

辽宁省生态系统服务价值及粮食供需变化

任东风¹, 曹爱华¹, 杜文婧²

(1. 辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 阜新市生态空间勘测设计院有限公司, 辽宁 阜新 123099)

摘要:【目的】研究辽宁省土地利用、生态系统服务价值及生态足迹时空演变特征, 为优化辽宁省生态系统管理、提升生态质量提供科学依据。【方法】本研究借鉴和综合运用人文地理学、生态经济学、区域经济学等学科的思想, 采用定性定量相结合、空间分析法、模型法等研究方法, 以辽宁省 2000~2020 年土地利用现状为基础, 参考当量法估算生态系统服务价值, 并在此基础上通过净初级生产力开展辽宁省 14 市粮食生产格局演变及作物生态足迹研究。【结果】① 辽宁省各时期水文调节和气候调节的生态功能服务价值之和超过总生态系统服务价值的 50%, 林地和水域两者土地利用类型对辽宁省生态系统服务总价值的贡献率达 86% 以上; ② 辽宁省玉米播种面积比重始终远高于水稻和大豆, 且增长率高, 水稻和玉米播种面积呈现波动变化态势, 大豆播种面积持续降低。③ 水稻、玉米、大豆的生态足迹与其播种面积趋势大致吻合。基于生态足迹进一步计算出各市域农作物生态承载力供需平衡指数, 为粮食生产分布提供对策建议。【结论】未来辽宁省需要注重自然资源的高效利用, 加强对各类土地的保护, 使优良土地稳定发展, 被破坏的土地逐步恢复, 同时, 开发和引进尖端的设备与技术, 建立自然资源节约型土地利用体系, 在有限空间内产生最大的经济和环境效益, 以期实现经济与生态的可持续发展。

关键词: 土地利用; 生态系统服务价值; 生态足迹; 净初级生产力-能值模型; 区域可持续发展

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2023)03-0527-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2022041602

任东风, 曹爱华, 杜文婧. 辽宁省生态系统服务价值及粮食供需变化 [J]. 土壤通报, 2023, 54(3): 527-535

REN Dong-feng, CAO Ai-hua, DU Wen-jing. Ecosystem Service Value and Changes in Food Supply and Demand in Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(3): 527-535

【研究意义】全球变化背景下, 人口、资源、环境三者矛盾日益突出^[1]。生态系统赋予人类生存必须的环境基础和物质基础^[2], 具有无法估量的价值。无论经济发展多么繁荣, 都要保护好土地、空气、淡水、能量及生态功能的有效供给^[3]。对区域生态系统服务价值评价可为优化土地空间布局、制定科学的生态保护政策提供依据; 农业活动与自然环境密切相关, 粮食事关国运民生^[4], 耕地是粮食生产的关键, 是中华民族永续发展的根基, 保护耕地是粮食安全的前提; 区域的长期发展必须将环境的长期发展作为先决条件和保证^[5]。在众多评价可持续发展的方法中, 生态足迹法得到了国内外许多学者的认可和改进。

【前人研究进展】谢高地等^[6-7]人制定了符合中国国情的生态系统服务当量表, 近年来, 研究者使用 RS、GIS 等技术来研究生态系统服务的价值^[8-10], 还有学者采取多种方法对生态系统价值变化进行了归因分析^[11-14]。2000 年, 徐中民^[15]等首先借助生态

足迹模型对生态足迹进行了估算, 还有学者对生态足迹的空间变化格局规律进行研究^[16-18], 在参数计算上, 研究者提出关于净初级生产力 (NPP) 和热值的生态足迹模型, 便于获取更加真实的均衡因子^[19], 学者们还使用了足迹“深度”和“广度”创建了一个用于估计自然资本的三维生态足迹模型^[20-22]。综上, 【本研究切入点】目前学者在针对凸显研究区域的作物生态足迹模型构建方面的研究相对较少, 大多研究集中在水足迹、碳足迹以及耕地足迹^[23];

辽宁省作为中国 13 个粮食主产区之一, 是连接东北经济区和渤海经济区的重要纽带, 它也是中国东北地区最具潜力的商品粮食基地和主要的粮食生产区。基于此, 【拟解决的问题】本文以 2000~2020 年辽宁省 14 市作为研究对象, 通过统计区域实际情况, 修正各生态系统的服务价值系数, 估算出各地类和各生态功能的生态系统服务价值, 另一方面, 定量研究土地利用对区域生态系统的影响, 有助于优化土地利用模式, 改善生态系统质量, 并为

收稿日期: 2022-04-16; 修订日期: 2022-08-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51974144) 资助

作者简介: 任东风 (1978-), 男, 辽宁阜新, 博士, 副教授, 主要从事专题地理信息系统开发方面的研究。E-mail: 35536203@qq.com

区域的长期发展提供指导。其中,生态足迹中产量因子参数的赋值,选取研究区的平均生产力代替全球平均生产力,更符合实际,研究粮食生产的时空演化及其生态印记,有助于改善粮食生产的结构,这是农业长期发展的关键。

1 研究区概况

辽宁省位于中国东北地区的南部,范围大致为 $118^{\circ}53' \sim 125^{\circ}46' E$ 和 $38^{\circ}43' \sim 43^{\circ}26' N$ ^[24],南侧与黄海和渤海相邻(图 1a),东北侧与吉林省相邻,东

南侧与朝鲜民主主义人民共和国隔鸭绿江相望,西北侧与内蒙古自治区相邻,西南侧与河北省相邻;地势北高南低,东西部分高,中心部分低,中部为东北向西南缓慢倾斜的长方形平原,面积约占全省总面积的 1/3;省内年均气温东北部较低,西南部较高,年均降水量范围在 600 ~ 1100 mm 之间^[25];辽河为辽宁省最大河流,全长 1340 km;2020 年辽宁省总人口约 4165.9 万,是东北三省人口数量最多的省份,平原和沿海城市人口数量较多,山区、内陆城市人口数量相对较少(图 1b)。

