

无定河流域城镇聚落的历史演变与人地耦合

佟彪^{1,2}, 党安荣¹, 周宏宇¹

(1. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 2. 辽宁省交通高等专科学校测绘系, 沈阳 110122)

摘要: 地处黄河中游的无定河流域, 是典型的过渡地带和生态脆弱地区。通过分析流域城镇格局的历史发展过程, 以及这一过程中的人地耦合关系, 结果表明: 流域城镇枢纽地区, 在唐代及以前为弓形, 城镇空间布局的影响因素以自然因素为主; 唐末以后为三角形, 城镇空间布局的影响因素以人文因素为主。当代流域城镇格局继承了历史发展的脉络, 但城镇发展动力主要是长城沿线的资源开发和城镇建设, 这些活动对局部地区的植被覆盖产生了冲击型影响; 同时以退耕还林、防风治沙等为代表的生态保护政策也已经显现出积极的效果。建议流域的城镇发展要合理确定人口与建设用地的发展规模、集中在榆横和靖边等主要城镇周边布局, 并且以河流为骨架构建生态屏障。

关键词: 城镇聚落; 空间格局; 无定河流域; 地理枢纽; 人地耦合

无定河是黄河中游的一条较大支流, 流域位于陕北黄土高原与毛乌素沙地交接地带和陕北—鄂尔多斯能源矿产资源富集区, 既是我国的重要生态屏障, 又是国家级能源化工基地。这里在历史上是生态环境脆弱地区, 也是中原农耕文明与草原游牧文明的过渡地区^[1]。在当代, 特别是2000年以来, 区域快速的城镇化建设和资源开发活动, 极大地改变了地表覆盖和生态环境状况。分析这一典型区域的历史城镇格局与生态环境状况的发展演变和当前发展态势, 以便为区域可持续发展提供政策建议, 是重要的研究课题。

关于历史时期无定河流域的研究, 侯仁之先生^[2]通过实地考察和文献梳理, 对照统万城遗址周边地区的历史地理环境与现实状况, 分析了人类活动与环境变化的关系。史念海先生^[3]通过长城和古城址这两类人文历史坐标, 分析了历史时期黄土高原及毛乌素沙地的植被变化、水土流失和风沙危害的演变过程。冯文勇等^[4]总结了鄂尔多斯高原历史时期古城址的分布及其发展机制, 何彤慧等^[5]通过分析毛乌素沙地在历史时期出现过的古城址的分布数量与重心变化, 来推断毛乌素沙地的沙漠化进程。韩茂莉^[6]利用历史文献分析了无定河流域从历史时期的人口和土地开发情况, 并以人口数量和结构推测各历史阶段的土地开发方式和规模, 进而判断流域生态环境的发展状况。吕静^[7]通过分析榆林地区各历史时期土地利用方式的变化以及相应的生态环境的演变过程, 认为本区域生态环境脆弱, 人类活动超过自然环境承限度时, 就会激活沙漠化进程, 建议榆林市在未来发展建设过程中吸取教训。安介生^[8]结合历史文献资料和实地考察结果, 分析了无定河上游红柳河谷地自然环境变迁, 强调应进行保护性开发, 重视河流水系在维护区域生态环境中发挥的调剂功能。

收稿日期: 2020-05-18; 修订日期: 2020-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51378277)

作者简介: 佟彪 (1981-), 男, 辽宁朝阳人, 博士研究生, 副教授, 主要从事流域人居环境、城乡规划新技术应用、文化遗产保护等研究。E-mail: quiettimes@163.com

通讯作者: 党安荣 (1964-), 男, 陕西佳县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事城乡规划新技术应用、文化遗产保护、智慧城市、智慧景区等研究。E-mail: danganrong@126.com

关于当代无定河流域的城镇与生态环境的研究,李兰等^[9]利用卫星影像数据对榆林市建成区的扩展过程、模式特征与结构变化进行了量化分析,明确了20多年来榆林市建成区高速扩展的阶段性特征,并据此提出改善建议。沈思思等^[10]结合榆林市资源型城市的特征和既有规划的基础,以敏感性和适宜性评价、规模预测和空间形态控制、“两规”图斑协调等方法,进行城市开发边界的划定。使用不同数据集对榆林地区2000年以来植被覆盖变化趋势的研究^[11-13],得出基本一致的结论,即榆林地区的植被覆盖趋势总体向好,在时间上有波动(受气候条件和人类活动的双重影响)、在空间上有分化(东南丘陵区好于西北风沙区,并且有明显的空间集聚),退耕还林政策效果良好,但已接近当地自然承载力的极限^[13]。对流域北部的毛乌素沙地研究则表明,植被覆盖变化与气候变化密切相关^[14],人类活动(开发与生态保护)的影响大致以陕西—内蒙古的边界为界线^[15],东南侧人类活动影响显著,而西北侧则以自然因素影响为主。

以上研究分别从不同时空范围,分析了无定河流域及其周边地区的城镇空间格局和以植被覆盖变化为代表的生态环境变迁过程。2000年以来,随着陕北能源资源开发的加速和呼包鄂榆地区在国家城镇化战略中的地位不断上升,无定河流域的地表覆盖发生了巨大的变化。本文以文献分析法和空间信息技术方法,对流域自有文字记载以来的战国中晚期至当代的城镇空间格局和生态环境状况进行了梳理总结,并且对2000年以来的现状与问题,采用遥感数据进行了进一步分析,以期为这一典型区域未来的生态保护和高质量发展提供启示和建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

无定河发源于陕西省北部白于山区,全长491 km,流域面积30261 km²,其中约70%位于陕西省、30%位于内蒙古自治区(图1)。无定河流域位于我国北方农牧交错带

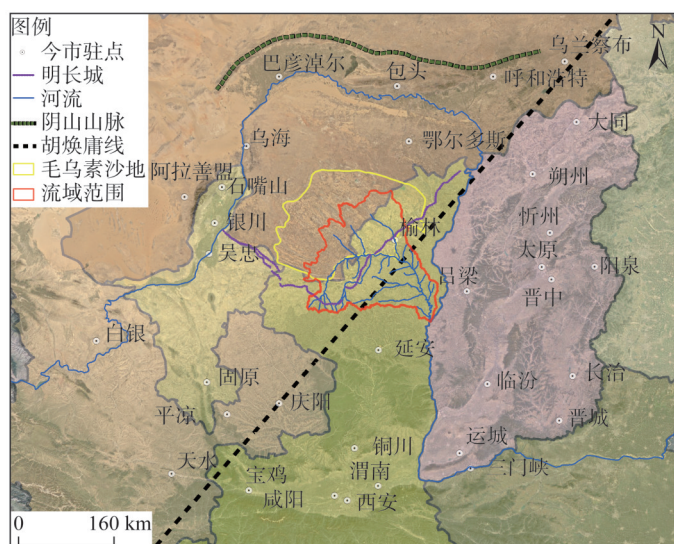


图1 无定河流域区位图

Fig. 1 The location of Wuding River Basin

上,北部属于毛乌素沙地南缘,南部属黄土高原丘陵沟壑区,既是地理上干旱与半干旱区域的过渡地带,也是中国主要的生态脆弱地区之一。在历史上,无定河流域作为中原农耕文明与北方游牧文明碰撞与交融的窗口,其生态环境与城镇分布经历过多次繁荣与衰退的交替^[1]。

