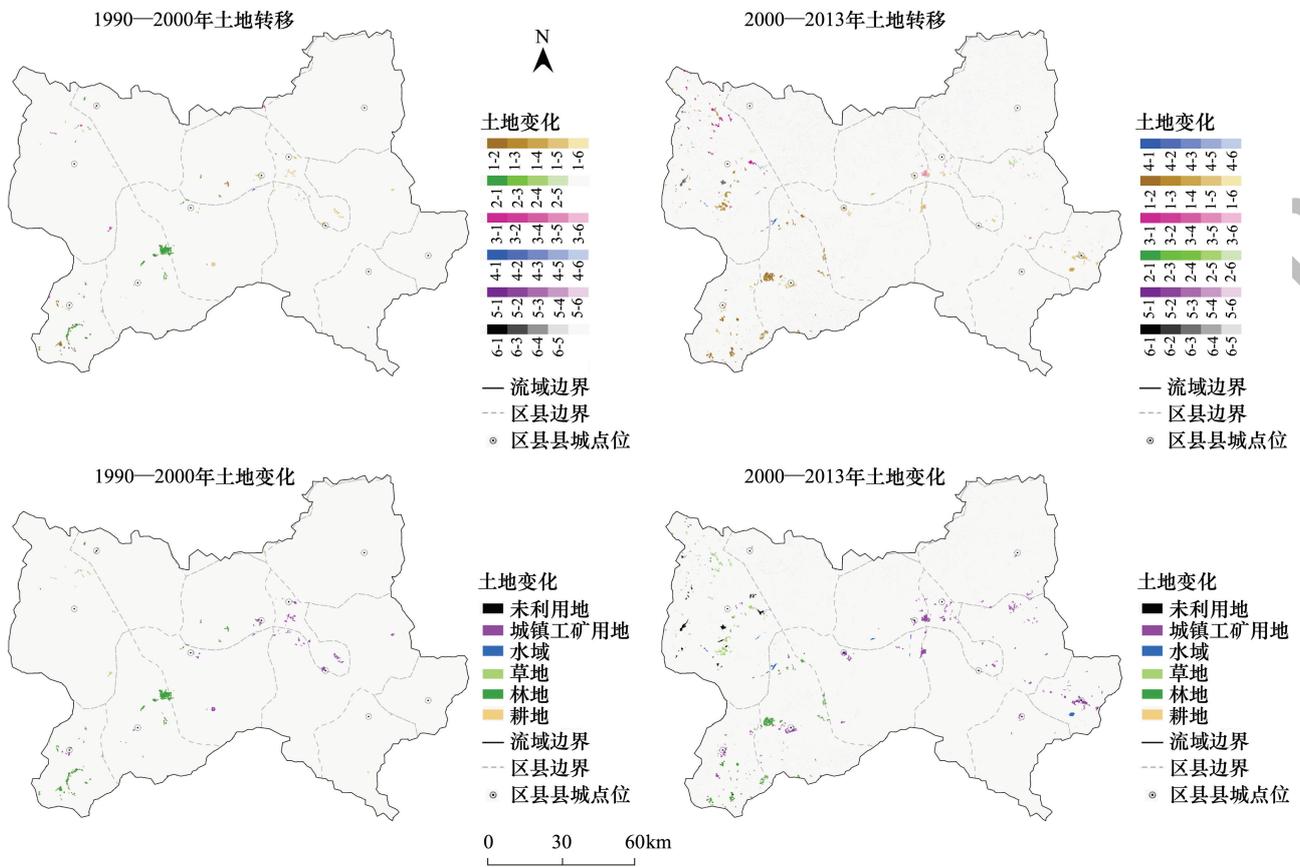


图2 不同时期洋河流域土地转移和变化分布,

Fig.2 Distribution of land transfer and change at different time within the Yanghe Watershed, China

1:耕地, 2:林地, 3:草地, 4:水域, 5:城镇工矿用地, 6:未利用地

表3 1990—2013年洋河流域各县市不同土地类型面积变化

Table 3 Area of different land use in different county or city of the Yanghe Watershed during 1990—2013

