

京津冀“生态系统服务转型”及其空间格局

卢龙辉^{1,2}, 陈福军³, 许月卿^{1,2}, 黄安^{1,2}, 黄玲⁴

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; 3. 唐山市曹妃甸区自然资源和规划局, 唐山 063200; 4. 密云六中, 北京 101500)

摘要: 以1980年、2000年、2015年土地利用类型、*NPP*和统计数据为基础, 运用GIS和生态系统服务价值测算方法, 分析京津冀食物生产与固碳释氧两种服务的变化及其空间格局, 揭示“生态系统服务转型”的原因。结果表明: (1) 35年来, 京津冀土地利用变化以建设用地扩张和耕地减少为主。1980年和2000年, *NPP*的高值区主要位于山区, 2015年*NPP*的高值区主要位于平原。(2) 1980-2000年京津冀生态系统服务变化以食物生产服务增加与固碳释氧服务降低为主, 2000-2015年京津冀以食物生产服务与固碳释氧服务同时增加为主。“生态系统服务转型”模式为“食物生产+固碳释氧-”→“食物生产+固碳释氧+”。(3) 农业生产能力提升、林地面积与质量和耕地质量、草地质量提升是“生态系统服务转型”的主要原因。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务转型; 食物生产; 固碳释氧; 空间格局

生态系统服务涵盖多种类型, 包括供给服务、支持服务、调节服务、文化服务等方面^[1]。考虑到我国自身的生态系统状况与民众对生态系统服务的理解, 具体类型可分为食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤、维持生物多样性和美学景观等^[2]。生态系统服务作为一种评估生态环境状况与价值的方法, 已被国内外学者广泛接受^[3-7]。随着土地变化科学研究的深入, 越来越多的学者开始关注土地利用变化对生态系统服务的影响^[5,6,8]。

目前, 土地利用对生态系统服务变化影响的研究主要从土地利用类型变化对生态系统服务的影响^[9]、土地利用格局变化对生态系统服务的影响^[10]、土地利用转型对生态系统服务的影响^[3,11]、土地利用变化对生态系统服务敏感性的影响^[8]、土地利用变化对生态系统服务安全格局的影响^[5]等方面展开。受到“森林转型”理论的启发, Wilson等^[12]于2017年提出了“生态系统服务转型”, 即随着社会、经济、制度的发展与变迁, 生态系统服务也会出现阶段性的转型特征。“森林转型”理论是地理学家Mather^[13]于1992年提出的, 指随着社会经济的发展, 一国或区域的森林面积会由初期的减少趋势逆转为增加趋势^[14,15]。在“国家土地利用转型期”(国家土地利用调整至均衡状态的时期, 即森林减少期)完成后将会出现“森林转型”^[16]。“森林转型”是在工业化、人类发展、城市化过程中的经济活动、资源利用、环境影响之间的一种理论假设关系^[17], 应看作土地利用系统复杂变化的整体结果, 与社会—经济—生态—能源系统的转型有直接关系^[18], 说明社会经济状况对

收稿日期: 2019-06-20; 修订日期: 2019-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41971238, 41571087)

作者简介: 卢龙辉 (1989-), 男, 新疆伊犁人, 博士研究生, 主要从事土地利用变化与土地资源管理研究。

E-mail: johnnylu_147@126.com

通讯作者: 许月卿 (1972-), 女, 河北定州人, 副教授, 博士生导师, 主要从事土地多功能利用研究。

E-mail: xmoonq@sina.com

可持续人类社会发展的影响^[19], 是对森林在人类社会状况变化下的历史概括^[20]。在“森林转型”理论上, “土地利用转型”理论也逐渐发展起来^[21-23]。“土地利用转型”包括数量与结构的显性转型, 还包括质量与经营方式等隐形转型^[24]。不同社会—经济发展阶段的土地利用模式会引起相应的生态系统服务转型, 分析“生态系统服务转型”的空间格局与模式, 可以为土地利用变化对生态系统服务的影响研究提供一种新的研究框架与理解。

由于各区域的社会—经济—环境状况不同, “生态系统服务转型”的模式与过程也将各不相同。京津冀区域是我国的政治、文化及国际交流中心^[25], 同时黄淮海平原又是我国重要的粮食产区^[26]。在改革开放后的几十年间, 京津冀区域的社会—经济—生态状况发生了剧烈变化。在“京津冀协同发展”^[27]与京津冀城市群发展^[28]等重要战略的实施背景下, 维持并提高京津冀区域的社会—经济—生态可持续发展尤为重要。评估京津冀区域生态系统服务的演变状况, 分析“生态系统服务转型”特征, 能够为理解社会、经济发展引起的土地利用变化对生态系统服务及其空间格局的影响提供一种新的思路。

本文以京津冀区域1980-2015年的生态系统服务变化、“生态系统服务转型”及其空间格局为研究对象, 从土地利用变化与净初级生产力(NPP)变化的角度, 分析京津冀生态系统服务变化与转型的原因, 从转型的角度理解京津冀区域土地利用变化、生态系统质量变化与生态系统服务价值的相互关系。本文还探讨了京津冀区域“生态系统服务转型”对粮食安全与生态环境可持续的影响, 为京津冀区域土地利用管理、粮食安全、生态环境保护、维持并提高京津冀区域的社会—经济—生态可持续发展提供一定的科学依据与建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 生态系统服务测算

京津冀区域承载了大量的人口, 并且区域内的黄淮海平原作为我国粮食主产区发挥了重要的农业生产作用。同时, 京津冀区域在2000年前后开始实施多项生态修复工程^[29]。生态系统服务的类型众多, 涵盖广泛, 将其全部进行评估较为困难。因此本文通过1980-2000年与2000-2015年两个时间段进行对比分析, 主要测算京津冀区域重要的两种生态系统服务(食物生产服务与固碳释氧服务)。

1.1.1 食物生产服务

食物生产服务是生态系统为人类生存、生活与发展提供的一项重要服务类型^[30]。一般情况下, 中国的食物种类主要包括粮食、蔬菜和肉蛋奶, 其中粮食主要包括小麦、稻米、玉米、豆类和薯类^[31], 蔬菜种类较多。由于京津冀区域区县级的肉蛋奶产量数据缺失严重, 且出于粮食安全的考虑(种植蔬菜的土地需要时可用于种植粮食), 本文主要以粮食与蔬菜的总产量核算京津冀区域生态系统服务中的食物生产服务。蔬菜产量按主要蔬菜种类与主要粮食种类的能量比来折算^[30,32]。除北京市与天津市的部分区县级数据可直接获取, 其余区县级的食物生产服务具体测算方法如下^[4]:

$$F_{(x,t)} = \frac{A_{\text{耕地}(x,t)} \times NPP_{\text{耕地}(x,t)} \times \text{Sum}(G+V)}{\text{Sum}(A_{\text{耕地}(x,t)} \times NPP_{\text{耕地}(x,t)})} \quad (1)$$

