

# 基于地理国情数据的哈尔滨市不透水面 变化监测及驱动力分析

吴迪, 李冰, 杨爱玲

(国家测绘局黑龙江基础地理信息中心 黑龙江 哈尔滨 150081)

**摘要:** 选取哈尔滨市为研究区, 以 2015 年地理国情普查成果和 2016 年基础性地理国情监测成果为数据源, 根据国情数据中不同地表覆盖分类对应的透水特性提取不透水面, 对哈尔滨市不透水面的空间分布格局和变化特征进行分析, 选取平均工资、距城市道路距离、距医院的距离、距铁路的距离、距学校的距离、平均气温、全年降水量、土壤等 8 个因子, 利用地理探测器模型, 探测不透水面扩张率的空间分异驱动因子, 研究结果表明: 2015 年至 2016 年哈尔滨市不透水面面积呈扩张趋势, 居民收入水平和距城市道路距离等人为因素是造成不透水面扩张空间分异性的主要原因。

**关键词:** 不透水面; 地理探测器; 地理国情监测

中图分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1672-5867(2018)09-0016-04

## Driving Forces Analysis of Impervious Surface Changes in Harbin Based on Geographical Condition Survey

WU Di, LI Bing, YANG Ailing

(Heilongjiang Geomatics Center of NASMG, Harbin 150081, China)

**Abstract:** In this paper, we select Harbin as a research area, and use the Geographical Condition Survey results in 2015 and the Basic Geographical Condition Monitoring results in 2016 as the data source. In order to analyze the spatial distribution pattern and change characteristics of impermeable surface in Harbin, the impervious surface was extracted based on the water permeability characteristics of different land cover classification in the national condition data. The geodetic detector model is used to detect the driving forces of impermeable surface expansion rate by selecting the following factors such as the average wage, the distance from the city road, the distance from the hospital, the distance from the railway, the distance from the school, the average temperature, annual precipitation, soil. The results show that the imperfect water area in Harbin is expanding from 2015 to 2016, and human factors such as residents' income level and distance from urban roads are the main reasons for the spatial heterogeneity of impermeable surface expansion.

**Key words:** impervious surface; geographic detector; geographical condition monitoring

### 0 引言

不透水面是阻止水流入土壤的地表类型, 主要包括房屋建筑、道路等不具有渗透性的地表。不透水面的扩张对城市环境有着多种直接或间接的影响, 会导致地表径流量增多, 间接加剧水质恶化、增加市政排水和城市防洪压力。不透水面的变化直接反映城市的发展状态, 城市不透水面的分布模式是城市规划的重要信息, 被视为城市水文循环、局部气候及生物多样性变化等过程中的

重要要素, 已成为衡量城市化健康进程及质量的重要指标, 了解不透水面的时空分布格局和演变特征有助于土地利用规划发展, 为城市内涝治理、改善热岛效应提供参考依据<sup>[1-4]</sup>。

本文利用 2015 年地理国情普查数据和 2016 年基础性地理国情监测数据, 对哈尔滨市不透水面的空间分布格局和变化特征进行分析, 运用地理探测器模型, 探测不透水面扩张率的空间分异驱动因子, 为海绵城市建设、城市规划管理等提供参考。

收稿日期: 2018-01-10

作者简介: 吴迪(1987-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 工程师, 博士, 2015年毕业于东北林业大学森林经理学专业, 主要从事 3S 技术方面的应用研究工作。

## 1 研究区域概况与数据来源

### 1.1 研究区域概况

哈尔滨地处黑龙江省西南部,东北平原北部,位于 $125^{\circ}42'E-130^{\circ}10'E,44^{\circ}04'N-46^{\circ}40'N$ 之间,总面积约 $53\ 000\text{ km}^2$ ,市区面积约 $10\ 000\text{ km}^2$ ,下辖9个市辖区(道里区、道外区、南岗区、香坊区、平房区、松北区、呼兰区、阿城区、双城区)和9个县(依兰县、方正县、宾县、巴彦县、木兰县、通河县、延寿县、尚志市、五常市),是第一条欧亚大陆桥和中俄蒙经济走廊的重要枢纽。