县市 County/City	年份 Year	耕地/km ² Farm land	林地/km ² Forest land	草地/km ² Grass land	水域/km ² Water area	未利用地 /km ² Unused land	城镇工矿用地/km ² Urban, industrial and mining land
崇礼县	1990—2000	0	-0.001	0.002	0	0	0
	2000—2013	-0.822	-1.096	-0.772	0.018	0	2.673
	1990—2013	-0.822	-1.097	-0.77	0.018	0	2.673
怀安县	1990—2000	-1.686	-1.177	0.197	-0.385	0	3.051
	2000—2013	-8.653	0.397	-0.147	0.776	-0.004	7.629
	1990—2013	-10.339	-0.779	0.051	0.39	-0.004	10.679
怀来县	1990—2000	0.012	0	0	-0.012	0	0
	2000—2013	-12.321	-0.821	-14.32	2.582	-0.002	11.673
	1990—2013	-12.309	-0.821	-14.32	2.57	-0.002	11.673
尚义县	1990—2000	0.696	-0.696	-0.601	0	0	0.602
	2000—2013	-0.486	0.048	0.077	0.036	0	0.327
	1990—2013	0.21	-0.648	-0.524	0.036	0	0.929
天镇县	1990—2000	17.961	-18.557	0	0	0	0.607
	2000—2013	-22.464	15.465	0.167	0.011	-0.353	6.844
	1990—2013	-4.503	-3.091	0.167	0.011	-0.353	7.452

续表

县市 County/City	年份 Year	耕地/km ² Farm land	林地/km ² Forest land	草地/km ² Grass land	水域/km ² Water area	未利用地 /km ² Unused land	城镇工矿用地/km ² Urban, industrial and mining land
万全县	1990—2000	-4.184	2.36	0	-0.219	0	2.043
	2000—2013	-4.283	-0.427	-3.597	0.711	0	7.596
	1990—2013	-8.467	1.933	-3.597	0.492	0	9.639
兴和县	1990—2000	1.251	1.001	-1.984	-0.15	-0.114	0.001
	2000—2013	-5.984	-0.371	7.607	-6.218	3.418	1.548
	1990—2013	-4.734	0.631	5.623	-6.369	3.304	1.548
宣化县	1990—2000	-3.137	0.001	-0.241	0	0	3.377
	2000—2013	-2.748	-2.746	-2.499	0.173	-0.001	7.82
	1990—2013	-5.885	-2.746	-2.74	0.173	-0.001	11.196
阳高县	1990—2000	3.977	-4.484	-1.134	0	0	1.639
	2000—2013	-21.975	16.112	-0.023	-0.062	-0.292	6.253
	1990—2013	-17.998	11.629	-1.157	-0.062	-0.292	7.893
张北县	1990—2000	0.685	-0.002	-0.683	0	0	0
	2000—2013	0.012	-0.008	0.01	0	-0.001	0.002
	1990—2013	0.696	-0.009	-0.673	0	-0.001	0.002
张家口市	1990—2000	-7.982	-0.002	-0.206	0	0	8.19
	2000—2013	-5.873	-0.032	-1.792	-0.043	-0.158	7.898
	1990—2013	-13.855	-0.035	-1.998	-0.043	-0.158	16.088
涿鹿县	1990—2000	0.214	48.699	-0.306	0	0	0.092
	2000—2013	-1.152	-48.703	-0.039	0.003	0	1.181
	1990—2013	-0.939	-0.004	-0.345	0.003	0	1.273

表 4 1990—2013 年洋河流域单一土地利用类型的动态度

Table 4 Changing rate of a single land-use area within the Yanghe Watershed during 1990—2013

时期(年) Year	耕地/% Farm land	林地/% Forest land	草地/% Grass land	水域/% Waters	未利用地/% Unused land	城镇工矿用地/% Urban, industrial and mining land	总面积/% Total area
1990—2000	0.011	0.100	-0.009	-0.030	-0.015	0.442	0.031
2000—2013	-0.095	-0.062	-0.022	-0.060	0.263	1.020	-0.030
1990—2013	-0.049	0.008	-0.016	-0.047	0.142	0.794	-0.004

注:负号表示面积变化是朝着减少方向进行,绝对值大小表示速度的快慢变化

3.3 生态敏感性

从 1990 年开始洋河流域林地的敏感性指数呈逐年增加的趋势,耕地的敏感性指数呈减小趋势(表 5),说明林地和耕地生态服务功能价值变化对洋河流域土地生态服务总价值具有放大和缩小效应;草地的敏感性指数先减小后增加(表 5),说明草地的价值系数变化对区域内生态服务总价值先具缩小效应而后具放大效应;水域和未利用地的敏感性指数基本不变(表 5),说明二者的价值系数变化对区域内生态服务总价值没有明显影响。1990—2013 年洋河流域各类土地的敏感度指数均小于 1(表 5),说明流域生态系统服务价值对本研究采用的价值系数缺乏弹性,本文采用的价值系数适合洋河流域的情况,计算的服务价值是可信的。