式中: $F_{(x,t)}$ 为生态系统服务中的食物生产服务, 为区县 x 在时间 t 时的粮食总产量与蔬

菜总产量之和 (万 t); $A_{\text{耕地}(x,t)}$ 为区县 x 在时间 t 时的耕地面积 (m^2); $NPP_{\text{耕地}(x,t)}$ 为河北省区县 x 在时间 t 时耕地范围内的 NPP 平均值 (g/m^2); $\text{Sum}(G+V)$ 为河北省区县 x 所属的市在时间 t 时粮食总产量与蔬菜总产量之和 (万 t); G 为粮食总产量 (万 t); V 为蔬菜总产量 (万 t)。

1.1.2 固碳释氧服务

在气体调节方面, 固碳释氧服务是生态系统发挥的另一项重要的生态系统服务。研究表明, 积累 1 kg 的 NPP 的过程中可以固定 1.63 kg 的二氧化碳与 1.2 kg 的氧气^[33]。因此本文中京津冀区域区县级的固碳释氧服务的具体测算方法如下^[33]:

$$\text{CO}_{2(x,t)} = A_x \times NPP_{(x,t)} \times 1.63 \quad (2)$$

$$\text{O}_{2(x,t)} = A_x \times NPP_{(x,t)} \times 1.2 \quad (3)$$

式中: $\text{CO}_{2(x,t)}$ 与 $\text{O}_{2(x,t)}$ 分别为京津冀区县 x 在时间 t 时生态系统服务中的固碳 (CO_2) 与释氧 (O_2) 服务, 此处为京津冀区县 x 在时间 t 时全部土地类型在积累 NPP 过程中的固碳量与释氧量 (g); A_x 为京津冀区县 x 的面积 (m^2); $NPP_{(x,t)}$ 为京津冀区县 x 在时间 t 时的 NPP 平均值 (g/m^2)。

1.2 生态系统服务变化与“生态系统服务转型”模式的空间格局测算

测算京津冀生态系统服务变化的空间格局与“生态系统服务转型”模式的空间差异, 有助于理解京津冀生态系统服务变化的规律。本文将分析时段划分为 1980-2000 年与 2000-2015 年两个时期, 通过两个时期食物生产服务与固碳释氧服务变化在地貌分区与区县级的空间差异, 反映京津冀生态系统服务变化的空间格局。通过对京津冀区县级的食物生产服务与固碳释氧服务变化进行编码 (表 1), 将生态系统服务增减的类型组合, 共测算了四种“生态系统服务转型”模式的空间格局。

表 1 生态系统服务转型模式

Table 1 The pattern of ecosystem services transition in Beijing-Tianjin-Hebei region

编码	生态系统服务转型
1	食物+固碳+
2	食物+固碳-
3	食物-固碳+
4	食物-固碳-

1.3 数据来源与处理

NPP 数据来源: 京津冀 2000 年与 2015 年的净初级生产力 (NPP) 数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>, 空间分辨率为 1000 m), 1981 年的 NPP 数据来自文献^[34] (空间分辨率为分辨率 8000 m)。

粮食与蔬菜产量数据来源: 北京市区级 1980 年与 2000 年粮食生产与蔬菜生产数据来自《北京统计年鉴》, 2015 年数据来自北京市各区统计年鉴汇总。天津市区级 2000 年与 2015 年粮食生产与蔬菜生产数据来自《天津区县年鉴》, 1980 年数据来自《辉煌的历程—天津改革开放 30 年 (1978-2007 年)》中的全市数据, 通过式 (1) 分配至各区。河北省 2000 年与 2015 年区县级数据来自《河北经济年鉴》, 1980 年数据来自《新河北 60 年》中的市级数据, 之后通过式 (1) 分配至各区县。

土地利用类型数据来源: 京津冀 1980 年、2000 年、2015 年的土地利用类型数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>, 空间分辨率为分辨率 1000 m)。

数据处理: 各区县 NPP 与土地利用类型 NPP 的空间统计、生态系统服务变化测算与

“生态系统服务转型”测算均在 ArcGIS 10.3 中进行, 分别运用分区统计、面积制表、重分类等工具处理原始数据。对个别缺失的粮食或蔬菜产量数据, 采用最近年份的各区粮食与蔬菜比例来估算缺失区县的粮食或蔬菜产量。本文分析的区县行政区划以 2015 年为准, 对于 1980-2015 年间行政区划有所调增的区县, 均统一至 2015 年的区县。另外, 将北京市、天津市和河北省地级市的主城区进行合并处理。

2 结果分析

2.1 1980-2015 年京津冀土地利用变化与净初级生产力(NPP)变化

1978 年中国开始了市场经济改革的尝试, 也引起土地利用的剧烈变化^[35]。1980-2015 年的 35 年中 (图 1), 京津冀区域的土地利用变化在面积上主要以建设用地的大幅扩张为主, 而耕地一直以来都是占用土地面积最多的土地利用类型, 林地、草地未出现大幅度的变化, 水域减少。京津冀的地貌可以大致分为坝上 (草原)、山区和平原 (表 2)。无论平原、山区还是坝上, 建设用地均为增加最多的土地利用类型, 尤其是平原地区达到 4821 km², 这也导致平原地区的耕地大面积减少 (4023 km²)。由于建设用地适宜区域与

