

长江流域土地利用景观格局时空演变及驱动因子

——以 2008—2018 年为例

杨 阳,唐晓岚*,李哲惠,贾艳艳

(南京林业大学 风景园林学院,江苏 南京 210037)

摘 要:分析长江流域土地利用景观格局时空变化,为区域土地利用和生态环境保护提供依据。采用 2008、2013、2018 年 3 期 Landsat 8 TM 遥感影像资料为数据源,依托 ENVI 与 Arcgis 技术,对研究区土地利用和景观格局时空演变进行分析,并对产生变化的驱动因子做深入分析。结果表明:1)2008—2018 年,长江流域(912 510 km²)林地、耕地与草地面积占据较大优势,2018 年林地、耕地与草地面积分别为 874 019 km²(49.08%)、428 188 km²(24.04%)、247 435 km²(13.89%)。研究期间,土地利用结构类型总体变化为“林地(0.133%)、草地(0.246%)、湿地(0.319%)、建设用地(5.591%)面积增加明显,耕地面积减少,未利用土地保持相对平稳”的特点。2)斑块类型分析表明,林地景观类型的破碎化程度降低;草地景观类型的破碎化程度增加;建设用地景观类型面积扩大,但在空间布局上更加集中。3)景观格局指数分析表明,人类活动与城镇化建设活动导致土地空间不断分散和破碎化,景观异质性增加。长江流域土地利用景观格局主要驱动因子分别为城镇建设与经济发展、城乡人口结构、工业污染物排放。基于上述分析,对研究区土地利用和生态环境保护提出长江中下游地区土地利用应减量优化与高效;上游、西北与西南等地推进草原景观生态环境保护;城镇化水平较高地区应加强工业用地的整治;科学规划长江流域土地空间布局,构建长江生态大廊道。

关键词:长江流域;土地利用;景观格局;变化;因子分析

中图分类号:F301.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2021)02-0220-11

Spatial-temporal Evolution of Landscape Pattern of Land Use in the Yangtze River Basin and Analysis of Its Driving Factors——A Case Study from 2008 to 2018

YANG Yang,TANG Xiao-lan*,LI Zhe-hui,JIA Yan-yan

(College of Landscape Architecture,Nanjing Forestry University,Nanjing 210037,Jiangsu,China)

Abstract: The temporal and spatial changes of land use landscape pattern in the Yangtze River basin were analyzed to provide basis for regional land use and ecological environment protection. Using Landsat 8 TM remote sensing image data in 2008,2013,and 2018 as the sources,this paper analyzed the spatial and temporal evolution of land use and landscape pattern in the study area,and in-depth analysis was conducted on the driving factors of the changes with ENVI and GIS technologies. The results showed that 1) from 2008 to 2018,the area of forest land,cultivated land and grassland in the Yangtze River Basin (912 510 km²) occupied a greater advantage. In 2018,the areas of forest land,cultivated land and grassland were 874 019 km² (49.08%),428 188 km²(24.04%) and 247 435 km²,respectively (13.89%). During the study period,the overall changes in the land use structure type were that “the area of forest land (0.133%),grassland

收稿日期:2020-05-24 修回日期:2020-06-05
基金项目:国家自然科学基金(31270746);江苏省普通高校学术学位研究生科研创新计划项目(SJKY19_0870)。
作者简介:杨 阳,博士在读。研究方向:区域发展规划、风景园林规划设计。E-mail:ocean1999@yeah.net
*通信作者:唐晓岚,教授,博士生导师。研究方向:国家公园及自然保护地、风景园林规划设计。E-mail:39887917@qq.com

(0.246%), wetland (0.319%), and construction land (5.591%) increased significantly, the area of cultivated land (-1.284%) decreased, and the unused land (-0.041%) remained relatively stable". 2) The analysis of patch type showed that the degree of fragmentation of the forest landscape type reduced; the degree of fragmentation of the grassland landscape type increased; the area of the landscape type of construction land expanded, but the spatial layout was more concentrated. 3) The analysis of the landscape pattern index showed that human activities and urbanization construction activities led to the continuous dispersion and fragmentation of land space and increased landscape heterogeneity. Based on the principal component analysis, three main driving factors of land use landscape pattern change were extracted: urban construction and economic development, urban and rural population structure, and industrial pollutant emissions. Based on the above analysis, four policy recommendations were proposed for land use and ecological environment protection in the study area: to reduce and optimize the land use with efficiency in the middle and lower reaches of the Yangtze River; to promote ecological protection of grassland landscapes in the upstream, northwest, and southwest regions; to strengthen the planning and improvement of industrial land in areas with high urbanization level; to scientifically plan the spatial distribution of land in the Yangtze River basin and to construct the ecological corridor of the Yangtze River.

Key words: Yangtze river basin; land use; landscape pattern; change; factor analysis

土地利用是反映人类活动对地表地物影响的重要指标之一,其时空改变过程、演变机制现已经成为学术界关注的前沿热点问题^[1]。景观格局是指因土地利用引起的不同景观类型、数目以及空间分布格局,它反映出地表地物中的自然、生物和社会要素在不同过程中产生的结果^[2]。城镇化与经济化的快速发展使得土地利用与景观格局在地表上正发生着显著变化,而引起这些改变的驱动因子也因时间、地理位置、社会环境等因素的不同呈现出明显的差异性。土地利用与景观格局的深入变化分析,能够对研究区域的生态环境展开详细评估,从宏观角度给出生态环境的保护对策。

目前有关土地利用景观格局的研究,从研究内容来看主要集中在指数特征、时空演变、破碎度以及驱动因素的分析等方面^[3-5]。从研究地域范围来看,主要有大尺度的平原农业区^[6]、西北干旱区绿洲^[7]、长三角与珠三角经济区等^[8];也有研究对我国的省、市、自治区的状况进行了详细分析^[9]。总体而言,已有研究文献无论是基于平原地区、经济区亦或是城市群,大多着眼我国局部地区,还鲜有针对我国某个流域范围做过全面系统的分析,因此显示出当前研究并不够系统、全面和丰富。

新世纪以来,我国城镇化和经济发展迅猛,长江流域正面临着土壤流失、中下游湿地面积减少、湿地生态系统退化、废水及污染物向中上游转移等生态环境挑战^[10]。2012 年,国务院在《长江流域综合规划(2012—2030 年)》中指出,长江流域的规划管理对于落实党中央、国务院新时期战略部署,协调长江流域经济开发与生态保护,支撑社会经济环境可持

续发展具有重要的现实和历史意义。2016 年《长江经济带发展规划纲要》进一步提出在“三纵四横”大水网格局下,坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念。因此,在此背景下,从宏观角度对长江流域进行土地利用景观格局分析,对于流域的土地利用管理、相关政策的制定具有重要的现实意义。