本文通过分析有城镇文字记载以来的战国中晚期(约公元前300年)至当代,无定河流域内的城镇空间格局的时空演变过程,以及相应时期的流域生态环境变迁过程,研究流域内城镇聚落的历史演变与人地耦合机制,并为流域未来发展提供启示和建议。

1.2 城镇格局演变分析数据

由于县级行政区划一直是我国历史上比较稳定的基层单元,本文在分析历史城镇格局时,以县级及以上城镇为主,个别时期辅以次县级城镇,来研究有文字记载以来的流域城镇格局演变过程;城址的确定,以谭其骧先生^[16]主编的《中国历史地图集》为基本脉络,结合史志文献、政区地理、历史城镇地理、军事地理和文物资料等,每一城址的存续和位置都尽量选用两种或多种文献考证或文物资料相互印证;通过分析和整理,建立了每一年代无定河流域范围内出现的县级及以上城镇的位置、等级、兴废年代数据集^[1]。

2000年以来无定河流域的城市化进程逐渐加速。作为过渡性地带、生态脆弱地区和油气资源集中开发区域,其强烈的地表人类活动表现为资源的开发和土地利用方式的转换。在上述城镇化过程中,城镇建设用地扩张是最显著的特征之一。本文结合研究区域和时段特点,综合使用Landsat遥感影像、夜光遥感影像、高分辨率遥感影像等多源遥感数据和辅助资料,对2000—2018年无定河流域5个时相的建设用地进行综合解译,并采用基于GIS的空间分析方法,进行城镇空间扩展过程的分析^[17]。

1.3 生态环境变迁分析数据

无定河流域生态环境演变过程突出地表现为“植被—黄土/黄沙”此消彼长的过程。对历史时期的上述变迁过程,本文主要结合如下主要事件进行梳理和论述:陕北黄土高原的形成发展与植被覆盖变化研究,无定河流域水土流失问题,毛乌素沙漠的形成与演变。人类活动在历史时期的大部分时间里对自然地表面覆盖的影响非常小,只在个别时间、特定空间产生影响;近代以来,这种影响波及的范围和强度都在不断提高。

2000年以来的流域生态环境变化,本文以植被覆盖变化作为特征指标,使用SPOT/VEGETATION数据进行植被覆盖变化的分析,数据来自中国科学院地理科学与资源研究所数据中心的《中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集》^[18],该数据集是采用最大合成法生产的中国2000—2018年的年度NDVI数据公里网格产品。以上数据集经投影、裁切、校正等预处理后,构建了NDVI数据序列。

采用像元二分模型进行植被覆盖度分级,并采用Theil-Sen趋势分析和Mann-Kendall检验,进行变化趋势分析。像元二分模型是Price^[19]提出植被亚像元结构,每个像元的NDVI值可视作植被覆盖部分的贡献和非植被(土壤)覆盖部分的贡献之和,即:

$$NDVI = f_c \times NDVI_{veg} + (1 - f_c) \times NDVI_{soil} \quad (1)$$

式中:NDVI为像元的NDVI值; f_c 为植被覆盖度; $NDVI_{veg}$ 为纯植被像元的NDVI值; $NDVI_{soil}$ 为土壤背景像元的NDVI值。

因此,植被覆盖度 f_c 可以表示为:

$$f_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

式中： $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 的值采用生长季（8月） $NDVI$ 数据以5%置信度来确定。

采用Theil-Sen趋势分析和Mann-Kendall检验，进行变化趋势分析，是植被覆盖变化分析经常采用的方法^[20]。Theil-Sen趋势分析通过计算 $n(n-1)/2$ 个数据组合的斜率中位数来表达植被增加或减少的趋势，本文中使用的计算公式为：

$$S_{NDVI} = \text{Median} \left(\frac{NDVI_j - NDVI_i}{j - i} \right), 2000 \leq i < j \leq 2018 \quad (3)$$

当 $S_{NDVI} > 0$ 时，反映 $NDVI$ 呈现增长趋势，反之，若 $S_{NDVI} < 0$ ，则反映 $NDVI$ 呈现退化趋势。

Mann-Kendall检验（M-K检验），用于判断植被覆盖的增加或减少的趋势是否显著，其计算过程为：

设定 $\{NDVI_i\}, i = 2000, 2001, \dots, 2018$ 。

定义Z统计量为：

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{s(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{s(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中，

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(NDVI_j - NDVI_i) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(NDVI_j - NDVI_i) = \begin{cases} 1, & NDVI_j - NDVI_i > 0 \\ 0, & NDVI_j - NDVI_i = 0 \\ -1, & NDVI_j - NDVI_i < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$s(S) = \frac{n(n-1) \times (2n+5)}{18} \quad (7)$$

本文以 $|Z|$ 分别大于1.28和1.64时，表示通过了可信度为90%、95%的显著性检验。

2 结果分析

2.1 流域城镇格局的历史与现状

2.1.1 历史城镇格局演变的地理枢纽

地理枢纽是一个区域具有历史意义的核心地带，是区域历史演变和主要事件的发生地，也是区域自然基础、交通条件最优越的地区，因此，陈彦光^[21]使用中国历史上三个最重要的古都（西安、南京、北京）构成中国政治地理的“爱因托芬三角形（Einthoven's Triangle）”，结合该三角形的内切圆以及长城、秦淮、运河、黄河等重要的自然与人文地理界线，确定了中国历史的地理枢纽地区。本文借鉴这种研究方法，分析无定河流域的地理枢纽地区。

无定河流域历史上曾经出现过6座中心城镇，分别是秦汉时期的肤施、北朝隋唐时

期的统万、宋元时期的绥德、明清至当代的榆林和清代以来的靖边。如果将这6座城镇根据位置连线,可以得到流域历史发展的枢纽地区(图2)。对于无定河流域而言,河流和长城也是重要的地理界线,分别代表自然与人文因素对城镇格局的影响。

