

地理探测器在史前聚落人地关系研究中的应用与分析

毕硕本, 计 晗, 陈昌春, 杨鸿儒, 沈 香

(南京信息工程大学地理与遥感学院, 南京 210044)

摘 要: 遗址—河流距离是史前聚落遗址人地关系研究的重要内容。本文以河南省卢氏县为例, 引入地理探测器模型, 采用基于 $P_{D,H}$ 值计算的连续性地理数据最优离散法, 获取遗址—河流相关性定量数值, 讨论和总结模型中等间距(EI)、百分位(QV)、自然断点(NB)、几何间隔(GI)4种分类方法, 分别在裴李岗时期、仰韶前期、仰韶后期、龙山时期所表现的性能及适用情况; 并在此基础上揭示聚落的结构、发展规律、分布和范围规律。研究结果表明: ①4个文化时期分别采用NB、QV、NB、GI及其分类数分别为8、8、8、6时, 为离水距离因子的最优离散。该因子对遗址密度分布的决定力分别为39.5%、70.8%、73.0%和59.8%; ②洪水切割作用导致河岸两旁的阶地逐渐崩塌, 阶地的面积越来越小, 古人类为了赢得更多的生存空间, 将遗址沿河散开呈条带状分布。当阶地面积小到一定程度, 聚落沿河流长度扩展的成本过高, 便开始向远离河流部分扩张, 因此离河距离因子呈先升后降; ③从Q值提升强度看, $NB/EI > GI > QV$; 从提升效率看, $EI/GI > NB > QV$; 从决定力大小来看, $GI > QV/NB > EI$; ④聚落结构由裴李岗时期的简单、稀疏和松散不断发展, 分别在仰韶前、后期和龙山时期出现两极化、三段式, 聚落发展影响因素由人口数量增长变为社会内部结构变化, 聚落的分布和古人类活动范围距河流约正常人步行1~2.5 h的距离, 且不断扩大。

关 键 词: 史前聚落; 遗址—河流距离; 人地关系; 地理探测器

1 引言

在大量聚落与环境考古研究中, 关于遗址与各种形式的水系因子(包括河流、海洋等)关系的探讨是研究热点(朱丽东等, 2010; 郭晓东等, 2012; 吴立等, 2012; 杨小燕, 2012)。遗址与河流等自然环境因素在空间分布上存在相关性这一结论也被国内大多数史前聚落研究所支持(何仁伟等, 2012)。在各类地区中, 北至西辽河流域, 古遗址区域的DEM模型清晰地展示了河谷地貌与遗址在70%以上的对应关系, 揭示了文化景观格局对水源具有较大依附性的规律(胡金明等, 2002); 南至闽台石器文化遗址, 在其扩散、迁移及居住地的空间选择上, 呈现沿山岗分布、沿河流阶地分布以及沿滨海的分布模式

(王彬等, 2012); 而在中国中部, 安徽省新石器时代的遗址分属淮河流域、长江流域、新安江流域, 占尽取水和渔猎之利(朱光耀等, 2005)。其中, 遗址与河流之间的距离是研究史前聚落人地关系中最重要

的实质性指标(杨林等, 2012)。在对遗址与河流距离这一连续地理数据的分析和研究方法中, 除了极少部分建立数学模型(张虎勤等, 2007; 李忠轩等, 2011)外, 多数采用ArcGIS缓冲区分析工具(陈诚等, 2008; 夏慧君等, 2010), 根据经验人为划定离水距离区间, 统计在等间隔距离内的遗址数量, 来探究史前聚落遗址分布与水系的相关性。用这种主观性较强的方法归纳遗址—河流相关规律(如遗址密度随遗址离水系距离的变化等), 虽然得到的距离范围数据较准确, 但仅仅对遗

收稿日期: 2014-09; 修订日期: 2014-11。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071253, 41271410)。

通讯作者: 毕硕本(1965-), 男, 山东潍坊人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要方向为空间数据挖掘, 三维可视化,

E-mail: bishuoben@163.com。

引用格式: 毕硕本, 计晗, 陈昌春, 等. 2015. 地理探测器在史前聚落人地关系研究中的应用与分析[J]. 地理科学进展, 34(1): 118-127. [Bi S B, Ji H, Chen C C, et al. 2015. Application of geographical detector in human-environment relationship study of prehistoric settlements[J]. Progress in Geography, 34(1): 118-127.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.01.014

址进行了简单分类,不能保证同一类中的聚落具有内在规律的相似性,因而可能难以有效地揭示遗址空间分布规律,同时也没有给出可度量的相关性数值。

本文以河南省卢氏县为研究案例,以遗址—河流距离为切入点,引入地理探测器计算模型,采用基于 $P_{D,H}$ 值计算的最优连续地理数据离散化方法,自动对离水距离这一自变量进行最优离散,定量化计算遗址—河流相关性,讨论并总结模型中具体的4种分类方法分别在各个文化时期所表现的性能及适用度,揭示聚落结构特征、发展规律、分布和范围情况,为进一步深入研究本区人地系统的相互作用机制提供参考,也为聚落和环境考古学在研究聚落与河流关系的方法方面提供新思路。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

关于河南省内的聚落遗址研究,有从全省范围探讨的(李忠轩等, 2011),有围绕环嵩山地区的(鲁鹏等, 2012),有探讨郑州、洛阳地区的(杨林等, 2012),其研究均针对大量密集的遗址点数据、或位于河南省较中心、地理位置较重要处。而本文所研究的卢氏县遗址地处河南郑洛地区相对边缘的地位,该区环境考古研究相对滞后。这里遗址点的数量虽不多,但却很集中,多近河分布,有利于本文对遗址河流相关性的定量计算分析。