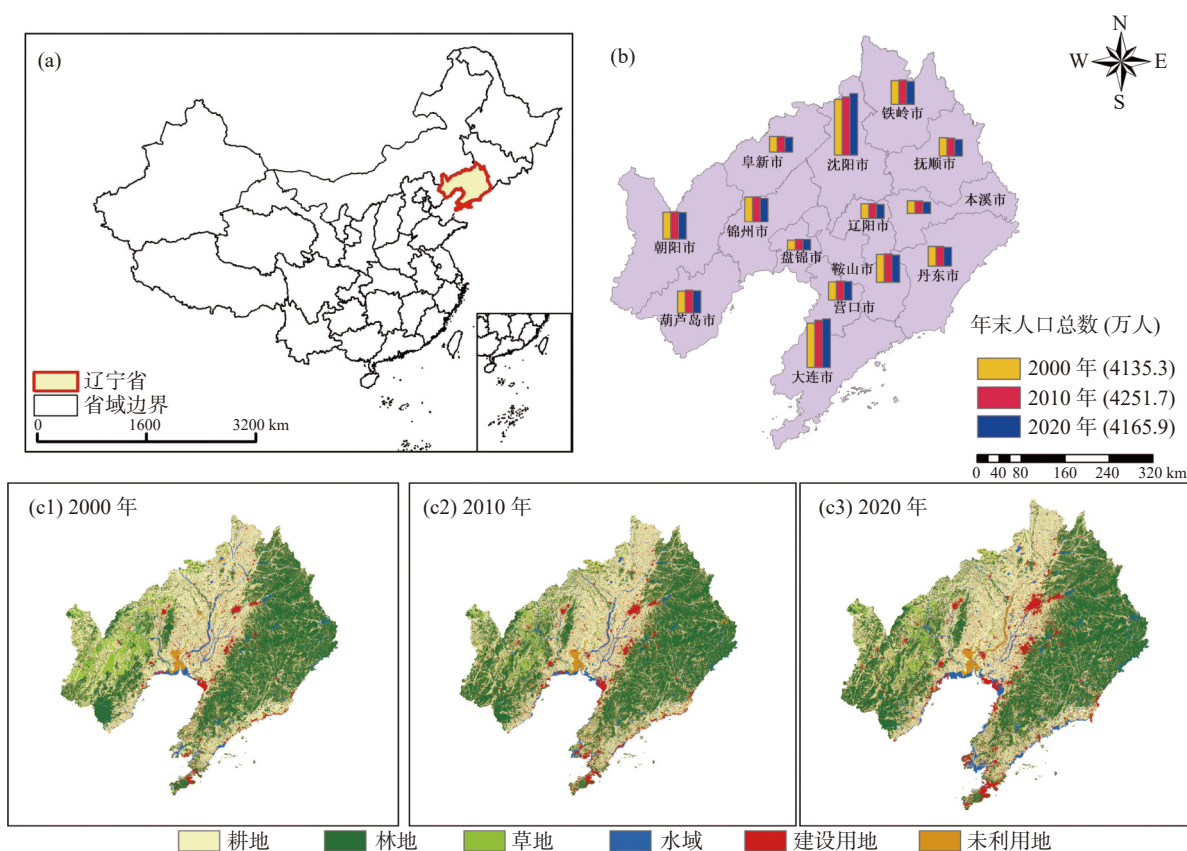


图 1 辽宁省概况:(a)地理位置(b)各市人口总数(c)土地利用类型

Fig.1 Overview of Liaoning Province: (a) Location (b) Population of each city (c) Land use type

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2000 ~ 2020 年 30 m 土地利用数据(图 1c)来源于中科院平台(<https://www.resdc.cn/>),根据 CNLUCC 分类体系,将研究区域土地利用类型划分为耕地、草地、林地、建设用地、未利用地及水域;2020 年全国省市行政区划数据来源于国家基础地理信息中心;中国地图来源于自然资源部标准地图服务(审图编号:2050756583);主要作物播种面积、

主要作物总产量、人口总数、人均产量的区域数据来源于《辽宁统计年鉴 2001 ~ 2021》,全国单位面积农作物的平均年产量来源于《中国统计年鉴 2001 ~ 2021》,主要作物的平均市场价格来源于《全国农产品收益率汇编 2002 ~ 2021》。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)估算 本研究参考谢高地等^[7]的处理方法,通过计算辽宁省一个标准当量的经济价值量,修正得

到区域生态系统服务价值系数, 最终计算出该地区的生态系统服务总价值。

(1) 一个标准当量的经济价值量:

查阅资料发现, 水稻、玉米和大豆为辽宁省主要农作物, 通过农作物播种总面积、总产量以及农作物全国平均市场价格估算出研究区域的一个标准当量的经济服务价值。

$$D = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^3 \frac{P_i q_i}{M} (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

式中: D 为一个标准当量因子的经济价值 (元 hm^{-2}); $\frac{1}{7}$ 为没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值与单位面积土地粮食生产提供的经济价值比例; i 为区域作物种类数; P_i 为区域 i 种作物全国平均价格 (元 t^{-1}); q_i 为 i 种作物总产量 (t); M 为 3 种作物播种的总面积 (hm^2)。

(2) 生态系统服务价值系数的修正:

