

引用格式:李鑫杨,刘庆生,刘高焕,等.斯堪的纳维亚半岛及周边地区城镇发展适宜性评价[J].地球信息科学学报,2018,20(8):1083-1093. [Li X Y, Liu Q S, Liu G H, et al. A suitability evaluation of urban development in Scandinavian Peninsula and surrounding areas[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(8):1083-1093.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180054

斯堪的纳维亚半岛及周边地区城镇发展适宜性评价

李鑫杨^{1,2}, 刘庆生^{1*}, 刘高焕¹, 黄 翀¹, 李 贺¹, 付东杰¹, 梁 立^{1,2}, 陈卓然^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

A Suitability Evaluation of Urban Development in Scandinavian Peninsula and Surrounding Areas

LI Xinyang^{1,2}, LIU Qingsheng^{1*}, LIU Gaohuan¹, HUANG Chong¹, LI He¹, FU Dongjie¹, LIANG Li^{1,2}, CHEN Zhuoran^{1,2}

1. State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The study of urban development suitability is used for understanding the advantageous conditions of urban development, provides evidence for determining the expansion direction of town development project. Research in the arctic and the sub- arctic is of great significance for China's international cooperation in urbanization, major infrastructure and corridor construction. This article using multi-source data, on the basis of sampling points, 5 significant indicators were selected after filtering variables with the idea of stepwise method, the final logistic model was used to assess the suitability of urban development. Finally, the classified map of suitability of urban development was got. Finally, we get the classified map of suitability of urban development in study area. The result show that the ranking of significant indicators is, temperature (forward), traffic network density (forward), altitude (reverse), population density (forward), distance to nearest port (reverse). The above factors increase by 1 unit, the probability of urban development increased by 38.4%, 16.7%, 9%, 0.4%, and 0.1% respectively; The overall suitability of urban development shows a trend of decreasing with increasing latitude and it shows a trend of increasing with increasing longitude. The climatic and geographical conditions suitable for urban development are cool summer humid continental climates zone (Dfb, abbreviation in Koppen Climate Classification) and temperate oceanic climates zone (Cfb) with plains and lowland regions; The suitability of urban development in the study area sorted from the largest to the smallest is 0.08 in northwestern Russia, 0.07 in Sweden, 0.06 in Finland and 0.03 in Norway. The overall suitability of urban development in northwestern Russia is low in northern area and high in southern area. Sweden presents a trend that is low suitability in northwest area along with high suitability in southeast area, and suitability of coast is greater than that of inland. The suitability of Norway presents a spatial layout that is higher in the western coast, highest in the southern coast and low in other regions.

Key words: suitability evaluation of urban development; logistic regression; multicriteria evaluation; Arctic and Sub-arctic; Scandinavian Peninsula

***Corresponding author:** LIU Qingsheng, E-mail: liuqs@lreis.ac.cn

收稿日期 2018-01-19; 修回日期: 2018-04-16.

基金项目 :国家重点研发计划课题(2016YFC1402701)。[**Foundation item:** National Key Research and Development Program of China, No.2016YFC1402701.]

作者简介 李鑫杨(1992-), 女, 硕士生, 研究方向为遥感和地理信息系统应用。E-mail: lixy.15s@igsrr.ac.cn

*通讯作者 刘庆生(1972-), 男, 博士, 研究方向为遥感和地理信息系统应用。E-mail: liuqs@lreis.ac.cn

摘要 城镇发展适宜性研究有助于了解城镇发展的优势条件,为确定城镇建设规划的扩展方向提供依据。在北极与亚北极开展研究对中国开展在城镇化、重大基础设施、廊道建设方面的国际合作有重大意义。本文使用多源数据,在采样的基础上利用逐步法的思想进行变量筛选,共筛选出5个显著指标,用logistic方法拟合出最终的模型进行城镇发展适宜性评价,最终得到研究区城镇发展适宜性分级图。研究结果表明:筛选后的显著指标对研究区城镇分布的影响作用大小排序为,温度(正向)、交通网密度(正向)、海拔高度(反向)、人口密度(正向)、距港口距离(反向);温度、交通网密度、海拔高度、人口密度、距最近港口距离增加1个单位,城镇发展的几率分别比原来增加了38.4%、16.7%、9%、0.4%、0.1%;研究区的Ⅰ(不适宜)、Ⅱ(中度适宜)、Ⅲ(高度适宜)的城镇发展适宜性均值分别为0.03、0.16、0.68(分别约占研究区总面积的76.82%、21.82%、1.37%);城镇发展适宜性总体呈现出随纬度升高而降低、随经度升高而增加的趋势,适宜城镇发展的气候地理条件是温带大陆性湿润气候带和温带海洋性气候带以及平原与低地地区;研究区的城镇发展适宜性俄罗斯西北部为0.08、瑞典为0.07、芬兰为0.06、挪威为0.03。俄罗斯西北部城镇发展适宜性整体上呈现出北低南高,南部呈现两边高中间低的空间布局;瑞典呈现出西北低东南高,沿海大于内陆的空间布局;芬兰呈现出北(高原)低南(沿海)高,中部次高的空间布局;挪威呈现出南部沿海高,西部沿海次高,其他区域低的空间布局。

关键词 城镇发展适宜性;逻辑回归;多指标评价;北极与亚北极;斯堪的纳维亚半岛

1 引言

近年来伴随全球变化,北极及亚北极地区海运交通潜力巨大,矿产、油气和生物资源丰富,各方面的价值日益凸显。中国在北极及亚北极问题上一直强调合作与可持续,并且参与治理的进程也不断深化。城镇作为人类活动的聚集中心,其发展适宜性研究有助于揭示北极及亚北极地区城镇体系的结构特征,认知该区域城镇发展的优势条件,对于开发建设时合理的选择发展用地、规划时优化区域城镇空间结构、提高系统效益具有重要意义。具备适宜性条件的区域可以作为城镇长远发展的备用地,对中国开展城镇化、重大基础设施、廊道建设方面的国际合作提供科学依据。

Collins等^[1]指出土地适宜性分析是识别某种土地利用类型未来发展最适宜的空间格局与模式。李坤等^[2]指出土地适宜性评价为在一定时期和一定区域范围内,以数量形式对土地的自然、经济和社会等构成因子进行综合评定并阐明其适宜性程度的过程。城镇发展适宜性评价旨在利用城镇分布现状与偏好要素(与经济发展、地形、气候、人文、工程地质等相关要素)的关系来识别具备同等优势条件的区域^[3-6]。一些学者从不同的角度研究过城镇发展潜力,Jain等^[7]曾对印度鲁尔基地区进行基于交通、土地资源角度的城镇适宜性评价;Cerref等^[8]对意大利西部的蒙泰科尔维诺罗韦拉进行了与地形、土地资源、环境有关的城镇适宜性分析并将结果分为6级;Effat等^[9]对埃及西奈半岛进行与土地资源、交通、地形地貌相关的城镇适宜性评价;Kumar等^[10]用对印度喜马拉雅尔邦西姆拉市城镇适宜