卢氏县位于河南省最西边, $33^{\circ}33' \sim 34^{\circ}23'N$ 、 $110^{\circ}35' \sim 111^{\circ}22'E$ 之间。北邻灵宝市,东连洛宁县、栾川县,南接西峡,西和西南与陕西省接壤。地势西高东低,南高北低,主要由中山、低山、丘陵和河谷盆地组成。处于亚热带与暖温带过渡带,属大陆性季风气候。卢氏县境内河流水系资源丰沛,主要围绕熊耳山岭,往北为洛河,往南为老灌河、淇河。此外,还有索峪河、哺育河、杏家河等及其支流(图1)。

2.2 数据源

本文综合了国家测绘局制定的全国1:25万地形图数据库、1:400万国家基础地理信息数据、《中国文物地图集·河南分册》矢量化得到的河南省卢氏县遗址点的空间位置数据(国家文物局, 1991)。采用赵春青(2001)的考古学年代体系,分别将遗址点图层划分为裴李岗文化时期(6000-5000 aBP)、仰韶文化前期(5000-3500 aBP)、仰韶文化后期(3500-2500 aBP)和龙山文化时期(2500-2000 aBP)

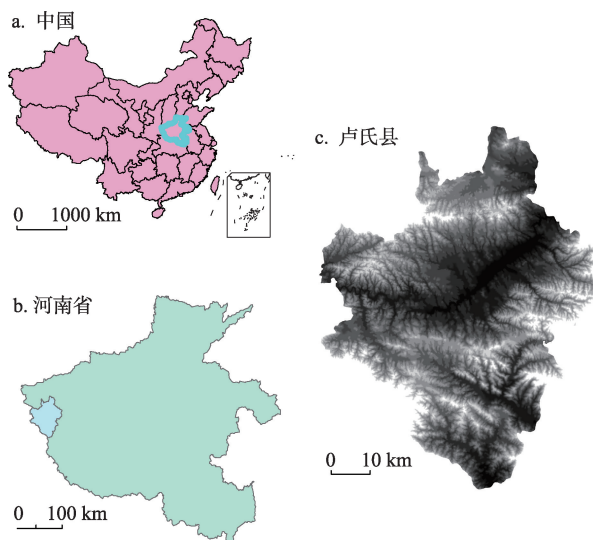


图1 研究区

Fig.1 Study area

(毕硕本等, 2013)。其中,境内主要河流为1:400万国家基础地理信息中河流与全国1:25万地形图数据库中河流中心线的并集。由文物地图集可知,该县在裴李岗文化时期,境内存3处遗址:袁家岭、薛家岭和祁村湾遗址;在仰韶文化前期,有16处遗址:杜店、薛家岭、杨家沟、曲里、涧北、小岭、小棱、果角、涧西、留书、陶家沟、祁村湾、东坪、花园、东寨、涧底遗址;在仰韶文化后期,有27处,分别为杜店、岗台、西照村、南原、竹园、王家村、胡洼、小岭、南窑、黑马渠、望家西、望家东、小棱、虢台、涧西、灰胡同、石岭头、留书、陶家、东寨、祁村湾、东坪、苗村、骨垛、竹园沟、涧底、八顺沟遗址;在龙山文化时期,有30处遗址:在仰韶文化后期的基础上加上胡凹、文峪、麻家湾遗址。有的遗址存续时间长,因此延续到了下个时期。各时期遗址的地形属盆地,均分布在河流两岸阶地。

2.3 研究方法

2.3.1 模型及其指标

地理探测器模型基于空间分异理论,可以有效获得因子变量和结果变量的相关性。最先运用于健康风险评估领域(Wang et al, 2010),通过衡量疾病(如死亡率)与可能的风险因子(如地震强度、人口密度、距主要水源距离等)在空间分布上的一致性程度,揭示了汶川地震中5岁以下儿童死亡率与风险因子之间的关系(Hu et al, 2011)。该模型在城市经济增长评价领域亦有所运用(丁悦等, 2014)。

地理探测器模型主要使用决定力(Power Deter-

minant Value)指标。假设研究区域为 A , A 上分布着某种疾病发生率 H 。 H 被采集在 A 内由采样单元 $g=(i=1,2,\dots,n, n$ 为总采样单元数)组成的格网系统 G 中。假设 $D=\{D_i\}$ (i 为因子分类数)是一种可能的致病风险因子,当 i 取不同的值时, D_i 分别代表对因子的不同分类。不妨设分类数 i 的大小为 m 。为了检查病发生率 H 和致病风险因子 D 的空间相关性,叠置 H 和 D 图层,在风险因子 D 的每个子区域内, H 的离散方差被记为 $\sigma_{H_{D,i}}^2$ ($i=1,2,\dots,m$)。风险因子 D 对疾病发病率 H 的决定力大小 $P_{D,H}$ 定义为(Wang J F et al, 2010):

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n\sigma_H^2} \sum_{i=1}^m (n_{D,i} \cdot \sigma_{H_{D,i}}^2) \quad (1)$$

式中: $n_{D,i}$ 代表在风险因子 D 的子区域 i 内的样本数; n 代表在整个研究区域 A 内的所有样本数, $n = \sum_{i=1}^m n_{D,i}$; σ_H^2 代表整个区域的离散方差。当 D 对疾病具有决定力,则每个子区域的离散方差 $\sigma_{H_{D,i}}^2$ 会很小,而子区域之间的方差很大。当 $\sigma_{H_{D,i}}^2 \rightarrow 0$, 是某种疾病分布完全由该因子决定的理想状态。此时, $P_{D,H} = 1$ 。综上, $P_{D,H}$ 值代表了风险因子 D 对某种地理现象空间分布的控制力,本文将借鉴到探求遗址离河距离对遗址空间分布作用的史前聚落遗址研究中。