基于此,以长江整个流域范围为研究对象,利用 2008、2013 年和 2018 年 3 期遥感影像资料为数据源,研究目标包含以下 4 点:1) 依据土地利用类型的变化幅度、速度及趋势等指数,分析 2008—2018 年长江流域土地利用结构的时空分布与变化;2) 依据选取的斑块级别指数和景观级别指数,分析 2008—2018 年长江流域景观格局的时空变化;3) 从人口类因子、土地类因子、经济类因子和社会环境类因子,对长江流域土地利用景观格局变化的驱动因子进行主成分分析,分析引起变化的核心因素;4) 针对长江流域土地利用景观格局的时空变化及主成分分析的核心因素,提出相对应的政策建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长江流域指长江干流和支流流经的 180 万 km² 区域,地理位置位于 24°27′—35°54′N, 90°33′—122°19′E。长江流域流经的地区包括东、中、西 3 大经济区的 19 个省、市、自治区(图 1)。作为我国第一大流域,长江流域内总人口约占全国的 30%,拥有我国约 1/4 的耕地面积,农业生产总值约占全国的 40%,为我国重要的粮食基地。长江流域水资源丰富,平均径流量约占全国河流径流总量的 36%。长

江流域地形整体呈西高东低,地貌类型多样,包括高原、山地、盆地、丘陵和平原。目前流域范围内土地

利用较为复杂,因此研究土地利用景观格局状况对于经济发展和环境分析具有重要的指导意义。

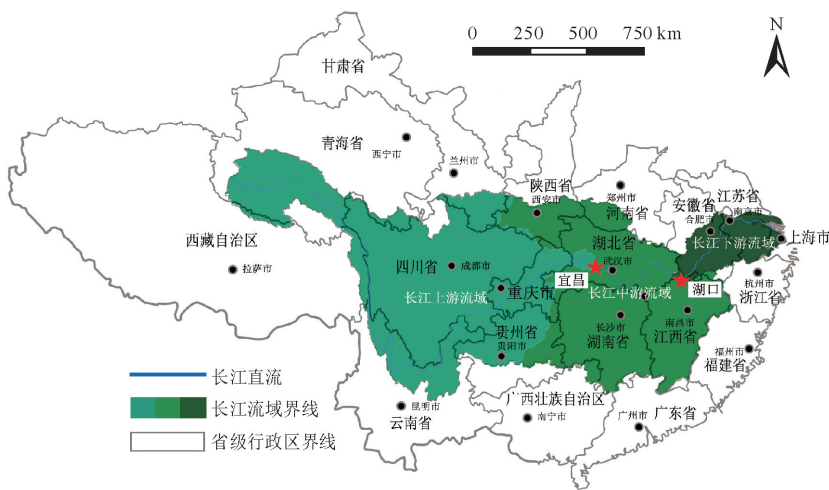


图 1 研究区范围

Fig. 1 Study area scope

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源 采用 2008、2013 年和 2018 年中国科学院资源环境科学数据中心 3 期 Landsat 8 TM 遥感影像资料为数据源(空间分辨率为 30×30 m)。2008—2018 年为长江流域城镇化、经济社会发展最迅速、土地利用变化较为显著、国家相关政策最为频繁的阶段,研究这一阶段的土地利用变化具有重要的现实和历史意义。借助 ENVI 5.0 软件,根据遥感影像的色调、形状、纹理结构等特征,采用监督分类和目视解译相结合的方法对研究区的土地利用类型进行解译。依据《全国土地分类标准》相关标准^[11],本研究将土地利用类型分为林地、草地、水域湿地、耕地、建设用地、未利用土地(裸露地、稀疏植被等)6 种一级类型。

1.2.2 分析方法

1.2.2.1 土地利用变化幅度分析 土地利用变化幅度是指土地利用类型在研究期间面积的变化幅度,表达区域一定时间范围内某种土地利用类型的总面积的变化^[12],分析土地利用变化的总体趋势。其表达式为:

$$U_t = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\%$$

(1)

式中, U_t 是指研究期内某种土地利用类型的变化幅度, U_a 和 U_b 分别代表该种土地利用类型在研究初始期和结束期时的面积。

1.2.2.2 土地利用变化速度及趋势分析 采用土地利用变化动态度分析研究期某种土地利用类型的变化剧烈程度与速度情况^[13]。其表达式如下:

$$V = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T_2 - T_1} \times 100\%$$

(2)

式中, V 表示的是研究期内某种土地利用类型的变化速度; U_a 和 U_b 分别表示该种土地利用类型在研究初始期和结束期时的面积; $T_2 - T_1$ 表示研究时段, T_2 为研究末期, T_1 为研究初期。

为了反映某种土地利用类型的未来变化趋势,是朝着缩小还是增大的趋势发展,采用土地利用空间变化趋势模型进行分析,其表达式如下:

$$T = \frac{U_b - U_a}{\Delta U_{out} + \Delta U_{in}}$$

(3)

式中, T 表示的是研究期内某种土地利用类型的变化趋势指数; U_a 和 U_b 分别表示该种土地利用类型在研究初始期和结束期时的面积; ΔU_{out} 与 ΔU_{in} 分别表示研究期内某种土地利用类型转变为其他类型的总面积和其他土地利用类型转变为此种类型的总面积。通常认为,当 $-1 < T \leq 0$ 时,说明该土地利用类型规模朝着缩小的趋势发展,处于“弱势”状态;当 $0 < T \leq 1$ 时,说明该土地利用类型规模处于“涨势”状态,呈增大趋势。

1.2.2.3 土地利用强度综合指数分析 采用土地利用强度综合指数分析土地利用的广度和深度,反映人类活动对自然生态环境的综合利用程度^[14]。依据研究区实际情况,对土地利用类型进行等级划分,设置 4 个等级:林地与湿地为 1 级,草地与未利用土地为 2 级,耕地为 3 级,建设用地为 4 级。其表达式如下:

$$M_a = 100 \times \sum_{i=1}^n X_i \times Y_i$$

(4)

式中, M_a 表示的是研究区土地利用强度综合指数; X_i 表示的是第 i 级土地利用等级指数; X_i 的取值为 i ; Y_i 表示的是第 i 级土地利用等级的面积百分

比; n 代表土地利用等级的分级数,本研究中 n 取值为 4。

1.2.3 景观指数选择与计算 景观指数用于分析研究区土地利用和景观格局的状况,进而对土地利用与景观格局的时空演变在宏观层面展开探讨。已有研究表明,不同景观类型在维护自然生境、自然资源完整性、生态系统结构与功能、生态系统演替等方

面发挥着重要的作用^[15-16]。因此,对研究区景观格局的分析,可以有效地揭露出土地利用的生态状况、时空变化等特征。根据陈文波等^[17]提出的景观指数分类系统,考虑到长江流域研究区的范围较大,结合流域特点和研究的需要,本研究分别选择 6 种较为宏观的斑块级别指数和景观级别指数(表 1),采用 Fragstats 4.2 软件展开分析。

