第 13 卷 第 6 期
2024 年 11 月
集 成 技 术
JOURNAL OF INTEGRATION TECHNOLOGY
Vol. 13 No. 6
Nov. 2024

引文格式：
黄键熙, 廖童欣, 余卓怡, 等. 社交媒体数据驱动的城市美食地图智能生成 [J]. 集成技术, 2024, 13(6): 53-75.
Huang JX, Liao TX, Yu ZY, et al. Automatic generation of urban food map driven by social media data [J]. Journal of Integration Technology, 2024, 13(6): 53-75.

社交媒体数据驱动的城市美食地图智能生成

黄键熙[1,2,3] 廖童欣[1,2,3] 余卓怡[1,2,3] 吴若楠[1,2,3] 陆 旻[1,2,3*]

[1]（深圳大学自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室 深圳 518060）
[2]（深圳大学广东省城市空间信息工程重点实验室 深圳 518060）
[3]（深圳大学建筑与城市规划学院 深圳 518060）

摘 要 美食是人们生活中不可或缺的一部分，一幅展现城市内美食地理分布的美食地图具有重要社会价值。网络时代，社交媒体已渗透人们的衣食住行，社交媒体数据可为自动化地图制图提供丰富的数据支撑。该文提出一种由社交媒体数据驱动的城市美食地图自动生成方法，将地图制图方法与机器学习算法结合，实现了风格化的城市美食地图智能生成。此外，该文还开发了一个城市美食地图的可视化系统，该系统对武汉、广州、重庆和成都 4 座城市进行美食案例分析。结果表明：该方法在刻画城市美食方面的表现力和有效性较好。

关键词 社交媒体；数据驱动；专题地图；可视化
中图分类号 TP751 **文献标志码** A doi: 10.12146/j.issn.2095-3135.20230703002

Automatic Generation of Urban Food Map Driven by Social Media Data

HUANG Jianxi[1,2,3] LIAO Tongxin[1,2,3] YU Zhuoyi[1,2,3] WU Ruonan[1,2,3] LU Min[1,2,3*]

[1](*Key Laboratory for Geo-Environmental Monitoring of Great Bay Area*, *MNR*, *Shenzhen University*, *Shenzhen* 518060, *China*)
[2](*Guangdong Key Laboratory of Urban Informatics*, *Shenzhen University*, *Shenzhen* 518060, *China*)
[3](*School of Architecture and Urban Planning*, *Shenzhen University*, *Shenzhen* 518060, *China*)
[*]*Corresponding Author*: *lumin.vis@gmail.com*

Abstract As food plays an important role in people's daily lives, a food map showing the geographical distribution of restaurants in a city is of great social value. In the Internet Age, social media has covered every aspect of people's lives; therefore, social media data provides a wealth of data to support automatic cartography. This work proposes an automatic generation method for urban food map driven by social media data, integrating machine learning and cartographic algorithms to realize the intelligent generation of stylized

收稿日期：2023-07-03 **修回日期**：2024-02-20
基金项目：深圳市基础研究重点项目（JCYJ20220818100200001）
作者简介：黄键熙，硕士研究生，研究方向为可视分析与智能交互；廖童欣，学士，研究方向为地图制图；余卓怡，学士，研究方向为地图制图；吴若楠，学士，研究方向为地图制图；陆旻（通讯作者），助理教授，研究方向为数据可视化与可视分析、空间智能交互，E-mail：lumin.vis@gmail.com。

urban food map. A visualization system of urban food map has been developed, which is applied to four cities, Wuhan, Guangzhou, Chongqing, and Chengdu, for case studies. The results show the effectiveness and good visual expressiveness of this method in presenting urban cuisine for cities.

Keywords social media; data-driven; thematic map; visualization

Funding This work is supported by the Key Project of Shenzhen Commission of Science and Technology (JCYJ20220818100200001)

1 引 言

“民以食为天”，美食作为人们生活中不可或缺的一部分，不仅是家常便饭中的酸甜苦辣，更是出行、娱乐时独特的精神体验。随着经济发展、旅游业繁盛，美食已然成为各大小城市营造城市形象的招牌之一，每个城市也有其独特的美食注解，以美食为核心的旅游更是成为城市特殊兴趣旅游中的重要分支[1]。一幅“众览美食于一图”的美食地图不仅具有重要的社会价值，更会带来实际的经济效益。

美食地图是将美食按地理位置映射到地图上，帮助人们迅速浏览、掌握城市中的美食分布的城市专题地图[2]。近年来，各种各样的手绘城市美食地图被纷纷推出，如《寻味中国·全国美食手绘地图》《泉城济南·吃货宝典》等。但这些精美的美食地图往往需要制图者精心的策划和设计，不仅耗时耗力，而且不易推广。目前，城市美食地图的自动化制图方法仍存在许多不足，其中包括一般的美食专题地图在地理对象的空间位置上追求准确度，限制了美食信息的表达。例如：在面积小但美食分布密集的区域，若按照原有空间位置逐一展示美食，则会造成严重的视觉遮挡[3]；若以统计聚合的形式概括，则在视觉上弱化了个体细节，无法直观表达美食密集区的数据内涵。如何将城市的各类美食总览于一张地图上颇具挑战。