2.3.2 模型运行流程

首先,确定样本值和采样点。Wang 等(2010)将疾病发生率作为样本值,而对史前聚落遗址的研究来说,本文以遗址的密度为样本值。同时,在 Wang 等(2010)的研究中,采样点完全均匀分布在各县内,各县的死亡率是已知的确定值。但对于古遗址研究,某点遗址密度值为零却不能代表该处一定没有遗址存在(可能尚未发掘)。而根据众多的遗址与水系分布的相关性研究,离水近的地方甚至更有可能存在新遗址。若实际采样点包含离河流距离较近、但遗址密度为零的采样点,其对所得到的决定作用力数值是没有意义的,应予以排除。故为了提高研究的准确率,本文以4个时期遗址点离水距离的均值(分别为319、790、1576、1638 m),提取离水距离在该值之内且无遗址密度的格网,再在所有的采样点中排除这部分格网内的采样点,得到最终需要的能较准确反映遗址密度与离水距离关系的采样点和其对应的样本值(图2)。

接着,对风险因子分类(即连续地理数据的离散化),得到分层后的因子变量。因为本文只涉及离水距离这一个因子,对该因子不同的离散方法会得到不同的 $P_{D,H}$ 值,为了与可能的其他因子的 $P_{D,H}$ 值进行区分,把对离水距离因子不同分类得到的 $P_{D,H}$ 值计算结果记为 Q 值。式(1)中的 $P_{D,H}$ 值可以作为连续数据离散化有效程度的定量评价指标。这是因为:当用某种离散分类法在某个因子下对地理空间进行划分,若获得的 Q 值较高,代表在该种离散分类法下,风险因子对地理现象的影响更强,即风险因子的分类更能代表地理现象的分类,从而更好地揭示地理现象本身的空间分布规律。为了获取不同的 Q 值进行选择和比较,用户需要为连续变量按不同的分类数使用几种不同的分类方法。具体地,本文采用的非监督分类法有以下几种(Cao et al, 2013):

(1) 等间距法(EI, Equal Interval Method)。将全部数据以最小值和最大值为端点,按照相等的距离间隔进行划分。这种方法强调总量的大小,优势在于简单快速,且当数据呈正态分布时效果较好,但缺陷为:没有考虑数据的局部分布情况,分类间断点仅仅依赖整个的数据范围和分类数。

(2) 百分位数值法(QV, Quantile Value Method)。将一组数据按从小到大的方法排序,计算相应的累计百分位,则某一百分位置对应的数值称为这一百分位的百分位数。这种方法适用于样本容量较大、呈线性分布的情况,多运用于医学领域。优点是能充分地考虑到某个具体的数据在全体数据中所处的位置,不足之处为没有考虑值的实际大小,因此可能出现同一分类间隔中数据大小相差很大的情况。此外,该方法会对边缘数据造成较大的波动性。

(3) 自然断点分级法(NB, Natural Break Method)。自然断点分级法是为减少同一级中差异、增加不同级间差异而采用统计公式确定属性值的自然聚类。这种方法使组内的平均离散方差最小,而组间的平均离散方差最大。

(4) 几何分类间隔(GI, Geometrical Interval Method)。这种分类方法最大的优点在于能处理非正态分布数据,比如数据形态呈倾斜的或含重复数据的数据集,每组内的数据平方和最小,且组间的间隔连续变化。但该方法可能并不是最好的数据展示方式(Charlie, 2014)。

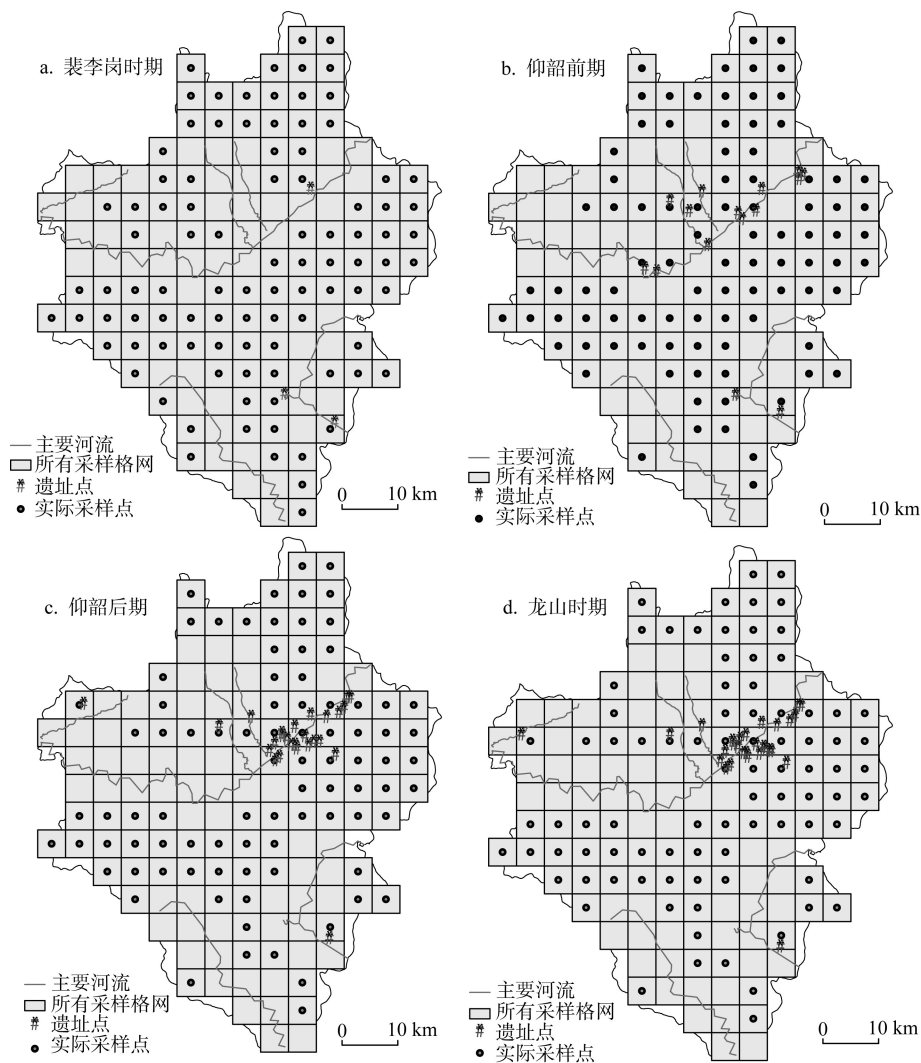


图2 4个文化时期遗址点与实际采样点的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the sites and the actual sampling points for the four studied periods

