

生态系统服务功能视角下建设用地扩张对生境网络的影响——以苏锡常地区白鹭栖息地为例^{*1}

吴未^{1, 2} 廉文慧¹

(1. 南京农业大学土地管理学院, 江苏南京, 210095;

2. 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 江苏南京, 210095)

【摘要】:从生态系统服务功能视角分析建设用地扩张对生境网络的影响,对目标物种及生物多样性保护具有重要现实意义。以快速城市化苏锡常地区为研究区域,对建设用地扩张变化采用地类分析和生态系统服务功能货币化的方法,探讨了建设用地扩张、生境网络及生态系统服务功能三者之间的关系。结果表明:(1)建设用地扩张对生境网络用地总生态系统服务功能价值的影响高于建设用地扩张直接导致的地类变化对区域总生态系统服务功能价值的影响;(2)就生境网络用地而言,建设用地扩张会导致迁移廊道和生境斑块总生态系统服务功能价值降低,建设用地扩张对迁移廊道生态系统服务功能价值的影响高于对生境斑块的影响,且迁移廊道的生态系统服务功能更具多元化;(3)建设用地扩张直接导致基于白鹭生存需求的生境用地生态系统服务价值的减小,且减小幅度大于研究区总生态系统服务价值变化情况;建设用地扩张导致生境用地某些生态过程缺失,间接影响了物种迁移、基因交流,进而影响到网络功能。该研究为建设用地扩张方向及利用强度,区域生物多样性保护及维护生态系统健康提供了依据。

【关键词】:建设用地扩张;生态系统服务功能;生境网络;快速城市化地区

【中图分类号】:TU984 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2018)05-1043-08

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201805011

生境网络在促进物种间物质流动、基因迁移、多样性保护等方面具有重要作用^[1~3]。随着快速城市化和社会经济迅猛发展,建设用地不断扩张^[4~6],对生境网络产生严重影响,如生境破碎化现象加剧^[7]、网络适宜性衰退、连通性减弱、整体功能下降等^[8~10]。

建设用地扩张在影响地区生态系统服务功能的同时也对生境网络造成影响^[11~14]。事实上,生态系统服务功能既是建设用地扩张影响的结果,一定程度上也是影响物种建群、扩散、迁移及其它生态过程的原因^[15]。生态过程不同,对应的能量流动、物种迁移规律及网络连通性便不同^[16]。建设用地扩张、生态系统服务功能和生境网络功能三者关系密切,建设用地扩张改变景观格局,导致生境用地生态过程发生改变,对生境内部生态系统服务功能产生影响进而改变生境网络功能。已有成果中,建设用

¹ 收稿日期:2017-07-12; 修回日期:2017-10-30

基金项目:国家自然科学基金项目(41571176)

作者简介:吴未(1973~),男,博士,教授,主要研究方向为土地利用规划与管理、城乡规划与土地资源可持续利用。

E-mail:ww@njau.edu.cn

地扩张对生境网络影响的研究多集中在对网络构成要素(如栖息地/生境斑块、踏脚石^[17])和网络结构(如连通性)的分析^[18];对生态系统服务功能影响的研究多集中在对生态过程^[19~22]和生态系统结构^[23~25]的分析;在生境网络与生态系统服务功能关系探讨中,有研究关注于生境网络质量对生态系统服务功能的影响^[26~28]。将三者结合起来量化分析的研究较少。

苏锡常地区近年来城市化发展迅猛,建设用地不断扩张,区内物种栖息地面积急剧减少,生境质量和数量下降,严重影响了区内生态系统健康。本文以快速城市化苏锡常地区为例,以区内白鹭为代表物种,从生态系统服务功能出发,分析建设用地扩张对生境网络的影响,期望通过量化分析三者之间的关系,丰富已有认知、增进建设用地扩张合理性研究。

1 研究区概况

苏锡常地区(图 1)属长江冲积平原,区内地势平坦,河湖众多,属北亚热带季风气候,年均降水 1092.4mm,年均气温 15.3℃。地区总面积 1.75 万 km²,水域面积占 32.47%。境内物种丰富,鸟类、兽类、两栖爬行类有 200 多种,鸟类 170 多种。区内有太湖等较多大型水域和湿地,是白鹭等湿地水鸟的主要生活及繁殖场所。



图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

苏锡常地区以全省约 17%的国土面积和人口,实现了约 40%的 GDP 和地方财政收入。近年来苏锡常地区城市化进程速度迅猛,2000~2010 年地区建设用地比重从 14.71%增至 27.82%,区域土地利用结构和空间布局发生了很大变化。截止 2010 年底,3 市城市化率分别达到 70.6%、71.0%和 63.9%。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源及处理