性进行过基于地形、岩性、交通、土地资源的分析;Youssef等^[11]对沙特阿拉伯吉达地区进行过水文、土壤、地形的城镇适宜性分析。

目前适宜性评价的方法主要基于多指标评价(Multicriteria Evaluation, MCE)思想,其思路是选择多个合适的影响因素,确定相应的目标函数值或属性,从而进行多元的线性、非线性的数学分析^[12]。评价方法包括了逻辑回归法、主成分分析法、层次分析法、模糊综合评价法,逻辑回归法是研究一个因变量与多个自变量之间的多元回归关系后进行基于已知模型的计算,梁辰等曾经将逻辑回归模型应用于沿海经济区建设用地的驱动因素分析,得到了建设用地与不同因素影响力的模型关系,但是没有继续进行相关的建设用地适宜性研究^[13];主成分分析法基本原理就是通过对原始变量相关矩阵内部结构关系的研究,将多个指标转化为少数综合性指标,使综合指标变为原来变量的线性组合,既保留了原来变量的主要信息,又降低了指标间的相关性,邱道持等^[14]、王锋等^[15]都曾主成分分析的方法基于10个以上的指标进行评价研究;层次分析法是结合多位专家经验判断构造指标递阶层次中的判断矩阵确定建立评价指标与目标要素的函数关系的方法,黄丽明等^[16]、Jiang等^[17]、Youssef等^[18]都基于层次分析法进行城镇或建设用地的评价研究;模糊综合评价法是根据模糊数学的隶属度理论构建多种指标的评价模糊矩阵,把定性评价转化为定量评价,杨育文等^[19]、肖莉等^[20]通过模糊综合评价法基于层次分析法进行了建设用地的适宜性评价。在上述方法中,逻辑回归与主成分分析法都属于客观赋权法,层次分析法与模糊综合评价法属于主观赋权法,即通过专家打分的德尔菲法进行最初

的单因子权重赋值,由于斯堪的纳维亚半岛及周边地区有关城镇与影响因素的研究基础薄弱,对各指标的影响作用缺乏了解,主观的评判各个评价指标的权重有一定的盲目性,所以选择客观赋值法,而主成分分析的前几个主成分解释含义带有模糊性,不能对影响力的方向和大小进行分析,因此本文考虑使用逻辑回归的方法进行指标分析与适宜性评价。

在自然地理条件较复杂的北极及亚北极,城镇的发展依赖于合适的区位,与各种因素的优势条件高度相关。本文基于自然地理、发展热点(油气资源、港口)、气候、交通、环境保护、灾害危险性的视角,结合区域尺度与可获取指标数据的分辨率,以500 m格网为基本评价单元,探索与研究区城镇发展适宜性相关的指标,结合RS和GIS技术使用逻辑回归模型在研究区范围展开城镇适宜性评价与分析。

2 研究区概况与数据源

2.1 研究区概况

研究区范围为 $52^{\circ}\sim 72^{\circ}\text{N}$, $4^{\circ}\sim 42.5^{\circ}\text{E}$,总面积大约55万 km^2 (图1)。研究区包括斯堪的纳维亚半岛(挪威和瑞典,斯堪的纳维亚山脉横于两个国家之间)、芬兰和俄罗斯在 $52^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$, 41°E 以西最靠近北欧的几个行政区。研究区横亘于北极与亚北极区域,研究区大约1/4的区域位于北极圈内,属于过渡区域,地理、气候等条件具有特殊性,对识别城

镇分布的区域特性有很好的代表性。研究区濒临诸多水域,包括东侧的波罗的海(含波的尼亚湾)、西面和西南面的北海(包括卡特加特海峡和斯卡格拉克海峡)、西面的挪威海、北面的巴伦支海。研究区的平均海拔是262.82 m,地势总体上是北高南低、西高东低;人口密度约为25.93人/ km^2 ;年均温度约为 3.85°C ,研究区气候分布多样,北部是冻土带和亚寒带气候,西北部是亚寒带温带海洋性气候,中部是温带大陆性气候,南部和西南部为海洋性气候。

2.2 数据源

城镇类别数据(因变量)来自2011年MODIS-MCD12Q1数据;人口密度使用了世界人口格网数据GPWv4^[21];交通网密度数据来自Vmap0路网数据和OpenStreetMap路网数据;温度数据为2011年的GHCN_CAMS 2米地表温度数据^[22];海拔高度数据为融合产品GMTED 2010,高程基准为EGM 96^[23];油气管线数据来自美国能源信息署(EIA)和哈佛大学的地理分析中心(CGA);港口数据为美国国家地理空间情报局的WPI数据;自然保护区数据来自联合国环境与自然保护联盟的WDPA数据,地质灾害数据来自哥伦比亚大学和联合国环境规划署。附表A中列出了每个数据的信息和下载网址。

首先,对覆盖研究区的57景MCD12Q1影像进行拼接与重投影后,剔除无效值,对城镇与非城镇像元分别赋予0和1值;然后,对源数据为栅格文件的人口密度、温度数据进行投影转换,即北极球面投影(North Pole Stereographic);接着,将GMTED 2010数据进行投影转换和表面分析生成坡度文件,并分别对源数据为矢量文件的港口、交通与油气管线数据进行近邻计算、密度计算生成栅格文件;最后,将所有指标文件作为导入模型运算的自变量数据(表1)。

3 研究方法

3.1 评价指标选取

(1)人口密度。人口规模是推动城镇发展的前提和条件^[24],人类偏好于选择适宜于居住的环境,并有向其集聚的趋势^[4],如张洪曾等^[25]在开发建设用地适宜性的研究中考虑了人口密度因素。研究区气温偏低,自然地理与气候条件相对复杂,没有一定的人口基数,城镇的发展会受到限制。人口密