表 1 选取的斑块类型级别和景观级别的指数

Table 1 Patch type level indexes and landscape level indexes selected in the study

指数类别	名称	名称缩写	计算公式
斑块级别指数	斑块数目	NP	$NP=N_i$
	斑块密度	PD	$PD=\frac{N}{A}$
	斑块平均面积	MPS	$MPS=\frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{N} \times \left(\frac{1}{10\ 000}\right)$
	最大斑块指数	LPI	$LPI=\frac{\max S(N_i)}{\sum S(N_i)}$
	斑块类型面积比	PLD	$PLD=\frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{A}$
	聚集度指数	RC	$RC=1-C/C_{\max}$
景观级别指数	斑块数	PN	$PN=N_i$
	分离度指数	VI	$VI=\frac{D_{ij}}{A_{ij}}$
	景观形状指数	LSI	$LSI=\frac{0.25E}{\sqrt{A}}$
	香农多样性指数	SHDI	$SHDI=-\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$
	香农均匀度指数	SHEI	$SHEI=\frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)}{\ln m}$
	平均分维数	MPFD	$F=\frac{2\ln(P/4)}{\ln(A)}$

1.2.4 驱动因子的主成分分析 土地利用景观格局变化反映了人类活动与自然环境相互影响的关系。前人相关研究表明,在几十年尺度上,土地利用景观格局变化受自然环境因素变化而引起的改变幅度相对人类活动为引起变化的主要因素^[18]。综合考虑长江流域地区间各要素差异,结合德尔非法咨询的 22 名相关领域专家的意见,将主要从人口类因子、土地类因子、经济类因子和社会环境类因子 4 个方面(表 2),重点分析长江流域土地利用景观格局变化的驱动因子。

因子的分析方法通常采用层次分析法、德尔菲法、模糊综合评价法等,但是这些方法为主观性较强,难以抓住能够反映事物规律的主要因素。本研究采用主成分分析法,通过降维思想把选取的变量因子形成较少的核心成分,以便于针对性地展开分析。变量因子原始数据采用的是 2008—2018 年长

江流域 19 省、市、自治区的统计年鉴数据,所有因子数据均保留 4 位小数,以保证试验精度,通过 SPSS22.0 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 土地利用数量结构时空变化

2.1.1 土地利用结构时空分布及变化 2008—2018 年,长江流域林地、耕地与草地面积占据较大优势;总体变化呈现出“林地、草地、湿地、建设用地面积明显增加,耕地面积明显减少,未利用土地保持相对平稳”的特征(表 3)。2008、2013 年和 2018 年,林地面积分别为 868 380. 23 km² (48. 76%)、869 621. 31 km² (48. 83%)、874 211. 31 km² (49. 09%);主要分布在川西、滇北、鄂西、湘西、江西、浙江等地(图 2)。研究期间,林地面积变化呈增加态势,2013—2018 年增幅有所加快。耕地受制于

地形因素的限制,主要分布于成都平原、江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区、巢湖地区、太湖地区以及下游平原平坦地区。2008、2013 年和 2018 年,耕地面积分别为 455 592.41 km² (25.58%)、435 651.62 km² (24.46%)、428 101.92 km² (24.04%)。研究期间,耕地面积大幅度减少,2013—2018 年减少幅度有所加剧。草地也占据较大比例,主要分布于长江中上游的藏青地区、云贵高原区、陕甘地区及成都平原等地。2008、2013 年和 2018 年,面积分别为 244 378.31 km² (13.72%)、246 302.14 km² (13.83%)、247 421.47 km² (13.89%)。其面积变

化趋势与林地有所相似,呈增加态势,且 2013—2018 年增幅加快。水域湿地主要分布于长江流域鄱阳湖、洞庭湖、巢湖、太湖及长江下游湖泊地,研究期间面积呈增加态势。建设用地主要分布于上海、安徽、江苏、湖北、湖南、江西、四川经济发达的省会城市,并呈放射状向四周蔓延。其面积变化整体呈递增态势,2013—2018 年增速有所放缓。从土地利用类型面积变化量与变化幅度看,2008—2018 年间,耕地和建设用地远大于其他类型,二者土地利用面积变化量分别为-27 490.49 km² 和 17 650.55 km²;变化幅度分别达-6.421%和 27.954%。

表 2 构建的长江流域景观格局变化变量因子体系

Table 2 Variable factor system of landscape pattern change in the Yangtze River basin

类别	变量因子	因子释义
人口类因子(P)	P1 常住人口城镇化率/%	城镇人口占总人口(包括农业与非农业)的比重
	P2 第二、三产业从业人员比重/%	非农业人员(工业、服务业等)占总从业人员的比重
	P3 常住城镇人口/万	全年居住于城市、集镇 6 个月以上的总人口
土地类因子(L)	L1 城市道路面积/km ²	城市道路用地总面积
	L2 建成区面积/万 km ²	城市行政区内实际已开发建设、具备市政公用设施和公共设施的区域面积
	L3 城市公园绿地面积/km ²	城市拥有的公园绿地面积
经济类因子(C)	C1 经济生产总值/亿元	即 GDP(国内生产总值),社会产品和服务的产出总额
	C2 第一产业产值比重/%	农业生产总值占 GDP 的比重
	C3 第二、三产业产值比重/%	非农业(工业、服务业等)生产总值占 GDP 的比重
	C4 地方财政收入/万元	地方政府对筹集的财政资金进行分配的总额
	C5 固定资产投资/万元	以货币形式表现的、企业在一定时期内建造和购置固定资产的工作量以及与此有关的费用变化情况
社会环境类因子(E)	C6 居民储蓄存款/万元	个人(或家庭)将其部分收入或者外币存入储蓄机构的年底总额
	E1 工业固体废物综合利用率/%	工业企业当年处置固体废物量与综合利用量总和占产生总量的比率
	E2 废水总排放量/万 t	工业、第三产业和城镇居民生活等用水户排放的废水量
	E3 烟(粉)尘排放量/t	企业厂区内燃料燃烧产生的烟气中夹带的颗粒物数量
	E4 二氧化硫排放量/t	企业在燃料燃烧和生产工艺过程中排入大气的二氧化硫数量
	E5 水资源总量/亿 m ³	降水所形成的地表和地下的产水量之和
	E6 自然保护区面积/万 km ²	以保护各种重要的生态自然环境、历史遗产、拯救濒危物种而划定的典型地域面积
	E7 灾害直接经济损失/万元	灾害及次生灾害造成的物质破坏而引起的经济损失