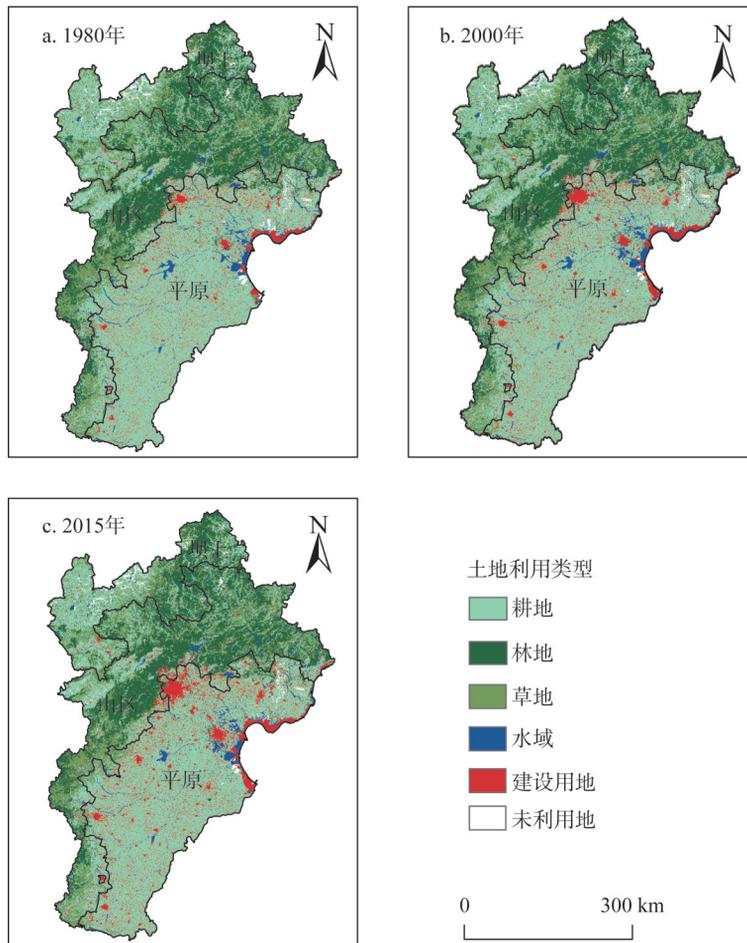


图1 京津冀土地利用变化

Fig. 1 Land use changes in Beijing-Tianjin-Hebei region

表2 京津冀按地貌分区的土地利用变化

Table 2 The land use changes of various landforms in Beijing-Tianjin-Hebei region

(km²)

地貌区域		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
平原	1980-2000年	-2321	-55	-172	18	2649	-114
	2000-2015年	-1702	-47	-66	-279	2172	-75
	总计	-4023	-102	-238	-261	4821	-189
山区	1980-2000年	-403	-200	114	45	450	-6
	2000-2015年	35	2	-89	8	73	-29
	总计	-368	-198	25	53	523	-35
坝上	1980-2000年	57	-48	11	-15	30	-35
	2000-2015年	35	2	-89	8	73	-29
	总计	92	-46	-78	-7	103	-64

耕地适宜区域高度重叠, 建设用地占用耕地的现象在京津冀区域尤为突出。京津冀平原地区建设用地占用耕地现象在35年来一直较为严重; 山区在1980-2000年间也存在占用耕地的现象, 但在2000-2015年间耕地开始增加; 坝上地区的建设用地与耕地一直处于增加趋势。京津冀区域的林地、草地有一定减少, 水域在2000-2015年间有所恢复。对比1980-2000年与2000-2015年, 京津冀的平原地区林地、草地的减少趋势均有所减缓, 山区与坝上林地有轻微的恢复, 山区的水域增加明显。值得关注的是, 山区与坝上的耕地面积在2000-2015年间仍有一定的增加。仅从面积而言, 京津冀实施的大量生态修复措施使坝上与山区1980-2000年间林地大幅减少的趋势在2000-2015年间逆转为增加趋势(森林转型)。

1980年与2000年, 京津冀NPP的高值区域主要位于山区, 尤其是北京以西与以北的山区, 平原与坝上区域的NPP值处于中等水平(图2)。对比1980年与2000年, 京津冀区域坝上与山区的NPP略微降低, 平原区域略微增加。2015年, 京津冀整体NPP均有所提高, 高值区域主要集中于平原区域。

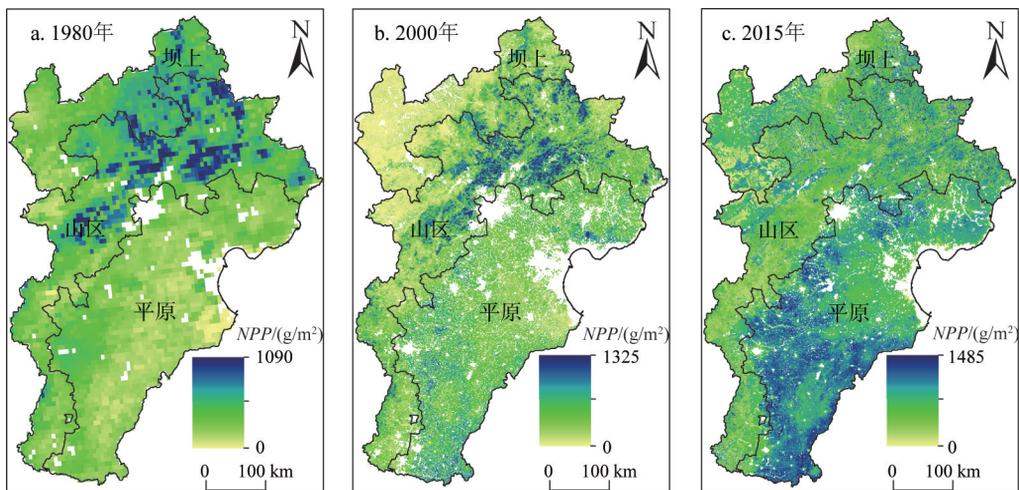


图2 京津冀净初级生产力NPP变化

Fig. 2 The changes of NPP in Beijing-Tianjin-Hebei region

2.2 1980-2015年京津冀生态系统服务变化

京津冀区域既承载了大量的人口,同时京津冀大部分平原区域位于中国主要粮食产区——黄淮海平原内^[26],因此食物生产服务是京津冀区域陆地生态系统提供的一项重要生态系统服务。1980-2015年,京津冀超过80%的区域食物生产服务都有所提高,其中1980-2000年部分区县食物生产服务提高的幅度要高于2000-2015年(图3)。1980-2000年,北京主城区、天津部分区县及坝上大部分县的食物生产服务有明显的下降,但坝上与北京、天津主城区食物生产服务的原因不同。北京与天津主城区食物生产服务降低主要由于城市区域建设用地持续地占用耕地,而坝上大部分县的食物生产服务降低则是由于坝上生态环境恶化及不合理利用耕地造成的农业生产力下降。2000-2015年,北京与天津城市发展的辐射范围继续扩大,引起北京主城区及郊区县、天津主城区及北部郊区县、保定北部区县的食物生产服务继续下降。保定与石家庄西部的部分山区县在2000-2015年间食物生产服务降低,主要是由于不合理利用耕地造成的农业生产力下降。京津冀其他区域随着农业生产技术与肥料等物质投入的不断提升,即使在耕地面积未增加的情况下,食物生产服务仍然得到了提高。坝上各县的食物生产服务提高一方面由于农业生产力的提升,另一方面耕地的增加也提高了食物生产服务(表2)。