3.4 洋河流域土地利用生态服务价值变化

1990—2000 年洋河流域土地利用年度总体生态服务价值增加 2557.6 万元,增长了 0.353%,2000—2013 年减少 5504.1 万元,减少了 0.758%(表 6)。除了林地和未利用地,1990—2013 年洋河流域其他几类土地类型的生态服务价值均减少。

表 5 1990—2013 年间洋河流域各土地类型生态服务价值的敏感性指数 (C_{cs})

Table 5 Sensitivity index of ecosystem service-function values of various land uses within the Yanghe Watershed during 1990—2013

年份 Year	耕地 Farm land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water area	未利用地 Unused land
1990	0.268	0.369	0.307	0.056	0.001
2000	0.267	0.371	0.305	0.056	0.001
2013	0.266	0.371	0.307	0.056	0.001

表 6 1990—2013 年洋河流域土地利用生态服务价值 ESV 及其变化

Table 6 Ecosystem service value of land use and its change within the Yanghe Watershed during 1990—2013

研究期(年) Year	价值 Value	耕地 Farm land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Waters	未利用地 Unused land	合计 Total
1990	价值/万元	193685.6	266830.8	222086.6	40818.5	370.8	723792.3
2000	价值/万元	193901	269497	221884.6	40697.1	370.3	726350
2013	价值/万元	191507	267318.3	221259.7	40378	382.9	720845.9
1990—2000	价值变化/万元	215.4	2666.3	-202	-121.5	-0.6	2557.6
	比例/%	0.111	0.999	-0.091	-0.298	-14.9	0.353
2000—2013	价值变化/万元	-2394	-2178.8	-624.9	-319.1	12.7	-5504.1
	比例/%	-1.235	-0.808	-0.282	-0.784	341.9	-0.758
1990—2013	价值变化/万元	-2178.6	487.5	-826.9	-440.6	12.1	-2946.4
	比例/%	-1.125	0.183	-0.372	-1.079	326.5	-0.407

负号表示减小

1990—2013 年洋河流域不同县市土地的生态服务功能如表 7 所示,生态服务价值最大的是崇礼县,其次是兴和县和宣化县。1990—2013 年生态服务价值在尚义县、天镇县和阳高县的呈先减小后增大的“V”型变化,在万全县、兴和县和涿鹿县则相反。阳高县 1990—2013 年的生态服务价值增加了 587.2 万元,其他县均在减少,其中兴和县、怀来县、宣化县和张家口市减量较大,主要是由于草地和水域减少所致^[16]。

表 7 1990—2013 年间洋河流域各县市生态服务价值 ESV 及其变化(万元)

Table 7 Ecosystem service value and its changes in different county or city of the Yanghe Watershed during 1990—2013

研究期(年) Year	崇礼县	怀安县	怀来县	尚义县	天镇县	万全县	兴和县	宣化县	阳高县	张北县	张家口市	涿鹿县
1990	125711.2	67858.3	34619.1	74668.8	69972.7	44958.2	95892.6	93597.6	39352.6	6605.8	13666.4	56889.1
2000	125711.1	67643.2	34617.6	74595	68645.6	45039.9	95920.2	93501.3	38975.7	6596.7	13437.4	61666.3
2013	125552.2	67560.3	34022.2	74595.1	69551.6	44845.8	95060.2	93081.1	39939.8	6596.7	13191.6	56849.3
1990—2000	-0.1	-215.1	-1.5	-73.7	-1327.2	81.6	27.6	-96.3	-376.9	-9.1	-228.9	4777.2
2000—2013	-158.9	-82.9	-595.4	0.1	906	-194.1	-860	-420.2	964.1	0	-245.9	-4817
1990—2013	-159	-298	-596.9	-73.6	-421.2	-112.5	-832.3	-516.5	587.2	-9.1	-474.8	-39.8

负号表示减小

3.5 洋河流域各生态功能服务价值的变化

近 20 年洋河流域各项功能价值均减少,减少总量达 2946.4 万元/a,其中废物处理价值减小了 589.0 万元/年,减幅最大,其次减幅由高到低的顺序依次分别为土壤形成与保护功能价值、水源涵养功能价值和生物多样性保护价值(表 8),这种减小趋势与河北省其他地区各项生态功能价值增加的变化规律不同^[10],但与内蒙古地区变化相似^[9],可能与研究区的地理位置和生态条件等有关。1990—2013 年洋河流域的四类一级生态服务功能中调节服务功能和支持服务功能年总价值为 372547.1—375379.9 万元和 222950.3—244607.7 万元,分别占有土地年服务价值的 51%和 30%以上。1990—2013 年洋河流域的 9 种二级功能服务中,土壤形成与保护功能价值最大,其次分别是生物多样性保护、水源涵养、气候调节、气体调节、废物处理、原材料生产、