2.1.2 土地利用变化速度、变化趋势与利用强度
从土地利用变化速度看(图 3),长江流域除耕地和未利用土地变化速度为负值外,其余均为正增长,说明耕地与未利用土地逐步转变为林地、草地、水域湿地及建设用地。从具体数值来看,建设用地变化尤为明显,表现出最高的变化速度,2008—2013、2013—2018 年变化速度分别为 4.092%、3.045%,研究期间的总变化速度高达 5.591%。其次为耕地,2008—2013、2013—2018 年变化速度分别为-0.875%、-0.347%,研究期间的总变化速度达-1.284%。林地、草地、水域湿地在 2013—2018 年与上一周期相比变化速度增加;表明这三者面积在 2013—2018 年的增长速度加快。

从土地利用变化趋势看(图 4),2008—2013 年,除耕地(-0.725)表现出“弱势”外,其余土地利用类

型均呈现“涨势”。2013—2018 年,除耕地(-0.275)与未利用土地(-0.885)显示为“弱势”外,其余均处于“涨势”状态,表明耕地及未利用土地(稀疏林、灌、草地、沙漠地、盐碱地等)功能减弱,而林地、草地、水域湿地以及建设用地的功能增强,这与长江流域的生态环境建设、水源涵养建设、城镇发展等相关政策密不可分。

从土地利用强度变化看,2008—2018 年,长江流域土地利用强度综合指数呈先上升后下降的趋势。土地利用强度综合指数先从 2008 年的 178.05 上升至 2013 年最大值 178.18,随后又从 2013 年下降至 2018 年的最小值 177.98。这一现象与 2013 年之后,长江流域生态环境建设,林地、水域湿地和草地面积增加,以及城镇发展土地集约化程度加强有关。

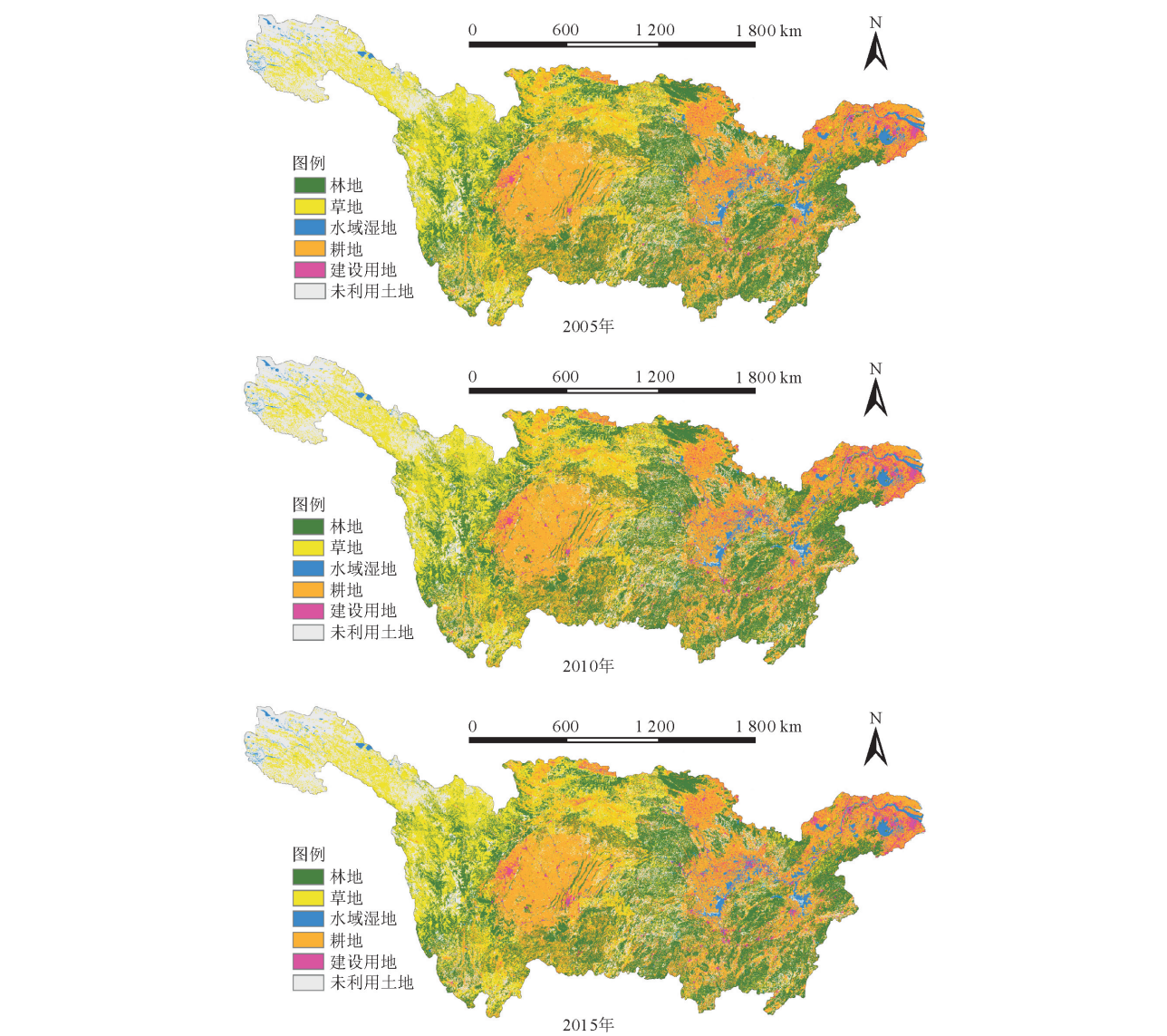


图 2 2008—2018 年长江流域土地利用类型结构

Fig. 2 Land use type structure in the Yangtze River basin from 2008 to 2018

表 3 2008—2018 年长江流域土地利用类型结构、变化量与变化幅度

Table 3 Land use type structure, amount of change and range of change in the Yangtze River basin from 2008 to 2018

类型	2008 年(S)		2013 年(S)		2018(S)	
林地	868 380. 23		869 621. 31		874 211. 31	
草地	244 378. 31		246 302. 14		247 421. 47	
水域湿地	71 482. 67		71 921. 53		72 642. 33	
耕地	455 592. 41		435 651. 62		428 101. 92	
建设用地	45 491. 56		54 799. 77		63 142. 11	
未利用土地	95 572. 82		95 601. 63		95 378. 86	