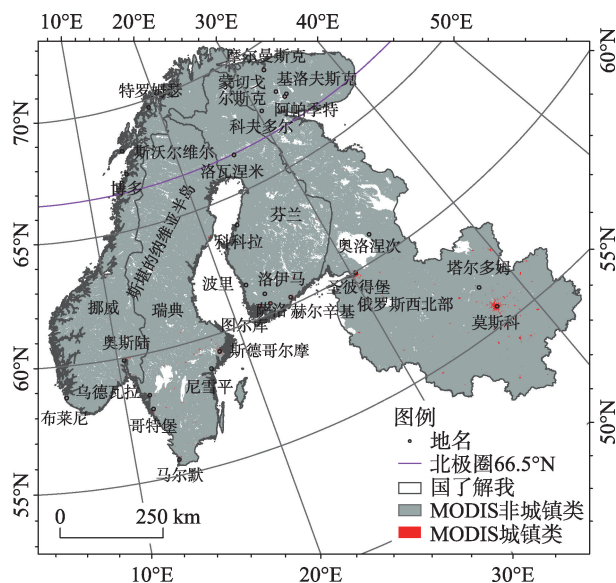


图1 研究区范围

Fig. 1 Study area

表1 评价指标体系信息表
Tab. 1 Information of evaluation system

变量	类型	单位	分辨率
城镇类别	二分类	0,1	500 m
坡度	连续型	°	500 m
交通网密度	连续型	路段数/m ²	500 m
温度	连续型	℃	1 km(重采样为 500 m)
距最近港口距离	连续型	m	500 m
人口密度	连续型	人数/km ²	1 km(重采样为 500 m)
距最近管线距离	连续型	m	500 m
管线密度	连续型	个/m ²	500 m
海拔高度	连续型	m	500 m
自然保护区与地质灾害危险区	二分类	0,1	500 m

度反映了一个地区人口的聚集程度,因此选择人口密度作为人口规模的度量指标之一。

(2)交通网密度。城镇是交通网络上的节点,城镇的发展离不开路网建设的支撑与引导,交通对城镇空间发展的导向性明显^[26],因此本文用交通网密度来表征交通条件,交通网密度用每个格网中的路段数量与格网面积之比表示。

(3)温度。夏俊士等^[27]指出NDBI(归一化建筑指数)和地表温度有明显的正相关性。Kenneth等^[28]曾经对4个北极城市摩尔曼斯克、诺尔里斯克、阿帕季特、沃尔库塔的热岛效应进行研究,发现这些城市中心与远郊的温差高达5~7℃。鉴于城镇与非城镇明显的温差情况,所以选择温度作为此次的评价指标之一。

(4)海拔高度。地形特征通常是大尺度人为干扰活动地域分布格局的基本骨架,因此城市所处的地形地貌部位和对城镇空间结构和分布等都产生深远影响^[29]。低海拔地区一般比高海拔地区更适合人类居住,人类居住的适宜性随海拔的升高而降低,如黄瑞红等^[30]曾选择海拔高度作为评价指标之

一进行了城镇发展用地的适宜性分析。研究区范围广,山脉与沟壑纵横,因此海拔高度是城镇发展必须要考虑的因素。

(5)坡度。坡度与海拔高度同属于地形特征,坡度的大小直接影响土地承载力,限制土地开发^[31]。对于研究区地广人稀的情况,山地、高原、陡坡、峭坡等地区的城镇数量都明显低于盆地、平原、缓坡地区,如南晓娜^[32]等学者在城镇用地适宜性的研究中也考虑了坡度因素,所以本文选择坡度输入模型中计算。

(6)油气管线。资源问题是目前北极以及亚北极地区的焦点问题之一,在北极圈内已建立油气生产设施的国家有美国、加拿大、挪威和俄罗斯等^[33]。油气开发的产业化需要劳动力资源,可以拉动周围地区就业、刺激商业活动的产生并且通过税收等途径更易于建设公众基础设施从而让当地居民有更高的生活水平。所以本文选择距最近油气管线距离和油气管线密度作为经济角度的2个评价指标,探讨其对城镇发展适宜性的影响。

(7)港口。航道开通同样是北极以及亚北极地区的焦点问题之一,由于随着气候变暖,北极以及亚北极地区的航道优势凸显,港口作为国际物流的特殊结点,是联系内陆腹地和海洋运输的天然界面,越邻近港口的地区越容易形成城市^[34],如梁辰等^[13]曾在影响城镇发展的驱动因素研究中加入到了“到最近主要港区距离”。北极航道有东北航道和西北航道,本文基于MODIS土地覆被数据MCD12Q1 2001到2013年数据,对距离航道500 m内外的陆地进行城镇面积的年际变化分析得到表。由变异系数得知(表2),距离航道500 m地区的城镇变化比距离航道500~1000 m地区的变化更剧烈,因此本文选择距最近港口距离作为经济角度评价指标之一。

表2 MCD12Q1 北纬50°以北城镇面积年际变化(km²)
Tab. 2 Annual change of urban Area in MCD12Q1 in north side of 50° N

年份	距航道 500 m 内	距航道 500~1000 m	年份	距航道 500 m 内	距航道 500~1000 m
2001	24.59	411.26	2008	24.57	411.57
2002	24.54	411.26	2009	24.50	410.24
2003	24.57	411.31	2010	24.56	411.55
2004	26.71	443.25	2011	24.54	411.62
2005	24.57	411.49	2012	25.60	427.71
2006	24.58	411.52	2013	24.54	411.61
2007	24.51	410.19	变异系数 C·V	2.60%	2.33%

3.2 评价方法

本文评价步骤包括:① 样本采集:选择分层随机抽样 2400 个,其中非城镇区随机选择了 1800 个样本点,城镇区随机选择了 600 个样本点;② 因变量与所有自变量的数据处理与输入;③ 样本训练;④ 变量筛选;⑤ 因变量与筛选后的自变量的输入;⑥ logistic 模型进行整个研究区的评价;⑦ 通过二进制模型剔除不适宜城镇发展的区域。

(1) 逻辑回归模型

逻辑回归模型(Logistics Regression)是一种针对定性定量变量进行评价的统计分析方法,逻辑回归模型是一种非线性模型,一般采用的参数估计方法是最大似然法,可用于模拟在因变量已知的情况下计算某种事件发生的可能性^[35]。1958 年 David Cox^[36]提出了逻辑回归,其是在线性回归的基础上发展起来的,由于线性回归的鲁棒性很差,噪声的存在会使线性回归模型在训练集上表现都差,而逻辑回归可以在一定程度上克服线性回归模型鲁棒性差的缺点,并且在随机样本条件下,逻辑回归模型的最大似然估计具有一致性、渐进性和渐进正态性。逻辑回归的自变量既可以是连续的,也可以是分类的。

本文的城镇的发展适宜性值为最终模型拟合的城镇类别(在模型中赋值为 1)出现的概率值。假设有 n 个独立的训练样本,其中 x_i 表示自变量(即本文中的每个评价指标)数值, y_i 表示对应的因变量值(即是否为城镇 0 或 1),则逻辑回归模型为:

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}, y = \{0, 1\} \quad (1)$$

边界形式为:

$$\theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_n x_n = \sum_{i=1}^n \theta_i x_i = \theta^T X \quad (2)$$

式中: θ_i 表示每个自变量的权重; θ^T 表示模型拟合出的自变量权重向量; X 表示自变量向量。则评价模型为:

$$h_\theta(x) = g(\theta^T X) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T X}} \quad (3)$$

(2) 二进制模型

城镇在发展阶段保护与开发的矛盾很突出。盲目开发建设,会影响生态功能和价值,破坏自然环境,城镇发展需要严格限制涉及自然保护区的开发建设活动,所以自然保护区为不适宜城镇发展的区域。

地质灾害会对当地的环境造成很大破坏,影响当地的经济发展,对居民的生命安全也会造成一定威胁,存在滑坡、地震的高风险的居民点可能不得被放弃,地质灾害是城镇发展中不能规避的重要因素。本文在灾害危险性方面通过滑坡灾害风险数据和地震灾害分布数据作为不适宜城镇发展的区域。

用以下的二进制模型剔除不适宜城镇发展的地区。

$$\omega_i = \begin{cases} 0, & z_i \in \alpha_n \\ 1, & z_i \notin \alpha_n \end{cases} \quad (4)$$

式中: α_n 表示集合 n ; z_i 表示集合 n 的子集; ω_i 表示 z_i 的值^[9]。

4 结果与分析

4.1 模型结果与分析

如果 $\text{Sig.} \leq 0.05$, 则因变量与自变量之间的关联在统计意义上显著。从 Sig. 所反映的显著性可以看出,基于所有因子的模型结果(表 3)中坡度、距管线距离、管线密度的 $\text{Sig.} > 0.05$, 说明上述变量对城镇分布的影响不显著,因此未被纳入回归模型中,为

表 3 基于所有指标的 logistic 模型结果

Tab. 3 Logistic model results based on all indicators

指标	系数	标准误	Wald χ^2 统计量	自由度	P 值	优势比
坡度	0.015	0.026	0.322	1	0.570	1.015
交通网密度	0.154	0.017	80.883	1	0.000	1.167
温度	0.319	0.070	20.992	1	0.000	1.375
距最近港口距离	-0.001	0.000	12.567	1	0.000	0.999
人口密度	0.004	0.000	79.564	1	0.000	1.004
距最近管线距离	-0.001	0.002	0.144	1	0.704	0.999
管线密度	0.041	0.171	0.058	1	0.810	1.042
海拔高度	-0.010	0.002	34.562	1	0.000	0.990
常数	-3.598	0.529	46.331	1	0.000	0.027

无效变量。采用逐步法的思想剔除无效变量,可得到最终的回归模型结果,如表4所示。

经过无效变量剔除后的logistic回归模型拟合结果中每个变量的 $Sig. < 0.05$, 通过了显著性检验。则最终得到logistic模型结果为:

$$h_{\theta}(x) = 1/[1 + \text{Exp}(0.154 \times \text{交通网密度} + 0.325 \times \text{温度} + 0.004 \times \text{人口密度} - 0.009 \times \text{海拔高度} - 0.001 \times \text{距最近港口距离} - 3.666)] \quad (5)$$

解释logistic模型结果的一个总的原则是:影响的正负方向取决于回归系数(B)的正负,影响的大小取决于优势比(Odds Ratio, OR)。其中,OR指发生比(Odds)之比, $OR = (P1/(1-P1))/(P2/(1-P2))$ 。其中,发生比的公式为 $Odds = P/(1-P)$ (P为本文的二分型因变量 y ($y=1$ 表示城镇, $y=0$ 表示非城镇)的总体均值 μ , 即城镇分布的概率), 表示城镇分布的概率是非城镇分布的概率的倍数, 当 $Odds=1$ 时, 二者发生概率相等。因此, ① 若 $OR > 1$ ($B > 0$) 时, 假设 $OR=1.5$, 则 x_i 增加一个单位后, y_i 发生几率(odds)是原来的1.5倍, 或者说比原来增加了50%; ② 若 $OR < 1$ ($B < 0$) 时, 假设 $OR=0.5$, x_i 增加一个单位后, y_i 发生几率(odds)是原来的0.5倍, 即比原来减少了50%^[37]。

根据表4 OR与B值可知, 各个因子对研究区城镇分布的影响作用大小排序为: 温度(正向)、交通网密度(正向)、海拔高度(反向)、人口密度(正向)、距港口距离(反向)。 $OR(\text{温度})=1.384$, 表示温度增加1个单位, 城镇发展的几率比原来增加了38.4%; $OR(\text{交通网密度})=1.167$, 表示交通网密度增加1个单位, 城镇发展的几率比原来增加了16.7%; $OR(\text{海拔高度})=0.991$, 表示海拔高度增加1个单位, 城镇发展的几率比原来减少了9%; $OR(\text{人口密度})=1.004$, 表示人口密度增加1个单位, 城镇发展的几率比原来增加了0.4%; $OR(\text{距港口距离})=1.004$, 表

示距港口距离增加1个单位, 城镇发展的几率比原来减少了0.1%。

4.2 区划结果与分析

4.2.1 城镇发展适宜性分级

根据模型结果叠置计算5个评价指标, 然后进行空间区划得到图2的结果, 适宜性评价值在0~1之间, 代表发展城镇的适宜性概率。其中, 将概率以分位数法分成了3级: 0.000~0.009 (I 不适宜-蓝色), 0.009~0.470 (II 中度适宜-黄色), 0.470~1.000 (III 高度适宜-红色)。

从图2可看出, III包括了莫斯科、圣彼得堡、斯德哥尔摩、赫尔辛基、图尔库、哥特堡、奥斯陆、马尔默、摩尔曼斯克等规模较大城市, II包括了塔尔多姆、奥洛涅次、洛伊马、波里、萨洛、尼雪平、乌德瓦拉、布莱尼、博多、特罗姆瑟等规模次大的城市/镇, I分布于不沿海的内陆地区、纬度较高的地区。通过对哥伦比亚大学的GRUMPv1 (Global Rural-Urban Mapping Project, Version 1)居民点数据的计算, I的城镇点个数为360个, 城镇点分布密度为21.12个/ 10^4 km^2 ; II的城镇点个数为491个, 城镇点分布密度为101.45个/ 10^4 km^2 ; III的城镇点个数为355个, 城镇点分布密度为1183.33个/ 10^4 km^2 , 结果显示随着城镇发展适宜性的级别上升, 也就是城镇发展适宜性越大, 居民点密度越大。