最后,计算各类分类方法中因子的 Q 值,以此判断风险因子变量与样本变量之间的关联程度,并作进一步分析。最终的 $P_{D,H}$ 值为所有结果中的最大 Q 值,其对应的分类方法即为所有可选分类方法中对遗址离水距离的最优离散法。

3 结果与分析

3.1 因子决定力计算与分析

运行模型,得到各时期遗址—河流距离因子对遗址密度变量的决定力大小,及其随分类方法和分类数变化的计算统计结果(表1-4)。为直观地表示并总结变化趋势,绘成折线统计图,其中横坐标为分类数目,纵坐标为其对应的 Q 值(图3)。

在裴李岗文化时期,EI和QV分类方法得到的 Q 值都随着分类数量的增加而增加,而EI法获得的 Q 值提升效率(即同等级差内 Q 值上升的百分比)高于QV(32.6%>22.7%)。对于GI分类法,在分类数目>4后表现出较大起伏(17.3%→10.4%→34.3%→11.6%)。由此可见,随着分类数的提高,GI分类法的稳定度降低,准确性下降。NB分类法获得的 Q 值在分类数>5时趋于恒定,且其 Q 值在所有分类数下的分类方法中最高。因此,以8为分类数的NB分类法对裴李岗文化时期卢氏县遗址离水距离作了最佳划分,离水距离因子对遗址密度分布的决定力大小约为39.5%。

在仰韶文化前期,GI和NB分类法下都表现出 Q 值随分类数增长至5时达到最大值,在分类数=6

表1 裴李岗文化时期 Q 值计算结果

Tab.1 Power of the determinant for the Peiligang period

分类	分类数						
方法	2	3	4	5	6	7	8
EI	0.01667	0.03373	0.05612	0.08636	0.13715	0.22179	0.34311
GI	0.04441	0.05612	0.10423	0.17327	0.10423	0.34312	0.11561
NB	0.02533	0.05420	0.07921	0.16678	0.39511	0.39511	0.39513
QU	0.04302	0.07599	0.11561	0.13715	0.17329	0.20316	0.27035

表3 仰韶文化后期 Q 值计算结果

Tab.3 Power of the determinant for the Late Yangshao period

分类	分类数						
方法	2	3	4	5	6	7	8
EI	0.04603	0.12811	0.30613	0.64750	0.54933	0.52970	0.49308
GI	0.10388	0.18779	0.39736	0.55198	0.64898	0.59036	0.55466
NB	0.07415	0.21837	0.55100	0.52209	0.52369	0.52090	0.72968
QV	0.13360	0.21853	0.34759	0.42732	0.54168	0.64861	0.53735

表2 仰韶文化前期 Q 值计算结果

Tab.2 Power of the determinant for the Early Yangshao period

分类	分类数						
方法	2	3	4	5	6	7	8
EI	0.04057	0.13817	0.29731	0.59661	0.70609	0.65371	0.66678
GI	0.13817	0.22117	0.35095	0.70693	0.64747	0.67930	0.70674
NB	0.06521	0.20195	0.64659	0.65471	0.65471	0.44502	0.55686
QV	0.13817	0.24305	0.35095	0.45029	0.55045	0.64750	0.70752

表4 龙山文化时期 Q 值计算结果

Tab.4 Power of the determinants for the Longshan period

分类	分类数						
方法	2	3	4	5	6	7	8
EI	0.04387	0.11743	0.28161	0.59644	0.50717	0.46825	0.43521
GI	0.09827	0.17243	0.36584	0.50953	0.59832	0.52725	0.51280
NB	0.07037	0.20069	0.50909	0.45757	0.45939	0.44752	0.54062
QV	0.12616	0.20092	0.32005	0.39366	0.49937	0.59787	0.47510

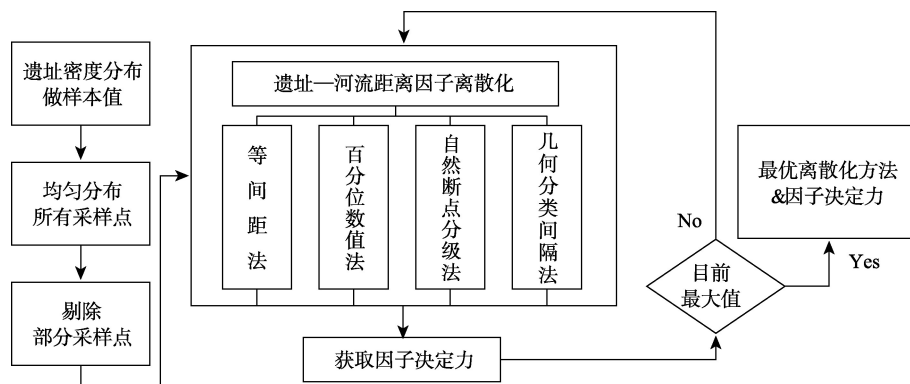


图3 遗址—河流距离最优离散化的模型运行流程

Fig.3 Flowchart of site-river distance discretization modeling

和7时有所回落,最后在分类数为8时又上升的总趋势。其中,GI法的最大值(70.8%)高于NB法的最大值(65.5%),而GI的最大提升量(即 Q 值的最大最小值之差)低于NB(56.9% $<$ 59.0%),故两者在这一时期相差不大,各有优势。EI法和QV法在分类数 <7 时 Q 值都随分类数递增,但在分类数 ≥ 7 后,EI法获得的 Q 值不断下降,QV法的 Q 值持续上升。可见在分类数较小时,EI法的提升效率远远高于QV。但对大分类数,QV比EI优势明显。在所有方法中,以8为分类数的QV分类法是对仰韶文化前期卢氏县遗址离水距离的最优划分,决定力约70.8%。