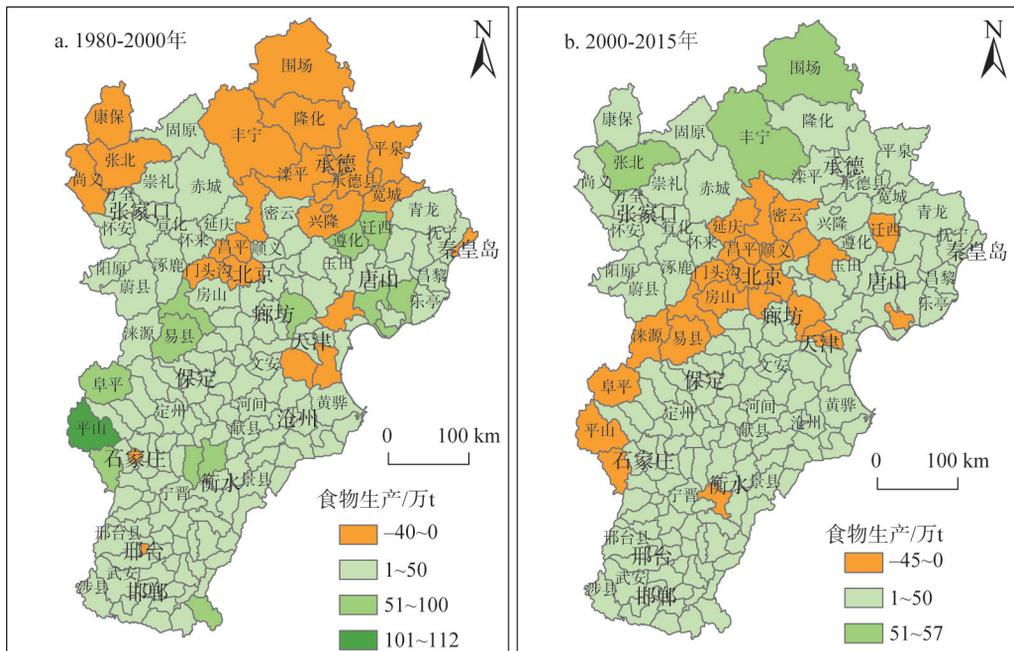


图3 京津冀生态系统服务—食物生产服务变化

Fig. 3 The changes of food production service in Beijing-Tianjin-Hebei region

1980-2000年,京津冀超过90%的区域生态系统服务中的固碳释氧服务明显降低(图4、图5),尤其是坝上、山区西部与北部区县降低最为明显,丰宁与围场由于林地与草地的剧烈退化导致固碳释氧服务降低最多。在京津冀平原区域,在食物生产提高的同时,仍有部分区县固碳释氧服务有所提高,但提高幅度并不大。2000-2015年,京津冀90%的区域实现了固碳释氧服务的逆转性增加,整体固碳释氧服务均较明显提高。除北京西部与北部郊区县、承德南部区县有一定降低外,其余区县均实现了固碳释氧服务的

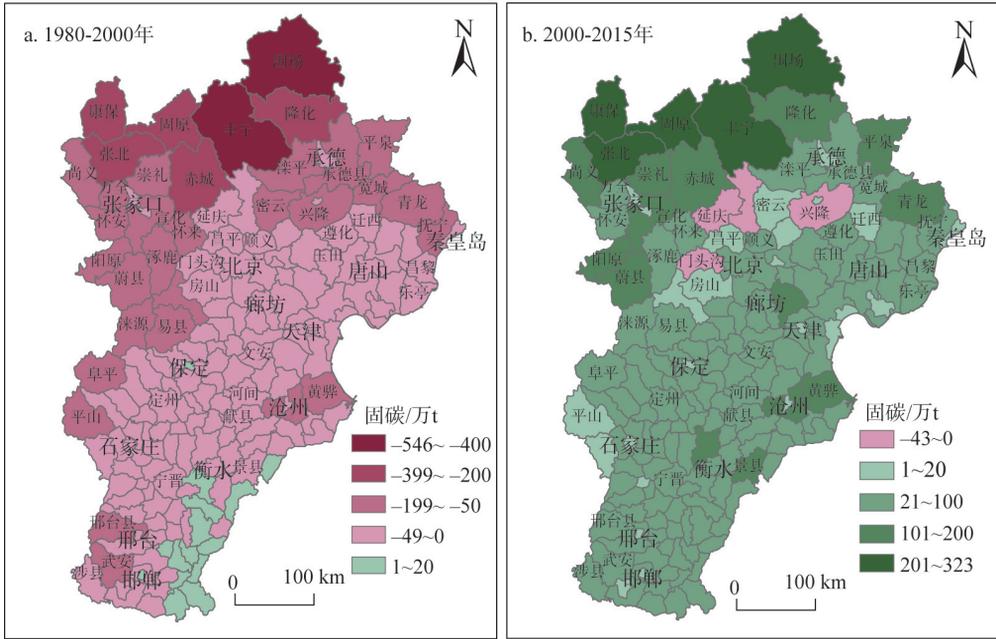


图4 京津冀生态系统服务—固碳服务变化

Fig. 4 The changes of carbon sequestration service in Beijing-Tianjin-Hebei region