互联网、大数据技术的发展不仅为体现“城市性格”和魅力特色的地图绘制带来了全新机遇[4]，还为创新的地图设计提供了可能[5-6]。社交媒体(如大众点评、美团、饿了么等)已经渗透到人们生活的方方面面，不仅存储了海量、实时的美食信息，更记录了人们对美食的评价和推荐。以社交媒体为数据源的数据采集方法具有人工查访、问卷调查等方法不可比拟的优点，如便捷、准确和细致等，可为自动化地图绘制提供丰富的数据支撑[7]。

因此，本文提出社交媒体数据驱动的城市美食地图自动生成方法。通过收集社交媒体美食数据，对美食地理位置分布和多样性等统计指标进行计算，驱动城市地图变形，形成地理空间与美食数据内涵一致的地图表达[8]。在此基础上，完成美食空间要素的选取和布局，并提出密度聚类的地图符号综合方法，提取美食圈，形成“美食-美食圈”的多层次空间要素表达方法。最终，通过一系列美食图标设计，完成风格化的城市美食地图。

本文以武汉、广州、重庆、成都为应用案例，运用所提出的城市美食地图自动生成方法，分别获得了 4 座城市的美食地图，展现了美食的地域性和地域性的美食，表明所提出方法的表现力较强；同时，本文方法仅需改动部分参数即可适配不同城市，表明该方法的可扩展性较好。

本文提出了社交媒体美食数据驱动的城市美

食地图自动生成方法和多种区域美食指标，开发了城市美食地图可视化探索系统。

2　美食地图相关工作

本文提出的城市美食地图自动生成方法与专题地图设计、地图智能生成和变形地图等 3 方面相关。因此，本节将概述上述 3 方面的国内外研究现状。

2.1　专题地图设计

近年来，学者在专题地图设计方面开展了许多研究工作，主要包括专题地图设计的理论研究和案例两方面。

在专题地图设计的理论研究方面，郑束蕾[9]通过眼动试验和问卷调查形式，研究个性化地图认知的理论框架和作用机制；李伟等[10]基于语言学相关理论，解析个性化地图符号构成的关键环节和设计策略；郭仁忠等[11]探讨了三元空间下的泛地图可视化维度，拓展了现有的地图学理论框架。

在专题地图设计的案例方面，翁敏等[12]设计了南京市的城市特色地图，并提出一套城市特色地图的设计理论框架；苏世亮等[13]以杭州西湖为例，以景观文化地图为表达对象，设计了宋代山水艺术风格的专题地图；黄丽娜等[14]以武汉大学校园意象地图为研究对象，对意象地图的色彩搭配进行了研究。

但是，目前的研究只有少数与美食主题相关，且主要以手绘和艺术设计为主。本文提出了将设计与智能化生成相结合的城市美食制图方法，可为城市生成独特的美食画像。

2.2　地图智能生成

地图绘制是一项复杂的可视化工程，需要经过数据集成加工、空间特征提取、几何变换、特征抽象概括和符号设计等步骤。利用现有的电子化地图服务和软件，可较方便地完成上述过程，实现地图可视化[15-16]，但提供的地图样式较单一，无法对地图进行灵活变形。如果想要定制一些元素，可能还需要设计师借助 Adobe Illustrator、MapShaper[17]等制图设计工具辅助手工完成，耗时耗力且不易推广。如何对地图进行智能化生成一直是空间数据可视化的一个研究热点。

近年来，一些研究人员将人工智能运用于空间数据的分析方面，以实现地图空间数据加工方面的智能化[18-19]。Yan 等[20-21]利用图卷积神经网络对建筑模式进行分类，随后运用深度学习模型完成地图综合中的形状智能识别和简化操作。Sester 等[22]将深度学习运用于地图综合，以解决建筑物要素的地图综合任务。

同时，一些研究工作探索了数据驱动的空间数据可视化自动生成[23]，包括如下：

(1) 智能化地图投影变换。通过对地图进行变形、移位和拓扑关系的变换，形成示意性地图设计的风格。例如：Kopf 等[24]通过对城市之间路线图的简化和变形，生成路线示意图风格的地图；Sun 等[3]通过对地图的变形，实现道路免遮挡的可视化图表嵌入。

(2) 空间数据的自动叠加。王映雪等[25]提出了网络社团节点的坐标转换原则和方法，用以生成网络空间复合距离变形地图(Cartogram)，并在简化和变形的地理空间上表达空间关系信息；路强等[26]针对现实中复杂的城市道路网容易使人产生视觉干扰等问题，提出一种基于约束规则规整道路的自动布局变形算法。

在当前的发展阶段，地图制图技术革新的主要趋势之一是将地理信息与人工智能技术相融合[27]，而提升制图的智能化是地图制图技术革新的一个重要方向。因此，针对美食地图制图现存的设计和绘制耗时、数据来源单一等问题，本文以社交媒体数据为驱动，使用人工智能算法对空间数据加工、地图变形和综合方法等制图过程的