类型	2008—2013 年		2013—2018 年		2008—2018 年	
	变化量 $\Delta S/\text{km}^2$	变化幅度 $U_t/\%$	变化量 $\Delta S/\text{km}^2$	变化幅度 $U_t/\%$	变化量 $\Delta S/\text{km}^2$	变化幅度 $U_t/\%$
林地	1 241. 08	0. 143	4 590	0. 528	5 831. 08	0. 667
草地	1 923. 83	0. 787	1 119. 33	0. 454	3 043. 16	1. 230
水域湿地	438. 86	0. 614	720. 8	1. 002	1 159. 66	1. 596
耕地	−19 940. 79	−4. 377	−7 549. 7	−1. 733	−27 490. 49	−6. 421
建设用地	9 308. 21	20. 461	8 342. 34	15. 223	17 650. 55	27. 954
未利用土地	28. 81	0. 030	−222. 77	−0. 233	−193. 96	−0. 203

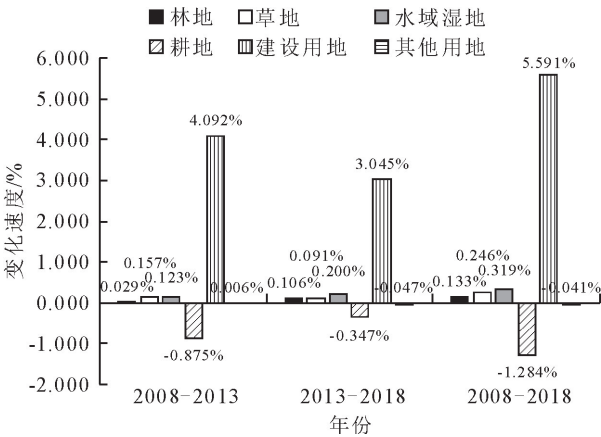


图3 2008—2018年长江流域土地利用变化速度

Fig. 3 Change rate of land use in the Yangtze River basin from 2008 to 2018

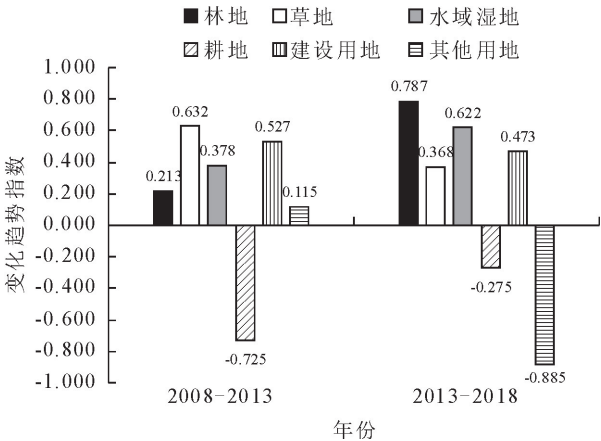


图4 2008—2018年长江流域土地利用变化趋势

Fig. 4 Trends of land use change in the Yangtze River basin from 2008 to 2018

2.2 景观格局时空变化

2.2.1 斑块级别指数时空变化 由表4可知,林地、耕地、草地景观的斑块类型面积比位居前三,这3种类型斑块是长江流域主要的景观基质类型。林地景观的斑块类型面积比明显高于其他景观类型,始终在48%以上。林地景观的斑块数目、斑块密度整体上呈降低态势,而斑块平均面积呈上升态势,表明林地景观类型的破碎化程度降低。林地景观的聚集度指数也反映出破碎化程度在降低,研究期间由78.213上升至78.660。草地景观的斑块数目、斑块密度整体呈上升态势,斑块平均面积下降,显示出草地景观类型在研究期间破碎化程度增加。水域湿地景观类型在研究期间各项指数相对平稳,虽略有变化,但整体变化幅度不大。建设用地景观的斑块数目、斑块密度同样也呈现出上升态势,这一过程与长江流域内城镇化进程加快,人类活动把其他土地利用类型转变为建设用地有关;建设用地景观的聚集度指数由2008年的33.075上升至2018年的42.377,反应出该类型景观在空间布局上更加集中。未利用土地景观的斑块密度和最大斑块指数均较小,说明其分布相对散乱,面积较小,而且破碎化程度高。

2.2.2 景观级别指数时空变化 由表5可知,2008—2018年长江流域景观级别的斑块数指数(PN)呈增大态势,由438 992上升至444 624,这与各地人类活动、城镇化的发展建设对景观的干扰程度增强有关,城乡建设活动改变了土地的自然状态,导致其原本的斑块空间不断分散和破碎化,斑块数量逐渐

表4 2008—2018年长江流域各景观要素斑块级别指数

Table 4 Patch level indexes of landscape elements in the Yangtze River basin from 2008 to 2018

类型	年份	斑块数目 NP/个	斑块密度 PD /(个·10 ⁻² ·hm ⁻²)	斑块平均面积 MPS/hm ²	最大斑块指数 LPI/%	斑块类型面积比 PLD/%	聚集度指数 RC
林地	2008	64151	0.037	1370.711	41.716	48.511	78.213
	2013	63547	0.035	1387.149	41.829	48.683	78.319
	2018	62998	0.034	1406.239	40.822	48.943	78.660
草地	2008	114054	0.063	418.659	5.521	13.652	64.142
	2013	116027	0.064	401.761	5.440	13.701	63.499
	2018	117754	0.067	384.156	5.253	13.752	62.621
水域湿地	2008	75327	0.041	291.872	7.039	3.874	60.534
	2013	74989	0.041	294.218	6.998	3.891	60.534
	2018	75987	0.042	291.524	6.980	3.942	60.412
耕地	2008	64814	0.035	108.417	0.667	25.491	50.845
	2013	64512	0.035	109.921	0.664	24.713	51.163
	2018	64812	0.035	110.808	0.665	23.903	51.254
建设用地	2008	54586	0.030	69.003	-0.064	24.412	33.075
	2013	55701	0.031	81.204	0.133	2.951	38.092
	2018	57030	0.041	90.684	0.209	3.402	42.377
未利用土地	2008	66115	0.018	157.977	0.022	5.221	50.173
	2013	66440	0.018	157.225	0.021	5.232	50.113
	2018	66096	0.018	158.243	0.021	5.224	50.144

表 5 2008—2018 年长江流域景观级别指数

Table 5 Landscape level indexes of the Yangtze River basin from 2008 to 2018

年份	斑块数 PN/个	分离度 指数 VI	景观形状 指数 LSI	香农多样性 指数 SHDI	香农均匀度 指数 SHEI	平均分维数 MPFD
2008	438 992	24. 721	417. 676	1. 366	0. 698	1. 034
2013	441 161	24. 835	419. 028	1. 373	0. 701	1. 032
2018	444 624	26. 201	421. 259	1. 384	0. 707	1. 044