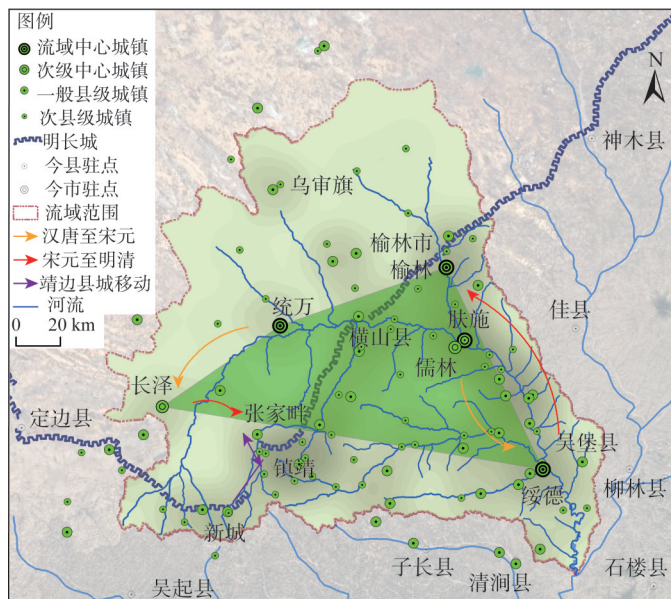


图2 无定河流域历史的地理枢纽示意图

Fig. 2 The historical geographical hub area of Wuding River Basin

从图2可以看出,流域公元前300年至公元2000年的中心城镇分为东西两组:

东部的肤施、绥德、榆林三个中心城镇,形成沿榆溪河—无定河谷地的历史轴线,这里也是无定河流域历史城镇格局的纵向主轴线。流域中心城镇首先出现在轴线中间位置、无定河与榆溪河交汇处,从北朝开始中心城镇向南逐渐转移到绥德(上县/龙泉),明代起中心城镇又向北转移到榆林。中心城镇的这种南撤、北进,体现了中原农耕文明的兴衰节律,也大致代表了这一地区农耕线的移动趋势。东部轴线的中心城镇虽然大幅度移动,但轴线整体保持稳定,主要原因是流域东部地理环境(河流的流向和分水岭的位置)基本稳定。

西部的统万、长泽、靖边呈三角形格局分布,其中心城镇的转移变迁过程,是毛乌素沙地区域生态环境剧烈变迁的结果。南北朝时期,统万城一带生态环境优良,这从众多学者的研究中都得到了确证^[2,5,8],但到唐中后期已经积沙严重,西夏时降为一般城市,代之以长泽为区域中心城镇。长泽所处的地区,曾有城川古湖,后湖泊干涸,但在两宋时仍是地下水源比较充沛的绿洲地带,生态环境和区域承载力较深入毛乌素沙漠之中的统万城要优越许多。

区域中心城镇的起落,也反映了人文环境的变迁:统万城兴盛时,正是游牧民族兴盛之时,从匈奴夏经北魏、西魏到北周都是游牧民族建立的政权;隋唐时无定河流域城镇数量和人口规模最多的是绥州,直到唐晚期党项羌拓跋氏掌权,区域中心城镇才再次回到统万。西夏时期统万地区的生态环境变差,中心城镇继续西移至长泽。而元明之际,流域西北主要是蒙古族游牧为主,因此长泽被废弃,流域西部的中心城镇转移到明

随后匈奴南下,无定河流域直到汉武帝时期,才再次回到农耕为主的土地利用方式。西汉时期,流域人口繁盛,共设有8座县治;到东汉时城镇规模有所减少,仅余5县。东汉晚期随着气候转为干旱寒凉、农耕线南移、游牧民族南下,无定河流域的生产方式再次以游牧为主。其后的南北朝时期,无定河流域虽然也有城镇建设和土地开发活动,但游牧为主的生产方式,使无定河流域的生态环境得到了恢复,并随着气候再次转为温暖湿润,在隋唐时期,达到接近汉代的良好水平。总体来看,这一阶段流域内人与自然的关系相对和谐,自然因素占主导,人类活动主要是顺应自然发展。城镇分布格局的影响因素,也主要以自然因素为主。

从隋代到元代,无定河流域处于气候条件较好的时期,总计有唐代、北宋和元代三个温暖时期,在这些温暖时期之间,有唐末五代、南宋两个寒冷时期^[21]。由于气候条件的逐渐恶化,以及人类持续的高强度开发利用活动,使得流域的生态环境逐渐恶化。

唐中期以前,无定河流域气候温暖湿润,植被覆盖较好,土地承载力较高,最高时曾设置有13座县治,并且设有几十个少数民族聚居的羁縻州县;流域内农耕和游牧的生产方式并存,人口稠密经济繁盛,这是无定河流域的第二次大规模开发。在气候条件较好的时期,土地承载能力较高,尚能够维持平衡的状态;在唐中晚期气候转冷以后,人类活动强度开始超出了自然环境承载的范围,本区域生态环境的脆弱性显现出来。黄土丘陵沟壑区的过度开发造成了黄河中游大规模的水土流失,“黄河”“黄糊涂河”得名也是在唐代开始。唐末五代至北宋初,流域北部毛乌素沙漠地区开始有沙化迹象,夏州地区积沙严重,毛乌素沙漠也逐渐形成并向南侵袭^[8];之后由于宋/金与西夏在持续了200多年的战争中,频繁地毁林烧荒、构筑军事要塞、开荒屯田、砍伐薪炭等,这些活动使得在北宋时期,植被覆盖情况仍每况愈下^[23]。元代虽然结束了在无定河流域的军事对峙活动,蒙古族统治者推行的游牧政策也使流域的生态环境得到一定程度的恢复,但已经很难再恢复到汉代以前的水平了^[7]。

明代总体上处于比较寒冷的时期,气候条件不利于自然植被的恢复。无定河流域属于明“九边”的榆林镇辖区,筑有20余座堡寨。这一时期自然气候条件远不及北宋时期^[22],而人类活动对环境的破坏与宋—西夏时期类似,且破坏力有增无减,自然与人为因素共同作用,造成流域生态环境更加恶化。清代气候仍然处于比较寒冷的时期,历史上类似的气候条件不利于农业生产,但流域内活动人口数量较少、且生产方式以游牧为主,所以人地关系尚属和谐;而清代取消“人头税”以后,全国人口数量暴涨,流域内的人口总量也在19世纪初达到了汉唐人口峰值的2倍以上^[24]。人口压力使得流域内黄土丘陵沟壑区土地和植被遭到大规模的滥垦滥伐,同时长城沿线风沙草滩区也遭到大规模的开垦。粗放的生产方式对生态环境破坏严重,毛乌素沙地从18世纪初到20世纪中叶的250年间,向南推进了60 km^[25];黄河含沙量进一步增加,决口灾害频繁发生。据统计,黄河决口事件,在唐代以前总体上每百年不超过10次,而宋代决口数已经达到每百年100次左右,明清时期更是增加到每百年160~180次^[23];而黄河中游的森林覆盖率,也呈逐渐下降趋势,先秦、秦汉、唐宋和明清时期的森林覆盖率分别为53%、42%、30%和10%,其中宋代以后下降最为明显^[26]。民国时期战乱频繁,滥伐滥垦有增无减,流域内的草地所剩无几,沙化更趋严重。