### 1.2 研究数据

第一次全国地理普查成果包括地表覆盖分类成果、重要地理国情要素成果等,是以2015年6月30日为标准时点,对我国自然和人文地理要素的现状和空间分布情况进行的全面清查,详尽地展现了我国山、水、林、田、湖等自然和人文地理要素类别、位置、范围、面积等信息及其空间分布状况<sup>[5]</sup>。

2016年基础性地理国情监测是以第一次全国地理国情普查形成的成果数据库为基础开展的周期性地理国情监测<sup>[6]</sup>。

本文以哈尔滨市2015年地理国情普查数据和2016年基础性地理国情监测数据为数据源,根据国情数据中不同地表覆盖分类对应的透水特性提取不透水面,提取的不透水面包括房屋建筑(区)、道路、硬化地表、水工设施、交通设施、城墙、固化池、工业设施、建筑工地、岩石地表,将地表覆盖整合归并为不透水面与植被、裸地、水域四大类。

### 1.3 不透水面扩张驱动因子的选择

土地利用变化机制主要分为外在驱动力和内在因素两种<sup>[7-8]</sup>。本文主要从地理国情数据成果和统计年鉴中挖掘驱动因子,分别从人为干扰和自然影响的角度选择平均工资、距城市道路距离、距医院的距离、距铁路的距离、距学校的距离、平均气温、全年降水量、土壤等8个因子作为研究区不透水面扩张的驱动因素进行定量分析。

其中,距城市道路距离、距医院的距离、距铁路的距离、距学校的距离5种邻域因子通过计算基础性地理国情监测数据获得;平均工资、平均气温、全年降水量3个因子来自《哈尔滨统计年鉴》;土壤数据使用1:1 000 000中国土壤数据集。

## 2 研究方法

本文利用地理探测器对影响不透水面扩张的各因子进行驱动分析,得出各因子的相对重要性以及它们之间的交互作用。地理探测器是王劲峰提出的一种探测空间分异性的空间分析模型<sup>[9]</sup>。近年来,被视为探测要素空间格局成因和驱动机理的有效方法,被广泛应用于疾控、房产、土地利用等多领域<sup>[10-14]</sup>,其核心思想是基于假设:如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性。具体做法是比较

探测指标在不同类别分区上的总方差与该指标在整个研究区域上的总方差<sup>[9]</sup>。

本文利用GIS软件生成研究区1 km间隔的正方形网格图,将网格图与不透水面扩张图相叠加,统计出每个网格的不透水面扩张面积,计算每个网格的不透水面扩张率,利用地理探测器模型,以不透水面扩张率为GridSystem图层,其他驱动因子作为Geographical Zone图层,进行探测分析。

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

式中: $D$ 为驱动因子; $I$ 为不透水面扩张率; $P_{D,I}$ 为 $D$ 对 $I$ 的解释能力(贡献率); $n$ 和 $\sigma^2$ 分别为某种驱动因子条件下不透水面扩张率的样本个数和方差; $m$ 为某种因子的分类个数; $n_{D,i}$ 为 $D$ 指标在 $i$ 类上样本的个数; $P_{D,I}$ 的值域为 $[0,1]$ ,值越大说明驱动因子 $D$ 对不透水面扩张率的解释力越强。而交互作用探测可以进一步的识别驱动因子是独立起作用还是具有交互作用,判别式如下:

1)  $P_{D,I}(D1 \cap D2) < \min(P_{D,I}(D1), P_{D,I}(D2))$ ,表示交互后非线性减弱

2)  $\min(P_{D,I}(D1), P_{D,I}(D2)) < P_{D,I}(D1 \cap D2) < \max(P_{D,I}(D1), P_{D,I}(D2))$ ,表示交互后单线性减弱