增大。分离度指数(VI)在研究期间逐步增大,由 2008 年的 24. 721 上升至 2018 年的 26. 201,反映出斑块空间不断分散和破碎化,人类活动对景观的干扰程度加剧。景观形状指数(LSI)则由 2008 年的 417. 676 上升至 2018 年的 421. 259,表明景观形状在人类活动与城镇化的干扰下趋于复杂化。研究期间,香农多样性指数(SHDI)从 1. 366 上升至 1. 384,香农均匀度指数(SHEI)从 0. 698 上升至到 0. 707,反映出研究期内长江流域景观异质性增加。平均分维数(MPFD)经历了先减小后增加的过程,2008—2013 年,由 1. 034 下降至 1. 032;2013—2018 年,由 1. 032 上升至 1. 044,总体有所上升,显示出景观形状变得复杂;这在一定程度上也反映出研究期内人类活动对景观的干扰程度加剧。

3 景观格局变化的驱动因子分析

3.1 主成分分析

采用 SPSS22.0 软件中的因子分析对 1. 2. 4 中选取的 19 个变量因子进行主成分分析。变量因子的 KMO 和巴特利特检验结果显示,KMO 为 0. 812,>0. 600,显著性 *P* 为 0. 021,<0. 050,说明变量因子可以进行主成份分析。从总方差解释可知(表 6),前 3 个特征值的累积贡献率为 85. 875%,超过 85. 000%,说明前 3 个成分可以较好地表达原有 19 个因子的总体变化规律,因此提取这 3 个主成分进行后续分析。

第 1 主成分在经济生产总值、建成区面积、城市公园绿地面积、常住城镇人口、地方财政支出、居民储蓄存款等指标上载荷较大,因子负荷量均在 0. 840 分以上(图 5),这些变量因子概括的体现出城镇基础设施建设和经济发展状况,因此可以定义第 1 主成分为城镇建设与经济发展。常住人口城镇化

率、第一产业产值比重、第二、三产业产值比重、第二、三产业从业人员比重在第二主成分上载荷较大,因子负荷量均在 0. 820 分以上,集中反映了农村人口的逐渐析出,城镇人口逐步转移增加的情况,因此定义第 2 主成分为城乡人口结构。第 3 主成分在废水总排放量、二氧化硫排放量与烟(粉)尘排放量上载荷较大,因子负荷量均在 0. 820 分以上,三者指标主要体现的是研究区工业污染物的排放量,因此定义第 3 主成分为工业污染物排放。依据旋转后的成分矩阵建立如下核心指数的模型公式:

$$F1(\text{城镇建设与经济发展}) = 0. 132C1 + 0. 130L2 + 0. 129L3 + 0. 125P3 + 0. 123C4 + 0. 123C6 + 0. 120L1 + 0. 119C5;$$

$$F2(\text{城乡人口结构}) = 0. 252P1 + 0. 251C2 + 0. 251C3 + 0. 246P2;$$

$$F3(\text{工业污染物排放}) = 0. 341E2 + 0. 336E4 + 0. 322E3.$$

3.2 驱动力成分分析

依据主成分因子旋转荷载矩阵(图 5),长江流域土地利用景观格局的主导驱动因子包括 C1、L2、L3、P3、C4、C6、L1、C5、P1、C2、C3、P2、E2、E4 及 E3 之间的综合影响。第 1 主成分城镇建设与经济发展是影响长江流域土地利用景观格局变化的主导因素;其中,GDP、建成区面积、地方财政支出 3 因子的关联程度超过 90%。2008 年长江流域范围的 19 省、市、自治区 GDP、建成区面积、地方财政支出总和分别为 217 423. 85 亿元、22 888. 88 km²、32 447. 78 亿元,而 2018 年三者指标分别增长至 641 502. 67 亿元、37 924. 40 km²、128 752. 33 亿元。可以看出,土地利用类型在经济利益、城镇化发展及区域政策的驱动下,由低收入土地类型逐步向高收入土地结构类型转移。

表 6 主成分总方差解释

Table 6 Interpretation of total principal component variance

组件	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和 累积/%
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积/%	
1	10. 302	49. 057	49. 057	10. 302	49. 057	49. 057	41. 982
2	3. 265	15. 549	64. 606	3. 265	15. 549	64. 606	60. 184
3	1. 488	7. 084	85. 875	1. 488	7. 084	85. 875	85. 875

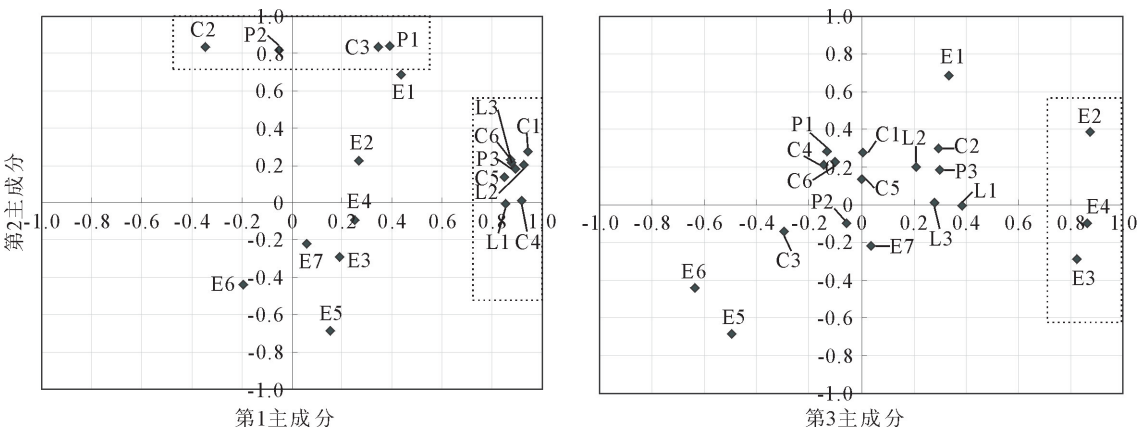


图 5 变量因子的主成分分析

Fig. 5 Principal component analysis of variable factors

第 2 主成分城乡人口结构与 P1、C2、C3、P2 有较大正相关,2008 年长江流域地区常住人口城镇化率为 44.44%,第一产业产值比重为 12.96%,第二、三产业产值比重为 87.05%,第二、三产业从业人员比重为 53.89%;2018 年常住人口城镇化率则为 57.72%,第一产业产值比重 8.46%,第二、三产业产值比重 91.54%,第二、三产业从业人员比重为 63.03%。城乡人口变迁带来农村人口逐渐向城镇集聚,第一产业从业人员逐步向二三产业转移,城镇居住生活空间不断向外延伸。在城镇近郊地区,城市扩张、城乡交通网络一体化建设逐渐引致农村用地、未利用土地转出,转变为城镇建设用地。研究期间,上海市由于其本身乡村常住人口相对较少,农村人口与城镇人口的比值随时间变化总体不大,因而城乡人口结构效应在长江流域各地中最小。