在上述生态环境变迁的背景下,特别是由于毛乌素沙地的环境变迁,西部的中心城

镇从隋唐时期的统万转移到宋元时期的长泽,最后再转移到明清至当代的靖边。唐末以后流域的地理枢纽地区从弓形转变为等边三角形(图4)。



图4 唐末以后的地理枢纽示意图

Fig. 4 The geographical hub area after the Tang Dynasty

榆林作为这一时期的区域中心城镇,是三角形的顶点。东侧榆溪河—无定河谷地的历史城镇主轴,一直延续到当代。西侧的长城沿线是从明代开始发展起来的城镇副轴,在明代密集分布着长城沿线的军事堡垒,在清代则是连接榆林、怀远(今横山区)、靖边的城镇轴线,并且向东北延伸到神木、向西南延伸到定边。随着2000年以来长城沿线油气资源的开发,长城沿线城镇轴已经逐渐取代了东侧纵向轴线,成为新的城镇发展主轴。

除了上述两条轴线外,在流域南部还存在一条潜在的横向城镇发展轴,即连接绥德、经过子洲、到达靖边的大理河—芦河谷地轴线。这条轴线具备一定的自然和历史基础,在唐代以前这条轴线是弓形枢纽地区的弓弦,分布着众多的历史城镇,也是重要的东西向交通通道;这条轴线在当代也具备一定的经济社会基础,轴线两端有绥德、靖边两个次级区域中心,并且是当代连接山西—陕西—宁夏的东西交通大通道,因此具备一定的城镇发展潜力。

2.1.3 当代流域城镇格局特征

当代无定河流域的城镇分布格局继承了历史时期流域城镇分布特征,是当代气候与自然地理背景、人文社会环境共同作用的结果。首先,城镇分布格局体现了沿河流谷地分布的特征,榆林市和其余6座县城基本上都位于水源、地形、交通条件良好的无定河干流和主要支流谷地附近;其次,城镇分布格局也继承了明清两代沿长城(边墙)分布的特征,流域内的榆林市、横山县、靖边县,乃至流域东西两侧的神木县、定边县都位于长城沿线,沿用了明清两代军事堡垒城镇的原址。

但是这种形式上的相似特征,却源自于截然不同的内在动因:

(1) 当代无定河流域城镇分布格局与汉唐时期类似,但当代无定河流域的气候条件

和生态环境状况并没有当时那样优越。在汉唐两代,毛乌素沙地并未明显沙化,很多证据表明当时该地区广泛分布着森林、草地,生态环境十分优良,今天的黄河在当时还被称作“河水”,尚未因黄沙黄土流失过多而浑浊泛黄。一方面应该看到,今天之生态环境不及汉唐,却有与当时相似的城镇分布格局、承载10倍的人口,与当代生产力极大提高有关,因此在分析历史与当代城镇分布格局的关系与规律时,不应忽视生产力变量的作用;另一方面也应重视当代流域生态环境承载力的研究,以及流域开发的生态环境影响的研究。

(2) 当代无定河流域城镇分布继承了明清沿长城分布的特征,但支撑这种格局的动因已经不是军事、政治和民族关系,而是因为当前长城沿线恰是我国能源、矿产资源富集地区。无定河流域的榆林、横山、靖边及其东西两侧的神木、定边地区是国家级能源化工基地的重要组成部分,能源与矿产资源开发是2000年以来支撑这些城镇迅速发展的主要动力。可见在当代以工业和后工业为主导的时期,农业时代的城镇发展演变规律是否仍然适用,也需要认真检视。

通过集成多源遥感数据重建的2000—2018年流域建设用地的扩展过程可以看出(图5),2000年以来,流域内建设用地扩张迅速,从2000年开始加速,到2010年后有所放缓,呈现城镇化S型曲线的发展形态。城镇用地格局经历了从人字形到三角形、再到四边形的发展过程,即逐渐从点轴式向网络格局发展。按照分区来看,中游风沙草滩区扩展最快。在上述格局演变过程中,政策推动下的投资和资源开发是主要动力。随着“西部大开发”战略的开展,2000年以来陕北被确定为国家级能源化工基地,首先是无定河流域西北侧的神府煤矿大规模开发带动了区域经济起步和基础设施的完善,其次是靖边天然气开发成为西气东输工程的重点建设区域之一。这些重大政策和工程项目,带动了陕北长城沿线产业带的迅速崛起,无定河流域逐步进入国家战略层面,成为“呼包

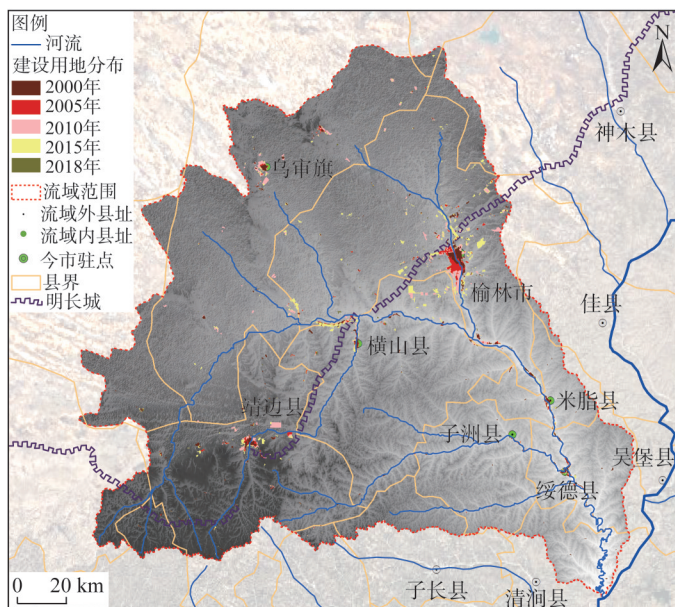


图5 2000—2018年流域城镇建设用地分布

Fig. 5 Constructed land in the Wuding River Basin during the period 2000-2018

银榆”城市群的重要一极、全国唯一的国家级能源化工基地。这一国家级基地于1998年获得批准，2003年正式启动建设，2010年“两区六园”格局基本形成，其中榆林经济技术开发区和榆神煤化工、榆横煤化工、绥米佳盐化工、定靖油气化工产业园均位于流域范围内。乌审旗境内则有纳林河工业园区，位于无定河干流巴图湾段东北侧。在交通运输方面，2000年以来西包高速的贯通、神木—榆林—延安铁路的开通，2006年青银高速全线贯通、包茂高速榆林境内通车，2008年榆阳新机场建成投入使用，无定河流域形成了公路、铁路和航空三位一体的交通系统和西包、包茂、青银三角形高速公路格局，促进流域经济发展和各主要交通沿线的产业发展。

在区域资源开发和城镇建设的同时，以防护林带、沙化综合治理和退耕还林还草等政策为代表的生态保护政策，也得到了较好的实施。本文采用像元二分模型分析方法，基于SPOT/VEGETATION数据^[27]生成了流域内2000—2018年间的植被覆盖图，结果表明流域内的植被覆盖情况总体呈持续改善趋势。对各像元的NDVI值进行Theil-Sen趋势分析和M-K检验，根据分析结果将植被覆盖变化情况分为5种类型：显著增加、轻微增加、基本稳定、轻微减少、显著减少（表1），结果如图6所示。