3)  $P_{D,I}(D1 \cap D2) > \max(P_{D,I}(D1), P_{D,I}(D2))$ ,表示交互后双线性加强

4)  $P_{D,I}(D1 \cap D2) > P_{D,I}(D1) + P_{D,I}(D2)$ ,表示交互后非线性协同

5)  $P_{D,I}(D1 \cap D2) = P_{D,I}(D1) + P_{D,I}(D2)$ ,表示 $A$ 和 $B$ 相互独立

## 3 结果与分析

### 3.1 哈尔滨市不透水面空间格局变化

哈尔滨市主城区的不透水面集中分布在道里区、南岗区、香坊区、平房区、道外区,越靠近中心,密度越大。五常市、延寿县、方正县等哈尔滨市下辖市县的透水面呈零星分布状态,形成各自的不透水组群,各组群之间以道路为枢纽辐射分布。

对哈尔滨市各区2015—2016年不透水面面积进行统计(如图1所示),经计算可知不透水面增长面积为 $25.25\text{ km}^2$ ,变化动态度为1.75%。各区不透水面面积均增加,变化程度相差较大,平房区的扩张程度最强,其不透水面变化动态度高于4%,远超其他各区。不透水面扩张的区域主要集中在主城区,虽然道外区、南岗区的不透水面呈现扩张状态,但其强度仍小于其余大部分非主城区。由不透水面的变化可知哈尔滨市总体呈现建设用地扩张、城镇化发展状态,主城区不透水面扩张强度弱反映出哈尔滨市在控制已开发地区的建设用地规模。边远城区不透水面扩张强烈反映出哈尔滨市在带动边缘城区发展,城镇化进程明显。

### 3.2 不透水面圈层发展变化

以哈尔滨市主城区几何中心为中心向外围每隔

地理探测器正确引用:

[1] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science* 24(1): 107-127.

[2] Wang JF, Zhang TL, Fu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators* 67(2016): 250-256.

[2] 王劲峰,徐成东. 2017. 地理探测器:原理与展望. *地理学报* 72(1): 116-134.

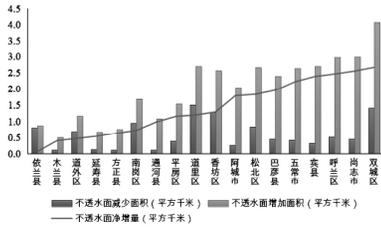


图 1 2015 年至 2016 年哈尔滨市不透水面变化量  
Fig.1 Impervious surface change in Harbin from 2015 to 2016

10 km 作同心圆,有效覆盖哈尔滨市所有不透水面,计算每个圈层区间内不透水面扩张率,揭示哈尔滨市不透水面由城市中心到外围空间的分布特征。分析结果如图 2 所示,2015—2016 年间不透水面增加率从 10—20 km 圈层区间有明显上升趋势,主要原因是在 10 km 圈层区间内松花江水占了一定比例,外延 10 km 后沿江高度发展的松北区被纳入进来,导致不透水面比例显著增加,可以反映哈尔滨市松北区打造科技创新城的高度发展现状。2015 年和 2016 年在 20 km 圈层以外的各区间由内向外不透水面扩张率出现持续减少的情况,在不同距离范围内扩张速率存在明显差异,在 30—50 km 的区间内不透水面扩张率较快,50 km 以外扩张速率明显减慢,随着距离的增加,不透水面的扩展率减缓。在 20 km 区间内,2015 年和 2016 年的不透水面占比均达到峰值,表明该区的开发程度最高。在距离市中心 210 km 的范围内,2016 年不透水面占比均高于 2015 年的不透水面占比。说明哈尔滨市中心的区域不透水面呈现圈层发展,近郊不透水面在增加。

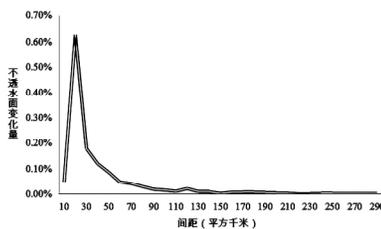


图 2 哈尔滨市不透水面变化量  
Fig.2 Impervious surface change of Harbin

### 3.3 不透水面转移变化

利用土地利用转移矩阵分析哈尔滨市不透水面与植被、裸地、水域 3 种主要地表覆盖类型之间的转换情况,揭示不透水面的空间变化特征。计算结果显示,在 2015—2016 年间,不透水面与植被、裸地与水域之间存在不同程度的转换关系。3 种地类转入量均高于转出量,在转入地块中有 71.87% 的不透水面是由植被转移而来,表明哈尔滨市建设用地的主要占用地类为植被。不透水面的转出地类主要集中为裸地和植被(见表 1)。