提供美学景观和粮食生产的价值。

表 8 1990—2013 年间洋河流域各生态服务功能价值 ESV 及所占百分比

Table 8 Value of an ecosystem service function and its percentage to the total value within the Yanghe Watershed during 1990—2013

一级服务功能 First level service function	二级服务功能 Second level service function	1990	2000	2013	1990—2000	2000—2013	1990—2013
		价值 Value/ 万元	价值 Value/ 万元	价值 Value/ 万元	价值变化 Change of value/%	价值变化 Change of value/%	价值变化 Change of value/%
供给服务 Supply service	食物生产	36313.8	36363.5	36008.3	49.7	-355.2	-305.5
	原材料生产	45015.9	45301.9	44931.4	286	-370.5	-84.4
调节服务 Regulating service	气体调节	87665.5	88067.4	87431.1	401.9	-636.3	-234.4
	气候调节	93978.7	94358.5	93652.4	379.8	-706.1	-326.4
	水源涵养	103527.9	103860.1	103097	332.2	-763.1	-430.9
	废物处理	88955.6	89093.9	88366.6	138.3	-727.3	-589
支持服务 Support services	土壤形成与保护	117228.7	117610	116731.8	381.3	-878.2	-496.9
	生物多样性保护	106583.9	106997.7	106218.5	413.7	-779.2	-365.4
文化服务 Cultural Service	提供美学景观	44522.3	44697.1	44408.8	174.8	-288.3	-113.5
合计 Total		723792.3	720845.9	2557.6	-5504.1	-2946.4	

3.6 洋河流域不同土地生态服务价值变化的贡献率

1990—2000 年和 2000—2013 年流域不同土地生态服务价值变化的贡献率最大的是林地和耕地,分别为 83.171% 和 43.295%。1990—2013 年耕地 (55.215%)、林地 (12.355%) 和草地 (20.957%) 的生态贡献率最大,三者之和超过 88% (表 9)。1990—2000 和 2000—2013 年两个时期耕地、林地的贡献率变化分别是 36.576% 和 43.768%,说明 1990—2013 年耕地和林地是洋河流域生态服务价值变化主要贡献因子和敏感因子。

表 9 1990—2013 年洋河流域不同土地类型生态服务价值变化的贡献率 S_{KT}

Table 9 Contribution of ecosystem service value of different land use within the Yanghe Watershed during 1990—2013

研究期 (年) Year	耕地/% Farm land	林地/% Forest land	草地/% Grass land	水域/% Water area	未利用地/% Unused land	合计/% Total
1990—2000	6.719	83.171	6.301	3.790	0.019	100
2000—2013	43.295	39.403	11.301	5.771	0.230	100
1990—2013	55.215	12.355	20.957	11.167	0.307	100

4 结论

(1) 1990—2013 年洋河流域的主要土地利用类型是林地、耕地和草地,三者占整个流域面积的 93% 以上,在该期间内耕地、草地和水域的面积减少,其中耕地减少最大,林地、未利用地和城镇工矿用地的面积增加,城镇工矿用地增幅最大;流域增加的林地主要集中于阳高县、万全县和兴和县,其他区县市的林地则减小。除林地外,2000—2013 年洋河流域其他单一土地利用类型变化的速度高于 1990—2000 年。

(2) 1990—2013 年洋河流域土地的转移主要发生在林地、耕地、草地和城镇工矿用地之间。流域西部的阳高县、天镇县、兴和县和尚义县,耕地主要向草地和林地转移,草地主要向耕地转移,林地主要向草地和耕地转移;张家口市和宣化县和怀来县的耕地主要转向城镇工矿用地。2000—2013 年流域土地面积变化幅度和变化范围皆高于 1990—2000 年,说明近年来人类活动对流域土地面积变化的影响在逐渐扩大。

(3) 1990—2013 年洋河流域土地利用的年总生态服务价值减小,耕地、草地和水域的生态服务价值呈减少趋势,林地和未利用地的生态服务价值呈增加趋势。林地生态服务价值增加主要集中于阳高县、万全县和兴和县,因为三县境内的林地面积增加。林地和耕地对洋河流域生态服务价值变化有放大和缩小效应,是主要贡献因子和敏感因子。

(4) 1990—2013 年流域各项生态服务功能价值呈 1990—2000 年增加, 2000—2013 年减小, 总体减小的趋势。洋河流域一级生态服务功能价值由大到小依次是: 调节服务功能>支持服务功能>供给服务功能>文化服务功能; 二级生态服务功能价值的顺序: 土壤形成与保护功能>生物多样性保护>水源涵养>气候调节>气体调节>废物处理>原材料生产>提供美学景观>粮食生产。