上述分析的结果表明，植被增加区域最集中的地区，是退耕还林政策执行较好的地区，如流域下游的绥德县和清涧县，上中游横山山脉及周边的横山区和靖边县，以及榆阳区榆溪河以东的丘陵地区。这些区域由于持续的退耕还林还草政策的实施，植被覆盖度得到持续的提高。其中，显著增加区域集中在靖边县、横山县的长

表1 植被覆盖趋势分级参数表	
Table 1 Parameters of cluster for NDVI changing trends	
综合分级	分级说明
显著减少	$S < -0.02$, 且 $ Z > 1.64$
轻微减少	$-0.02 < S < -0.01$, 且 $ Z > 1.28$
基本稳定	$ S < 0.01$, 或 $ Z < 1.28$
轻微增加	$0.01 < S < 0.02$, 且 $ Z > 1.28$
显著增加	$S > 0.02$, 且 $ Z > 1.64$

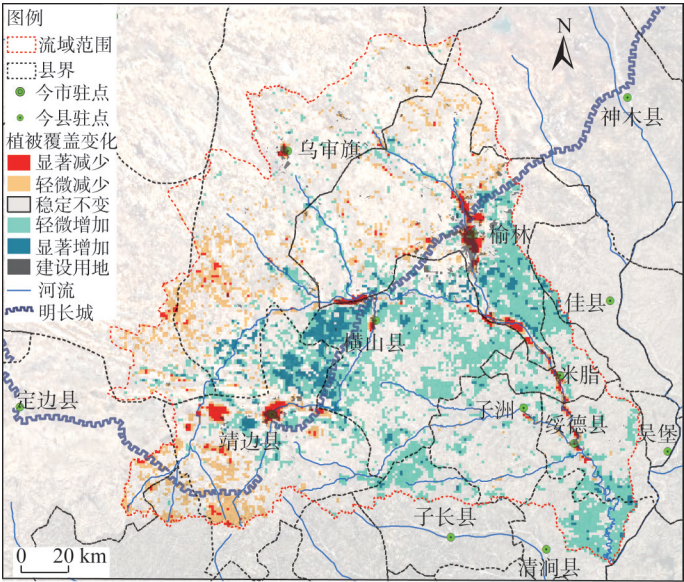


图6 植被覆盖变化的影响因素分析

Fig. 6 Influencing factors of vegetation cover change in the Wuding River Basin

城沿线,这里是长城沿线防风固沙带的主战场;而榆阳区的长城沿线区域则由于城镇扩展和资源开发,呈现植被覆盖的轻微减少趋势。

另外,接近河流、湖泊和人工水利设施的区域,由于水源条件较好,也大多是植被集中改善区域,例如无定河干流沿线,已经基本形成了一条生态骨架,风沙区的纳林河、海流图河、榆溪河上游和白河沿线,也形成了带状的植被集中增加区。

植被显著减少区域与城镇快速扩展地区在空间上基本吻合,体现为用地类型转变引起的植被覆盖度下降。例如榆林市区及周边建设用地集中扩展区,横山区的横山镇和雷龙湾镇的集中建设区,靖边县的张家畔镇、东坑镇和杨桥畔镇的集中开发建设区,乌审旗嘎鲁图镇的集中建设区等,都是植被显著减少的区域。另外,绥德、米脂、子洲三县的中心城镇周边,也有植被显著减少区分布,只是因为这三地城镇扩展的面积不大,因而减少区域的面积也较小。

流域上游白于山区的植被轻微减少成因在于:这一区域始终是流域内植被覆盖水平较高的地区,而且从研究时段起始时,植被覆盖程度就接近饱和;在流域整体植被覆盖程度好转的过程中,这一区域的植被覆盖虽然一直保持较高的水平,但在变化趋势上,并没有体现出明显的提高,甚至因为气候原因(如降水量变化),个别年份稍有下降,最后体现出的植被覆盖趋势就是“轻微减少”,这种现象与文献[13]中使用Hurst指数分析得出的结论基本一致。

毛乌素沙地的腹地是植被轻微减少分布最集中的区域,在榆溪河以北、榆溪河与海流图河之间,以及纳林河—无定河以西,形成了三条植被轻微减少的集中地带。这三个地带的年度NDVI值并未有明显的下降,只是由于除了水源条件较差外、个别地区的城乡建设和矿产开发,以及一定程度的气候原因,造成植被覆盖变化趋势的轻微减少,可以视作流域生态环境状况较为薄弱的地区,是下一阶段生态保护工作的重点区域。

2.2 未来流域城镇发展的对策建议

2.2.1 流域城镇发展与生态保护策略

无定河流域本身生态环境脆弱和承载力低的特点^[28],使其依靠本区域的发展很难支撑起庞大的城镇体系,因此,流域城镇格局的发展仍然要着重考虑国家政策的影响。流域当前是国家级能源化工基地,因此仍应保持一定的开发强度,服务于国家战略;同时脆弱的生态环境也要求加强核心生态带的保护。所以未来流域城镇发展应采取集中布局的方式,不搞“遍地开花式”的开发。流域的生态环境保护需要做好省区间的衔接,协调好空间布局和水资源分配上的矛盾。另外,城镇发展与生态保护矛盾比较突出的区域,集中在榆横城镇发展轴和靖边县地区,快速的城镇发展已经导致了周边区域植被覆盖的持续减少,接下来这两个地区还将是开发建设的重点地区,生态环境保护的压力会更加巨大。

因此流域未来需要协调好人口、资源、环境三者的关系,重视资源和环境的承载能力、生态系统的稳定能力和管理的调节能力,合理安排空间布局,具体的协调建议如下(图7)。

(1) 总量控制策略

区域承载力较低,应合理确定规模,不搞盲目的扩张性规划。结合承载力研究和人口发展趋势,以及在国家战略中的地位和任务,合理确定人口和建设用地的发展规模。

(2) 集中布局策略

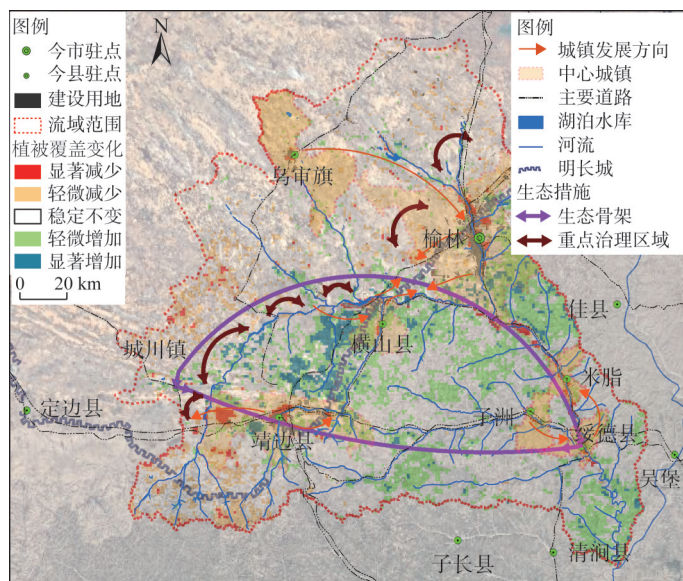


图7 流域城镇发展与生态环境保护格局建议

Fig. 7 Suggestions to urban development and ecological protection in the Wuding River Basin