表 1 2015—2016 年哈尔滨市不透水面转移变化  
Tab.1 Impervious surface change 2015—2016 of Harbin

不透水面转入	面积( km <sup>2</sup> )	不透水面转出	面积( km <sup>2</sup> )
植被	26.03	植被	5.05
裸地	9.85	裸地	5.58
水域	0.33	水域	0.29

### 3.4 不透水面变化驱动因子的定量分析

借助地理探测器模型获得 2015—2016 年不透水面扩张各驱动因子的贡献率,从大到小排列依次为:平均工资(31.11%)、距城市道路距离(24.73%)、全年降水量(16.07%)、平均气温(15.96%)、到医院的距离(15.06%)、到学校的距离(9.98%)、到铁路的距离(7.86%)、土壤(2.84%)。其中,  $P_{D_1} \setminus (D1 \cap D2)$  (平均工资  $\cap$  距城市道路距离) 与  $P_{D_1} \setminus (D1 \cap \text{土壤})$  交互作用最强,分别为 44.69% 和 43.63%。表明不透水面扩张与区域土壤质地、距城市道路距离和居民收入水平有密切关系。平均工资与距城市道路距离交互后因子解释能力为双线性加强,即居民收入水平与交通便利条件相互制约影响城市不透水面扩张的空间分异性。而平均工资与土壤之间满足非线性协同作用条件,表明自然条件与人为因素相互促进的交互作用影响城市不透水面扩张的空间分异性(见表 2)。

表 2 2015—2016 年哈尔滨市不透水面扩张各驱动因子的交互作用

Tab.2 Impervious surface expansion interactions between 2015—2016 of Harbin

驱动因子 $D1/D2$	$P_{D_1} \setminus (D1)$	$P_{D_1} \setminus (D2)$	$C = P_{D_1} \setminus (D1 \cap D2)$	$A = P_{D_1} \setminus (D1 + D2)$	解释能力
平均工资/平均气温	0.311	0.160	0.312	0.471	双线性加强作用
平均工资/全年降水	0.311	0.161	0.312	0.472	双线性加强作用
平均工资/土壤	0.311	0.028	0.436	0.340	非线性协同作用
平均工资/距城市道路距离	0.311	0.247	0.447	0.558	双线性加强作用
平均工资/距铁路距离	0.311	0.079	0.352	0.390	双线性加强作用
平均工资/距学校距离	0.311	0.100	0.388	0.411	双线性加强作用
平均工资/距医院距离	0.311	0.151	0.386	0.462	双线性加强作用

续表(2)

Tab.2 (Continued)

驱动因子 $D1/D2$	$P_{D_j}(D1)$	$P_{D_j}(D2)$	$C = P_{D_j}(D1 \cap D2)$	$A = P_{D_j}(D1 + D2)$	解释能力
平均气温/全年降水量	0.160	0.161	0.162	0.320	双线性加强作用
平均气温/土壤	0.160	0.028	0.208	0.188	非线性协同作用
平均气温/距城市道路距离	0.160	0.247	0.339	0.407	双线性加强作用
平均气温/距铁路距离	0.160	0.079	0.238	0.238	非线性协同作用
平均气温/距学校距离	0.160	0.100	0.217	0.259	双线性加强作用
平均气温/距医院距离	0.160	0.151	0.272	0.310	双线性加强作用
全年降水量/土壤	0.161	0.028	0.268	0.189	非线性协同作用
全年降水量/距城市道路距离	0.161	0.247	0.356	0.408	双线性加强作用
全年降水量/距铁路距离	0.161	0.079	0.242	0.239	非线性协同作用
全年降水量/距学校距离	0.161	0.100	0.227	0.261	双线性加强作用
全年降水量/距医院距离	0.161	0.151	0.281	0.311	双线性加强作用
土壤/距城道路距离	0.028	0.247	0.265	0.276	双线性加强作用
土壤/距铁路距离	0.028	0.079	0.122	0.107	非线性协同作用
土壤/距学校距离	0.028	0.100	0.146	0.128	非线性协同作用
土壤/距医院距离	0.028	0.151	0.177	0.179	双线性加强作用
距城市道路距离/距铁路距离	0.247	0.079	0.280	0.326	双线性加强作用
距城市道路距离/距学校距离	0.247	0.100	0.288	0.347	双线性加强作用
距城市道路距离/距医院距离	0.247	0.151	0.275	0.398	双线性加强作用
距铁路距离/距学校距离	0.079	0.100	0.176	0.178	双线性加强作用
距铁路距离/距医院距离	0.079	0.151	0.192	0.229	双线性加强作用
距学校距离/距医院距离	0.100	0.151	0.220	0.250	拮抗作用