步骤进行优化融合，以促进城市美食专题地图生成的智能化。

2.3 变形地图

Cartogram 是用面积或长度等几何要素表示地理对象属性的一种统计地图，通过将地图的几何要素按照一定法则进行转换，使其与某个属性值成比例。按几何要素特征，可将 Cartogram 分为线状 Cartogram 和面状 Cartogram。面状 Cartogram 的应用更广泛，将区域内属性映射为面积大小，对空间区域或对象的面积进行变形。本文采用面状 Cartogram 方法。

按照形状特征与边界连续性，面状 Cartogram 可分为简单连续 Cartogram[28-29]、简单非连续 Cartogram[30]、复杂非连续 Cartogram[31] 和复杂连续 Cartogram。本研究利用复杂连续 Cartogram 对地图进行变形改良。

复杂连续 Cartogram 是当前的研究热点，研究者设计了很多生成复杂连续 Cartogram 的算法。Tobler[32]提出了基于橡胶片拉伸的算法，利用格网划分地图，按照密度大小对格网的顶点进行拉伸或收缩；在此基础上，Dougenik 等[33]在多边形的图心添加对顶点的引力，该引力会随着顶点到图心的距离而变化；张玥等[34]利用自变量为地理位置的密度函数，生成等密度面域拓扑 Cartogram；胡碧菡等[35]提出一种基于热力传导的 Cartogram 算法，以热力扩散为原理，促进地图面域密度趋于均衡。

基于上述复杂连续 Cartogram 方法，本文提出以美食指标为驱动的地图变形，旨在完成美食地图中城市地图载体的制作。

3 社交媒体美食数据

随着移动端互联网技术的发展，带有地理标签的社交媒体数据逐渐成为记录人们“衣食住行”的重要数据来源。本文收集的社交媒体美食数据来自大众点评中的美食模块。大众点评网是生活信息平台，为大众提供各类商户信息和消费点评信息。针对美食类商户数据，大众点评网具有丰富、全面的商户信息和评分评价信息。图 1 为一家美食商户的美食名片，提供了多个维度的商家信息。

图 1 社交媒体美食店铺的数据名片

Fig. 1 Data profile of restaurants on social media

本文以“成都”“重庆”“武汉”“广州”等东南西北 4 座中国城市为例，共收集美食数据 42 465 条，其中广州 8 195 条、武汉 9 685 条、成都 9 180 条(成都为中心城区数据)、重庆 15 645 条(重庆为中心城区数据)。每条美食数据均包含美食店铺名、美食店铺地址、美食类别、用户评分、评论数、人均价格、味道评分、环境评分、服务评分等 9 个维度。

通过对所收集的美食数据进行基本的统计分析，可发现 4 座城市在热门美食种类上各具特色。如图 2 所示，在重庆、成都的美食中，川渝美食占比最多；广州则是粤菜占比最多。与武汉和广州相比，重庆和成都的火锅美食更多。

通过挖掘城市中的美食空间分布模式可发现，一个城市中，不同区域之间，美食的数量分布并不均衡。例如，图 3 为美食店铺在广州的分布情况，行政区的颜色编码为单位面积内的美食店铺数，可见大量的美食店铺分布于面积较小的行政区(如荔湾区、越秀区、天河区、海珠区等)，但面积较大的行政区(如增城区、花都区等)的美食分布则较为稀疏。由此可知，一定程度上，城市中的美食分布与对应的地理空间大小