第 3 主成分工业污染物排放与 E2、E4、E3 有较大相关性,2008 年长江流域废水、二氧化硫、烟(粉)尘排放量分别为 4 191 739.00(万 t)、14 104 000.00(t)、6 126 026.41(t);至 2018 年,废水、二氧化硫、烟(粉)尘排放量分别为 5 106 091.87(万 t)、4 727 977.40(t)、3 688 303.22(t)。伴随城镇化发展,工业化也被称为“半城市化”过程,土地经济价值的日益提高使得工业用地布局逐渐被边缘化,工业发展不断向农村、未利用地区延伸,这在一定程度上造成了土地的不断分散和破碎。

4 结论

2008—2018 年,长江流域土地利用结构类型发生了明显变化,总体变化表现为“林地、草地、湿地、建设用地面积增加,耕地面积减少,未利用土地保持相对平稳”的特点。耕地和建设用地的面积变化量与变化幅度远大于其他类型,二者的变化幅度分别达-6.421%和 27.954%。

研究区斑块类型的指数分析表明,林地、耕地、草地景观是主要的景观要素,组成了长江流域的景观基质类型。研究期间,林地景观的破碎化程度降低;草地景观的破碎化程度增加;建设用地景观的面积扩大,并且空间布局上趋向集中。

景观格局指数分析显示,斑块数指数与分离度指数逐步增大,人类活动和城镇建设导致土地空间不断分散和破碎化。香农多样性指数与香农均匀度指数显示出景观异质性增加。景观形状指数和平均分维数显示出研究区景观形状正变得复杂。

依据驱动因子的主成分分析,提取出的 3 个核心驱动因素分别为:城镇建设与经济发展、城乡人口结构以及工业污染物排放。针对长江流域土地空间不断分散和破碎化、景观异质性增加等问题,相关部门在进行土地利用规划时,应综合考虑土地利用的时空变化过程、景观格局演变与驱动因素的基础上,科学合理地制定相关政策。

5 建议

对于长江中下游建设用地快速增加的地区,土地利用应进行减量优化,提高建设用地的使用效率,推进城镇化向集约型转变。未来重点做好郊区、县域等潜力区土地的规划调控^[19],采取建设用地整合、耕地复垦等方式,平衡城乡之间用地需求。

因地制宜地推进长江中上游、西北和西南等地生态环境保护。由于草地景观的破碎化程度的增加,长江中上游藏青地区、云贵高原区、陕甘地区以及成都平原等地应注重草原景观的生态化管理,防止其破碎化程度进一步加剧^[20]。

目前各地城镇化建设和工业污染物的排放与生态环境保护之间矛盾突出^[21]。对于城镇化、工业化水平较高的地区,应不断完善工业土地利用规划,合理控制工业用地的新增开发,因地制宜地推动工业

用地整治。

落实习总书记《长江经济带发展规划纲要》中的要求,全面科学规划长江流域土地空间布局。一方面,可以突破行政区划边界,在生态环境区划的基础上,开展土地利用的分区分级管理;另一方面,加强景观格局数据分析,立足于构建长江生态大廊道保护思想。

参考文献:

[1] 罗娅,杨胜天,刘晓燕,等. 黄河河口镇-潼关区间 1998—2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报,2014,69(1):42-53.
LUO Y,YANG S T,LIU X Y,*et al.* Land use change in the reach from Hekouzhen to Tongguan of the Yellow River during 1998—2010 [J]. *Acta Geographica Sinica*,2014,69(1):42-53. (in Chinese)

[2] 欧定华,夏建国. 城市近郊区景观格局变化特征、潜力与模拟——以成都市龙泉驿区为例[J]. 地理研究,2016,35(3):534-550.
OU D H,XIA J G. Characteristics,potential and simulation of landscape pattern change in peri-urban areas: a case of Longquanyi district,Chengdu city [J]. *Geographical Research*, 2016,35(3):534-550. (in Chinese)

[3] 王璐,袁艳斌,董恒,等. 土地利用景观格局空间尺度效应研究——以武汉市为例[J]. 世界地理研究,2020,29(1):96-103.
WANG L,YUAN Y B,DONG H,*et al.* Research on spatial scale effect of landscape pattern of land use in Wuhan city[J]. *World Regional Studies*,2020,29(1):96-103. (in Chinese)

[4] 刘玺,何守阳,刘贝贝. 岩溶山区城镇化进程的土地利用景观格局演变特征——以贵阳市为例[J]. 地球与环境,2019,47(4):527-536.
LIU X,HE S Y,LIU B B. Evolution characteristics of land use and landscape pattern in the urbanization of Karst mountainous regions——a case from the Guiyang city[J]. *Earth and Environment*,2019,47(4):527-536. (in Chinese)

[5] 耿焕侠,张小林,李红波. 行政中心驻地对县域土地利用景观格局的影响研究——以江苏省丰县为例[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(1):1-7.
GENG H X,ZHANG X L,LI H B. Influence of administrative center on landscape pattern of land use at a county scale——a case study of Fengxian in Jiangsu province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2019,47(4):527-536. (in Chinese)

[6] 路中,雷国平,郭晶鹏,等. 松嫩平原北部黑土区水土资源平衡效应研究[J]. 中国土地科学,2018,32(3):59-67.
LU Z,LEI G P,GUO J P,*et al.* Study on the balance of water and soil resources in the black soil area of Northern Songnen plain[J]. *China Land Science*,2018,32(3):59-67. (in Chinese)

[7] 王文杰,张永福,王慧杰. 基于 GIS 干旱区绿洲县域土地利用变化生态风险分析——以新疆泽普县为例[J]. 水土保持研究,2016,23(6):216-220.
WANG W J,ZHANG Y F,WANG H J. Analysis on ecological risk of land use at county level in the arid oasis base on GIS——a case study in Zepu of Xinjiang[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2016,23(6):216-220. (in Chinese)

[8] 虎陈霞,郭旭东,连纲. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以嘉兴市为例[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(3):333-340.
HU C X,GUO X D,LIAN G. Effects of land use change on ecosystem service value in rapid urbanization areas in Yangtze river delta——a case study of Jiaxing city[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2017,26(3):333-340. (in Chinese)

[9] 田俊峰,王彬燕,王士君. 东北三省城市土地利用效益评价及耦合协调关系研究[J]. 地理科学,2019,39(2):305-315.
TIAN J F,WANG B Y,WANG S J. Urban land use efficiency and its coupling relationship in the threee province of Northeast Chnia[J]. *Scientia Geographica Sinica*,2019,39(2):305-315. (in Chinese)

[10] 杜耘. 保护长江生态环境,统筹流域绿色发展[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(2):171-179.
DU Y. Protecting the eco-environment,and striving for the green development in the Yangtze River basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2016,25(2):171-179. (in Chinese)