采用中国科学院国际科学数据服务平台 2005、2010 和 2015 年 3 期 Landsat TM 遥感数据、1:5 万数字高程 DEM 数据(30m

×30m)、全国县级行政区划矢量图以及3市《统计年鉴(2006—2016年)》。

Landsat TM 影像经解译得到土地利用/覆被数据,结合白鹭生境特点、数据精度及土地资源管理工作实际,以谷歌影像作为参考影像,通过目视解译,将区内土地划分为水田、旱地、园地、乔木林地、灌木林地、草地、城乡建设用地、交通用地、滩涂沼泽、湖泊水库、河流、沟渠/运河和其他未利用地13类。在假设目视解译结果正确的基础上,将分类图像中特定的像元与已知分类的参考像元进行比较,通过混淆矩阵计算分类得到总体精度为92.51%,基本能真实反映区域土地利用状况,可为后续研究提供可靠依据。预处理由ArcGIS10.0软件完成。

2.2 研究方法

建设用地扩张通过改变土地利用格局的方式影响着生境网络和生态系统服务功能。区域生态系统服务功能价值量的变化可从侧面反映建设用地扩张对研究区生境网络用地某些重要生态过程的干扰,进而反映出建设用地扩张对生境网络功能的影响。生态系统服务功能价值量化方法可采用货币化分析,如采用市场价值法将区域生态系统服务功能折算成等值货币,即生态系统服务功能价值量(Ecosystem Service Value, ESV)^[29]。

2.2.1 建设用地扩张的生态系统服务功能价值测算

区域生态系统服务功能及其价值不是一成不变的,本文采用协调系数测算模型^[30],结合研究区社会经济因素等具体情况予以修正,在此基础上采用生态系统服务功能货币化的方法计算不同时期生境用地生态系统服务价值。具体步骤如下:

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (1)$$

$$S_{ij} = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

$$G_{ij} = 1 - x_{ij} \quad (3)$$

$$A_{ij} = \frac{G_{ij}}{\sum_{j=1}^n G_{ij}} \quad (4)$$

$$H_{ij} = \sum_{j=1}^n A_{ij} P_{ij} \quad (5)$$

$$B_i = 1 - \frac{\alpha_i}{\bar{x}_i} \quad (6)$$

式中: P_{ij} 为第*i*年第*j*项指标 x_{ij} 的比例; S_{ij} 为指标 x_{ij} 的信息熵; G_{ij} 为 x_{ij} 的差异性系数,其值越大,指标 x_{ij} 就越重要; A_{ij} 为各指标 x_{ij} 的权重; H_{ij} 为社会、经济及生态系统状况协调发展指数; m 为年份数; n 为指标个数, B_i 为各指标协调系数, α_i 为第*i*年各指标间协调发展指数的标准差, \bar{x}_i 为第*i*年社会、经济及生态系统状态3个发展指数的平均值。

协调系数可定量反映各指标间的协调发展状况，苏锡常地区生态系统服务价值随着社会、经济发展的变化而变化。根据已有研究成果，可将各指标间的协调系数作为苏锡常地区生态系统服务价值的修正系数。表 1 为基础生态系统服务功能价值当量值，表 2 为苏锡常地区生态系统服务功能价值当量修正系数。

表 1 生态系统服务功能价值当量表(元/hm²)

生态系统服务功能	湿地	耕地	林地	水域
气候调节	29 722.88	1 546.98	4 693.08	799.56
水源涵养	26 941.79	1 042.91	5 562.18	35 458.87
水土保持	2 972.29	2 537.74	6 778.91	17.38
固碳	3 128.72	869.09	6 083.63	0
废物处理	31 600.11	2 950.62	2 277.02	31 634.88
保持生物多样性	4 345.45	1 234.11	5 666.47	4 328.07
总计	98 711.24	10 181.45	31 061.29	72 238.76

表 2 苏锡常社会、经济及生态系统状况协调发展指数及协调系数

年份	协调发展指数			修正系数
	社会	经济	生态系统状况	
2000	0.015 9	0.012 2	0.031 1	0.923 6
2005	0.012 3	0.022 8	0.051 7	0.835 6
2010	0.015 9	0.038 7	0.075 3	0.827 4