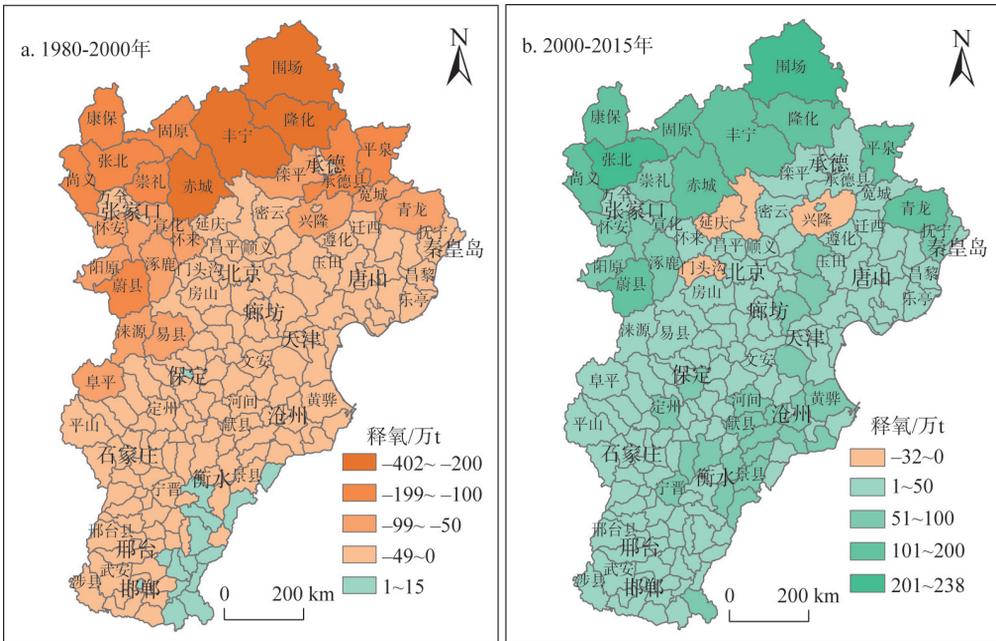


图5 京津冀生态系统服务—释氧服务变化

Fig. 5 The changes of oxygen release service in Beijing-Tianjin-Hebei region

提高。对比1980-2000年间的固碳释氧服务变化，得益于巨大投资的生态修复工程，京津冀区域的林地面积呈逆转性增加趋势（森林转型），使2000年前生态环境恶化明显的坝上与山区北部的固碳释氧服务实现了最为明显的逆转性增长。京津冀平原区域大部分区

域在保证食物生产服务的持续提高情况下(图3),均实现了固碳释氧服务的提高。

2.3 京津冀“生态系统服务转型”空间格局及其模式

通过综合分析京津冀生态系统服务中食物生产与固碳释氧两种服务的变化及空间格局,京津冀“生态系统服务转型”的模式见图6、图7。在“坝上一山区—平原”的地貌

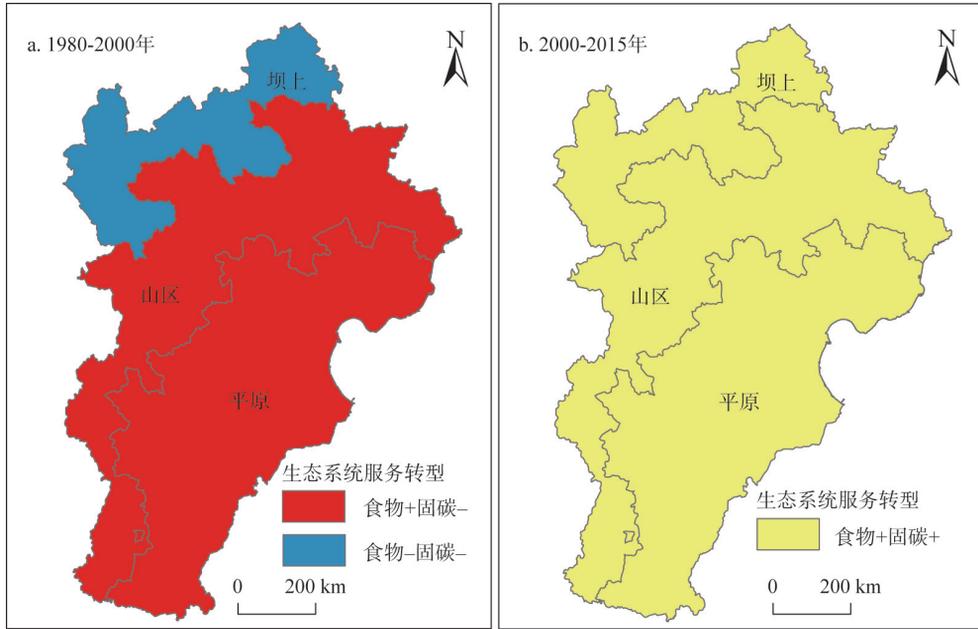


图6 京津冀按地貌分区的生态系统服务转型模式

Fig. 6 The pattern of ecosystem services transition of various landforms in Beijing-Tianjin-Hebei region

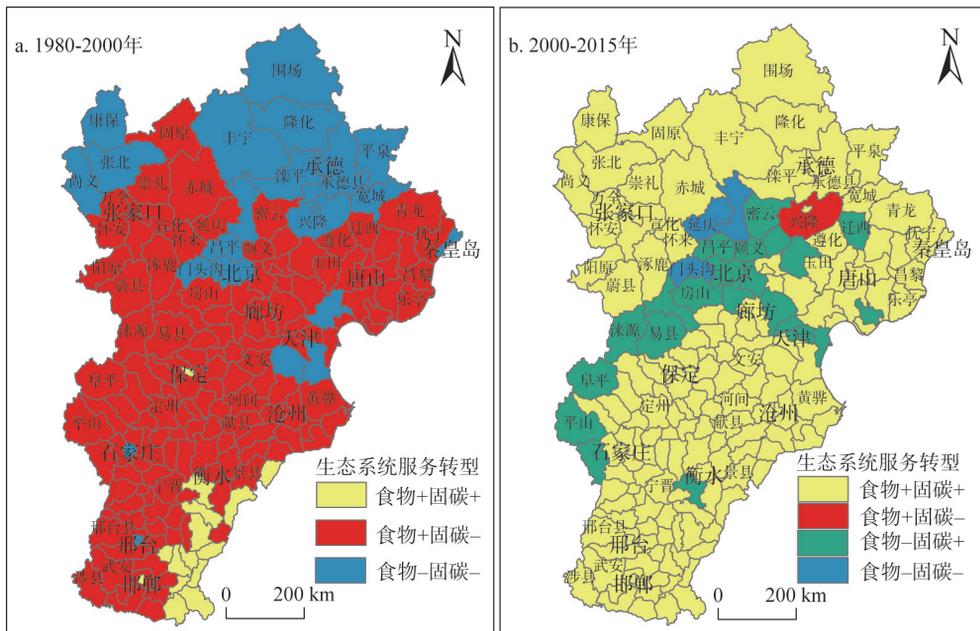


图7 京津冀区县级生态系统服务转型模式

Fig. 7 The pattern of ecosystem services transition of various counties in Beijing-Tianjin-Hebei region

区域, 1980-2000年间, 坝上地区呈现出食物生产服务与固碳释氧服务同时降低的趋势, 山区与平原地区则为食物生产服务增加、固碳释氧服务降低。2000-2015年间, 坝上、山区、平原地区均为食物生产服务与固碳释氧服务的同时增加, 这主要得益于多种生态修复工程实施后林地面积与质量的恢复。1980-2000年, 京津冀大部分区县主要以食物生产服务的增加与固碳释氧服务的降低为主, 河北省东南部部分区县实现了食物生产服务与固碳释氧服务的同时提高。在北京主城区、坝上多个区县既难以维持食物生产服务的提高, 也造成了调节服务中固碳释氧服务的明显降低, 生态系统服务状况难以持续。2000-2015年, 京津冀80%以上的区县均实现了食物生产服务与固碳释氧服务的同时提升, 表明农业生产力得到提高的同时生态环境也有所改善。另外, 北京主城区及大部分区县、天津主城区及北部区县、保定北部区县、石家庄西部区县呈现出食物生产服务的降低与固碳释氧服务的提升, 这主要是由于剧烈城市化对耕地的占用与城市及周边的生态绿化改善了城市生活—生态环境。北京西部与北部郊区县在城市化影响下同样出现了食物生产服务的降低, 但同时固碳释氧服务也在降低。兴隆县及周边仍存在食物生产服务进一步提高、而固碳释氧的调节服务持续降低的现象。