以中心城镇为主，集中在承载力较高、适宜性较高的榆横、靖边区域进行布局。在空间上构建四角网络的城镇格局，即在流域历史时期三角形枢纽地带基础上，增加乌审旗嘎鲁图镇的节点，以长城沿线作为发展主轴，构建“1主1副2次”的中心城镇格局：榆林市与横山联合发展，集中流域的大部分人口和产业，形成1个城镇主中心；靖边县张家畔镇联合东坑镇、杨桥畔镇形成流域副中心；绥德—米脂—子洲城镇组群发挥交通枢纽节点功能、寻求特色发展，可以采用组团形式，构建一个次级中心城镇；乌审旗的嘎鲁图镇作为另一个次级中心城镇，在与鄂尔多斯城镇体系联系的同时，如向南发展应尽量沿白河、海流图河沿线植被水源条件较好的地带进行。

(3) 空间耦合策略

水资源是流域发展的核心约束。“十二五”期间编制了《无定河流域综合规划》，省区也出台了配套意见，是水利部门编制的流域治理规划，较少涉及城镇发展的内容；2019年国家水利部印发了《无定河流域水量分配方案》，是流域水资源管理方面的又一个重要措施。如何在城镇发展过程中，综合利用水资源，认真分析水资源利用中的取舍得失，需要加强与相关专业的联系，进行专题的研究。具体的空间布局建议是：沿无定河干流布置一个弓形的生态屏障区域，弓背是无定河干流、弓弦是大理河—芦河—城川湿地，结合水源条件形成两道生态屏障；长城沿线防护林带的北端（横山县以北），结合榆林—鄂尔多斯城镇发展主轴线向北延伸，作为城镇发展的生态屏障，并将图7中毛乌素沙地植被集中减少带与长城沿线屏障的结合处，作为防风治沙的重点防御地区。

2.2.2 流域主要城镇地区的发展分析

(1) 榆横地区

榆林市是当前流域的主要中心城市，从明代开始取得区域中心城镇的地位后，一直持续至今，不过各代的原因不同：明代主要是军事原因，因其北近长城、地势险要（与

当时的中心城镇绥德相比较具有区位优势);清代主要是民族事务原因,接近长城方便处理沿线民族事务,又有历史中心城镇的惯性(与长城沿线其他城镇相比较的优势);当代则是由于油气资源储量丰富、开发条件好,同时也有历史中心城镇的基础。榆林市位于风沙区,周边地势较为平坦开阔、集中用地规模大、水源条件也较好,在未来仍将是流域的中心城镇。但也面临巨大的生态环境压力,具体来说包括风沙问题、建设用地与生态用地的矛盾、水资源的约束等。

关于榆林市的未来发展方向,其北侧和东侧受地形条件和生态环境限制,进一步发展的空间有限;结合历史格局分析,只有向南和向西两个方向可以考虑。①南向发展,沿榆溪河谷地向南到达秦汉肤施位置,再继续向南经镇川到米脂,相当于延续纵向历史城镇发展主轴。这个方向的主要问题是河流谷地用地狭窄,而且需要考虑水患的影响,发展空间有限。从历史角度看,这条轴线属于流域的自然轴线,一般是自然条件起主要作用时(农业为主),这条轴线的城镇比较兴盛,如汉、唐时期,而当代城镇发展以人文因素为主,应该考虑另一条历史轴线,即长城沿线发展轴。②西向发展,经西沙新区到横山区,即当前榆林市发展战略的“榆横发展轴”,相当于回归历史城镇轴线中的长城沿线发展轴,这是一条人文因素为主的轴线,不管是宋、明的军事、清代的民族事务,还是当代的资源开发,都是人文因素主导的城镇格局。当代榆林市的主要发展主题是油气资源开发、石油化工、历史名城和生态环境保护,这几点定位在长城沿线发展轴上都能找到依据和抓手。

横山县(区)的地形条件欠佳,县城位于横山山脉北部、芦河下游谷地,地形狭窄、城市发展纵深严重受限。所以无论是历史时期还是当代,发展规模始终有限。未来的发展方向只能是北进,到达无定河干流谷地后,有两个方向选择,一是向西,与雷龙湾镇共同发展;二是向北跨越无定河,向榆林方向发展,呼应“榆横发展轴”。综合来看,后者更优一些,无论地形条件、生态保护压力和政策优势都更加明显。另外,无论向哪个方向发展,都需要处理好无定河水患和干流生态带的关系,以及妥善处理风沙和水源限制问题。

(2) 靖边地区

靖边县址曾经几度搬迁,清代选址在新城,为明代靖边营旧址,因靠近长城沿线,便于处理民族事务。同治年间向北迁到镇靖,更加靠近枢纽地区,不过受长城所限,地形条件和区位仍然一般。解放后县城迁到今址张家畔镇,其地形条件、水源条件、资源条件都很好,是流域西部地区的发展极。在当代,由于油气资源丰富,叠加地形条件优越和交通条件完善,发展最为迅速。东坑、张家畔、杨桥畔三镇有望进一步发展,形成东西向的城镇发展走廊。而这一地区未来发展的挑战,仍然是生态保护形势严峻:一是继续防范毛乌素沙地的风沙危害,二是协调好建设用地与生态用地的关系。

(3) 绥德—米脂—子洲地区

绥德的区位条件很好,在历史上一直是重要城镇节点,也是流域内存续时间最长的城镇。不过绥德的地形条件不好,缺乏开阔地带,城市发展纵深不足。这一点在古代城镇规模较小时影响不显著,当代城镇空间剧烈扩张时,就明显掣肘。另外,绥德位于流域下游、无定河与大理河交汇处,水患频发,2017年刚刚发生过一次百年一遇的洪涝灾害、县城被淹,所以水患是绥德城镇空间发展的最大挑战。绥德的发展机遇是历史文化

资源丰富,秦代有公子扶苏墓、蒙恬墓,汉代有汉画石像出土,北朝隋唐以来历史遗址遗迹资源更加丰富。绥德在当代还是南北和东西交通枢纽:南北向的榆溪河—无定河谷地向来是关中地区经陕北到达河套地区的交通要道,东西向则是山西—陕西—宁夏交通通道上的重要节点。作为三角形枢纽地区的一个顶点,未来的发展需要寻求特色发展之路。

米脂也位于东侧纵向城镇发展主轴上,主要受自然/农业因素的影响。因土地肥沃,从宋代米脂寨开始,一直人烟稠密。但始终没有发展成为区域中心城镇,发展规模和行政地位始终低于绥德,更像是绥德的一座“伴侣城市”。米脂自然条件好,山清水秀、土地肥沃,历史资源丰富,并且有丰富的岩盐资源。米脂未来的发展方向应是向南与绥德联系,定位为绥德的伴侣城市,成为流域东南部三角形城市群组的一个顶点。