建设用地扩张改变了土地利用类型及其生态系统服务功能价值。价值变化情况可通过建设用地转入—转出量及对应单位面积生态系统服务功能价值测得。其计算表达式为：

$$\Delta ESV = \Delta ESV_{\text{出}} + \Delta ESV_{\lambda} \quad (7)$$

$$\Delta ESV_{\text{出}} = \sum \Delta A_{k\text{出}} \times VC_k - \Delta A_{\text{出}} \times VC_{\text{建}} \quad (8)$$

$$\Delta ESV_{\lambda} = \Delta A_{\lambda} \times VC_{\text{建}} - \sum \Delta A_{k\lambda} \times VC_k \quad (9)$$

式(7)中： ΔESV 为建设用地扩张引起的生态系统服务功能价值变化总量； $\Delta ESV_{\text{出}}$ 为建设用地转为其他土地利用类型引起的生态系统服务功能价值变化量； ΔESV_{λ} 为其他土地利用类型转为建设用地引起的生态系统服务功能价值变化量。式(8)中， $\Delta A_{k\text{出}}$ 为建设用地转为第 k 种土地利用类型的面积； VC_k 为第 k 种土地利用类型单位面积生态系统服务功能价值； $\Delta A_{\text{出}}$ 为建设用地转为其他土地利用类型的总面积； ΔA_{λ} 为其他土地利用类型转为建设用地的总面积。建设用地转入—转出量可由土地利用类型面积转移矩阵测得；不同土地利用类型不同时期单位面积生态系统服务功能价值，可依据以上修正成果获得。以上计算由 ArcGIS10.0 和 EXCEL 软件实现。

2.2.2 基于生态系统服务功能价值的生境网络变化测算

生境网络主要包括生境斑块和迁移廊道 2 类结构构成要素，其生态系统服务功能价值变化情况也由这 2 部分构成：(1)采用生境约束条件模型^[18]，识别出 2000、2005 和 2010 年白鹭生境斑块；采用几何中心法将上述生境斑块转化为生境节点；(2)采用最小成本路径法并依据已有成果设定不同地类阻力值^[31]，识别出迁移廊道；(3)考虑到迁移安全要求^[32]，将 200m 保护鸟类适宜宽度^[33]设定为迁移廊道宽度，作为迁移廊道地类变化测度依据；通过以上步骤，分别构建出 3 期白鹭生境网络；(4)考虑到 Costanza 标准中没有文中地类生态系统服务价值系数，参照相关成果^[34~36]，采用地类所属大类生态系统服务价值系数代替。以上计算由 ArcGIS10.0 和 EXCEL 软件实现。

2.2.3 基于白鹭生存需求的生态系统服务价值量变化及其影响测度

生态系统服务功能分类是一项复杂的综合性研究，目标物种及分类目的不同，所构建的生态系统服务功能分类体系就不相同^[37]。本文基于白鹭生存需求对建设用地扩张导致的白鹭生境用地生态系统服务功能价值量的变化进行分析，从而直接反映建设用地扩张导致的白鹭赖以生存的生境用地的生态环境造成的影响^[38]；同时建设用地扩张导致的生境用地某些重要生态功能的缺失直接影响到生境内物种迁移、基因交流，进而间接影响了网络功能，通过不同时期生境网络特点(斑块面积、连接度等)可间接反映建设用地扩张引起的生态系统服务价值的变化对生境网络造成的影响。

3 结果与分析

3.1 建设用地扩张的生态系统服务功能价值变化情况

表 3 为研究区 2005~2010 和 2010~2015 年建设用地扩张引起的其他土地利用类型转入—转出及对应生态系统服务功能价值变化情况。总体上两个时段的生态系统服务功能总值呈下降趋势，且前一时段下降更明显，说明前一时期建设用地扩张强度更大、占用了更多其他地类用地。扩张以占用水田为主、减少的生态系统服务价值占比也最大；占用的滩涂沼泽和湖泊水库面积占比虽然不高，但对生态系统服务功能总值减少影响较大。

表 3 建设用地与其他地类转入转出面积及对应生态系统服务功能价值变化情况 (hm²、千万元、%)