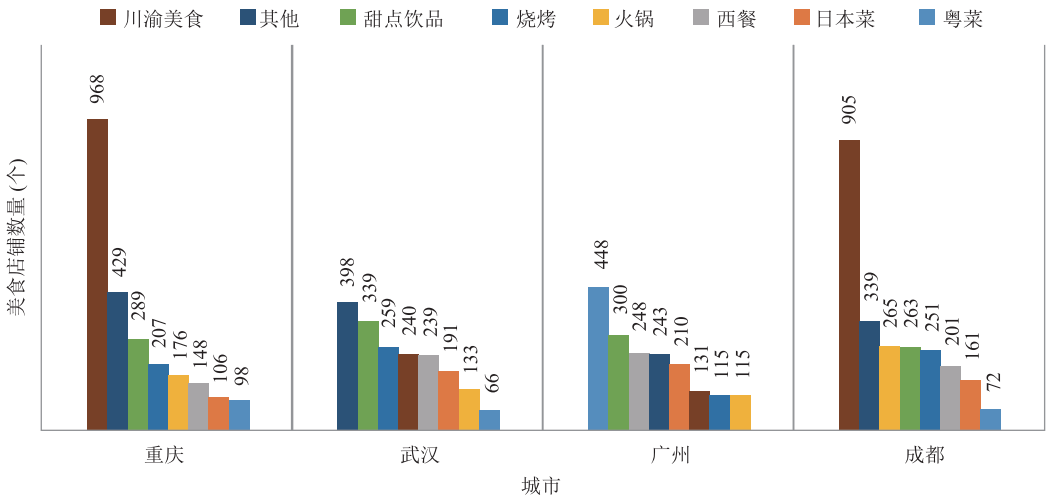


图 2　各地不同种类美食店铺数量

Fig. 2　Quantity of different cuisine types of restaurants across cities

不匹配，因此需要考虑通过地图变形改善地图的可读性。

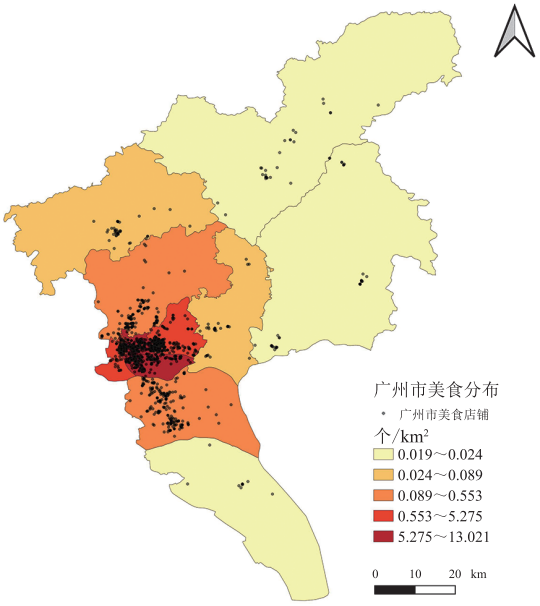


图 3　广州美食店铺空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of restaurants in Guangzhou city

4　方法总览

美食分布在地理空间上存在一定差异：热闹的市中心往往聚集大量美食，而较为偏远的郊区的美食分布则较为稀疏。因此，本文提出以美食指标驱动的地图变形方法为核心的美食地图智能生成方法。

本文方法的总体技术流程为：数据采集和预处理、美食指标驱动的地图变形、美食空间要素综合和布局、美食地图风格化设计，如图 4 所示。

(1) 数据采集和预处理。首先，对所采集的社交美食数据进行预处理，包括数据筛选、坐标转换等操作；其次，以较高质量的美食店铺为主要实验对象，将美食数据的筛选条件经验性地设定为“用户评论数≥500 条，评分≥4 星，各分项评分≥3.9 分”，经筛选获得广州数据 2 259 条，武汉数据 2 673 条，成都数据 2 752 条，重庆数据 2 753 条；最后，对筛选后的美食店铺的文本地址信息进行地理编码，获得经纬度坐标。

(2) 美食指标驱动的地图变形。首先，针对预处理后的美食兴趣点 (point of interest，POI) 数据，按照 POI 地理位置分布，对城市进行泰森多边形划分[36]，生成城市美食的矢量多边形数据；其次，利用基于密度的应用空间聚类 (density-based spatial clustering of applications，DBSCAN)[37] 算法进行基于美食分布密度的聚类分析，得到城市内的美食聚簇；最后，根据聚类结果，将属于相同美食聚簇的多边形合并，生成以城市美食聚

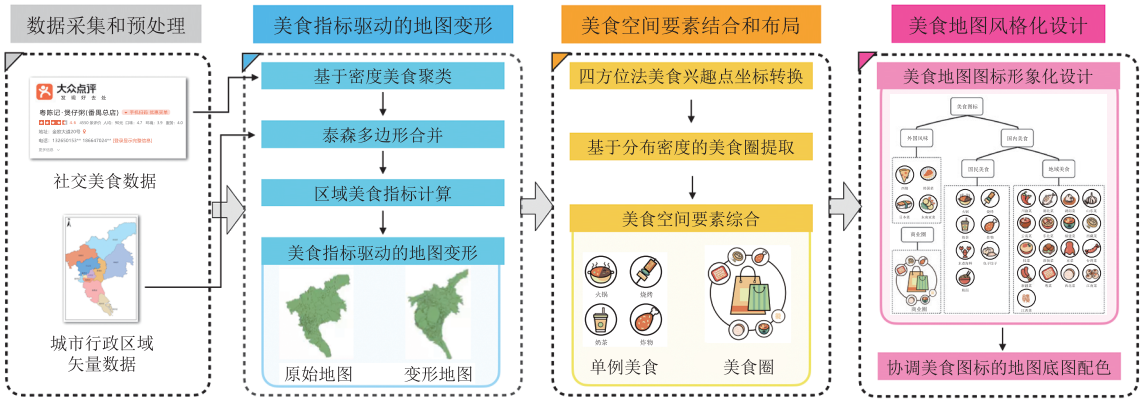


图 4　城市美食地图制图方法总览

Fig. 4　Overview of mapping techniques for urban food map

簇为单位的矢量多边形数据，作为地图变形的基底。

(3)美食空间要素综合和布局。首先，由于地理空间位置的约束，美食分布与地理空间关系存在不匹配的情况，因此，本文提出美食指标驱动的地图变形(第 5 节)，通过变形地图对地理空间关系进行松解耦，按美食指标大小对空间进行“按需分配”；其次，针对每个美食聚簇，进行“美食指标”的计算，美食指标包括属性数据的描述性统计指标、基于美食类型的多样性指标和优势度指标；最后，以美食指标为权重，通过 Cartogram 算法[33]对地图进行变形，得到与城市美食数据内涵一致的城市地图底图。