在仰韶文化后期,EI、GI、QV都呈现先上升后

下降的总趋势,分别在分类数为5、6、7时达到最大值(64.8%、64.9%、64.9%),各自的最大提升量为60.1%、54.5%、51.5%。因此,三者中EI的提升强度(即最大提升量)和提升效率都是最大的,QV效率较低,GI强度不小效率也不低。对于NB分类法,其 Q 值在分类数为3时迅猛提升(21.8%~55.1%),之后都平稳于这一数值,直到分类数为8时达到最大 Q 值73.0%,是仰韶文化后期卢氏县遗址离水距离的最优划分,对大分类值反映出较大的影响力提升潜力。

在龙山文化时期,EI与GI分类法对应的 Q 值随分类值递增,各自增加到分类数为5、6时,达到最

大值 59.5%, 而后随分类数递减。其中, 以 6 为分类数的 GI 分类法对龙山文化时期聚落遗址离水距离的划分最优。NB 分类法在分类数为 5、6、7 时保持 Q 值基本恒定, 而 QV 分类法几乎持续递增。

离河距离因子对遗址密度分布的决定力大小从裴李岗文化时期的 39.5%, 到仰韶文化前期的 70.8%, 再到仰韶文化后期的 73.0%, 最后龙山文化时期的 59.8%, 从地学上有理可据。卢氏县地处盆地, 聚落遗址点主要分布在河流两岸的阶地上。由于河流洪水的切割作用随时间不断加强, 河岸两旁的阶地渐渐崩塌, 阶地的面积会越来越小, 在有限的面积内, 为了赢得更多的生存空间, 遗址将沿河散开呈条带状分布, 此时遗址对河流的依附效应是加强的, 因而出现从裴李岗到仰韶文化后期的河流决定力的攀升。而当阶地面积小到一定程度, 聚落沿河流长度扩展的成本过高, 便开始渐渐脱离河流距离的限制, 向远离河流的陆地部分扩张, 故龙山文化时期的离河因子决定力较前期出现了一定的下降。

3.2 离散化方法比较

将 4 种方法综合来看(图 4), 对于 EI 分类法, 除了在裴李岗文化时期持续递增外, 在其他 3 个时期均出现先上升后下降的趋势, 分别地, 在仰韶文化前期分类数为 6、仰韶文化后期分类数为 5、龙山文化时期分类数为 5 处取得最大值。其提升效率优于 QV, 尤其在分类数较小时。对于 GI 分类法, 在裴李岗和仰韶文化前期, 分类数 ≥ 4 时整体 Q 值振幅较大。在仰韶文化后期和龙山文化时期先增后减, 分

类数为 6 时 Q 值最大。同时, GI 代表的因子决定力是综合较强的。对于 QV 分类法, 在裴李岗、仰韶文化前期和龙山文化时期 Q 值均持续上升, 只在仰韶文化后期分类数=7 时出现下降, 提升效率比 EI、GI 都低。但在大分类数下, 可能具有较大的因子决定力潜能。对于 NB 分类法, 在裴李岗、仰韶文化后期和龙山文化时期都保持了分类数从 5 开始的 Q 值平稳。在仰韶文化前期分类数为 5 时达到最大值, 之后下降, 最后回升。在两个文化时期中的因子决定力都最高。

因此, 不同的离散化方法描述了因子变量对结果变量的作用力随分类数的增加而变化的不同表现形态: EI 法更能解释离水距离因子对密度分布的作用力随分类数增加先增后减的情况; QV 更能表达作用力随分类数持续上升的情况; 对作用力随分类数增加而平稳变化的, NB 方法最佳; 作用力随分类数增加无明显变化规律且数值起伏较大的, 多为 GI 法。从强度看, NB、EI 最强, GI 次之, QV 最弱; 从提升效率看, QV 最低, EI 和 GI 最强, NB 次之; 从决定力大小来看, GI 最大, QV 和 NB 居其次, EI 最小。

3.3 离散化结果综合分析

进一步地, 将各个时期由其各自的最优离散法得到的遗址等级、区间内遗址密度、遗址离河距离分类区间的定量化计算结果汇总, 如表 5。

从遗址等级划分一列看, 卢氏县裴李岗文化时期应该根据分类数 8 得到遗址等级的 8 级划分, 但因为在 3-8 级内遗址密度均为零, 故在表格中从等级 3 开始省略。其他没有列到 8 级的时期同样如

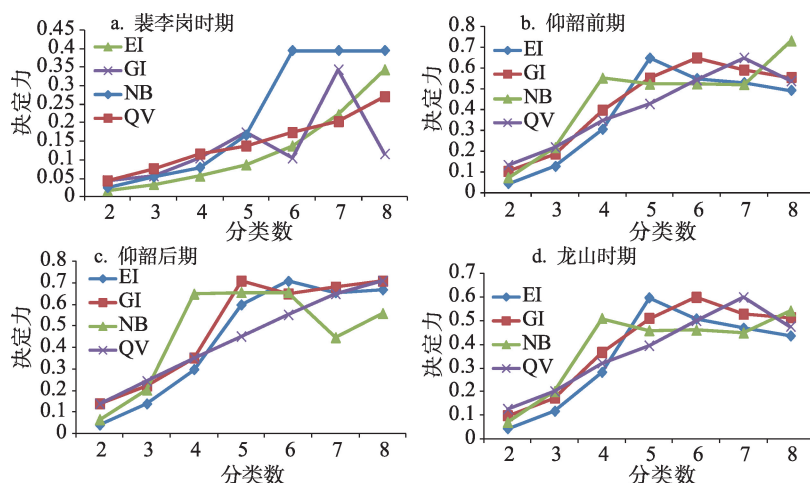


图 4 4 个时期决定力大小随分类方法和数目变化统计图

Fig.4 Change of the determining power in the four periods by classification method and class number