土地利用类型	水田		乔木林地		湖泊水库		滩涂沼泽		其他		总计
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	
2005-2010	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	
转入面积	136 739	94.00	1 921	1.32	6 355	4.37	386	0.27	65	0.04	145 466
ESV 变化量	-164.1	72.35	-7.2	3.17	-51.20	22.57	-4.30	1.89	0	0.02	-226.80
转出面积	8 944	73.95	1 129	9.34	1 941	16.05	16	0.13	64	0.53	12 094
ESV 变化量	10.70	35.31	4.20	13.86	15.20	50.17	0.20	0.66	0	0	30.30
净转出面积	127 795	95.82	792	0.59	4 414	3.31	370	0.28	1	0	133 372
ESV 总变化量	-153.4	78.07	-3.00	1.53	-36.00	18.32	-4.10	2.09	0	0	-196.50
2010-2015	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	
转入面积	101 519	91.93	321	0.29	8 523	7.72	35	0.03	25	0.02	110 423
ESV 变化量	-123.60	65.74	-1.20	0.64	-62.80	33.40	-0.40	0.22	0	0	-188.00
转出面积	7 655	95.63	87	1.08	236	2.95	9	0.11	17	0.21	8 004
ESV 变化量	8.30	80.58	0.30	2.91	1.70	16.50	0	0	0	0	10.30
净转出面积	93 864	91.60	234	0.23	8 287	8.09	44	0.04	42	0.04	102 471
ESV 总变化量	-115.30	64.88	-0.90	0.51	-61.10	34.38	-0.40	0.23	0	0	-177.70

3.2 建设用地扩张下生境用地生态系统服务功能价值变化情况

表4为2005、2010和2015年白鹭生境网络对应地类生态系统服务功能价值变化情况。10a间,生境网络用地生态系统服务总值从1261.06千万元降至939.90千万元降幅25.51%,高于建设用地扩张对地区生态系统服务功能总值造成19.65%降幅的影响,说明生境网络用地被占情况更严重;同时,生境网络用地的生态系统服务功能总值减少程度甚于其数量减少情况,说明生

境网络用地的单位生态系统服务功能价值在下降或生态系统服务功能在衰退。从地类构成看，乔木林地作为白鹭重要筑巢地用地，虽然面积和生态系统服务功能价值占比不高，但降幅最大，间接反映了对生境网络的影响。

表 4 白鹭生境网络对应地类生态系统服务功能价值变化情况 (hm²、千万元、%)

土地利用类型	2005 年			2010 年			2015 年		
	面积 (hm ²)	ESV	比例 (%)	面积 (hm ²)	ESV	比例 (%)	面积 (hm ²)	ESV	比例 (%)
湖泊水库	174 901.46	1 232.76	97.76	168 585.13	1043.56	98.36	159 276.28	928.65	98.80
滩涂沼泽	187.22	3.21	0.25	206.44	3.28	0.31	196.57	3.02	0.32
水田	14.75	0.00	0	6.57	0.00	0	8.28	0.00	0
乔木林地	5 841.16	25.09	1.99	37 76.55	14.12	1.33	2 836.51	8.23	0.86
总计	180 944.59	1 261.06	100	17 2574.69	1 060.96	100	162 124.09	939.90	100

表 5 和表 6 分别为 2005、2010 和 2015 年白鹭生境斑块和迁移廊道对应地类生态系统服务功能价值及占比情况。(1)对生境斑块用地而言，生态系统服务功能价值呈下降趋势降幅 28.23%；功能上以水土涵养和废物处理为主，价值占比 43%左右；其中，保持生物多样性功能价值占比为 5.95%处于较低水平，同时其价值降幅大于生境斑块生态系统服务功能总值的 28.7%降幅水平，反映出保护生物多样性功能的衰退。(2)对迁移廊道用地而言，生态系统服务功能价值也为下降趋势降幅 64.65%，高于生境斑块地类情况，说明建设用地扩张对迁移廊道的影响大于对生境斑块的影响；功能上以水土涵养、废物处理和气候调节为主，但随时间推移，生产及文化功能价值占比有所提高，功能趋于多元化，间接反映出受人为干扰趋势加剧。

表 5 白鹭生境斑块对应地类单项生态系统服务功能价值及占比情况(千万元、%)

生态系统服务价值	2005 年		2010 年		2015 年	
	ESV	比例 (%)	ESV	比例 (%)	ESV	比例 (%)
固碳	3.14	0.25	1.93	0.18	1.56	0.17
支持保持生物多样性	76.73	6.15	64.26	6.10	53.28	5.95
废物处理	538.72	43.21	457.14	43.45	401.31	44.83

气候调节	16.51	1.32	13.52	1.28	11.22	1.25
调节水源涵养	558.26	44.76	467.25	44.78	382.94	42.77
水土保持	3.93	0.31	2.36	0.22	2.01	0.22
生产提供农林产品	29.28	2.34	24.11	2.29	19.28	2.15
文化休闲旅游	20.71	1.66	21.90	1.70	23.59	2.64
总计	1 247.28	100	1 052.47	100	895.19	100