(4)美食地图风格化设计。首先，以变形后的城市地图为载体，对美食空间要素进行综合和布局(第 6 节)；其次，利用“东南西北”这一常见的方位判断法，建立地图变形前后的坐标转换关系，完成变形后的美食空间要素的位置布局；最后，对于变形布局后的美食店铺空间要素，利用 DBSCAN 算法得到城市中存在的美食圈(即小范围内聚集大量美食店铺)，以此进行空间要素综合，减小美食圈内美食图标的重叠。

为实现美食的形象化和风格化表达，针对美食数据中的美食类型，建立层次化的美食种类关系，而后基于各类美食选取其中典型的食物，作为美食地图符号形象化设计的依据，设计出一套完整的风格化的美食图标(第 7 节)，并基于美食图标风格提取对应的地图配色方案，最终形成风格化的城市美食地图。

5　美食指标驱动的地图变形

5.1　基于美食分布的密度聚类

美食指标驱动的地图变形需要将美食指标属性与空间区域要素紧密结合。通过将这些指标作为数据基础，可以根据美食相关数据对地图进行动态调整和变形，从而更直观地反映各城市或各区域的饮食特色和差异。第 3 节收集的社交美食数据是离散数据(即点状分布数据)，为了进行地图变形，我们需要将这些数据映射到一个连续的地理空间上，形成带有美食指标数据的地理空间单位，这些地理空间单位将组成地图变形所需要的地图底图。若以常用的行政区域或交通分析小区作为地理空间单位，以社交美食数据的相关统计作为行政区域或交通分析小区的属性，则不仅会出现丢失美食 POI 个体分布信息的情况，而且通常会导致由常用的区域划分聚集结果驱动的变形效果与真实美食分布存在较大偏差。在对美食社交数据的探索中(第 3 节)，发现美食 POI 通常会以美食圈的形式分布在商圈、社区等地方。

因此，本文基于美食 POI 密度分布的聚类结果构建真正反映美食分布的城市区域划分，以此作为后续构建城市美食矢量多边形的地理空间单位参考。

本文利用具有代表性的 DBSCAN 算法对城市美食 POI 进行基于美食分布的密度聚类，以发现城市美食聚集区域，即城市美食圈。DBSCAN 算法包含两个参数：邻域半径和最小聚簇规模，将一个数据点的邻域半径内的点数量大于最小聚簇规模的情况定义为密集，该数据点定义为核心点。通过核心点的密度可达关系，可以导出最大密度相连的样本集合，定义为簇。DBSCAN 算法不仅能在样本点集合中找到符合条件的高密度聚集簇，还能在包含噪声的空间数据库中划分出任意形状的聚类簇，而且不需要事先知道聚簇数量，十分适合城市美食圈的提取。广州市美食 POI 的密度聚类结果如图 5 所示，包括美食 POI 聚集区域和稀疏分布的单例美食 POI。

5.2　美食区域多边形构建

首先，利用泰森多边形(Voronoi 图)对城市进行基础泰森多边形划分。泰森多边形是一种由点内插生成面的方法，每个多边形里面只有一个点。因此，基于美食社交数据构建的每个泰森多边形对应唯一一个美食 POI，保留该美食 POI 与其他美食 POI 的邻近拓扑信息，在本节的地图变形应用中具有适配性。其次，基于 5.1 节的美食分布密度聚类结果，将属于同一聚类的美食 POI 对应的泰森多边形进行合并，生成以美食聚类区域为单位的综合泰森多边形。最后，将矢量多边形数据根据对应城市的真实轮廓进行裁剪，得到近似城市真实空间形状的美食区域矢量多边形数据(广州市泰森多边形构建结果如图 5 所示)。

5.3　区域美食指标计算

针对每个区域(即每个泰森多边形)，本文提出美食指标概念，对区域内的美食 POI 种类、评分等属性进行量化评估，作为地图变形的驱动数据。为满足不同美食地图的观测目的，本文提出了统计指标、多样性指标和优势度指标，从不同角度对区域内的美食进行刻画。

5.3.1　统计指标

统计指标主要对区域内美食 POI 的数量和种类进行统计，如区域内美食 POI 的总数量和类别数，某特定类别的美食 POI 数量，区域内美食 POI 的平均评分、平均价格和平均分项评分等。