3 结论与讨论

3.1 结论

以分析土地利用变化与净初级生产力 (*NPP*) 变化为基础, 测算 1980-2015 年京津冀生态系统服务中食物生产与固碳释氧这两种服务的变化, 探讨京津冀“生态系统服务转型”及其空间格局, 主要结论如下:

(1) 1980-2015年, 京津冀区域的土地利用变化在面积上主要以建设用地的大幅扩张为主, 而耕地一直以来都是占用土地最多的土地利用类型, 建设用地占用耕地的现象在京津冀区域尤为突出。1980-2015年, 京津冀区域的净初级生产力 (*NPP*) 一直处于增加的趋势。1980年与2000年, 京津冀*NPP*的高值区域主要位于山区。2015年京津冀整体*NPP*均有所提高, *NPP*的高值区域主要集中于平原区域。

(2) 1980-2000年, 京津冀的生态系统服务主要以食物生产服务的增加与固碳释氧服务的降低为主, 而2000-2015年, 京津冀的生态系统服务主要以食物生产服务与固碳释氧服务的同时增加为主。1980-2015年, 京津冀超过80%的区域食物生产服务都有所提高。1980-2000年, 北京主城区、天津部分区县及坝上大部分县的食物生产服务有明显的下降。2000-2015年, 北京主城区及郊区县、天津主城区及北部郊区县的食物生产服务继续下降。1980-2000年, 京津冀超过90%的区域生态系统服务中的固碳释氧服务明显降低, 尤其是坝上、山区西部与北部区县降低最为明显。2000-2015年, 京津冀90%的区域实现了固碳释氧服务的逆转性增加, 整体固碳释氧服务均较明显提高。

(3) 人口持续增加与农业生产力的提升是京津冀区域内食物生产服务提升的主要原因。京津冀“生态系统服务转型”的主要原因是京津冀区域林地面积与质量、耕地质量、草地质量得到了提升。京津冀“生态系统服务转型”对于粮食安全具有积极的影响。在保证相关社会、经济、生态政策能支持现有大部分生态系统协同区域的前提下, 仍然需要关注个别生态系统服务权衡的区域, 尤其是食物生产服务与调节服务均持续降低的区域。

3.2 讨论

3.2.1 京津冀“生态系统服务转型”的原因

自1980-2015年,尤其是2000-2015年间,由于工业化与城市化的不断推进,京津冀区域人口流入的趋势有所加强。从需求角度来看,人口的不断增加必然导致京津冀区域对食物生产服务的需求不断增强,这促使京津冀的食物生产总量一直处于增加的趋势(表3)。总体上,京津冀生态系统服务中食物生产服务的持续增长趋势仍然存在,但在食物生产持续增加的整体态势下,食物生产总量的增长趋势有所放缓。1980-2000年粮食生产总量增加达到1419万t,而2000-2015年仅增加了不到1980-2000年的一半。相对于粮食生产,虽然蔬菜生产的增加值也出现了下降,但幅度比粮食生产增加放缓的程度低得多。京津冀区域的粮食生产增长幅度明显低于蔬菜生产增长幅度,反映了京津冀区域城市化发展对人们饮食习惯的影响,这种影响使得对于蔬菜的需求增长更大^[36]。

从土地利用类型的变化而言(表2、表4),35年来,京津冀土地利用类型中一直以耕地减少为主,同时建设用地剧增,林地与草地均小幅减少。但在坝上、山区区域,山区耕地由减少变为增加、林地减少变为增加,坝上各地持续增加、林地减少变为增加。在平原区域,耕地与林地均持续减少。因此2000-2015年间,京津冀区域“生态系统服务转型”中食物生产服务与固碳释氧服务同时增加的主要原因是坝上与山区的生态恢复,尤其是林地的增加。

35年来,除少数区域(北京主城区及周边郊区县、天津主城区及周边郊区县、保定北部部分区县、石家庄西部部分区县)由于建设用地扩张导致的食物生产服务与调节服务的下降外,京津冀大部分区域均实现食物生产服务与固碳释氧服务的同时增加(图3~图6)。这种食物生产服务增强与调节服务逆转的“生态系统服务转型”,另一个主要的原因在于京津冀区域各生态系统的质量得到了提升。京津冀1980-2015年主要植被覆盖区域NPP变化的面积与总量(表5)表

表3 1980-2015年京津冀粮食与蔬菜总产量变化

Table 3 The changes of grain and vegetable production in Beijing-Tianjin-Hebei region in 1980-2015 (万t)

食物类型	1980-2000年	2000-2015年
粮食	1419	678
蔬菜	4619	3416

表4 1980-2015年京津冀土地利用变化

Table 4 The land use changes in Beijing-Tianjin-Hebei region in 1980-2015 (km²)

土地利用类型	1980-2000年	2000-2015年
耕地	-2666	-2073
林地	-303	-62
草地	-47	-286
建设用地	3130	2802

表5 1980-2015年京津冀主要植被覆盖区域NPP变化的面积与总量

Table 5 The changes of NPP of areas covered by various vegetations in Beijing-Tianjin-Hebei region in 1980-2015

土地类型	1980-2000年			总量净值 /万t	2000-2015年			总量净值 /万t
	面积/km ²		净值		面积/km ²		净值	
	增加	减少			增加	减少		
耕地	36480	126784	-90304	-2868.21	199025	7810	191215	4264.333
林地	12352	54272	-41920	-2855.16	24894	19522	5372	608.5479
草地	3904	45120	-41216	-1462.63	24726	10082	14644	432.5175

明,京津冀区域内的耕地、林地、草地 *NPP* 均在 2000-2015 年实现了逆转性的增加。京津冀区域内平原 *NPP* 提高明显,表明农业机械水平、技术与投入的增加使农业生产能力大幅提升。农业集约化与技术水平的提高,使得京津冀在耕地面积不增加的情况下,食物生产服务依然能够增强。相比于草地,京津冀区域内林地的 *NPP* 在前 20 年减少更加明显,而在后 15 年中林地的恢复与 *NPP* 提升也更明显,尤其是在京津冀区域的山区。京津冀区域内生态恢复措施的实施,对于生态环境恢复的效果同时体现在林地、草地的面积与质量恢复方面(表 2)。