### 4 实验结果与分析

1) 哈尔滨市的不透水面集中分布在道理、南岗、香坊等中心城区,五常市、延寿县等下辖市县的不透水面呈零星分布状态,形成各自的不透水组群,各组群之间以道路为枢纽辐射分布,2015—2016 年哈尔滨市不透水面面积呈扩张趋势,不透水面的扩张强度由主城区向远城区方向过渡。主要表现为建设用地占用植被,其中平房区的不透水面扩张程度最强。

2) 借助地理探测器模型对 2015—2016 年哈尔滨市不透水面扩张率的空间分异驱动力进行分析。计算结果显示,平均工资与距城市道路距离两因子交互后对不透水面扩张变化的解释能力最强,贡献率达到 44.69%。从各驱动因子对哈尔滨市不透水面扩张的影响可以看出居民收入水平、距城市道路距离、距学校距离等人因素是造成城市不透水面扩张空间分异性的主要原因。

### 5 结束语

及时准确地掌握不透水面的时空分布格局和演变特征有助于土地利用规划和生态环境研究。地理国情监测逐步趋于常态化业务化,充分地利用其周期性的监测成果对不透水面进行监测是准确把握不透水面时空分布格局和演变特征的有效方法。本文以哈尔滨市为例,基于地理国情数据对不透水面变化监测,定量分析不透水面变化的驱动成因、特点及分布,可为海绵城市建设、城市规划管理、城市内涝治理、改善热岛效应等提供参考。

本文在探测不透水面变化驱动力时,由于受数据的可获取性限制选取的影响因子有限,未考虑来自规划引

导、政策法规等方面的影响,后续研究可在条件允许的情况下,对驱动因子进一步的挖掘和完善。

### 参考文献:

[1] 袁超. 基于光谱混合分解模型的城市不透水面遥感估算方法研究——以北京城区为例[D]. 长沙: 中南大学, 2008.

[2] 李志,魏宗强,刘雅静,等. 1995 年以来中国中部城市不透水面增长变化监测及其增长模式研究——以南昌市为例[J]. 地理科学, 2015, 35( 11): 1 444-1 451.

[3] 曹丽琴,李平湘,张良培,等. Fuzzy ARTMAP 算法在城市不透水面估算中的应用研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37( 10): 1 236-1 239.

[4] 李琳. 成都市城市地表景观格局变化的热环境效应研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2016.

[5] 吴晶晶. 我国首次全面摸清地理国情“家底”[J]. 资源导刊, 2016( 2): 38.

[6] 王爽,林璐,庞春枝,等. 浅谈 2016 年基础性地理国情监测生产[J]. 测绘技术装备, 2017, 19( 2): 53-56.

[7] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55( 2): 151-160.4

[8] 李苗,臧淑英,吴长山,等. 哈尔滨市城乡结合部不透水面时空变化及驱动力分析[J]. 地理学报, 2017, 72( 1): 105-115.

[9] 邹滨,许珊,张静. 土地利用视角空气污染空间分异的地理分析[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2017, 42( 2): 216-222.