表5 4个文化时期遗址等级、密度和范围统计表
Tab.5 Sites grade, density, and distance from the river in the four historical periods

文化时期(分类方法, 分类数)	遗址等级划分	遗址密度 /km ²	离河距离 范围/m
裴李岗时期 (NB, 8)	1	0.011622	[0,3340]
	2	0.000083	(3340,4623]
仰韶前期 (QV, 8)	1	0.041992	[0,3776]
	2	0.002168	(3776,4969]
	3	0	(4969,6241]
	4	0.000007	(6241,7196]
仰韶后期 (NB, 8)	1	0.144604	[0,1947]
	2	0.053057	(1947,4492]
	3	0.006261	(4492,5844]
	4	0.00363	(5844,7673]
	5	0	(7673,9422]
	6	0.000303	(9422,11728]
龙山时期 (GI, 6)	1	0.088431	[0,4098]
	2	0	(4098,6124]
	3	0.005472	(6124,7183]
	4	0	(7183,9209]
	5	0.000219	(9209,13079]

此。但在除裴李岗外的其他时期出现分类中间有零值的情况,其代表聚落之间的天然隔断层,应予以列出。

具体地,受早期遗址点数量稀少、聚落分布结构简单等影响,卢氏县在裴李岗文化时期聚落遗址等级仅自动分类为2级。随着遗址点数量的突破式增长以及聚落内部结构趋于复杂,聚落遗址产生分化,遗址等级划分在仰韶文化前期和后期分别上升至4级,甚至6级。这一结果与同样处于中原地带的环嵩山地区从仰韶文化中晚期开始出现等级规模分化(鲁鹏等, 2012),以及郑州地区居民聚落由分散向集中,由规模相差不大到中小层次分明发展的结论(宋爱平, 2011)均不谋而合。但在遗址点数量持续增长的龙山文化时期又减少为5级。推测可能的原因是卢氏县聚落的内部结构出现了人为的精简、升级等调整,聚落发展走向成熟。可以参考的是,龙山文化时期各部落在战乱中解体和重组,演化出更高一级的邦国社会,出现了中心城址(刘莉, 1998)。

在遗址密度一列中,卢氏县遗址在裴李岗文化时期的密度随距离的增加连续性地降低,而仰韶文化前期开始出现中间等级距离内密度为零的现象,

后期类似。到龙山文化时期更分化为2个中间等级距离内密度为零的情况。由此可见,裴李岗文化时期人类聚落呈现较原始的聚居形态:基数少,结构散。仰韶文化前后期聚落结构逐步出现前后断裂的现象,很大程度上由于仰韶文化时期农耕经济发展,为人类提供可靠食物来源,促使人口猛增,聚落增加。人们定居时间加长,日常生活频繁,成为推进聚落分布发展的主要作用力(李龙, 2008)。在龙山文化时期,卢氏县聚落内部由两级式发展为三段式。遗址和人口数量虽仍旧增长,但增幅相较上一时期很小。而随着社会生产力的不断发展,私有制产生,聚落内部的贫富分化加剧,特权阶层筑城自保,中国开始经历着社会组织的深刻变化(张海, 2004),如新的权力中心的建立或现存政权力量的发展等(安·P·安德黑尔, 2000)。因而认为在此时,社会结构变化对聚落发展起较大作用。

从空间范围来看,4个文化时期分别在3340、3776、4492和4098 m的距离内涵盖了各时期绝大部分的遗址点。人类活动活动区间的上限也从4623 m提高到13079 m,大约相当于正常人1~2.5 h的步行范围,结果合理。而龙山文化时期在6124~7183、9209~13079 m这两个区间内也有聚落分布,体现了该时期社会可分配人力资源充足。在满足食物获取劳动力需求外,还有足够的取水劳动力和可能的取水方式与工具。同时,随着人口增多,传染病发生的概率增加,且往往随水源传播,因此与河流保持较远的距离也起防御疾病的作用。

4 结论

为克服前人研究史前聚落遗址分布与水系相关性研究方法的主观性,本文首次运用基于地理空间分异和相似理论的地理探测器模型法,运用 $P_{D,H}$ 指标评价最优连续性地理数据离散法,并且针对遗址点与健康风险评估中疾病数据在确定性上的差异,对采样点在原有基础上进行筛选,通过定量计算得到离水距离因子对遗址密度变量的作用力大小,实现对离水距离因子的最优自动分类。在此基础上,以新的视角解读遗址发展演变规律,探究古人类行为模式和当时的社会状态。简要结论如下:

(1) 裴李岗文化时期、仰韶文化前期、仰韶文化后期、龙山文化时期分别采用自然断点法、百分位

法、自然断点法、几何分类间隔法,以及分类数分别为8、8、8、6为其最优离散。离水距离因子对遗址密度分布的决定力分别为39.5%、70.8%、73.0%和59.8%;EI、QV、NB和GI法分别适用因子变量(离水距离)对目标变量(遗址密度)的作用力随分类数增加而变化的不同情况,在提升强度、效率、决定力大小等方面各有优劣。

(2) 在地形对遗址与河流分布影响问题上,区域大环境因素是形成聚落形态特征的主要原因(夏正楷等, 2000)。卢氏县内相对于整个河南省范围来说更接近为同一个地理单元,且卢氏县4个文化时期聚落遗址点均大多分布在河流两岸的阶地上,因而总体上地形差异因素对遗址与河流距离关系的影响较小。但随着洪水切割作用带来的河岸阶地崩塌和面积的减小,古人类为了赢得更多的生存空间,将遗址沿河散开呈条带状分布,当阶地面积减小到一定程度,聚落沿河流长度扩展的成本过高,史前聚落开始渐渐脱离河流距离限制,向远离河流的部分扩张,故4个文化时期的河流距离决定力呈先升后降。