本研究是基于谢高地等修订的单位面积生态系统服务价值等效因子表, 适合中国条件的, 主要类别包括调节、供给、支持和文化服务, 以及 11 个次要类别。

$$E_{rj} = e_{rj} D \quad (2)$$

式中: E_{rj} 为研究区内 r 类土地利用类型 j 项生态服务功能的单价 (元 hm^{-2}); e_{rj} 为中国 r 类土地利用类型 j 项生态服务功能的当量因子; r 表示土地利用类型数 ($r=1, 2, 3, 4, 5$), 由于现有研究尚未明确建设用地生态服务价值的量化方法, 故将其单价设为 0^[10]; j 表示生态系统服务功能数。

(3) 生态系统服务总价值计算:

$$\begin{aligned} ESV_r &= S_r \sum_{j=1}^{11} E_{rj} \\ ESV_j &= \sum_{r=1}^5 S_r E_{rj} \\ ESV_{\text{总}} &= \sum_{r=1}^5 ESV_r = \sum_{j=1}^{11} ESV_j \end{aligned} \quad (3)$$

式中: ESV_r 为第 r 类土地利用类型的服务价值 (元); S_r 为第 r 类土地利用类型的总面积 (hm^2); ESV_j 为第 j 项生态服务功能的服务价值; $ESV_{\text{总}}$ 为生态系统服务的总价值。

2.2.2 辽宁省主要粮食作物生态足迹与作物生态承载力评估 我国规定耕地农田只能用来发展种植业,

特别是粮食生产, 我国粮食生产能力能否在较高水平上再上新台阶, 耕地质量建设是关键一环, 而只有在有保证耕地的合理利用的基础上, 才能进一步提升耕地质量; 传统的生态足迹为人类消费对自然资源压力折算成的面积, 本文选取的作物生态足迹包含于耕地生态足迹中, 可定义为满足人类生产生活所需要的作物耕地面积, 同时估算的供需平衡指数可反映该时期耕地资源的可持续发展状况, 为农业土地规划提供依据。

(1) 产量因子计算

为了避免产量因子赋值的主观性, 更加科学直观地反映出辽宁省生态承载力, 本文选取研究区的平均生产力代替全球平均生产力计算产量因子。本文采用单位热值法将各类作物产量值转换为热量值计算, 研究的时间尺度为 2000~2020 年。其计算公式如下:

$$y_c = \frac{C_c}{C_p} \quad (4)$$

式中: y_c 表示耕地产量因子, C_c 表示市域耕地平均生产力, C_p 表示省域耕地平均生产力。

(2) 作物生产生态足迹计算^[26]

$$CEF = EF_i = N \times ec \times \frac{C_i}{P_i} \quad (5)$$

式中: EF_i 为区域 i 作物生产生态足迹 (hm^2), N 为区域总人口数 (人), ec 为耕地均衡因子, C_i 为区域 i 作物人均消费量 (取当年人均生产量) (kg), P_i 为 i 作物全国单位面积年平均产量 ($\text{kg} \text{ hm}^{-2}$)。

(3) 作物生态承载力计算:

$$CEC = EC_c = A_i \times y_c \times e_c \quad (6)$$

式中: EC_c 为作物耕地生态承载力 (hm^2), A_i 为 i 作物生物生产性土地面积 (hm^2), y_c 为耕地产量因子, e_c 为耕地均衡因子。

(4) 作物生态供需平衡指数^[27]

在上述分析的基础上, 建立了作物生态供需平衡指数 (CEI), 计算公式如下:

$$CEI = \frac{CEF}{CEC} \quad (7)$$

式中: CEI 为作物生态供需平衡指数, CEF 为作物生态足迹, CEC 为作物生态承载力。当 $CEI < 1$ 时, 作物生态盈余; 当 $CEI > 1$ 时, 作物生态赤字; 理论上 $CEI = 1$ 时, 作物生态平衡, 结合实际, 若 $0.85 \leq$

$CEI \leq 1.15$, 评价为生态平衡, 若 $CEI < 0.85$, 评价为生态盈余, 若 $CEI > 1.15$, 评价为生态赤字。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务价值变化特征

根据公式 (1) 计算得到辽宁省 2000~2020 年单个标准单位生态服务价值当量因子的价值每公顷分别为 616.912、1661.709、2360.431 元, 辽宁省的 ESV 在 2000、2010、2020 年分别为 3822.209×10^8 、 10730.200×10^8 、 15360.328×10^8 元; 2000~2020 年, 林地和水域两者土地利用类型对辽宁省生态系统服务总价值的贡献最大, 贡献率达 86% 以上; 由表 1 可知, 辽宁省相对重要的生态服务功能是水文和气候调节; 2000~2020 年间, 除水资源供给服务价值

有所减少, 其余生态功能服务价值均呈现出不同程度的持续增长态势; 其中, 水文调节各年均占有功能的 27% 以上, 远高于其他类型服务功能, 主要原因是水文调节功能非常强大导致水文调节的价值系数远高于其他地类的生态功能价值系数; 水资源供给价值均为负, 主要原因是水田为耗水系统, 其价值系数为负。气候调节各年均占有功能的 23% 以上, 土壤保持、气体调节、生物多样性、净化环境对生态系统服务总价值的贡献适中; 综上, 调节服务始终是辽宁省土地生态系统的主要功能, 其中水文调节的贡献率最大, 因此保持水域和湿地面积是维系水文调节服务价值、乃至整个生态系统服务总价值的关键。

表 1 辽宁省各项生态功能服务价值变化
Table 1 Changes in the value of various ecological function services in Liaoning Province