需要注意的是,京津冀山区与坝上区域的耕地面积仍然增加(表 2),由于这些区域的农业生产能力提高水平必然不如平原区域的农业生产能力提升水平,导致开垦耕地以满足食物生产服务提升的现象仍然存在,这将会对生态系统服务可持续性产生一定的影响。

3.2.2 “生态系统服务转型”对粮食安全与生态环境的影响

京津冀在 1980-2015 年呈现出的“生态系统服务转型”,表现在由 1980-2000 年间的食物生产服务提高与固碳释氧服务下降转变为大部分区域均实现食物生产服务与固碳释氧服务的同时增加。这种“生态系统服务转型”对于京津冀区域乃至中国的粮食安全均具有积极的影响。在耕地面积不增加的情况下,仍然能够满足食物生产的需要;在林地、草地等重要的生态系统中,已实现了从 1980-2000 年的林地减少逆转为 2000-2015 年的林地增加(森林转型),同时生态系统质量的提升,同样明显地提高了生态系统调节功能。

与生态系统服务的权衡与协同^[37]类似,“生态系统服务转型”中也存在着权衡与协同的转变。一定时期内,生态系统服务间的权衡与协同反映了各种社会、经济、生态系统服务间的选择,而这种在社会、经济、生态系统服务间选择或配置的演变引起了“生态系统服务转型”。在 1980-2000 年间,京津冀区域不同地区对于生态系统服务的权衡与协同并不相同,比如坝上各区县呈现出食物生产与调节服务的权衡取舍,当时较落后的社会—生活条件导致重视食物生产服务而忽视了调节服务。但在 2000-2015 年间,这些地区就从生态系统服务的权衡转变为了生态系统间的协同,呈现出既重视食物生产又重视调节服务的状况。这表明 2000-2015 年间出于粮食安全的考虑依然重视食物生产服务,而投资巨大的生态修复工程又促进了生态环境的有效恢复。

3.2.3 促进“生态系统服务转型”的政策建议

目前,京津冀区域的生态系统服务总体上处于协同的状况,这表明“生态系统服务转型”确实向良好的方向发展。在保证相关社会、经济、生态政策能支持现有大部分生态系统协同区域的前提下,仍然需要关注个别生态系统服务权衡的区域,尤其是食物生产服务与调节服务均持续降低的区域。生态系统服务与土地利用直接相关,因此调整土地利用相关政策是维持“生态系统服务转型”向可持续方向发展最为直接的方式。土地利用调整既有政策导向也有市场导向的特征。在食物生产服务与调节服务均持续降低的区域,应当制定能够提高农业机械化水平,提高农业技术水平,提高农业合作水平等相关的政策。同时,应继续在生态修复方面给予足够的重视,维持现有的生态环境保护措施。

参考文献(References):

- [1] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [2] 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. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919. [XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [3] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究. *地理研究*, 2018, 37(5): 1009-1022. [LIU Y Q, LONG H L, LI J L. Study on the land use transition and its cross-sensitivity of ecological service function in the Middle of Yangtze River Economic Belt. *Geographical Research*, 2018, 37(5): 1009-1022.]
- [4] LIU C, XU Y Q, HUANG A, et al. Spatial identification of land use multifunctionality at grid scale in farming-pastoral area: A case study of Zhangjiakou city, China. *Habitat International*, 2018, 76: 48-61.
- [5] PENG J, YANG Y, LIU Y X, et al. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *The Science of the Total Environment*, 2018, 644: 781-790.
- [6] BRADFORD J B, D'AMATO A W. Recognizing trade-offs in multi-objective land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2012, 10(4): 210-216.
- [7] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 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. [XIE G D, XIAO Y, ZHEN L, et al. Study on ecosystem service value of food production in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 10-13.]
- [8] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究: 以克里雅绿洲为例. *自然资源学报*, 2014, 29(11): 1849-1858. [POLAT M, HAMID Y. Ecosystem services sensitivity to land-use change: A case study of the Keriya Oasis. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(11): 1849-1858.]
- [9] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响: 以密云水库流域为例. *生态学报*, 2013, 33(3): 726-736. [LI Y F, LUO Y C, LIU G, et al. Effects of land use change on ecosystem services: A case study in Miyun Reservoir Watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 726-736.]
- [10] FU B J, CHEN L D, MA K M, et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in Northern Shaanxi, China. *Catena*, 2000, 39(1): 69-78.
- [11] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 961-976. [SHI Y Y, LYU X, HUANG X J, et al. Arable land use transition and its response of ecosystem services value change in Jiangsu coastal areas. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 961-976.]
- [12] WILSON S J, SCHELHAS R, GRAU A S, et al. Forest ecosystem-service transitions: The ecological dimensions of the forest transition. *Ecology and Society*, 2017, 22(4): 38.
- [13] MATHER A S. The forest transition. *Area*, 1992, 24(4): 367-379.
- [14] MATHER A S, NEEDLE C L. The forest transition: A theoretical basis. *Area*, 1998, 30(2): 117-124.
- [15] MATHER A S. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. *Scottish Geographical Journal*, 2004, 120(1-2): 83-98.
- [16] GRAINGER A. The forest transition: An alternative approach. *Area*, 1995, 27(3): 242-251.
- [17] PERZ S G, SKOLE D L. Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. *Society & Natural Resources*, 2003, 16(4): 277-294.
- [18] KRAUSMANN F. Forest transition in Austria: A socio-ecological approach. *Mitteilungen Der Osterreichischen Geographischen Gesellschaft*, 2006, 148: 75-91.
- [19] BAPTISTA S R. A re-emerging Atlantic forest?. Urbanization, industrialization and the forest transition in Santa Catarina, Southern Brazil. *Environmental Conservation*, 2006, 33(3): 195-202.
- [20] RUDEL T K, SCHNEIDER L, URIARTE M. Forest transitions: An introduction. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 95-97.
- [21] LONG H L, YI Q. Land use transitions and land management: A mutual feedback perspective. *Land Use Policy*, 2018, 74: 111-120.
- [22] GRAINGER A. National land use morphology: Patterns and possibilities. *Geography*, 1995, 80(3): 235-245.
- [23] 龙花楼, 李秀彬. 区域土地利用转型分析: 以长江沿线样带为例. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 144-149. [LONG H L,