表6 白鹭迁移廊道对应地类单项生态系统服务功能价值及占比情况(千万元、%)

生态系统服务价值	2005 年		2010 年		2015 年	
	ESV	比例 (%)	ESV	比例 (%)	ESV	比例 (%)
固碳	0.78	5.65	0.36	4.27	0.28	4.77
支持保持生物多样性	1.01	7.32	0.56	6.59	0.32	5.45
废物处理	3.76	27.36	2.46	28.97	2.23	28.32
气候调节	2.26	16.43	1.32	15.56	1.21	20.61
调节水源涵养	3.91	28.34	2.48	29.21	2.17	28.06
水土保持	0.74	5.35	0.44	5.22	0.38	5.13
生产提供生活产品	0.83	6.01	0.54	6.31	0.43	5.63
文化休闲旅游	0.49	3.54	0.33	3.86	0.21	2.03
总计	13.78	100	8.49	100	4.87	100

3.3 基于白鹭生存需求的生态系统服务价值量变化及其影响分析

从维持白鹭生境稳定性的生存、迁移和基因交流 3 个基本层次来说，白鹭生境网络所需基本生态系统服务功能应包括充足的食物生产(提供日常食物)、生活空间、健康的生态环境(气候调节、水源涵养、废物处理)和正常的基因交流。上述生态系统服务功能价值量的变化对白鹭生境网络稳定性具有重要意义。由表 5 和表 6 可知:2005~2015 年间满足白鹭生存需求的基本生态系统服务功能价值量从 1142.77 千万元降至 814.75 千万元，降幅 28.74%，高于生境用地总生态系统服务功能价值量的变化。

在生境网络中，良好的网络连通性是目标物种进行基因交流的重要保障。图 2 为研究区 2005~2010 年生境网络。由图可知:2005~2015 年间，建设用地扩张侵占了某些重要生境斑块和迁移廊道，导致生境斑块明显减少，网络连接性显著降低，且生境用地生态系统服务功能价值量与斑块数量、面积、密度和廊道异质性的相关性逐渐增强，这是由于生境斑块和迁移廊道在生