子洲位于大理河谷地、流域南侧潜在的城镇发展轴线上。其驻地双湖峪镇的区位条件很一般,地形狭窄、水患频繁,所处区域还是退耕还林等生态保护政策实施区域。子洲的资源条件和交通条件也一般,因此一直发展缓慢。子洲与绥、米两地的距离都不远,其设县时,辖地也多从绥米两县划来。未来子洲县发展空间仍然不大,应定位为绥德的卫星城、东西向交通通道上的一个通过性节点。与此类似,其他大理河谷地的一般乡镇都不具备发展大型城镇的条件。因此流域南侧潜在的城镇发展轴,仅适宜大力发展轴线两端的靖边、绥德两个节点。

(4) 乌审旗地区

乌审旗的地形条件很好,没有山河限制;资源条件也较好,北侧有丰富的煤炭资源正在开发,南侧有油气资源潜力,正在勘探。其城镇发展的挑战,主要是风沙威胁和水资源的约束。如果靠资源开发的支撑,可以进一步发展的话,需要考虑在鄂尔多斯城镇格局中的位置,以及与流域南部三角形枢纽地带的联系,可沿白河与榆林联系,形成流域城镇体系的四角网络格局。

3 结论

本文利用历史文献恢复了历史时期无定河流域城镇空间格局和生态环境的变迁过程,使用遥感数据和空间信息技术方法分析了流域2000年以来的城镇建设用地扩展和植被覆盖变化情况,主要结论如下:

(1) 揭示了历史时期流域城镇枢纽地区变迁:根据历史上的主要城镇连线,确定无定河流域历史城镇的枢纽地区。流域内的中心城镇可以分为东西两组,东侧中心城镇沿无定河—榆溪河谷地线性移动;西侧中心城镇呈三角形沿逆时针方向移动;唐代及以前的枢纽地区为弓形,此时自然条件较好,城镇空间布局以自然因素为主;唐末以后的枢纽地区为三角形,城镇空间布局以人文因素为主。

(2) 刻划了流域当代城镇格局和生态变迁趋势:继承了历史发展的脉络,又有不同的发展逻辑。尤其是长城沿线城镇,存在原因已经不是长城两侧的分界功能,而是长城沿线的资源开发功能。大规模和快速的城镇建设与资源开发,对局部地区的植被覆盖起到了冲击型影响;同时以退耕还林、防风治沙等为代表的生态保护政策已经显现出积极的效果。

(3) 提出了流域未来城镇发展与生态保护建议:建议流域的发展要结合国家战略定

位和区域生态环境承载力,合理确定发展规模、集中在主要城镇周边布局;并且以河流为骨架构建弓形的两道生态屏障;结合植被覆盖变化情况,确定生态保护和沙化防治的若干重点地区。

本文从无定河流域整体上研究了城镇空间格局与生态环境的变化过程及其相互耦合关系,对于局部地区的演变机制和生态环境保护对策,还有待进一步深入研究。从本文的分析结果可见,以退耕还林还草政策为代表的各项生态保护政策的实施,对于研究区域内植被覆盖的增加有较为显著的效果;主要城镇的空间扩展过程,在局部造成了植被覆盖减少,但又有助于整体上的植被覆盖增加,这种影响机制还需要进一步明确和确认。水资源是无定河流域城镇发展和生态保护与建设中的核心约束资源。城镇的发展、资源的开发,需要耗费大量的地表、地下水资源;而防风林带、治沙植被等生态建设,也需要消耗一定的水资源。在水源条件较好的地区,往往也是开发与保护矛盾比较集中的区域,因此有必要从流域整体上,综合城镇与区域发展、资源开发、生态保护和水资源等多学科的研究,合理制定流域发展规模、生态保护策略,以及相应的空间布局,以提高决策的科学性和可行性。

参考文献(References):

- [1] 佟彪,党安荣,许剑. 300BC-1900AD 无定河流域城镇时空格局演变. 地理学报, 2019, 74(8): 1508-1524. [TONG B, DANG A R, XU J. Evolution of urban spatial pattern in Wuding River Basin of 300BC-1900AD. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(8): 1508-1524.]
- [2] 侯仁之. 从红柳河上的古城废墟看毛乌素沙漠的变迁. 文物, 1973, (1): 35-41. [HOU R Z. On the changes of the Maowusu Desert from the ruins of the Ancient city on the Hongliu River. Cultural Relics, 1973, (1): 35-41.]
- [3] 史念海. 两千三百年来鄂尔多斯高原和河套平原农林牧地区的分布及其变迁. 北京师范大学学报, 1980, (6): 1-14. [SHI N H. Distribution and change of agriculture, forestry and animal husbandry in Ordos Plateau and Hetao Plain in the past 2300 years. Journal of Beijing Normal University, 1980, (6): 1-14.]
- [4] 冯文勇,王乃昂,何彤慧. 鄂尔多斯高原及毗邻地区历史城市发展的影响因素. 经济地理, 2010, 30(3): 431-437. [FENG W Y, WANG N A, HE T H. Factors influencing the development of historical cities in Ordos Area. Economic Geography, 2010, 30(3): 431-437.]
- [5] 何彤慧,王乃昂. 毛乌素沙地: 历史时期环境变化研究. 北京: 人民出版社, 2010. [HE T H, WANG N A. Mu Us Sandy Land: A Study of Environmental Change in Historical Period. Beijing: People's Publishing House, 2010.]
- [6] 韩茂莉. 历史时期无定河流域的土地开发. 中国历史地理论丛, 1990, (2): 25-44. [HAN M L. Land development of Wuding River Basin in historical period. Journal of Chinese Historical Geography, 1990, (2): 25-44.]
- [7] 吕静. 陕西榆林生态环境演变的历史过程考释. 榆林高等专科学校学报, 2003, (2): 47-49. [LYU J. The historical process of the evolution of Yulin ecological environment in Shaanxi province. Journal of Yulin College, 2003, (2): 47-49.]
- [8] 安介生. 统万城下的“广泽”与“清流”: 历史时期红柳河(无定河上游)谷地环境变迁新探. 历史地理, 2008, (1): 242-268. [AN J S. "Vast Lake" and "Clean Water" under the Tongwan city. Historical Geography, 2008, (1): 242-268.]
- [9] 李兰,陈晓键. 快速发展期的西北地区中小城市空间扩展分析与评价: 以陕西省榆林市为例. 生态经济, 2014, (6): 109-113. [LI L, CHEN X J. Analysis and evaluation of spatial expansion of small and medium-sized cities in Northwest China in the period of rapid development. Ecological Economy, 2014, (6): 109-113.]
- [10] 沈思思,陈健,耿楠森,等. 快速城镇化地区的城市开发边界划定方法探索: 以榆林市为例. 城市发展研究, 2015, (6): 103-111. [SHEN S S, CHEN J, GENG N S. Study on delimitation method of urban development boundary in rapid urbanization area. Urban Studies, 2015, (6): 103-111.]
- [11] 周淑琴,荆耀栋,张青峰,等. 毛乌素沙地植被空间自相关分布模式及变化特征. 应用基础与工程科学学报, 2015, (2): 318-330. [ZHOU S Q, JING Y D, ZHANG Q F, et al. Spatial autocorrelation distribution pattern and change characteristics of vegetation in Mu Us Sandy Land. Journal of Basic Science and Engineering, 2015, (2): 318-330.]