- LI X B. Analysis on regional land use transition: A case study in transect of the Yangtze River. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 144-149.]
- [24] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 131-138. [LONG H L. Land use transition and rural transformation development. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 131-138.]
- [25] 阎世杰, 王欢, 焦珂伟. 京津冀地区植被时空动态及定量归因. *地球信息科学学报*, 2019, 21(5): 767-780. [YAN S J, WANG H, JIAO K W. Spatiotemporal dynamic of NDVI in the Beijing-Tianjin-Hebei region based on MODIS data and quantitative attribution. *Journal of Geo-Information Science*, 2019, 21(5): 767-780.]
- [26] 雷鸣, 孔祥斌, 王佳宁. 水平衡下黄淮海平原区耕地可持续生产能力测算. *地理学报*, 2018, 73(3): 535-549. [LEI M, KONG X B, WANG J N. Estimation of sustainable grain productivity for arable land under water balance in the Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 535-549.]
- [27] 王金杰, 王庆芳, 刘建国, 等. 协同视角下京津冀制造业转移及区域间合作. *经济地理*, 2018, 38(7): 90-99. [WANG J J, WANG Q F, LIU J G, et al. Transfer and cooperation mechanism of manufacturing industry in Beijing, Tianjin and Hebei under the synergetic perspective. *Economic Geography*, 2018, 38(7): 90-99.]
- [28] 苏文松, 方创琳. 京津冀城市群高科技园区协同发展动力机制与合作共建模式: 以中关村科技园为例. *地理科学进展*, 2017, 36(6): 657-666. [SU W S, FANG C L. Dynamic mechanism of coordinated development and collaborative development models of high-tech parks in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration: A case study of Zhongguancun Science Park. *Progress in Geography*, 2017, 36(6): 657-666.]
- [29] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 等. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别. *自然资源学报*, 2018, 33(10): 1806-1820. [LIU C, HUO Y W, XU Y Q, et al. Changes in cultivated land and influencing factors before and after the implementation of grain for green project in Zhangjiakou city. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1806-1820.]
- [30] YANG Y Y, ZHENG H, XU W H, et al. Temporal changes in multiple ecosystem services and their bundles responding to urbanization and ecological restoration in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Area. *Sustainability*, 2019, 11(7): 1-14.
- [31] 潘佩佩, 王晓旭, 赵倩石, 等. 河北省耕地利用变化对粮食生产的影响效应及时空格局分析. *地理与地理信息科学*, 2018, 34(6): 85-92. [PAN P P, WANG X X, ZHAO Q S, et al. Effects of cropland change on grain production in Hebei province: The spatial-temporal pattern. *Geography and Geo-Information Science*, 2018, 34(6): 85-92.]
- [32] OUYANG Z Y, ZHENG H, XIAO Y, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [33] HUANG A, XU Y Q, SUN P L, et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: A case study of Zhangjiakou city, Hebei province, China. *Ecological Indicators*, 2019, 104: 604-614.
- [34] 陈福军, 沈彦俊, 李倩, 等. 中国陆地生态系统近30年NPP时空变化研究. *地理科学*, 2011, 31(11): 1409-1414. [CHEN F J, SHEN Y J, LI Q, et al. Spatio-temporal variation analysis of ecological system NPP in China in past 30 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(11): 1409-1414.]
- [35] 李裕瑞, 刘彦随, 龙花楼. 中国农村人口与农村居民点用地的时空变化. *自然资源学报*, 2010, 25(10): 1629-1638. [LI Y R, LIU Y S, LONG H L. Spatio-temporal analysis of population and residential land change in rural China. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(10): 1629-1638.]
- [36] 李云云, 王灵恩, 刘晓洁, 等. 基于入户跟踪调研的山东省农村居民家庭食物消费结构与特征研究. *自然资源学报*, 2018, 33(6): 978-991. [LI Y Y, WANG L E, LIU X J, et al. Structure and characteristics of food consumption of rural households in Shandong province based on household tracking survey. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 978-991.]
- [37] LU N, FU B J, JIN T T, et al. Trade-off analyses of multiple ecosystem services by plantations along a precipitation gradient across Loess Plateau landscapes. *Landscape Ecology*, 2014, 29(10): 1697-1708.

Ecosystem services transition in Beijing-Tianjin-Hebei region and its spatial patterns

LU Long-hui^{1,2}, CHEN Fu-jun³, XU Yue-qing^{1,2}, HUANG An^{1,2}, HUANG Ling⁴

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, The Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China; 3. Bureau of Natural Resources and Planning of Caofeidian District, Tangshan 063200, Hebei, China; 4. Miyun No. 6 Middle School, Beijing 101500, China)

Abstract: Land use changes can affect the ecosystem services. Since the implementation of reform and opening-up policy in 1978, the transformation and development of society and economy has led to the land use transition, and furthermore led to the "ecosystem services transition". Based on the data of LUCC, net primary productivity (*NPP*) and statistics in 1980, 2000 and 2015, this paper analyzed the changes and spatial patterns of two types of ecosystem service, e.g., food production, carbon sequestration and oxygen release, in the Beijing-Tianjin-Hebei region by using the methods of GIS and ecosystem service values calculation, and revealed the reasons for the "ecosystem services transition". The results show that: (1) In the past 35 years, the land use changes in the study region was mainly characterized by the expansion of construction land and the decrease of cultivated land. The phenomenon of conversion of cultivated land to construction land was particularly prominent in this region. Between 1980-2000 and 2000-2015, the cultivated land in mountainous areas changed from decrease to increase and the forest land changed from decrease to increase. The cultivated land in dam areas continued to increase and the forest land changed from decrease to increase. Both the cultivated land and forest land in plain area continued to decrease. In 1980 and 2000, areas with high values of *NPP* were mainly located in mountainous areas, and in 2015, they were mainly found in plain areas. (2) From 1980 to 2000, the ecosystem services in the study area were mainly reflected by the increase of food production service and the decrease of carbon sequestration and oxygen production service. From 2000 to 2015, the ecosystem services in the region were mainly featured by the simultaneous increase of food production function and carbon sequestration and oxygen production function. The pattern of "ecosystem service transition" was "food production + carbon sequestration and oxygen production -" → "food production + carbon sequestration and oxygen production +". (3) The main reasons for "ecosystem services transition" were the improvement of agricultural productivity, the increase of area and quality of forest land, and the increase of the quality of cultivated land and grassland. In general, the "ecosystem services transition" in the Beijing-Tianjin-Hebei region has a positive impact on food security. It is particularly necessary to pay attention to areas where both food production function and ecological function declined. Policies aimed at improving agricultural productivity should be formulated, while policies for supporting ecological restoration should be continued.

Keywords: land use changes; ecosystem services transition; food production; carbon sequestration and oxygen production; spatial patterns