生态系统服务功能 Ecosystem service function		ESV (10 ⁸ 元) ESV (10 ⁸ Yuan)			价值占比 (%) Percent (%)		
		2000	2010	2020	2000	2010	2020
供给服务	食物生产	131.852	347.265	487.902	3.450	3.237	3.177
	原料生产	109.043	301.134	425.616	2.853	2.807	2.771
	水资源供给	-22.383	-30.853	-24.143	-0.586	-0.288	-0.157
调节服务	气体调节	368.014	1013.476	1432.556	9.628	9.446	9.327
	气候调节	911.312	2550.922	3612.294	23.843	23.776	23.519
	净化环境	290.368	814.465	1161.375	7.597	7.591	7.561
	水文调节	1063.329	3025.826	4417.339	27.820	28.202	28.760
支持服务	土壤保持	402.197	1115.857	1579.267	10.523	10.400	10.282
	维持养分循环	40.012	109.072	153.867	1.047	1.017	1.002
	生物多样性	363.081	1017.436	1449.323	9.499	9.483	9.436
文化服务	美学景观	165.382	464.598	663.932	4.327	4.330	4.323

3.2 生态足迹与生态承载力变化特征

3.2.1 辽宁省粮食生产时序变化 从粮食播种面积、产量及种植结构 3 方面概述 2010~2020 年辽宁省 3 大粮食作物的时序变化, 并通过折线图直观表达其变化态势。由图 2a, 2000 年以来, 辽宁省粮食播种面积持续增长, 2019 年达到顶峰, 2016 年和 2020 年受玉米播种面积影响, 粮食播种总面积均有所下降。由图 2b, 辽宁省粮食总产量稳定上升, 3 种主要作物表现出不同的变化趋势, 玉米产量总体上为增长—下降的波动态势; 水稻产量表现为“先增加后减少”趋势; 大豆产量整体起伏较小。由图 2c, 作物播种结构 (用占比 (%) 表示) 与播种面积呈现出相似的特征, 其中, 玉米播种面积比重增幅明显, 水稻播种面积比重呈现“减少—增加”的波动趋势, 大

豆播种面积比重一直低于水稻播种面积比重, 在 2003 年大豆最大值后开始呈现下降趋势。

3.2.2 生态足迹分析 根据公式 (4) 计算出辽宁省 2000 年、2010 年及 2020 年省域耕地平均生产力分别为 6.397、8.761、10.617 ($10^{10} \text{ J hm}^{-2}$), 同理计算出各市域的耕地平均生产力见表 2。本文采用刘某某和李文华^[19] 基于净初级生产力测算的中国各地生态足迹均衡因子, 辽宁省耕地均衡因子为 1.060。

随着耕地生态系统服务价值的快速升高以及人们长期以来对耕地经济利益的过度追求, 导致耕地过度非粮化甚至非农化, 因此本文侧重于量化耕地内部主要作物生态足迹。根据公式 (5) 计算出辽宁省作物生产生态足迹, 结果如表 3 和图 3: 2000~2020 年, 水稻作物生态足迹在时间上呈现“增高—降

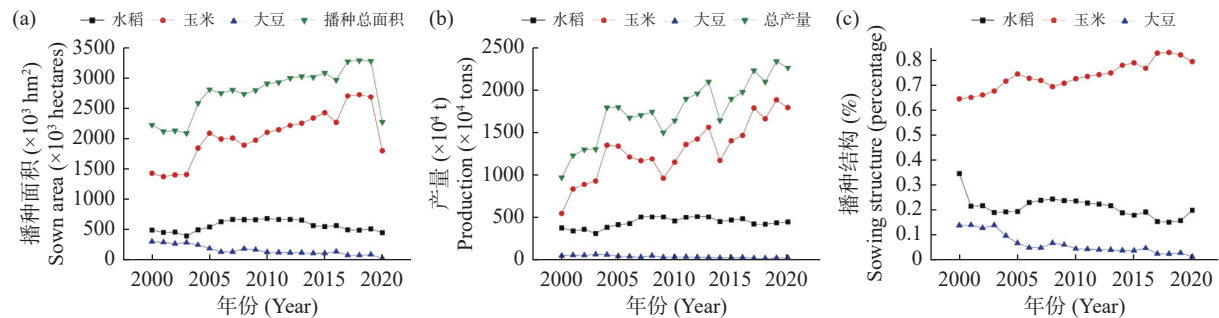


图2 辽宁省主要农作物动态变化
Fig.2 Dynamic changes of major crops in Liaoning Province

表2 辽宁省各市域产量因子
Table 2 Production factor by city in Liaoning Province

耕地产量因子 Arable yield factor	沈阳市 Shenyang	大连市 Dalian	鞍山市 Anshan	抚顺市 Fushun	本溪市 Benxi	丹东市 Dandong	锦州市 Jinzhou	营口市 Yingkou	阜新市 Fuxin	辽阳市 Liaoyang	盘锦市 Panjign	铁岭市 Tielign	朝阳市 Chaoyang	葫芦岛市 Huludao
2000	1.264	0.917	1.338	1.287	1.173	1.274	0.620	1.372	0.389	1.408	2.089	1.248	0.313	0.439
2010	1.137	0.937	0.907	0.973	0.784	0.775	0.969	1.274	1.259	0.888	1.453	0.398	1.236	0.921
2020	1.131	0.733	0.965	1.059	1.017	0.952	0.903	1.207	0.884	1.215	1.403	1.214	0.099	0.665

表3 辽宁省各市域作物生产生态足迹
Table 3 Ecological footprint of crop production in municipalities of Liaoning Province