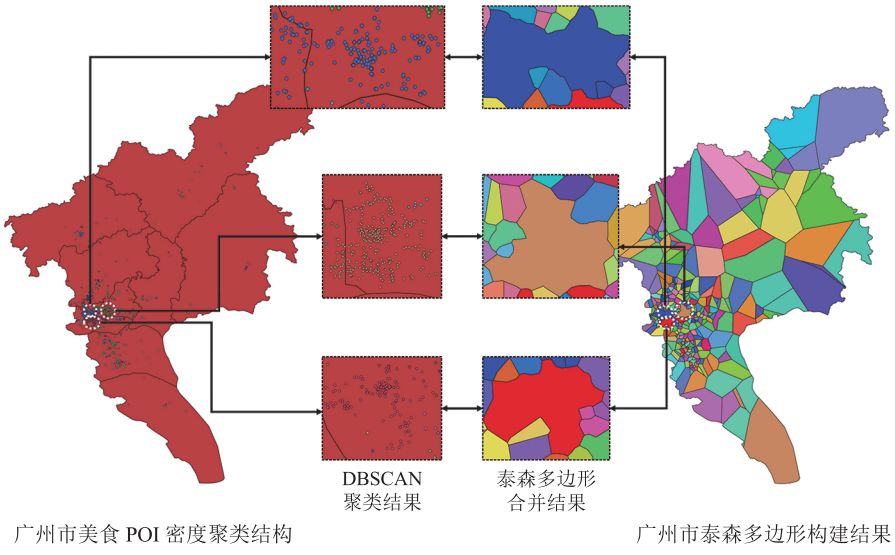


图 5　城市美食 POI 密度聚类和泰森多边形构建

Fig. 5　Urban food POI density clusters and construction of Thiessen polygons

5.3.2 多样性指标

为更细致地衡量区域内的美食多样性，本文在统计指标的基础上，选择辛普森多样性指数和香农维纳多样性指数这两种常用的多样性指标进行计算。

多样性主要考虑两个方面：体现种类丰富性的丰富度(richness)和数量分布均匀性的均匀度(evenness)。辛普森多样性指数和香农维纳多样性指数均可同时表达丰富度和均匀度，但各有侧重，其中，辛普森多样性指数更关注丰富度；而香农维纳多样性指数则更偏重于均匀度。

辛普森多样性指数(Simpson's index of diversity)[38]表征在一个集体样本中随机抽取两个个体，两个个体属于不同类别的概率，可表示为$1-D$。其中D为辛普森指数(Simpson's index)，可表示如下：

$$D=\sum_{k=1}^{S}\frac{n_k\times(n_k-1)}{N\times(N-1)} \tag{1}$$

式中，n为单一类别的个体总数；N为所有类别的个体总数；k为第k个物种；S为物种类别总数。

原始的辛普森多样性指数的取值范围为(0,1)，数值越大，多样性越高。本文利用辛普森指数的倒数$1/D$衡量区域内的美食多样性，指数取值范围为(1,+∞)，数值越大，多样性越高。该处理方式得到的指标值在不同区域中的数值差异更明显，更适用于地图变形可视化展示。

以城市美食辛普森多样性指数为变量驱动的美食地图可表达各区域内美食类型的丰富度。

香农维纳多样性指数(Shannon-Wiener's index of diversity)[39]基于信息论的多样性指数计算方法，来源于信息熵。信息熵H用于描述各类个体在群体中出现的不确定性，群体中存在的种类数越多，个体的种类的不确定性就越高，可表示如下：

$$H=-\sum_{k=1}^{S}p_k\times\log_2 p_k \tag{2}$$

式中，p为某个物种的个体数占群体总个体数的比例。

香农维纳多样性指数E在信息熵的基础上考虑了种类的均匀性，表示为$E=H/H_{max}$，$H_{max}=\log_2 S$。其中，H_{max}为最大多样可能性；S为群体内存在的种类数。香农维纳多样性指数越大，群体内各类别的分布越均衡。

以城市美食香农维纳多样性指数为变量驱动的城市美食地图可表达各区域内各美食类型数量的均匀度。

5.3.3 优势度指标

本文还通过优势度指数判断各个区域内是否有优势美食。贝格派克(Berger-Parker)指数[40]是常用的优势度指数，考虑了总个体数和最优势种类数量的比例关系，体现了优势种类在群体中的作用，表示为N_{max}/N。其中N_{max}为最优势种类的个体数量。

5.4 地图变形

将5.2节构建的城市美食区域矢量多边形和5.3节计算得到的区域美食指标进行连接，得到地图变形需要的原型地图数据。

本文基于Dougenik等[33]于1985年提出的Cartogram算法，采用复杂连续的面状地图变形算法完成地图变形。在变形算法中，各多边形边界点的变形移动由该多边形所有的邻接多边形对其施加的力总和产生，表示如下：

$$\boldsymbol{F}_{ij}=\begin{cases}\dfrac{(p_j-q_j)p_j}{d_{ij}}, & d_{ij}>p_j\\ (p_j-q_j)\left((4p_j-3d_{ij})/p_j\right)\left(d_{ij}^2/p_j^2\right), & d_{ij}\leqslant p_j\end{cases} \tag{3}$$

式中，$\boldsymbol{F}_{ij}$为多边形j对点i的作用力；P_j为实际面积除以π后的平方根(即以相同面积的圆形半径拟合相同面积的多边形质心到边界的平均距离)；q_j为预期面积除以π后的平方根；d_{ij}为多边形j的质心到点i的距离。上述实际面积为多边形的测量面积，通过将每个多边形的实际面积除以

所有多边形实际面积的总和，完成对多边形的实际面积的标准化处理，可以消除多边形面积尺度差异对算法的影响；预期面积为各多边形驱动变形的主题变量或属性值，在本文的应用场景中，该变量为各区域的美食指标，同样地，将每个多边形的预期面积除以所有多边形预期面积的总和进行标准化处理，可更好地控制和平衡不同尺度的指标变量对算法的影响，提高算法的鲁棒性。