北极圈以北的大部分北极地区城镇发展适宜性为I, 为了更细致的分析适宜性随经纬度的变化, 分别以纬度1°和经度5°为间隔进行统计得到图3、4。图3表示城镇发展适宜性总体呈现出随纬度升高而降低的趋势, 仅在55~56°N和59~60°N出现局部峰值, 原因可能是规模较大的城市集中分布在2个区域; 图4表示城镇发展适宜性总体呈现出随经度增大而增高的趋势, 仅在10~35°E之间变化较缓。

对研究区的城镇发展适宜性的指标与指标平

表4 剔除无效指标的logistic模型结果

Tab. 4 Logistic model results after removing invalid indicators

指标	回归系数(B)	标准误(S.E.)	Wald χ^2 统计量	自由度(df)	显著性(Sig.)	优势比(OR)
交通网密度	0.154	0.017	81.230	1	0.000	1.167
温度	0.325	0.068	22.743	1	0.000	1.384
人口密度	0.004	0.000	80.904	1	0.000	1.004
海拔高度	-0.009	0.002	35.812	1	0.000	0.991
距最近港口距离	-0.001	0.000	18.011	1	0.000	0.999
常数	-3.666	0.478	58.710	1	0.000	0.026

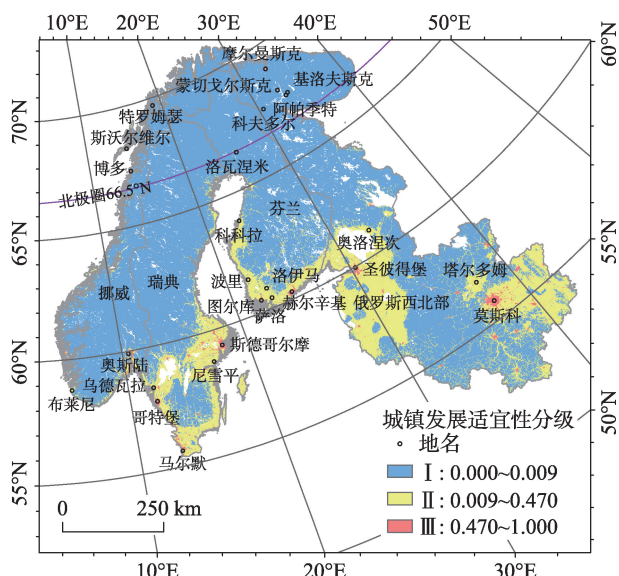


图2 研究区城镇发展适宜性分级图

Fig. 2 Classified map of urban development suitability zones in study area

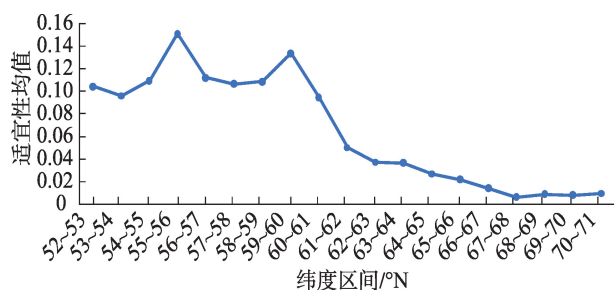


图3 城镇发展适宜性随纬度变化

Fig. 3 Change of urban development suitability with latitude

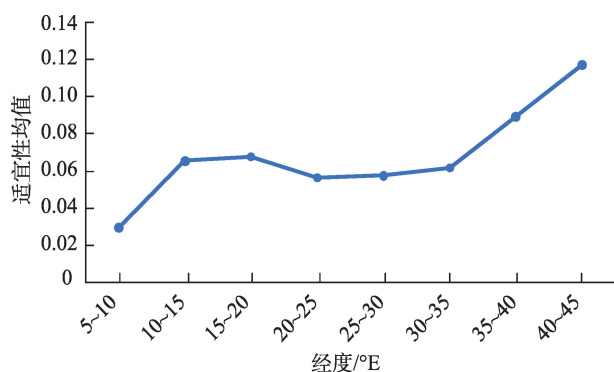


图4 城镇发展适宜性随经度变化

Fig. 4 Change of urban development suitability with longitude

均水平进行分级统计,如表5所示。I的城镇发展适宜性均值为0.03,面积为 $17.05 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占研究区总面积的76.82%;II的城镇发展适宜性均值为0.16,面积为 $4.84 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占研究区总面积的21.82%;III的城镇发展适宜性均值为0.68,面积为

表5 城镇发展适宜性与指标平均水平分级分析

Tab. 5 Analysis of urban development suitability and average level of indicators by grade

	城镇发展适宜性等级		
	I	II	III
适宜性均值	0.03	0.16	0.68
面积/ 10^4 km^2	17.05	4.84	0.30
面积占比/%	76.82	21.82	1.37
温度/ $^{\circ}\text{C}$	3.56	6.39	6.83
交通网密度/(路段数/m)	0.42	1.33	15.12
海拔高度/m	311.19	94.95	90.36
人口密度/(人数/ km^2)	8.15	35.64	1259.29
距最近港口距离/m	197.36	303.05	255.59

$0.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占研究区总面积的1.37%,随着城镇发展适宜性的升高面积占比越来越小。

从I到III,温度由 3.56°C 到 6.39°C 升再到 6.83°C ,表示温度越高城镇发展的适宜性越高;交通网密度由0.42到1.33再到15.12,表示了交通网密度越大城镇发展的适宜性越高;海拔高度由311.19 m到94.95 m降到90.36 m,表示了随着海拔高度的降低城镇发展适宜性增加;人口密度由8.15到35.64在大幅度升高到1259.29,表示了人口密度越大城镇发展适宜性越高;距最近港口距离的均值变化没有呈现出明显的随适宜性上升的规律性,可能是I的面积远远大于II、III的面积差异造成的,但是在空间位置不偏远的II和III可看出,距最近港口距离较近的区域城镇发展的适宜性较大。

4.2.2 不同国家城镇发展适宜性分析

对适宜性以及各个指标的平均水平进行分析,从表6可看出,III的面积仅占比很小,研究区俄罗斯西北部为1.41%,瑞典为2.06%,芬兰为0.84%,挪威为0.79%,每个国家的城镇发展适宜性都随着级别的上升,面积与面积占比锐减。其中,由高至低,俄罗斯西北部的平均适宜性为0.08、瑞典的平均适宜性为0.07、芬兰的平均适宜性为0.06、挪威的平均适宜性为0.03。将不同国家的指标平均水平进行比较(表6),结果表明距最近港口距离与国家的城镇发展适宜性排序的规律性不明显,但是4个国家的温度、交通网密度、海拔高度、人口密度都与国家的城镇发展适宜性排序成正比,呈现出明显的规律性。