境网络中承担目标物种基因交流、物种迁移等重要作用，而建设用地的扩张引起的生境用地某些重要生态功能的缺失直接影响到生境内物种迁移、基因交流，进而影响网络功能。

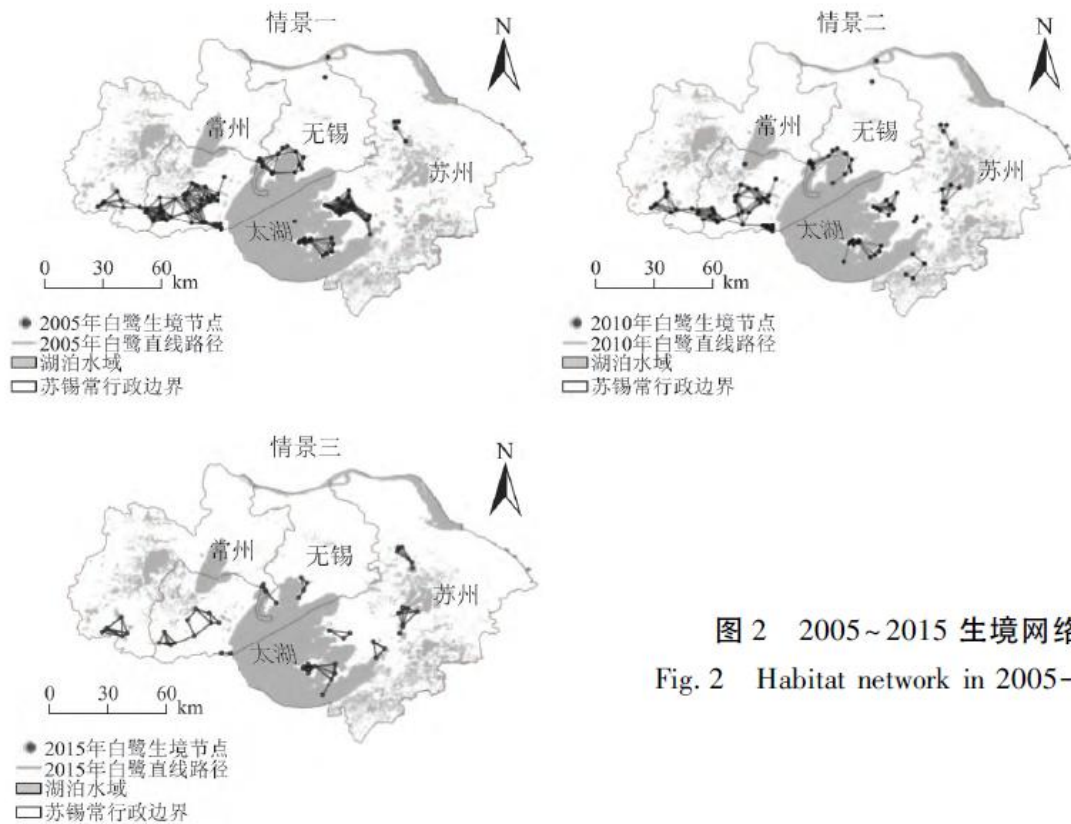


图 2 2005~2015 生境网络
Fig. 2 Habitat network in 2005–2010

4 结论与讨论

从建设用地扩张、生境网络和生态系统服务功能三者相关关系出发，采用生态系统服务功能货币化方法，定量分析了建设用地扩张对生境网络的影响，结果表明：(1) 生境网络生态系统服务功能衰退程度和价值减少程度均明显大于地区整体情况，说明建设用地扩张对生境网络造成的破坏更严重；(2) 建设用地扩张对生境网络不同构成结构要素造成的影响不同，与生境斑块相比，对迁移廊道的负面影响更明显，一定程度上反映了自然保护区空间布局与生物多样性空间格局、生态系统服务格局匹配性不高的观点。(3) 建设用地扩张导致基于白鹭生存的生态系统服务价值减少且减小幅度大于生境用地总生态系统服务功能价值量的变化。

同时研究中也存在一些不足，如(1)从生态系统服务功能出发，虽然可以探讨建设用地扩张对生境网络影响变化情况，但无法直接反映网络连通性；但是生境网络生态系统服务功能价值减少总量明显大于地区生态系统服务功能价值减少量，也一定程度上反映出以上观点；(2)研究虽然考虑到廊道迁移功能，但无法直接测度网络整体连通性，研究方法还需要完善；(3)建设用地扩张对生境网络生态系统服务功能价值影响测算时，忽略了其他社会经济因素的影响，也值得注意。

建设用地对研究区生境网络的影响，体现在多个方面，包括直接影响(生境斑块面积、迁移廊道等网络构成要素)和间接影响(生境用地生态系统服务功能等)。与以往研究不同的是，本文从生态系统服务功能视角，探讨了建设用地扩张对生境质量的间接影响，一定程度上表明建设用地扩张与生境用地生态系统服务功能的不匹配关系^[39]，但二者间的直接关系仍有待深入研究

和拓展。

参考文献:

[1] JONGMAN R H G. Nature conservation planning in Europe:developing ecological networks [J]. Landscape and Urban Planning. 1995, 32(3) : 169—183.

[2] JOHANNESSEN J, SAMIETZ J, WALLASCHEK M, et al. Patch connectivity and genetic variation in two congeneric grasshopper species with different habitat preferences [J]. Journal of Insect Conservation. 1999, 3(3) : 245—258.

[3] JONGMAN R H G, BOUWMA I M, GRIFFIOEN A, et al. The pan european ecological network: PEEN [J]. Landscape Ecology, 2011, 26(3) : 311—326.

[4] MIRKATOULI J, HOSSEINI A, NESHAT A, et al. Analysis of land use and land cover spatial pattern based on Markov chains modelling [J]. City, Territory and Architecture. 2015, 2(1) :1—9.

[5] HARMAN B P, PRUETZ R, HOUSTON P, et al. Tradeable development rights to protect peri-urban areas: lessons from the united states and observations on australian practice [J]. Journal of Environmental Planning and Management. 2015, 58(2) : 357—381.

[6] 王晓峰, 傅伯杰, 苏常红, 等. 西安市城乡建设用地时空扩展及驱动因素 [J]. 生态学报, 2015, 35 (21) : 7139—7149.

WANG X F, FU B J, SU C H, Spatio-temporal characteristics and driving forces of built-up land in Xi' an, China [J], Acta Ecologica Sinica. 2015, 35(21) : 7139—7149.

[7] PALOMINO D, CARRASCAL L M. Habitat associations of a raptor community in a mosaic landscape of central spain under urban development [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 83(4) : 268—274.