驱动多边形边界点移动的力 $\boldsymbol{F}_{ij}$ 由邻接多边形的质心作用于多边形的边界点，与期望面积和实际面积的差异成正比，并随质心和边界点的距离增加而衰减。所有邻接多边形所施加的力的合力将推动多边形边界点移动至新的位置。期望面积大于实际面积的多边形向其邻接多边形扩张，距离越近的多边形影响越大。Cartogram 算法最终在不影响地图拓扑结构的情况下，通过改变地图多边形面积强调变量分布。

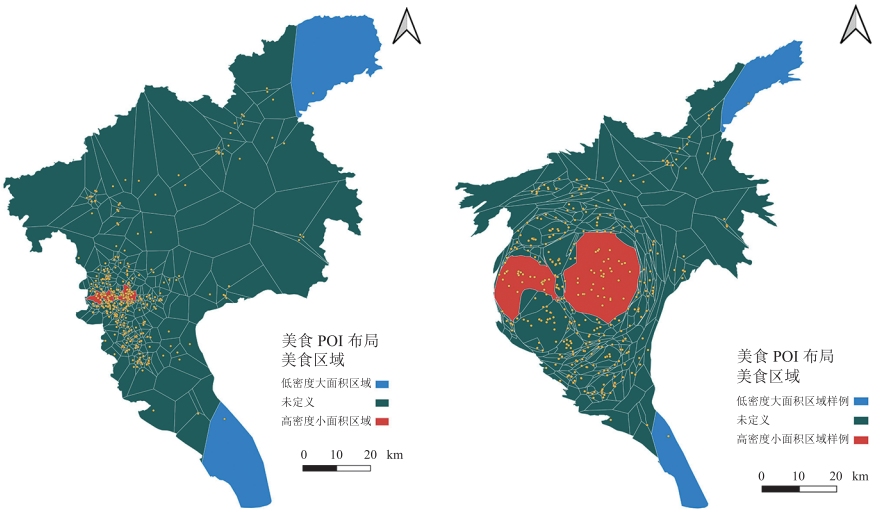
本文将美食指标作为驱动变形变量，通过 Cartogram 算法对城市美食区域地图进行有效变形，使得美食密度较高的区域在地图上的面积相对较大，从而提高城市内美食分布统计情况的可视化效果。以区域内美食 POI 数量作为变形驱动参数，地图变形前后的对比如图 6 所示。其中，红色区域为高密度小面积的样本区域，经过变形后，其相对面积有所增大；蓝色区域为低密度大面积的样本区域，变形后，其相对面积有所减小。如果不进行地图变形处理，则原始的城市地图空间中将存在明显的视觉遮挡问题，无法清晰、有效地传达美食分布信息。

6　美食空间要素综合和布局

在常用的地图展示尺度下，有限的地图空间内展示所有的空间要素是不现实的，且不利于信息的有效传达，因此需对空间要素进行选取与综合。

6.1　空间要素的自动选取

本文基于以下 4 点因素对美食空间要素进行选取。(1) 代表性：选择具有代表性和热门的美食空间要素，以更好地代表区域美食特色。(2) 多样性：除了选择代表性的美食空间要素外，还应根据区域内美食类别的多样性，保留不同类型的美食。(3) 有限性：选择的空间要素数量不超过对应区域所能展示图标的极限，防止视



(a) 原始地理空间　　(b) 美食驱动变形的地理空间

图 6　地图变形前后对比

Fig. 6　Comparison before and after Cartogram

觉遮挡。(4)密度等比例：选择的美食数量能展示各区域之间的美食空间要素的原始数量差异。

基于上述因素，本文设计了美食空间要素选取算法：

步骤 1：找出变形后面积最大的区域(即美食空间要素最多的区域)，根据面积和图标大小计算该区域能放置的最大图标数量(满足有限性)，以该数量为区域要素选取基准，其他区域进行等比例的数量选取。

步骤 2：根据区域内各美食类型的比例和步骤 1 得到的各区域美食空间要素的最大选取数量，确定区域内各类型美食空间要素的选取数量(满足密度等比例)。

步骤 3：根据用户评论数或评分，将各类型美食的空间要素从高到低进行排序(满足代表性)，根据各类型美食需要选取的数量，选择排名高的美食空间要素(满足多样性)。

6.2 空间要素布局

由于地图变形后各美食区域的几何属性和空间属性都发生了变化，因此，各美食空间要素无法以原始的空间位置直接进行布局。本文提出“东西南北” 4 方位坐标变换方法，该方法在保持地图变形前后各空间要素在 4 个方位的相对关系的前提下，基于地图变形前后各美食区域的空间关系演变，对各空间要素的坐标进行映射。