( 下转第 23 页)

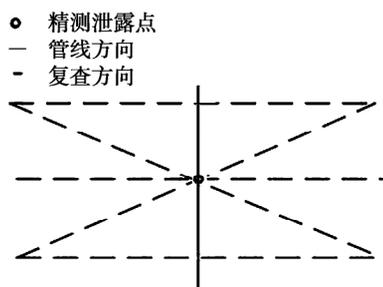


图4 复查方案  
Fig.4 Review plan

获取前先判断服务器数据最后操作时间是否比本地数据库晚,若晚则进行数据同步,测量结束后通过4G通信将结果上传至服务器。

## 2.2 测量点获取

通过自动和手动两种方式获取测量点数据,自动获取包括间隔时间和间隔距离两种方式,通过设置选择粗测点和精测点对应两种预测方式。

## 2.3 图层控制

通过细分可以分为管线、测量点、粗测漏点、复测漏点4个图层,通过图层控制可以控制显示和隐藏。测量点用实心圆点表示,粗测漏点用带有C标志的定位图标表示,复测漏点用带有J标志的定位图标表示。其结果如图5所示。



图5 图层控制  
Fig.5 Layer control

## 2.4 统计和分析

通过表格的方式显示测量点、粗测数据、复查数据三项统计结果。通过点击数据行可以定位到地图上,方便外业维修人员定位。

## 3 结果

在实际测量中,根据东北地区的实际情况,选取大地导热系数为 $0.5 \text{ W/mk}$ ,比热为 $1.05 \text{ kJ/kgK}$ ,密度为 $1200 \text{ kg/m}^3$ 。根据热力公司提供的数据取热力管道外包装的聚氨酯保温材料厚 $40 \text{ mm}$ ,其导热系数为 $0.04 \text{ W/mK}$ ,比热为 $1.38 \text{ kJ/kgK}$ ,密度为 $130 \text{ kg/m}^3$ 。

实地测量400多条管道,其中初测漏点为20多处,经过复查后只剩1处。热力公司回访信息显示,预测结果后的3天,预测位置地面出现了明显的冒水现象。

## 4 结束语

比传统的测漏手段,该方法不需要太多操作经验,采用粗略测量和横向纵向复查的方法有效地规避了某些误差,比传统方法精度更高。但由于目前城市供热管网过于复杂,普查周期太长,未来考虑在管网某些位置添加流量温度测控点,结合神经网络的算法,预测出存在漏损的管段,将红外温度测量方法作为二级测量方法,从而减少工作量。

## 参考文献:

- [1] 谢明,韩广惠.红外线热成像仪在地下供热管泄漏检测中的应用[J].应用能源技术,2009(10):29-31.
- [2] 缪育聪,刘树华,吕世华,等.土壤热扩散率及其温度、热通量计算方法的比较研究[J].地球物理学报,2012(2):441-451.
- [3] 雷翠红.供热管网泄漏故障诊断的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [4] 王欣,赵美英,万小鹏.利用热源温度场迭加法诊断持续点热源的强度及位置[J].宇航学报,2006,27(1):41-44.
- [5] 诸乃雄,刘书华.计算固体温度场的热源法[J].精密制造与自动化,2002(1):11-13.
- [6] 张海玲.埋地管道泄漏的温度场数值模拟研究[D].大庆:大庆石油学院,2008.
- [7] 庞鑫峰.埋地供热管道泄漏三维大地温度场仿真计算[D].大庆:大庆石油学院,2006.

[编辑:刘莉鑫]

(上接第19页)

- [10] 张少尧,宋雪茜,邓伟.空间功能视角下的公共服务对房价的影响——以成都市为例[J].地理科学进展,2017,36(8):995-1005.
- [11] 湛东升,张文忠,余建辉,等.基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理[J].地理科学进展,2015,34(8):966-975.
- [12] Xu C. Spatio-temporal pattern and risk factor analysis of hand, foot and mouth disease associated with under-five morbidity in the Beijing-Tianjin-Hebei Region of China

[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2017, 14(4): 416

- [13] Xiao Q Y, Liu H J, Feldman M W. Tracking and predicting hand, foot, and mouth disease (HFMD) epidemics in China by Baidu queries [J]. Epidemiology & Infection, 2017, 145(8): 1699.
- [14] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.

[编辑:张曦]