市域 City	2000年作物生态足迹 (hm ²) Ecological footprint in 2000			2010年作物生态足迹 (hm ²) Ecological footprint in 2010			2020年作物生态足迹 (hm ²) Ecological footprint in 2020		
	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean
沈阳市	158538.313	258918.880	48737.851	161919.437	409722.608	30044.697	153940.399	500550.295	9132.497
大连市	26704.748	150786.240	42729.075	30248.686	208554.250	59463.463	18208.004	167800.971	54794.980
鞍山市	45465.678	142486.080	22699.821	40439.420	148106.560	7511.174	38974.158	180553.844	6983.674
抚顺市	18929.948	47495.360	25370.388	17631.587	75219.473	6259.312	12339.309	121152.301	4297.645
本溪市	5915.609	29972.800	10014.627	7926.126	28960.469	3129.656	7373.489	46480.869	1611.617
丹东市	57972.965	78851.520	18026.328	52085.973	68999.775	8137.105	56429.765	119306.490	11818.525
锦州市	26028.678	69859.680	30043.881	35748.447	304376.473	13770.486	39877.034	323688.072	4834.851
营口市	53747.530	25131.040	6008.776	72143.925	41594.231	3129.656	65909.965	50508.092	2686.028
阜新市	4563.470	48648.160	15355.761	7602.611	382511.429	26915.041	3461.026	341139.373	15041.759
辽阳市	51719.322	69629.120	23367.463	59688.584	61225.153	2503.725	61847.022	110748.641	1074.411
盘锦市	123213.678	7839.040	8011.701	156419.676	13022.493	10640.830	160110.053	16947.898	1074.411
铁岭市	54930.652	269755.200	43396.716	74570.290	515068.744	23159.454	52366.822	590491.616	9669.702
朝阳市	1521.157	31125.600	8011.701	323.515	345776.338	14396.417	0.000	338957.961	1611.617
葫芦岛市	5408.557	32739.520	17358.687	8896.672	169292.406	11892.693	1203.835	101351.786	3760.440

低”的趋势，在空间上呈现“扩张—治理”的趋势。同时可以看出水稻作物生态足迹的空间变化及布局与水稻播种面积有较大幅度的吻合，说明玉米播种面积对玉米生态足迹空间格局有重要影响。其次，玉米作物生态足迹在时间上呈现持续增长态势，在空间上呈现带状扩张，由辽宁省东北部向西北部扩张，玉米 CEF 较大的区域主要分布在阜新市、锦州市、沈阳市、铁岭市以及朝阳市；玉米 CEF 较小区域与玉米播种面积分布吻合度较低，玉米 CEF 较大区域与玉米播种面积分布吻合度较高。最后，2000 ~ 2020 年，大豆作物生态足迹整体呈现持续减少态势，

其中跨区间大幅减少的市域单元较多，尤其是处于大豆 CEF 较大区间的市域单元数量有所减少；其中，本溪市、盘锦市、营口市在 20a 间一直处于大豆 CEF 较小区间；另外，大豆 CEF 与大豆播种面积空间分布存在一定的差异，个别市域的大豆播种面积与大豆 CEF 存在误差，但总体走势是相同的，而大连市大豆 CEF 与播种面积始终较高。

3.2.3 生态承载力 (表 4) 与生态盈亏 (图 4) 分析

20a 间，水稻 CEI 值除抚顺市一直处于盈余状态，水稻生态状况整体上从西北逐渐向东南扩散，呈现恶化趋势；2000 年朝阳市、葫芦岛市及阜新市的水稻作物生态赤字至 2010 年发展为平衡状态为主，生