[8] JULIO PE AS, BLAS BENITO, JUAN LORITE et al. Habitat fragmentation in arid zones: a case study of linaria nigricans under land use changes (SE Spain) [J]. Environmental Management. 2011, 48(1) : 168—176.

[9] COLLINGE S K. Ecological consequences of habitat fragmentation:implications for landscape architecture and planning [J]. Landscape and Urban Planning. 1996, 36(1) : 59—97.

[10] PAETKAU D, WAITS L P, CLARKSON P L, et al. Variation in genetic diversity across the range of North American brown bears [J]. Conservation Biology. 1998, 12 (2) : 418—429.

[11] THEOBALD D M, CROOKS K R, NORMAN J B, et al. Assessing effects of land use on landscape connectivity: loss and fragmentation of western U. S. forests [J]. Ecological Applications, 2011, 21(07) : 2445—2458.

[12] REINO L, BEJA P, ARAU' JO M B. Does local habitat fragmentation affect large-scale distributions? The

case of a specialist grassland bird [J]. *Diversity Distribution*. 2012, 19 (4) :566—580.

[13] FRASER D J, DEBES P V, BERNATCHEZ L, et al. Population size, habitat fragmentation, and the nature of adaptive variation in a stream fish [J]. *Biological Sciences*. 2014, 281 (17) :1153—1166.

[14] 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 [J]. *生态学报*, 2013, 33(3) : 726—736.

LI Y F, LUO Y C, LIU G. Effects of land use change on ecosystem services, a case study in Miyun Reservoir Watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2013, 33(3) : 0726—0736.

[15] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响 [J]. *生态学报*, 2003, 23(11) : 2424—2435.

WU Z J, LI Y M. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2003, 23(11) : 2424—2435.

[16] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 79.

FU B J, CHEN L D, MA K M. Principles of landscape ecology and its application (Second edition) [M]. Beijing: Science Press, 2011: 79.

[17] CHUNYANG H, ZHIFENG L, JIE T, et al. Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective [J]. *Global Change and Biology*, 2014, 20(9) : 1152—1163.

[18] 吴未, 张敏, 许丽萍, 等. 土地利用变化对生境网络的影响——以苏锡常地区白鹭为例. *生态学报*, 2015, 35(14) : 4897—4906.

WU W, ZHANG M, XU L P. The impact of land use change on habitat network: a case study of Egretta garzetta in Su-Xi-Chang Area [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2015. 35 (14) :4897—4906.

[19] 赵军, 曾辉. 快速城市化地区生态质量退降的自组织临界性——以深圳市南山区为例 [J]. *生态学报*, 2006, 23(11) : 3804—3811.

ZHAO J, ZENG H. Self-organizing criticality of ecological degradation in quickly urbanizing area : a case study in Nan Shan District, Shenzhen [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2006, 26(11) : 3804—3811.

[20] 郭小燕, 刘学录, 王联合国. 以提高生态系统服务为导向的土地利用优化研究——以兰州市为例 [J]. *生态学报*, 2016, 36(24) : 7992—8001.

GUO X Y, LIU X L, WANG L G. Land use optimization in order to improve ecosystem service: a case of Lanzhou City [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2016, 36(24) : 7992—8001.

[21] 张骞, 高明, 杨乐. 1988 ~ 2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化 [J]. *生态*

学报, 2017, 37(02) : 566—575.

ZHANG Q, GAO M, YANG L. Changes in the spatial structure of ecological land and ecosystem service values in nine key districts of Chongqing City over the past 25 years [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2017, 37(2) : 566—575.

[22] VILDE FLUGE LILLESUND, DAGMAR HAGEN, OTTAR MICHELSEN. Comparing land use impacts using ecosystem quality, biogenic carbon emissions, and restoration costs in a case study of hydropower plants in Norway [J]. *Life Cycle Assess*, 2017, 17(21) : 112—119.

[23] 黄云凤, 崔胜辉, 石龙宇, 等. 半城市化地区生态系统服务对土地利用/覆被变化的回应——以厦门市集美区为例 [J]. *地理科学进展*, 2012, 31(05) : 551—560.

HUANG Y F, CUI S L, SHI L Y. Response of ecosystem services to land use /cover change in peri-urban area: a case study of Jimei district, Xiamen [J]. *Progress in Geograph*. 2012. 31(5) : 551—560.

[24] 胡喜生, 洪伟, 吴承祯. 福州市土地生态系统服务与城市化耦合度分析 [J]. *地理科学*, 2013, 33(10) : 1216—1223.