从空间分布上看,俄罗斯西北部的III主要分布

表6 城镇发展适宜性与指标平均水平国别分析

Tab. 6 Analysis of urban development suitability and average level of indicators by country

		俄罗斯西北部		瑞典		芬兰		挪威	
		面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%
适宜性级别	I	68701.25	68.95	38132.50	76.11	30674.75	83.85	32839.50	93.04
	II	29538.00	29.64	10939.25	21.83	5601.00	15.31	2176.25	6.17
	III	1404.25	1.41	1031.00	2.06	308.50	0.84	279.25	0.79
指标	适宜性均值	0.08		0.07		0.06		0.03	
	温度	4.66		4.17		3.82		3.41	
	交通网密度	0.78		0.99		0.66		0.69	
	海拔高度	150.85		309.17		156.04		564.00	
	人口密度	44.49		22.62		16.77		15.37	
	距最近港口距离	377.87		89.75		126.31		54.53	

于莫斯科与圣彼得堡附近,Ⅱ则大多数分布于Ⅲ的拓展区域,距离规模较大的城市越远越不适宜城镇发展,Ⅱ和Ⅲ主要分布在俄罗斯西北部的温带大陆性湿润气候带,而其北部的亚寒带大陆性气候带只有零星的适宜性较高的地区(比如摩尔曼斯克附近),大多数属于Ⅰ。在莫斯科与圣彼得堡之间的广大Ⅰ区,虽然与周围的气候条件相似(温度大约为5~6℃),但是海拔高度平均在200 m左右,且交通网密度接近于0。综上所述,研究区的俄罗斯西北部城镇发展适宜性整体上呈现出北低南高,南部呈现两边高中间低的空间布局。

瑞典的Ⅲ主要分布于南部,Ⅱ分布于南部沿海地区规模较大的斯德哥尔摩、哥特堡、马尔默等城市的延伸区域。瑞典东邻波罗的海和波的尼亚湾,西南通过卡特加特海峡与北海连通,瑞典的东南部约有98个港口。瑞典横跨4个气候带,由北向南依次是苔原气候、亚寒带大陆性气候、温带大陆性湿润气候、温带海洋性气候,其中Ⅲ主要分布于温带海洋性气候带,Ⅱ和Ⅲ主要分布于温带大陆性湿润气候带和温带海洋性气候带。瑞典地势自西北向东南倾斜,北部为诺尔兰高原,海拔在400~700 m之间,南部及沿海(Ⅱ和Ⅲ的主要分布区域)多为平原或丘陵,海拔在0~300 m之间。综上所述,瑞典的城镇发展适宜性整体上呈现出西北低东南高,沿海大于内陆的空间布局。

芬兰的Ⅲ主要分布于南部,Ⅱ分布于南部沿海地区规模较大的赫尔辛基和图尔库等城市的延伸区域。芬兰的西南部被波罗的海环绕,约有32个港口。芬兰境内包含了南部极小范围的苔原气候带、中部大范围的亚寒带大陆性气候带、沿海地区的

温带大陆性湿润气候带,其中,Ⅱ和Ⅲ集中分布于温带大陆性湿润气候带。芬兰与瑞典相比地势相对平坦,主要分为南部沿海低地、稍高的中部湖泊高原、北部及东北部的高地,Ⅱ和Ⅲ主要分布于沿海低地,在中部的湖泊高原也有少许分布,因为虽然中部为高原,但是海拔在0~200 m之间,且地形起伏度较缓。综上所述,芬兰的城镇发展适宜性整体上呈现出北(高原)低南(沿海)高,中部次高的空间布局。

挪威的Ⅱ和Ⅲ主要分布于南部与西部沿海地区,Ⅱ分布于沿海地区规模较大的奥斯陆和卑尔根等城市的延伸区域以及西部群岛。挪威北靠巴伦支海,西邻挪威海,南濒北海,海岸线长达2.1万km²,接近150个港口城市。狭长的挪威覆盖了9种温度带,范围较大有4种,包括沿海的温带海洋性气候带、沿海与近海内陆的温带大陆性湿润气候带、内陆地区的亚寒带大陆性气候带与苔原气候带,其中,Ⅱ和Ⅲ集中分布于温带海洋性气候带和温带大陆性湿润气候带。斯堪的纳维亚山脉纵贯挪威全境,地势东高西低,高原、山地、冰川约占全境2/3以上,大面积的Ⅰ分布于挪威中部高原,海拔在600~1500 m之间。综上所述,挪威的城镇发展适宜性整体上呈现出南部沿海高,西部沿海次高,其他区域低的空间布局。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1)第一次 logistic 模型运行结果表明,坡度、距管线距离、管线密度的 Sig.>0.05,说明上述变量对

城镇分布的影响不显著,为无效变量。剔除无效变量后的模型通过了显著性检验,根据优势比OR与回归系数B可知,各个指标对研究区城镇分布的影响作用大小排序为:温度(正向)、交通网密度(正向)、海拔高度(反向)、人口密度(正向)、距最近港口距离(反向)。温度增加1个单位,城镇发展的几率比原来增加了38.4%;交通网密度增加1个单位,城镇发展的几率比原来增加了16.7%;海拔高度增加1个单位,城镇发展的几率比原来减少了9%;人口密度增加1个单位,城镇发展的几率比原来增加了0.4%;距最近港口距离增加1个单位,城镇发展的几率比原来减少了0.1%。

(2)空间区划的结果表明,研究区的Ⅰ(不适宜)城镇发展适宜性均值为0.03(约占研究区总面积的76.82%)、Ⅱ(中度适宜)的城镇发展适宜性均值为0.16(21.82%)、Ⅲ(高度适宜)的城镇发展适宜性均值为0.68(1.37%)。通过居民点数据的计算得到随着城镇发展适宜性的级别上升,也就是城镇发展适宜性越大,居民点密度越大。

(3)指标平均水平的分级统计结果显示,温度越高城镇发展的适宜性越高,较适宜地区的温度约为6.83℃;交通网密度越大城镇发展的适宜性越高,较适宜地区的交通网密度约为15.12个路段/m²;随着海拔高度的降低城镇发展适宜性增加,较适宜地区的海拔高度平均水平在90.36 m左右;人口密度越大城镇发展适宜性越高,最适宜地区的人口密度约为1259.29人/km²;适宜性级别的面积差异造成了距最近港口距离的均值变化没有呈现出明显的随适宜性上升的规律性。