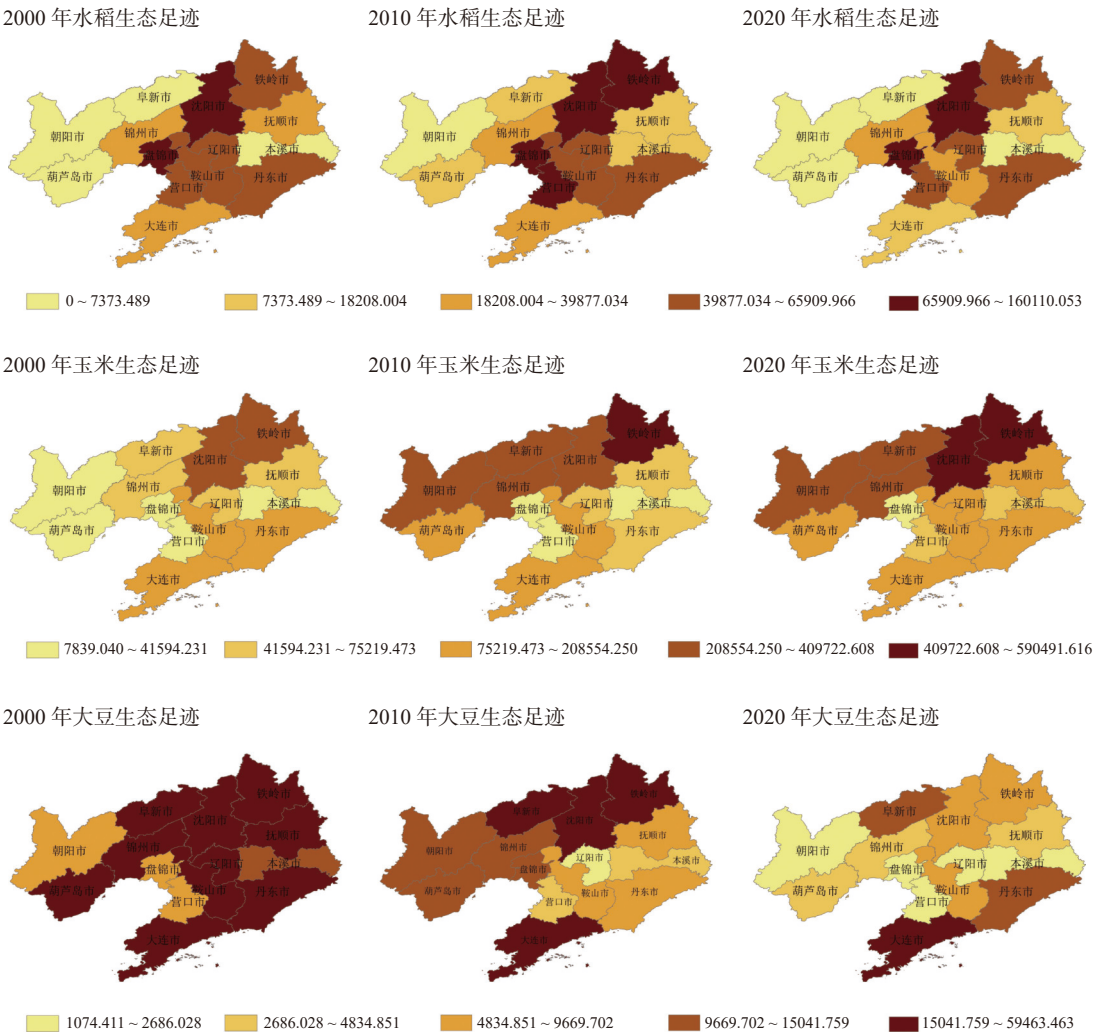


图 3 辽宁省各市域生态足迹空间变化
Fig.3 Spatial Changes in Ecological Footprints of Municipalities in Liaoning Province

表 4 辽宁省各市域作物生态承载力
Table 4 Ecological carrying capacity of crops in the municipalities of Liaoning Province

市域 City	2000作物生态承载力 (hm ²) Eco-carrying capacity in 2000			2010作物生态承载力 (hm ²) Eco-carrying capacity in 2010			2020作物生态承载力 (hm ²) Eco-carrying capacity in 2020		
	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean	水稻 Rice	玉米 Corn	大豆 Soybean
沈阳市	152607.776	305349.536	49038.144	152821.896	415559.856	19645.086	150456.930	468754.260	9351.108
大连市	26827.752	145705.798	33826.296	28406.092	188016.546	38338.292	14374.130	147470.804	32244.670
鞍山市	50207.112	164378.652	26238.180	34803.404	158826.584	5383.952	32630.510	176041.090	5830.530
抚顺市	24146.694	42154.398	25374.492	20928.466	71960.932	5360.986	15491.052	111692.730	4153.398
本溪市	6838.590	30214.134	10071.378	7647.973	29095.548	2327.644	7222.734	43552.008	1509.228
丹东市	66171.560	94125.668	21742.084	42642.130	82983.721	5915.671	48133.881	118770.605	9283.684
锦州市	14787.000	97594.200	24513.560	31025.329	302753.788	9348.692	34076.105	299888.872	4307.373
营口市	57881.936	42611.576	8871.352	59419.360	64010.856	2970.968	52846.889	61292.154	2687.130
阜新市	2309.104	56737.984	11834.158	7073.806	298167.594	21488.354	3092.864	300195.294	8716.254
辽阳市	60445.440	80892.416	27610.880	49330.174	80302.744	1600.406	60515.819	108284.689	901.299
盘锦市	170282.746	19707.626	9521.662	167902.306	22335.628	8164.057	160765.669	17251.450	1189.755
铁岭市	61513.920	277275.648	38760.384	26478.582	146329.007	5363.285	51473.600	557973.824	9522.616
朝阳市	597.204	41406.144	6104.752	393.144	332468.637	14808.418	7.336	36114.859	461.130
葫芦岛市	3164.312	42299.406	12284.976	8983.863	144327.712	8202.658	704.670	94003.036	3171.017