参考文献 (References):

- [1] 陈海燕, 邵全琴, 安如. 1980s—2005 年内蒙古地区生态系统服务功能价值的时空变化分析. 地球信息科学学报, 2014, 16(4): 582-591.
- [2] 元媛, 靳占忠, 刘宏娟, 谭莉梅, 刘浩杰, 刘慧涛, 张广录, 刘金铜. 河北省 38°N 生态样带生态系统服务功能时空变化. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1166-1179.
- [3] 崔晓临, 白红英, 王涛, 郭琳, 张加利. 北方农牧交错带靖边县土地利用变化及其驱动因素. 水土保持通报, 2013, 33(1): 34-38, 43-43.
- [4] 毛留喜, 宇振荣, 程序, 王利文, 刘国彬. 北方农牧交错带人口胁迫与耕地利用的相互关系. 农业工程学报, 2000, 16(4): 11-14.
- [5] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12.
- [6] 马振刚. 基于遥感技术的洋河流域土地覆被变化特征分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [7] Behrman K D, Juenger T E, Kiniry J R, Keitt T H. Spatial land use trade-offs for maintenance of biodiversity, biofuel, and agriculture. Landscape Ecology, 2015, 30(10): 1987-1999.
- [8] Michelsen O. Assessment of land use impact on biodiversity-Proposal of a new methodology exemplified with forestry operations in Norway. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13: 22-31.
- [9] Riedener E, Rusterholz H P, Baur B. Land-use abandonment owing to irrigation cessation affects the biodiversity of hay meadows in an arid mountain region. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 185: 144-152.
- [10] Trisurat Y, Alkemade R, Verburg P H. Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in northern Thailand. Environmental Management, 2010, 45(3): 626-639.
- [11] 马泉来, 高凤杰, 张志民, 韩文文, 刘洋, 单培明. 东北农林交错区土地利用景观及生态服务价值变化. 水土保持通报, 2016, 36(1): 265-273.
- [12] 李文洁. 北京市对张家口市开展生态补偿研究[D]. 保定: 河北大学, 2010.
- [13] 李黎黎, 马振刚, 王宝钧. 基于遥感和 GIS 技术的洋河流域土地利用/土地覆被变化特征分析. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6924-6926.
- [14] 郭洪峰, 许月卿, 田媛. 张家口市土地利用结构特征及其动态变化. 水土保持通报, 2013, 33(3): 259-264.
- [15] 田璐, 许月卿, 孙丕苓. 退耕还林还草工程对土地利用/覆被变化及景观格局的影响——以张家口市为例. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 205-213.
- [16] 常上, 李珊珊, 宋豫秦. 张家口市生态服务价值对土地利用变化的响应. 北京大学学报: 自然科学版, 2015, 51(6): 1149-1156.
- [17] 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.
- [18] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 鲁春霞. 我国粮食生产的生态服务价值研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.
- [19] 封建民, 郭玲霞. 陕西省神木县土地利用格局和生态服务价值变化. 水土保持通报, 2014, 34(6): 293-298.
- [20] 赵晴, 赵旭阳, 刘征. 石家庄市土地利用变化及其生态服务功能响应. 水土保持通报, 2015, 35(3): 242-249, 255-255.
- [21] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, Tangen B A, Shaffer T L, Gleason R A. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA. Ecological Economics, 2011, 70(10): 1715-1725.
- [22] 彭文甫, 樊淑云, 周介铭, 赵景峰, 杨存建. 基于遥感与 GIS 的土地利用变化对生态服务价值的影响. 中国农学通报, 2014, 30(5): 195-202.
- [23] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [24] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 罗娅, 周旭, 赵海根. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.
- [25] 张伟科, 封志明, 杨艳昭, 孙小舟, 游珍. 北方农牧交错带土地利用/覆被变化分析——以西辽河流域为例. 资源科学, 2010, 32(3): 573-579.
- [26] 张家口市统计局. 张家口经济年鉴 2014(65 年特别版). 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [27] 周德成, 赵淑清, 朱超. 退耕还林还草工程对中国北方农牧交错区土地利用/覆被变化的影响——以科尔沁左翼后旗为例. 地理科学, 2012, 32(4): 442-449.
- [28] 汪芳甜, 安萍莉, 蔡璐佳, 黄鑫鑫, 郝晋珉. 基于 RS 与 GIS 的内蒙古武川县退耕还林生态成效监测. 农业工程学报, 2015, 31(11): 269-277.