[11] 杨俊,李月辰,席建超,等. 旅游城镇化背景下沿海小镇的土地利用空间格局演变与驱动机制研究——以大连市金石滩国家旅游度假区为例[J]. 自然资源学报,2014,29(10):1721-1733.
YANG J,LI Y C,XI J C,*et al.* The coastal tourist town's land use spatial pattern evolution and driving forces under the background of tourism urbanization——a case study of Dalian Jinshitan national tourist holiday resort[J]. *Journal of Natural Resources*,2014,29(10):1721-1733. (in Chinese)

[12] 宋维念,占车生,李景玉,等. 近 30 年来渭河关中地区土地利用时空格局的遥感分析[J]. 中国土地科学,2012,26(2):56-62.
SONG W N,ZHAN C S,LI J Y,*et al.* Remote sensing analysis on the spatial-temporal characteristics of LUCC in the Guanzhong plain region of the Wei river basin in the past 30 years[J]. *China Land Science*,2012,26(2):56-62. (in Chinese)

[13] 韩会然,杨成凤,宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. 经济地理,2015,35(5):148-154.
HAN H R,YANG C F,SONG J P. The spatial-temporal characteristic of land use change in Beijing and its driving mechanism[J]. *Economic Geography*,2015,35(5):148-154. (in Chinese)

[14] 梁明,孙毅中,罗荣,等. 基于综合多尺度特征决策树模型的土地利用变化分析[J]. 农业工程学报,2014,30(17):259-267.
LIANG M,SUN Y Z,LUO R,*et al.* Analysis on land use change based on decision-tree model with comprehensive multi-scale characteristics[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2014,30(17):259-267. (in Chinese)

[15] 王丽群,张志强,李格,等. 北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价——以牛栏山-马坡镇为例[J]. 生态学报,2018,38(3):750-759.
WANG L Q,ZHANG Z Q,LI G,*et al.* Landscape pattern change in Beijing fringe area and its impact on the ecosystem

services;a case study in Niulanshan-Mapo town[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2018,38(3):750-759. (in Chinese)

[16] 陈希,王克林,祁向坤,等. 湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J]. *经济地理*,2016,36(5):175-181.
CHEN X,WANG K L,QI X K,*et al.* Landscape pattern changes and evaluation of ecological service value of the Xiangjiang river watershed[J]. *Economic Geography*,2016,36(5):175-181. (in Chinese)

[17] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. *应用生态学报*,2002,13(1):121-125.
CHEN W B,XIAO D N,LI X Z. Classification, application, and creation of landscape indices[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2002,13(1):121-125. (in Chinese)

[18] 刘永强,龙花楼. 黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制[J]. *地理学报*,2016,71(4):666-679.
LIU Y Q, LONG H L. Land use transitions and their dynamic mechanism in the Huang-Huai-Hai plain[J]. *Acta Geographica Sinica*,2016,71(4):666-679. (in Chinese)

[19] 刘欢,邓宏兵,李小帆. 长江经济带人口城镇化与土地城镇化协调发展时空差异研究[J]. *中国人口·资源与环境*,2016,26(5):160-166.
LIU H,DENG H B,LI X F. Research on the spatial and temporal difference of coordinated development between population urbanization and land urbanization in Yangtze River economic belt [J]. *China Population, Resources and Environment*,2016,26(5):160-166. (in Chinese)

[20] 邓晓兰,车明好,陈宝东. 我国城镇化的环境污染效应与影响因素分析[J]. *经济问题探索*,2017(5):31-37.

[21] 张海燕,樊江文,邵全琴. 2000—2010 年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化[J]. *地理科学进展*,2015,34(7):840-853.
ZHANG H Y,FAN J W,SHAO Q Q. Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000—2010 [J]. *Progress in Geography*,2015,34(7):840-853. (in Chinese)

(上接第 197 页)

[13] 郭毅涵,刘杏娥,杨淑敏,等. 3 种竹材微纤丝角变异规律研究[J]. *西北林学院学报*,2016,31(5):267-270.
GUO Y,LIU X,YANG S M,*et al.* Variation of microfibril angle in three bamboo species [J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2016,31(5):267-270. (in Chinese)

[14] 王军锋,马锦林,黄腾华,等. 普通油茶和小果油茶木材构造与物理性质的研究[J]. *西北林学院学报*,2020,35(3):212-217
WANG J F,MA J L,HUANG T H,*et al.* Wood structures and physical properties of *Camellia oleifera* and *C. meiocarpa* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2020,35(3) 212-217. (in Chinese)

[15] 杨淑敏,江泽慧,任海青,等. 2 种造林方式的毛竹材质生成中微纤丝角的变化[J]. *浙江林学院学报*,2010,27(2):217-222.
YANG S M,JIANG Z H,REN H Q,*et al.* Variation of microfibril angle in developmental *Phyllostachys pubescens* culms by two forestation methods [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*,2010,27(2):217-222. (in Chinese)

[16] 江泽慧,邹惠渝,阮锡根,等. 应用 X 射线衍射技术研究竹材超微结构 (I) 竹材纤丝角[J]. *林业科学*,2000,36(3):122-125.
JIANG Z H,ZOU H Y,RUAN X G,*et al.* A study on the ultrastructure of bamboo cell wall by X-ray [J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2000,36(3):122-125. (in Chinese)

[17] 李霞镇,任海青,王小青. 毛竹材微纤丝角变异规律研究[J]. *安徽农业大学学报*,2011,38(4):500-503.
LI X Z,REN H Q,WANG X Q. Research on variation of microfibril angle in *Phyllostachys pubescens* [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*,2011,38(4):500-503. (in Chinese)

[18] 周贤武,邓丽萍,王滋,等. 沙柳的孔隙结构、微纤丝角和纤维素结晶度研究[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*,2018,46(1):46-51.
ZHOU X W,DENG L P,WANG Z,*et al.* Pore structure, microfibril angle and cellulose crystallinity of *Salix psammophila* [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*,2018,46(1):46-51. (in Chinese)

[19] 汪佑宏,刘杏娥,江泽慧,等. 利用 X 射线衍射技术分析黄藤材微纤丝角、结晶度及 γ 射线的影响[J]. *光谱学与光谱分析*,2010,30(5):1404-1407.
WANG Y H,LIU X E,JIANG Z H,*et al.* Analysis of the microfibrilla angles & crystallinity index of *Daemonorops margaritae* with X-ray diffractometry and the effects of γ -ray irradiation [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*,2010,30(5):1404-1407. (in Chinese)

[20] TANABE J,ISHIGURI F,TAMURA A,*et al.* Within-tree radial and among-family variations in wood density, microfibril angle, and mechanical properties in *Picea glehnii* [J]. *Journal of Farming*,2018,52(2):161-174.

[21] KOIZUMI A,TAKATA K,YAMASHITA K. *et al.* Anatomical characteristics and mechanical properties of *Larix sibirica* grown in South-central Siberia [J]. *IAWA Journal*,2003,24(4):355-370.