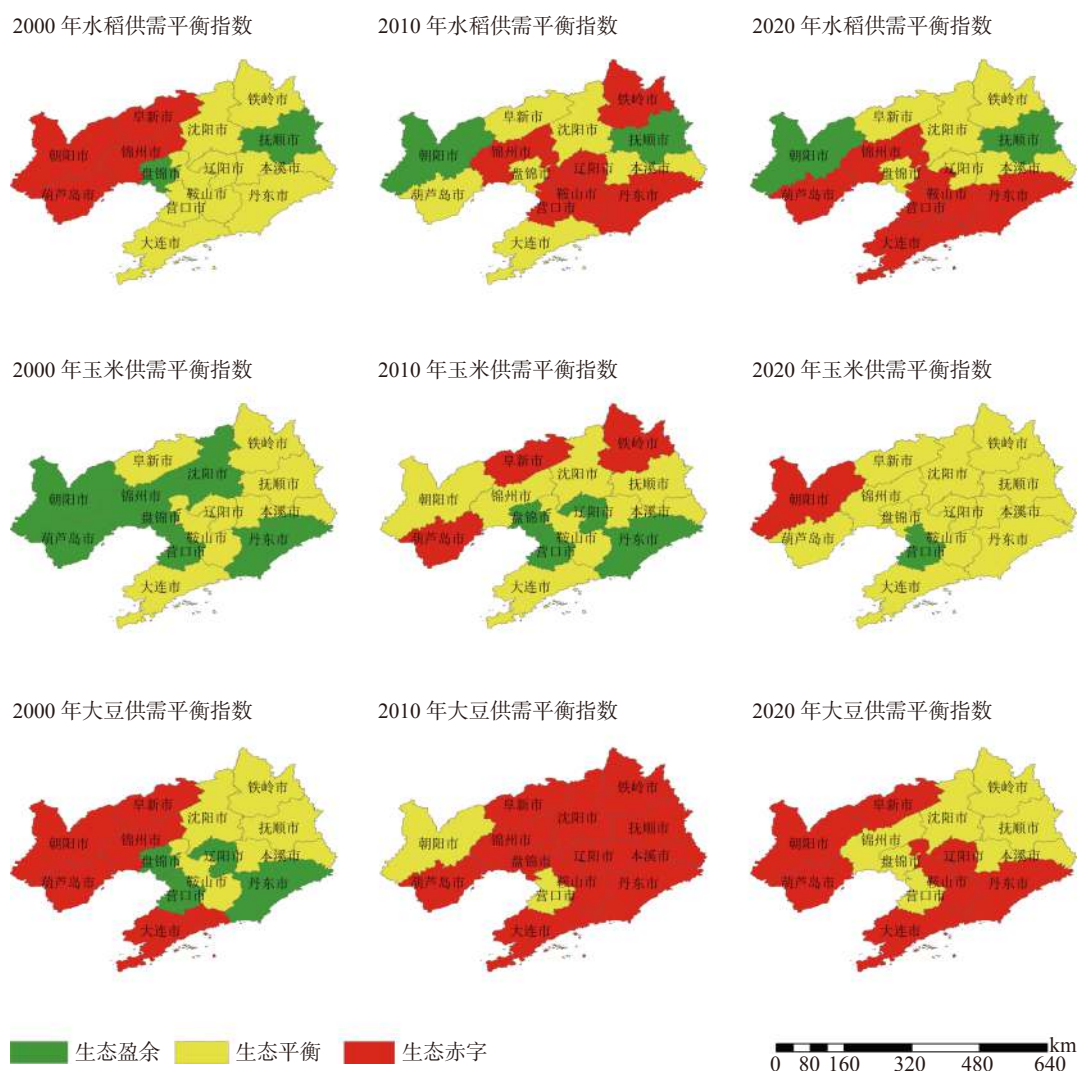


图4 辽宁省主要作物生态供需平衡指数空间变化

Fig.4 Spatial variation of ecological supply and demand balance index of major crops in Liaoning Province

态供需情况得到明显改善; 2010~2020年间, 大连市和葫芦岛两座沿海城市由生态平衡发展为生态赤字, 内陆城市铁岭市水稻生态足迹有所好转。其次, 辽宁省玉米CEI经历了先增加后减少的态势, 20a间, 仅有铁岭市、阜新市、葫芦岛市3市由生态盈余转为生态赤字再发展为生态平衡, 这些城市玉米供需平衡状态有一定程度的缓解, 同时, 朝阳市玉米CEI逐渐增加, 整体来说玉米生态平衡状态较好。最后, 2000~2010年大豆生态平衡从多数生态盈余发展为多数生态赤字少数生态平衡状态, 生态情况恶化非常严重, 2/3以上的城市大豆生态平衡严重破坏, 经过治理, 到2020年, 辽宁省西北部和东南部生态赤字, 中部城市生态平衡, 生态环境有所改善。

4 讨论

本文从土地、生态、经济的角度评价分析了辽

宁省14市2000~2020年主要农作物生态盈余变化, 为避免主观因素对产量因子赋值的影响, 本文选用了研究区域的平均NPP替代了全球NPP, 并以市域为尺度进行研究, 本研究估算的耕地产量因子平均值(1.01)与刘某承等^[28]测算的国家(1.74)、辽宁省(0.84)耕地产量因子相比, 数值上介于二者之间, 这主要与估算方法有关, 国家及省域产量因子反映了不同尺度生态系统的耕地供给能力, 本地化后的耕地产量因子能更加普适反映小尺度耕地生产力的差别, 未来可根据土地等级尺度提高生态足迹的均衡参数和产量参数精度, 并进行对比实验; 另外还可以将化石能源账户纳入考虑范围中, 以期提高生态足迹的精度和准确性。

将作物生态足迹本地化可量化人类活动与自然环境的供需关系及可持续程度, 同时能够反映区域

经济发展对自然环境的消耗情况,以高资源消耗为代价的低经济增长不利于区域的长期发展,一旦生态足迹超过生态承载能力,经济增长将导致自然资源枯竭,这与郭金玲等^[29]预测的未来生态足迹研究趋势相同;因此,为了加强辽宁省的环境保护,促进区域资源与环境的协调及可持续发展,提出以下建议:通过提高有限资源的利用效率促进经济产出,最大限度地满足人类生产生活需要;合理规划资源,以长远的眼光科学合理的利用土地资源;加强环境保护意识,使生态系统可以作为一个自我维持的良性循环。增强人类环境保护意识,实现人与自然的全面协调可持续发展。

5 结论

(1) 2000~2020年,辽宁省单位水域的生态系统服务价值量过高,对省内水文和气候调节的贡献也较大,水域保护对区域生态有至关重要的作用。另外,养分循环、粮食生产、原材料生产和美学景观的贡献相对较低,故未来需加强生态服务功能的多元性。

(2) 辽宁省水稻、玉米、大豆的生态足迹空间格局变化与其播种面积空间布局基本吻合。在现有的农业生产环境下,不能仅依靠提高单产来提高总产,耕地质量日渐退化,这些都是制约区域粮食可持续发展的瓶颈,需要努力解决。

(3) 辽宁省的作物生态足迹逐年增加,作物生态承载能力下降,环境压力增加,但由于生态保护政策的实施,当地的生态状况有所改善。水稻作物的生态供需平衡指数呈现跨市域增加,尤其是辽宁省西南部城市;玉米作为辽宁省作物支柱,其生态供需平衡指数状况良好。大豆作物的供需平衡指数存在“两级分化”现象,2020年经过治理接近1/2的城市大豆生态供需关系得到缓解。

参考文献:

- [1] 许译方,周永杰,何煜然,等.基于土地利用变化的粤港澳大湾区生态系统服务价值预测研究[J].生态科学,2020,39(1): 207-212.
- [2] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9): 1740-1746.
- [3] 谢高地.国家生态安全的维护机制建设研究[J].环境保护,2018,46(Z1): 13-16.
- [4] 刘 钰.东北三省粮食生产时空演变及生态足迹研究[D].中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2020.
- [5] 廉鑫.基于生态足迹的辽宁省资源效率研究[D].大连理工大学,2006.
- [6] 谢高地,甄 霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,(5): 911-919.
- [7] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8): 1243-1254.
- [8] 马依拉·热合曼,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等.基于遥感与GIS的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J].生态学报,2018,38(16): 5938-5951.
- [9] 程广斌,据小倩.基于RS和GIS技术的生态系统服务价值对土地利用变化的响应——以乌鲁木齐城市圈为例[J].生态经济,2021,37(7): 169-175.
- [10] 姜 晗,吴 群.基于LUCC的江苏省生态系统服务价值评估及时空演变特征研究[J].长江流域资源与环境,2021,30(11): 2712-2725.
- [11] He J, Shi X Y, Fu Y J, et al. Evaluation and simulation of the impact of land use change on ecosystem services trade-offs in ecological restoration areas, China[J]. Land Use Policy, 2020: 99.
- [12] 赵明珠.辽宁省三维生态足迹变动与影响因素分析[D].东北财经大学,2019.
- [13] Ling H B, Yan J J, Xu H L, et al. Estimates of shifts in ecosystem service values due to changes in key factors in the Manas River basin, northwest China[J]. Science of the Total Environment, 2019: 659.
- [14] 邵 骏,卢满生,杜 涛,等.长江流域水资源生态足迹及其驱动因素[J].长江科学院院报,2021,38(12): 19-24,32.
- [15] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省1998年生态足迹计算与分析[J].地理学报,2000,(5): 607-616.
- [16] 李鹏辉,张茹倩,徐丽萍.基于生态系统服务价值的生态足迹计算与分析——以玛纳斯河流域为例[J].中国农业资源与区划,2022,43(289): 184-196.
- [17] 郭荣中,申海建,杨敏华.基于生态足迹和服务价值的长株潭地区生态补偿研究[J].土壤通报,2017,48(01): 70-78.
- [18] 卢亚丽,徐帅帅,沈 镭.基于胡焕庸线波动的长江经济带水资源环境承载力动态演变特征[J].自然资源学报,2021,36(11): 2811-2824.
- [19] 刘某承,李文华.基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J].生态与农村环境学报,2010,26(5): 401-406.
- [20] 朱高立,王雪琪,李发志,等.基于改进三维生态足迹的盐城市自然资本利用特征研究[J].土壤通报,2017,48(06): 1304-1311.
- [21] 马维斌,刘 斌,杨德伟,等.基于三维生态足迹模型的流域自然资本动态评估——以福建省九龙江流域为例[J].资源科学,2017,39(05): 871-880.
- [22] 杨 屹,胡 蝶.生态脆弱区榆林三维生态足迹动态变化及其驱动因素[J].自然资源学报,2018,33(7): 1204-1217.
- [23] 付秀梅,李晓楠,林春宇,等.基于科学知识图谱的生态足迹研究演进、框架与前沿中外比较[J].生态学报,2022,(13): 1-15.
- [24] 唐晓旭,张怀清,刘 锐.基于GeoDA的辽宁省GDP空间关联度

- 分析研究[J]. 林业科学研究, 2008, (S1): 60 – 64.
- [25] 郑怀军. 辽宁省生态足迹动态分析及驱动因素研究[D]. 辽宁师范大学, 2013.
- [26] 施开放, 刁承泰, 孙秀锋, 等. 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1872 – 1880.
- [27] 刘 东, 封志明, 杨艳昭. 基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(04): 614 – 624.
- [28] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 592 – 597.
- [29] 郭金玲, 王 宁. 生态足迹研究的时空分布与演进分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(9): 3815 – 3826.

Ecosystem Service Value and Changes in Food Supply and Demand in Liaoning Province

REN Dong-feng¹, CAO Ai-hua¹, DU Wen-jing²

(1. School of Geomatic, Liaoning Technical University, Fuxin 123000 China;
2. Fuxin Ecological Space Survey and Design Institute Co., Fuxin 123099 China)

Abstract: [Objective] The aim was to study the temporal evolution of land use, ecosystem service values and ecological footprints in Liaoning Province, so as to provide a scientific basis for optimizing ecosystem management and improving ecological quality in Liaoning Province. [Method] This study scientifically drew on the ideas of human geography, ecological economics and regional economics, adopted a combination of qualitative and quantitative methods, spatial analysis, modeling and other research methods to estimate the ecosystem services value (ESV). The assessment was based on the status of land use in Liaoning Province from 2000 to 2020, and the ESV was estimated with reference to the equivalent method. [Result] ① The sum of the ecological function service value of hydrological regulation and climate regulation in Liaoning Province for each period exceeded 50% of the total ESV, and the contribution of the two land use types (forest land and water) to the total ESV in Liaoning Province was over 86%. ② The proportion of sown area of corn in Liaoning Province was always much higher than those of rice and soybeans, and the growth rate was relatively high. The sown area of rice and corn has fluctuated and changed, and the sown area of soybeans has continued to decrease. ③ The ecological footprints of rice, corn, and soybeans roughly coincided with the trend of their sown area. And based on the ecological footprint, the supply and demand balance index of the ecological carrying capacity of crops in each city was further calculated to provide countermeasures and suggestions for the distribution of food production. [Conclusion] In the future, Liaoning Province needs to focus on the efficient use of natural resources, strengthen the protection of all types of land, make the stable development of good land and the gradual restoration of destroyed land. At the same time, the cutting-edge equipment and technology are needed to be developed and introduced to establish a natural resource-saving land use system to produce maximum economic and environmental benefits in a limited space, with a view to achieving sustainable economic and ecological development.

Key words: Land use; Ecosystem service value; Ecological footprint; Net primary productivity - energy value model; Regional sustainable development

[责任编辑: 裴久渤]