- [12] 石玉琼, 郑亚云, 李团胜. 榆林地区 2000—2014 年 NDVI 时空变化. 生态学杂志, 2018, 37(1): 211-218. [SHI Y Q, ZHENG Y Y, LI T S. Spatial-temporal changes of NDVI in Yulin from 2000 to 2014. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(1): 211-218.]
- [13] 杨波, 王全九, 许晓婷, 等. 还林还草工程后榆林市 NDVI 时空变化趋势. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1839-1848. [YANG B, QANG Q J, XU X T, et al. Spatial-temporal change trend of NDVI in Yulin city after the reforestation project. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(6): 1839-1848.]
- [14] 王立新, 刘华民, 杨劼, 等. 毛乌素沙地气候变化及其对植被覆盖的影响. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2030-2039. [WANG L X, LIU H M, YANG J, et al. Climate change and its influence on vegetation cover in Mu Us Sandy Land. Journal of Natural Resources, 2010, 25(12): 2030-2039.]
- [15] LIANG P, YANG X P. Landscape spatial patterns in the Mu Us Sandy Land, Northern China and their impact factors. Catena, 2016, 6: 321-333.
- [16] 谭其骧. 中国历史地图集. 北京: 中国地图出版社, 1982. [TAN Q X. The Historical Atlas of China. Beijing: China Map Press, 1982.]
- [17] 党安荣, 毛其智, 王晓栋. 基于 GIS 空间分析的北京城市空间发展. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, (6): 814-817. [DANG A R, MAO Q Z, WANG X D. Urban spatial development of Beijing based on GIS spatial analysis. Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition, 2002, (6): 814-817.]
- [18] 徐新良. 中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统, 2018, DOI: 10.12078/2018060601. [XU X L. Spatial distribution data set of Annual Vegetation Index (NDVI) in China. Data Registration and Publishing System of Data Center of Resources and Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 2018, DOI: 10.12078/2018060601.]
- [19] PRICE C J. Estimating leaf area index from satellite data. IEEE. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1993, 31: 727-734.
- [20] 张亮, 丁明军, 张华, 等. 1982—2015 年长江流域植被覆盖度时空变化分析. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2084-2097. [ZHANG L, DING M J, ZHANG H, et al. Spatiotemporal variation of the vegetation coverage in Yangtze River Basin during 1982-2015. Journal of Natural Resources, 2018, 33(12): 2084-2097.]
- [21] 陈彦光. 中国历史的地理枢纽: 中国地缘政治格局成因和影响的历史分析. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2011, (1): 85-95. [CHEN Y G. The geographical hub of Chinese history. Journal of Xinyang Normal University: Natural Science Edition, 2011, (1): 85-95.]
- [22] 葛全胜, 方修琦, 郑景云. 中国历史时期气候变化影响及其应对的启示. 地球科学进展, 2014, (1): 23-29. [GE Q S, FANG X Q, ZHENG J Y. Learn from the historical impacts of climatic change in China. Advances in Earth Science, 2014, (1): 23-29.]
- [23] 金勇强. 宋夏战争与黄土高原地区草原植被的变迁. 干旱区资源与环境, 2010, (7): 192-195. [JIN Y Q. War between Song and Xia and grassland changes in central and western of the Loess Plateau. Resources and Environment in Arid Area, 2010, (7): 192-195.]
- [24] 梁方仲. 中国历代户口、田地、田赋统计. 上海: 上海人民出版社, 1980. [LIANG F Z. Statistics of Household Registration, Land Use and Land Tax in China. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1980.]
- [25] 朱士光. 论我国黄土高原地区生态环境演化特点与可持续发展对策. 中国历史地理论丛, 2000, (3): 1-10. [ZHU S G. On the characteristics of ecological environment evolution and sustainable development strategies in the Loess Plateau of China. Journal of Chinese Historical Geography, 2000, (3): 1-10.]
- [26] 桑广书. 黄土高原历史时期植被变化. 干旱区资源与环境, 2005, (4): 54-58. [SANG G S. Vegetation changes in the Loess Plateau during historical periods. Resources and Environment in Arid Area, 2005, (4): 54-58.]
- [27] 徐玲玲, 延昊, 钱拴. 基于 MODIS-NDVI 的 2000—2018 年中国北方土地沙化敏感性时空变化. 自然资源学报, 2020, 35(4): 925-936. [XU L L, YAN H, QIAN S. Spatio-temporal change of land desertification sensitivity in Northern China from 2000 to 2018 based on MODIS-NDVI. Journal of Natural Resources, 2020, 35(4): 925-936.]
- [28] 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. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1204-1217. [YANG Y, HU D. Dynamic changes and driving factors of three dimensional ecological footprint in Yulin. Journal of Natural Resources, 2018, 33(7): 1204-1217.]

The historical evolution of urban settlements and man-land coupling in Wuding River Basin

TONG Biao^{1,2}, DANG An-rong¹, ZHOU Hong-yu¹

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Surveying and Mapping, Liaoning Provincial College of Communications, Shenyang 110122, China)

Abstract: The Wuding River Basin, located in the Loess Plateau of the middle reaches of the Yellow River, is a typical transitional zone and ecologically fragile area in history. Based on the analysis of the historical development process of urban pattern and the coupling relationship between human and land in this process, this paper puts forward the countermeasures and suggestions for the future urban development and ecological protection of the basin in combination with the current situation of urban development. The main findings are as follows: the development and evolution of the urban hub area in the basin was bow shaped in the Tang Dynasty and before, when the natural conditions were better, and the urban spatial layout was mainly based on natural factors; the hub area after the Tang Dynasty presented a triangle pattern, and the urban spatial layout was mainly based on human factors; the contemporary urban pattern of the basin inherited the context of historical development, but the driving force of urban development was mainly based on resources along the Great Wall. The human activities have an impact on the vegetation coverage in some areas; at the same time, the ecological protection policies, such as returning farmland to forests, wind prevention and desertification control, have exerted positive effects. It is suggested that the development of the river basin should be reasonably determined and concentrated around the main cities and towns in combination with the national strategic positioning and regional ecological environment bearing capacity. In addition, the ecological barrier and key prevention and control areas are constructed with the river as the backbone.

Keywords: urban settlement; spatial pattern; Wuding River Basin; geographical hub; man-land coupling