(3) 聚落结构由裴李岗文化时期的简单、稀疏和松散不断发展,分别在仰韶文化前、后期和龙山文化时期出现两极化、三段式,聚落发展的影响因素由人口数量增长变为社会内部结构变化,聚落的分布和古人类活动范围距河流约为正常人步行1~2.5 h的距离,且不断扩大,不仅能防御随水源传播的疾病,也体现了社会分工升级带来的较充沛社会劳动力和物质资源,以及可能的新技术方法和工具。

参考文献(References)

安·P·安德黑尔. 2000. 中国北方地区龙山时代聚落的变迁[M]. 陈淑卿, 译. 华夏考古, (1): 80-97. [Underhill, A P. 2000. Changes of settlement sites during the Longshan period of Northern China[M]. Chen S Q, Trans.. Huaxia Archaeology, (1): 80-97.]

毕硕本, 计哈, 梁静涛, 等. 2013. 基于指数模型的郑州—洛阳地区史前聚落遗址空间分布[J]. 地理科学进展, 32(10): 1454-1462. [Bi S B, Ji H, Liang J T, et al. 2013. Spatial distribution of prehistoric settlement sites in Zhengzhou-Luoyang region based on index model[J]. Progress in Geography, 32(10): 1454-1462.]

陈诚, 王宏志, 沈雅琼, 等. 2008. 基于GIS的旧石器时代遗址时空分布规律的研究: 以丹江口水库淹没区为例[J]. 云南地理环境研究, 20(1): 17-21. [Chen C, Wang H Z,

Shen Y Q, et al. 2008. A case study on paleolithic site distribution based on GIS in Danjiang-kou reservoir submergence zone[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 20(1): 17-21.]

丁悦, 蔡建明, 任周鹏, 等. 2014. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. 地理科学进展, 33(5): 657-666. [Ding Y, Cai J M, Ren Z P, et al. 2014. Spatial disparities of economic growth rate of China's national-level ETDZs and their determinants based on geographical detector analysis[J]. Progress in Geography, 33(5): 657-666.]

国家文物局. 1991. 中国文物地图集(河南分册)[M]. 北京: 中国地图出版社. [China State Bureau of Cultural Relics. 1991[M]. An atlas of Chinese cultural relics(Henan fascicule). Beijing, China: Sino Maps Press.]

郭晓东, 马利邦, 张启媛. 2012. 基于GIS的秦安县乡村聚落空间演变特征及其驱动机制研究[J]. 经济地理, 32(7): 56-62. [Guo X D, Ma L B, Zhang Q Y. 2012. A GIS-based research on the spatial evolution characteristics and driving mechanism of the rural settlements in Qin'an County[J]. Economic Geography, 32(7): 56-62.]

何仁伟, 陈国阶, 刘邵权, 等. 2012. 中国乡村聚落地理研究进展及趋向[J]. 地理科学进展, 31(8): 1055-1062. [He R W, Chen G J, Liu S Q, et al. 2012. Research progress and tendency of Chinese rural settlements geography[J]. Progress in Geography, 31(8): 1055-1062.]

胡金明, 崔海亭. 2002. 西辽河流域历史早期的文化景观格局[J]. 地理研究, 21(6): 723-732. [Hu J M, Cui H T. 2002. Cultural landscape pattern during the early historic period in the West Liaohe River Basin[J]. Geographical research, 21(6): 723-732.]

李龙. 2008. 中原史前聚落分布与特征演化[J]. 中原文物, (3): 29-35. [Li L. 2008. The prehistoric settlement distribution and characteristic evolution in Central China[J]. Cultural Relics of Central China, (3): 29-35.]

李忠轩, 朱诚, 闫慧. 2011. 汉江中下游新石器文化遗址的空间格局[J]. 地理科学, 31(2): 239-243. [Li Z X, Zhu C, Yan H. 2011. Spatial pattern of the neolithic cultural sites in the middle and lower reaches of Hanjing River[J]. Scientia Geographica Sinica, 31(2): 239-243.]

刘莉. 1998. 龙山文化的酋邦与聚落形态[J]. 华夏考古, (1): 88-105. [Liu L. 1998. Longshan wenhua de qiubang yu juluo xingtai[J]. Huaxia Archaeology, (1): 88-105.]

鲁鹏, 田燕, 杨瑞霞. 2012. 嵩山地区9000 aB. P. -3000 aB. P. 聚落规模等级[J]. 地理学报, 67(10): 1375-1382. [Lu P, Tian Y, Yang R X. 2012. The study of size-grade of settle-