(4)以纬度1°和经度5°为间隔的统计结果显示,城镇发展适宜性总体呈现出随纬度升高而降低、随经度升高而增加的趋势。

(5)研究区的城镇发展适宜性俄罗斯西北部最高为0.08、瑞典次之为0.07、芬兰第三为0.06、挪威最低为0.03。从Ⅱ和Ⅲ的分布区域可看出,适宜城镇发展的气候地理条件是温带大陆性湿润气候带和温带海洋性气候带以及平原与低地地区。研究区的俄罗斯西北部城镇发展适宜性整体上呈现出北低南高,南部呈现两边高中间低的空间布局;瑞典呈现出西北低东南高,沿海大于内陆的空间布局;芬兰呈现出北(高原)低南(沿海)高,中部次高的空间布局;挪威呈现出南部沿海高,西部沿海次高,其他区域低的空间布局。

5.2 讨论

由于研究数据及条件的限制,本研究存在不尽完善之处。在数据方面,今后考虑引入分辨率更高的城镇分类数据,进行不同尺度比较,以确定城镇发展适宜性评价的最佳评价尺度,并可以搜集研究区的水文数据、植被数据结合更多的不适宜城镇发展的区位数据(如基本保护农田、生态脆弱区等)来进一步丰富评价指标的内容;在评价尺度方面,由于MODIS土地覆盖基础数据精度所限,今后考虑引入多尺度的基础数据进行不同尺度的评价试验,选择最优尺度进行空间数据的网格化处理;在评价方法方面,在现有研究结论的基础上,可以根据指标与城镇适宜性的关系尝试基于知识的评价方法进行运算。

参考文献(References):

- [1] Collins M G, Steiner F R, Rushman M J. Land-use suitability analysis in the United States: Historical development and promising technological achievements[J]. Environmental Management, 2001,28(5):611-621.
- [2] 李坤,岳建伟.我国建设用地适宜性评价研究综述[J].北京师范大学学报(自然科学版),2015,51(s1):107-113. [Li K, Yue J W. Evaluation of construction land suitability in China: A review[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2015,51(s1):107-113.]
- [3] 关小克,张凤荣,郭力娜,等.北京市耕地多目标适宜性评价及空间布局研究[J].资源科学,2010,32(3):580-587. [Guan X K, Zhang F R, Guo L N, et al. A suitability evaluation of cultivated land in Beijing for multi-purposes use and its spatio-temporal investigation[J]. Resources Science, 2010,32(3):580-587.]
- [4] 刘立涛,沈镭.基于人地关系的澜沧江流域人居环境评价[J].资源科学,2012,34(7):1192-1199. [Liu L T, Shen L. Assessment of human settlement environment in Lancang River Basin based on man-land relationship[J]. Resources Science, 2012,34(7):1192-1199.]
- [5] 杨子生.山区城镇建设用地适宜性评价方法及应用——以云南省德宏州为例[J].自然资源学报,2016,31(1):64-76. [Yang Z S. Land suitability evaluation for urban construction and its application in mountainous areas: A case study in dehong dai-jingpo autonomous prefecture, yunnan province. Journal of Natural Resources, 2016,31(1): 64-76.]
- [6] 何丹,金凤君,周璟.资源型城市建设用地适宜性评价研究——以济宁市大运河生态经济区为例[J].地理研究, 2011,30(4):655-666. [He D, Jin F J, Zhou J. Urban construction land suitability evaluation in resource-based cit-

- ies: Taking the Grand Canal ecologic and economic area as an example. *Geographical Research*, 2011,30(4):655-666.]
- [7] Jain K, Subbaiah Y V. Site suitability analysis for urban development using GIS[J]. *Journal of Applied Sciences*, 2007,7(18):2576-2583.
- [8] Cerreta M, Toro P D. Urbanization susceptibility maps: A dynamic spatial decision support system for sustainable land use[J]. *Earth System Dynamics*, 2012,3(2):157-171.
- [9] Effat H A, Hegazy M N. A multidisciplinary approach to mapping potential urban development zones in Sinai Peninsula, Egypt using remote sensing and GIS[J]. *Journal of Geographic Information System*, 2013,5(6):567-583.
- [10] Kumar M, Biswas V. Identification of potential sites for urban development using GIS based multi criteria evaluation technique: A case study of Shimla Municipal Area, Shimla District, Himachal Pradesh, India[J]. *Journal of Settlements & Spatial Planning*, 2013,4(1):45-51.
- [11] Youssef A M, Pradhan B, Sefry S A, et al. Use of geological and geomorphological parameters in potential suitability assessment for urban planning development at Wadi Al-Asla basin, Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015,8(8):5617-5630.
- [12] Dyer J S, Fishburn P C, Steuer R E, et al. Multiple criteria decision-making, multiattribute utility-theory-the next 10 years[J]. *Management science*, 1992,38:645-654.
- [13] 梁辰,王诺.基于 Logistic 回归的沿海经济区建设用地演变驱动因素研究——以大连市新市区为例[J].*地理科学*,2014,34(5):556-562. [Liang C, W Nuo. Driving factor analysis of construction land changes in coastal economic zone based on logistic regression: A case study of dalian new urban[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014,34(5):556-562.]
- [14] 邱道持,曹蕾,刘力,等.小城镇发展潜力评价探讨——以重庆市渝北区为例[J].*西南师范大学学报(自然科学版)*, 2004,29(2):305-309. [Qiu D C, Cao L, Liu L, et al. Exploration for evaluation of development potential in towns: A case study of yubei, chongqing city[J]. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition)*, 2004,29(2):305-309.]
- [15] 王锋,徐逸伦.基于主成分分析法的城镇发展潜力评价研究——以安徽省临泉县为例[J].*江西农业学报*,2012,24(3):170-175. [Wang F, Xu Y L. Evaluation of urban developmental potential based on principal component analysis: Taking example for linquan county in anhui province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012,24(3):170-175.]
- [16] 黄丽明,陈健飞.广州市花都区城镇建设用地适宜性评价研究——基于 MCR 面特征提取[J].*资源科学*,2014,36(7):1347-1355. [Huang L M, Chen J F. Suitability evaluation of urban construction land based on features extraction of a mcr surface[J]. *Resources Science*, 2014,36(7):1347-1355.]
- [17] Jiang D, Zhuang D, Xu X, et al. Integrated evaluation of urban development suitability based on remote sensing and GIS techniques: A case study in Jingjinji area, China [J]. *Sensors*, 2008,8(9):5975-5986.
- [18] Youssef A M, Pradhan B, Tarabees E. Integrated evaluation of urban development suitability based on remote sensing and GIS techniques: Contribution from the analytic hierarchy process[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2011,4(3-4):463-473.
- [19] 杨育文,敖晨霞,熊增强.建设用地适宜性的模糊综合评价法及其在 GIS 软件平台上的实现[J].*城市勘测*,2015(4):152-157. [Yang Y W, Ao C X, Xiong Z Q. Fuzzy evaluation on land use suitability and its implementation in GIS software platform[J]. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2015(4):152-157.]
- [20] 肖莉,李韦,冯长春,等.湖南湘江新区建设用地适宜性评价研究[J].*地域研究与开发*,2016,35(4):131-136. [Xiao L, Li W, Feng C C, et al. Evaluation of the construction land suitability in Hunan Xiangjiang new area[J]. *Areal Research and Development*, 2016,35(4):131-136.]
- [21] Doxseywhitfield E, Macmanus K, Adamo S B, et al. Taking advantage of the improved availability of census data: A first look at the gridded population of the world, Version 4[J]. *Papers in Applied Geography*, 2015,1(3):226-234.
- [22] Fan Y, Dool H V D. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948-present[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008,113(D1):411-411.
- [23] Danielson J J, Gesch D B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010) [R]. USA: US Geological Survey, 2011.
- [24] 李彦卿.小城镇人口规模研究[D].天津:天津大学,2004. [Li Y Q. The Research of Population Scale in Small Town[D]. Tianjin:Tianjin University, 2004.]
- [25] 张洪,曹京,董世杰.基于 GIS 的低丘缓坡土地利用建设适宜性评价——以大理市为例[J].*安徽农业科学*,2017,45(6):212-217. [Zhang H, Cao J, Dong S J. Suitability evaluation of land construction use about gentle hills based on GIS: A case study of dali city[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017,45(6):212-217.]
- [26] 王成金,张岸.基于交通优势度的建设用地适宜性评价与实证——以玉树地震灾区为例[J].*资源科学*,2012,34(9):1688-1697. [Evaluation of transport dominance and delimitation of land suitability for construction in the yushu earthquake region[J]. *Resources Science*, 2012,34(9):1688-1697.]
- [27] 夏俊士,杜培军,张海荣,等.基于遥感数据的城市地表温度与土地覆盖定量研究[J].*遥感技术与应用*,2010,25(1):