HU X S, HONG W, WU C Z. Coupling degrees of land ecosystem services and urbanization of Fuzhou city [J]. *Scientia Geographica Sinica*. 2013. 33(10) : 1216—1223.

[25] LIGHEA SPEZIALE, DAVIDE GENELETTI. Applying an ecosystem services approach to support land-use planning: a case study in Koboko District, Uganda [J]. *Ecological Processes*. 2014, 22(13) : 3—10.

[26] DIANE S, SRIVASTAVA. Habitat structure, trophic structure and ecosystem function: interactive effects in abromeliad-insect community [J]. *Oecologia*. 2006, 14(09) : 493—504.

[27] 高玲, 赵智杰, 张浩, 等. 基于生境质量与生态区位的海口市生态系统服务价值估算 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(05) : 833—840.

GAO L, ZHAO Z J, ZHANG H. Adjustment of Haikou city ecosystem services value based on habitat quality and ecological location [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*. 2012, 48(05) : 833—840.

[28] GODBOLD J A, BULLING M T, SOLAN M. Habitat structure mediates biodiversity effects on ecosystem properties [J]. *Proceedings of the Royal Society B*, 2011, 27 (17) : 1326 —1331.

[29] 吉丽娜, 温艳萍. 湿地生态系统服务功能价值评估研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2013, 16(08) : 165—168.

JI L N, WEN Y P. The research of wetland ecosystem services function valuation [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2013. 16(08) : 165—168.

[30] 宋佳楠, 梅建屏, 金晓斌, 等. 基于协调系数修正的区域生态系统服务价值测算研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(01) : 86—89.

SONG J N, MEI J P, JIN X B. Amendment of regional ecosystem service value based on coordination index [J]. Geography and Geo-Information Science. 2010. 26(01) : 86—89.

[31] 吴未, 张敏, 许丽萍, 等. 基于不同网络构建方法的生境网络优化研究——以苏锡常地区白鹭为例 [J]. 生态学报, 2016, (03) : 844—853.

WU W, ZHANG M, XU L P. Habitat network optimization based on different network building methods: a case study of Egretta garzetta in the Su-Xi-Chang area [J]. Acta Ecologica Sinica. 2016. 36(3) : 844—853.

[32] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度 [J]. 生态学报, 2005, 25(9) : 2406—2412.

ZHU Q, YU K J, LI D H. The width of ecological corridor in landscape planning [J]. Acta Ecologica Sinica. 2005. 25(9) :2406—2412.

[33] STAUFFER F, BEST L B. Habitat selection by birds of riparian communities: evaluating effects of habitat alterations [J]. The Journal of Wildlife Management, 1980, 44(1) : 1—15.

[34] 向悟生, 李先琨, 丁涛. 土地利用变化对漓江流域生态服务价值影响 [J]. 水土保持研究, 2009, 16(6) : 46—50.

XIANG W S, LI X K, DING T. Effects of land use changes on eco-service value in Lijiang River Basin [J]. Research of Soil and Water Conservation. 2009. 16(6) : 46—50.

[35] 汪有奎, 郭生祥, 汪杰. 甘肃祁连山国家级自然保护区森林生态系统服务价值评估 [J]. 中国沙漠, 2013, (06) : 1905—1911.

WANG Y K, GUO S X, WANG J. Estimation of forest ecosystem service value in the Qilan mountains national natural reserve in Gansu of China [J]. Journal of Desert Research. 2013. (06) :1905—1911.

[36] 王振波, 方创琳, 王婧. 1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式 [J]. 地理学报, 2011, 66(12) : 1657—1668.

WANG Z B, FANG C L, WANG J. Evaluation on the coordination of ecological and economic systems and associated spatial evolution patterns in the rapid urbanized Yangtze Delta region since 1991 [J]. Acta Geographica Sinica. 2011. 66 (12) :1657—1668.

[37] 张东, 李晓赛, 陈亚恒. 怀来县农田生态系统服务价值分类评估 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(01) : 234—239.

ZHANG D, LI X S, CHEN Y H. Classification evaluation on agricultlure ecosystem service value of Huailei county

[J] . Research of Soil and Water Conservation, 2016. 23 (01) :234—239.

[38] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类 [J] . 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (06) :64—67.

ZHANG B, XIE G D, XIAO Y. Classification of ecosystem services based on human demand [J] . China Population, Resources and Environment, 2010. 20(06) : 64—67.

[39] WEIHUA X, YI X, ZHIYUN OUYANG. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China [J] . Proceedings of the National Academy of Sciences. 2017, 114(07) , 1601—1606.