- ments around the Songshan Mountain in 9000-3000 aBP based on SOFM networks[J]. *Acta Geographica Sinica*, 67(10): 1375-1382.]
- 宋爱平. 2011. 郑州地区史前至商周时期聚落形态分析[D]. 山东: 山东大学. [Song A P. 2011. Analysis of settlement patterns from prehistory to Shang-Zhou period in Zhengzhou area[D]. Shandong, China: Shandong University.]
- 王彬, 刘莎. 2012. “基因图谱”视角下闽台石器时代文化空间结构分析[J]. *地理科学*, 32(5): 584-590. [Wang B, Liu S. 2012. The spatial analysis of cultural characteristics between Taiwan and Fujian of China during paleolithic and neolithic epochs based on the genes atlas[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 32(5): 584-590.]
- 吴立, 朱诚, 郑朝贵, 等. 2012. 全新世以来浙江地区史前文化对环境变化的响应[J]. *地理学报*, 67(7): 903-916. [Wu L, Zhu C, Zheng C G, et al. 2012. Response of prehistoric culture to climate environment changes since Holocene in Zhejiang, East China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 67(7): 903-916.]
- 夏慧君, 许五弟, 任云英. 2010. 基于GIS的榆林市历史文化遗址空间分布特征研究[J]. *长江大学学报: 自然科学版*, 7(1): 293-295. [Xia H J, Xu W D, Ren Y Y. 2010. Research in the spatial distribution pattern of historic cultural sites in Yulin City based on GIS[J]. *Journal of Yangtze University: Natural Science Edition*, 7(1): 293-295.]
- 夏正楷, 邓辉, 武弘麟. 2000. 内蒙古西拉木伦河流域考古文化演变的地貌背景分析[J]. *地理学报*, 55(3): 329-336. [Xia Z K, Deng H, Wu H L. 2000. Geomorphologic background of the prehistoric cultural evolution in the Xar Moron River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Geographica Sinica*, 55(3): 329-336.]
- 杨林, 裴安平, 郭宁宁, 等. 2012. 洛阳地区史前聚落遗址空间形态研究[J]. *地理科学*, 32(8): 993-999. [Yang L, Pei A P, Guo N N, et al. 2012. Spatial modality of prehistoric settlement sites in Luoyang area[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 32(8): 993-999.]
- 杨小燕. 2012. 新石器时代中期伊洛河流域考古学文化观察[D]. 北京: 首都师范大学. [Yang X Y. 2012. The observation of the archaeological culture in Yiluo river basin [D]. Beijing, China: Capital Normal University.]
- 张海. 2004. ArcView 地理信息系统在中原地区聚落考古研究中的应用[J]. *华夏考古*, (1): 98-106. [Zhang H. 2004. The application of arcview GIS in the settlement archaeology research in Central China[J]. *Huaxia Archaeology*, (1): 98-106.]
- 张虎勤, 刘博, 赵文明. 2007. 浚河-潞河流域新石器时代遗址人地关系的数学模型研究[J]. *工程数学学报*, 24(5): 841-848. [Zhang H Q, Liu B, Zhao W M. 2007. The mathematical model about the man-land relationship of the neolithic sites in the valley of Chan River and Ba River [J]. *Chinese Journal of Engineering Mathematics*, 24(5): 841-848.]
- 赵春青. 2001. 郑洛地区新石器时代聚落的演变[M]. 北京: 北京大学出版社. [Zhao C Q. 2001. Zhengluo diqu xinshiqi shidai juluo de yanbian[M]. Beijing, China: Peking University Press.]
- 朱光耀, 朱诚, 凌善金, 等. 2005. 安徽省新石器时代遗址时空分布与人地关系的初步研究[J]. *地理科学*, 25(3): 346-352. [Zhu G Y, Zhu C, Lin S Q, et al. 2005. Spatial-temporal distribution of Neolithic and Xia-Shang-Zhou dynasties sites and relationship between human and environment in Anhui Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 25(3): 346-352.]
- 朱丽东, 冯义雄, 叶玮, 等. 2010. 良渚时期文化发展与海平面变化[J]. *地理科学进展*, 30(1): 121-128. [Zhu L D, Feng Y X, Ye W, et al. 2010. Culture development and sea-level change during Liangzhu period[J]. *Progress in Geography*, 30(1): 121-128.]
- Cao F, Ge Y, Wang J F. 2013. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment[J]. *GIScience & Remote Sensing*, 50(1): 78-92.
- Charlie F. 2014. About the geometrical interval classification method[EB/OL]. 2007-10-18. [2014-8-28]. <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2007/10/18/about-the-geometrical-interval-classification-method>.
- Hu Y, Wang J F, Li X H, et al. 2011. Geographical detector-based risk assessment of the under-five mortality in the 2008 Wenchuan earthquake, China[J]. *Plos One*, 6(6): E21427.
- Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(1): 107-127.

Application of geographical detector in human–environment relationship study of prehistoric settlements

BI Shuoben, JI Han, CHEN Changchun, YANG Hongru, SHEN Xiang

(School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology,
Nanjing 210044, China)

Abstract: In order to model the optimal discretization of site-river distance of prehistoric settlements and to obtain a quantitative characterization of the correlation between sites and river, this paper takes Lushi County of Henan Province as an example and uses the method of geographical detector for analysis. The model is to discrete the continuous geographic data based on the values. Based on this analysis, the paper discusses the performance of four classification methods (Equal Interval—EI, Quantile Value—QV, Natural Break—NB, and Geometrical Interval—GI) in the model for the Peiligang period, the Early Yangshao period, the Late Yangshao period, and the Longshan period. It then analyzes the structure, development pattern, distribution, and scope of the settlements for a better understanding of the human-environment relationship in prehistoric settlements from the perspective of societal organization and development state and cultural and behavioral patterns of humans in prehistoric time. The results show that: (1) Optimal discretization of site-river distance is realized using the classification method of NB, QV, NB, and GI with class number of 8, 8, 8, and 6 for the four periods. The power of this determinant for determining the density of sites is 39.5%, 70.8%, 73.0%, 59.8%; (2) Floods caused the terrace on both sides of the river to collapse gradually and reduced the area of the terrace. In order to gain more living space within the limited area, the sites dispersed along the river. When the terrace area became too small, dispersion along the river was too costly and the ancient settlements began to expand away from the river. Therefore the determining power of the factor of site-river distance first increased and then decreased. (3) In terms of improvement strength, $NB/EI > GI > QV$; in terms of improvement efficiency, $EI/GI > NB > QV$; in terms of the power of the determinant, $GI > QV/NB > EI$; (4) Settlement structure changed from simple, sparse, and loosely structured in the Peiligang period to polarized in the Early Yangshao period, then developed into a stage composed of three segments in the Late Yangshao period. The driving force of settlement development changed from population growth in the early stage to structural change of the society. Settlement distribution and human activities concentrated within 1~2.5 hours walking distance from the river and continued to expand. This is the result of waterborne disease aversion and reflects the ample supply of labor and food resources brought by the optimized division of labor in the society and possibly the invention of new technologies and tools.

Key words: prehistoric settlement; site-river distance; human-environment relationship; geographical detector