- 15-23. [Xia J S, Du P J, Zhang H R, et al. The quantitative relationship between land surface temperature and land cover types based on remotely sensed data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010,25(1):15-23.]
- [28] Hinkel K M, Klene A E, Nelson F E. The summer climate of an arctic coastal village: Preliminary observations from the Barrow urban heat-island study[J]. Polar Geography, 2004,28(3):197-221.
- [29] 毛蒋兴,李志刚,闫小培,等.深圳土地利用时空变化与地形因子的关系研究[J].地理与地理信息科学,2008,24(2):71-76. [Mao J X, Li Z G, Yan X P, et al. Research on the spatio-temporal changes of land use in relation to topography factors in ShenZhen City[J]. Geography and Geo-information Science, 2008,24(2):71-76.]
- [30] 黄瑞红.GIS在城镇发展用地适宜性评价中的应用——以广东五华县华城镇为例[J].中山大学学报:自然科学版,1997,36(6):108-113. [Huang R H. A land suitability study for town development by means of GIS: case study of Huacheng, China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1997,36(6):108-113.]
- [31] 李德华.城市规划原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2001. [Li D H. Theory of urban planning[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.]
- [32] 南晓娜.GIS支持下的山地城市建设用地适宜性评价研究[D].西安:西北大学,2009. [Nan X N, Study on suitability evaluation of mountainous city construction land supported by GIS[D]. Xi'an:Northwest University, 2009.]
- [33] 卢景美,邵滋军,房殿勇,等.北极圈油气资源潜力分析[J].资源与产业,2010(4):29-33. [Lu J M, Shao Z J, Fang D Y, et al. Analysis of oil-gas resources potential in the Arctic Circle[J]. Resources & Industries, 2010(4):29-33.]
- [34] 陈航.港城互动的理论与实证研究[D].大连:大连海事大学,2009. [Chen H. Research on theory and empirical for interaction between ports and cities[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009.]
- [35] Freedman D A. Statistical models: theory and practice [M]. United Kingdom:Cambridge University Press, 2009.
- [36] Cox D R. The regression analysis of binary sequences[J]. Journal of the Royal Statistical Society-Series B (Methodological), 1958,20(2):215-242.
- [37] Hu Z, Lo C P. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression[J]. Computers Environment & Urban Systems, 2007,31(6):667-688.

附表A 指标因子数据来源与信息

Schedules A Data sources and information of indicators

指标	数据名称	机构	网址
人口密度	Gridded Population of the World (GPWv4)	哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心 Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University	http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v4-population-density
交通网	Vmap0	美国国家地理空间情报局 National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)	http://gis-lab.info/qa/vmap0-eng.html
	OSM	开放街图基金会 OpenStreetMap Foundation	http://osm2shp.ru/index.php?isLike
温度	GHCN_CAMS Gridded 2m Temperature (Land)	美国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室 NOAA/OAR/ESRL	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ghcncams.html
海拔高度	GMTED2010	美国地质调查局 U.S. Geological Survey	https://globalmaps.github.io/el.html
油气管线	Crude Oil Pipelines、Natural Gas Inter Intrastate Pipelines、Petroleum Product Pipelines	美国能源部 U.S. Energy Information Administration (EIA)	https://www.eia.gov/maps/layer_info-m.php
	Global Oil Pipelines	哈佛大学地理分析中心 The Center for Geographic Analysis(CGA), Harvard University	http://worldmap.harvard.edu/data/geonode:global_oil_pipelines_7z9
港口	World Port Index (Pub 150)	国家地理空间情报局 National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)	http://msi.nga.mil/NGAPortal/MSI.portal?_nfpb=true&_pageLabel=msi_portal_page_62&pubCode=0015
自然保护区	The World Database on Protected Areas (WDPA)	联合国环境与自然保护联盟 UN Environment and IUCN	https://www.protectedplanet.net/
地震	Global Earthquake Hazard Frequency and Distribution, v1 (1976-2002)	哥伦比亚大学 Columbia University	http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-earthquake-frequency-distribution
滑坡	Global estimated risk index for landslide hazard triggered by precipitations	联合国环境规划署 UNEP/DEWA/GRID-Europe	http://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=landslides&evcat=7&lang=eng