首先，对变形前后的地图进行空间几何属性的计算，包括变形前后各美食区域多边形的面积(S_0, S_1)，变形前后多边形的中心坐标 $C_0\left(X_{C_0},Y_{C_0}\right)$、$C_1\left(X_{C_1},Y_{C_1}\right)$。其次，基于以上属性进行变形前后美食空间要素坐标的映射，如式(4)～式(5)所示。

$$X_1=X_{C_1}+X_{C_1}\times\left(\frac{X_0}{X_{C_0}}-1\right)\times\sqrt{\frac{S_1}{S_0}}\times k \tag{4}$$

$$Y_1=Y_{C_1}+Y_{C_1}\times\left(\frac{Y_0}{Y_{C_0}}-1\right)\times\sqrt{\frac{S_1}{S_0}}\times k \tag{5}$$

式中，(X_0, Y_0)为变形前空间要素的坐标；(X_1, Y_1)为变形后空间要素的坐标；k 为经验系数。式(4)～式(5)主要通过空间要素点与美食区域中心点的相对位置关系进行变形前后空间要素位置的映射。其中，$\frac{X_0}{X_{C_0}}-1$ 和 $\frac{Y_0}{Y_{C_0}}-1$ 分别为空间要素与区域中心点在东西方向和南北方向的相对位置系数，若大于 0，则空间要素点位于区域的东部/北部；若小于 0，则空间要素点位于区域的西部/南部。面积比系数引入了地图变形前后美食区域几何属性的变化，包括面积的增大或缩小和 X、Y 两个维度的拉伸或收缩。最后，由于地图变形具有牺牲空间信息和保留拓扑信息的特点，因此加入一个经验系数 k，在保留要素间拓扑关系的情况下，进行要素间距离的调整，方便美食空间要素在地图中的展示。

在对地图进行变形后，仍存在某些区域的地理面积较大，但美食 POI 分布相对稀疏的情况。当采用统一标准对这些地理区域进行美食 POI 的筛选时，会导致地图内容呈现出空白或稀疏的趋势，从而降低该区域用户的使用体验和地图的实用性。为解决上述问题，本文设计了一种动态数据筛选指标，在进行空间要素布局的过程中，此指标将根据变形后各区域的美食 POI 密度调整数据源的筛选标准(如将评论数的筛选标准由大于 500 降至大于 300)，具体实现效果如图 7 所示。

6.3 空间要素综合

在空间要素的自动选取和布局后，一些分布密集的美食空间要素(如同一商圈里的美食 POI)在地图上仍会存在重叠，因此需进行美食空间要素综合，将分布密集的美食空间要素以“美食圈”的综合要素形式展现。

美食圈指经地图变形后与临近美食 POI 距离仍过近而形成相互遮挡的美食 POI 的聚簇。本文利用 DBSCAN 算法对布局后的美食空间要素进行密度聚类，获得城市中的美食 POI 聚簇，形成美食圈，并将美食 POI 聚簇的质心作为美食圈

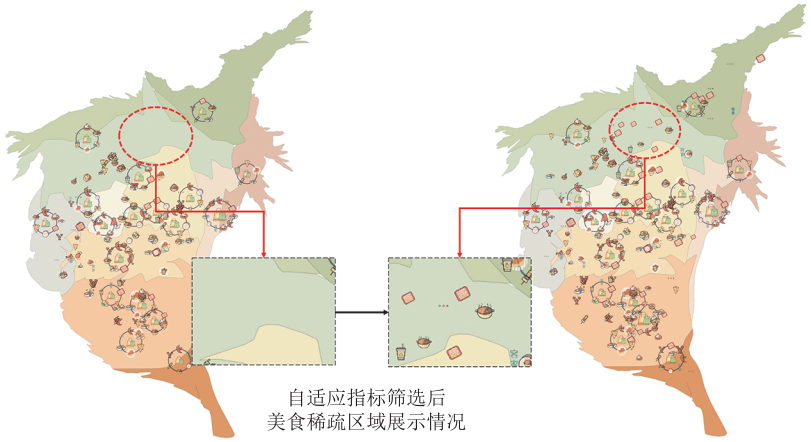


图 7　使用动态筛选指标后的空间要素布局

Fig. 7　Layout of spatial features after applying dynamic filtering criteria

的中心，将美食圈内的美食 POI 均匀布局在以美食圈中心为圆心的一定半径的圆环上。为避免图标之间重叠，实现综合的目的，圆环半径的设置考虑了美食 POI 数量(NPOI)和图标大小(半径 ricon)。对密集的美食空间要素进行美食圈综合后，图标重叠的情况得到了改善，如图 8 所示。

7　美食地图风格化

在完成地图变形和空间要素的选取与综合后，本文通过对美食图标与地图底图进行样式设计和风格对齐，完成对城市美食地图的风格化。

7.1　美食图标设计

一个好的图标设计能通过图化语言直观地传达其中的信息，一个好的美食图标设计应能形象化地反映其美食类别。本文先在各类美食中提取典型的美食元素，再对其进行符号化，最后形成图标，展示在地图上。

7.1.1　美食元素提取

美食元素指能代表某类美食的一些关键、经典成分，如火锅类美食中“乘汤的锅”，饮品类美食中的“杯子”。在提取美食元素时，首先需要对美食的种类进行明确划分。美食种类繁复、形态不

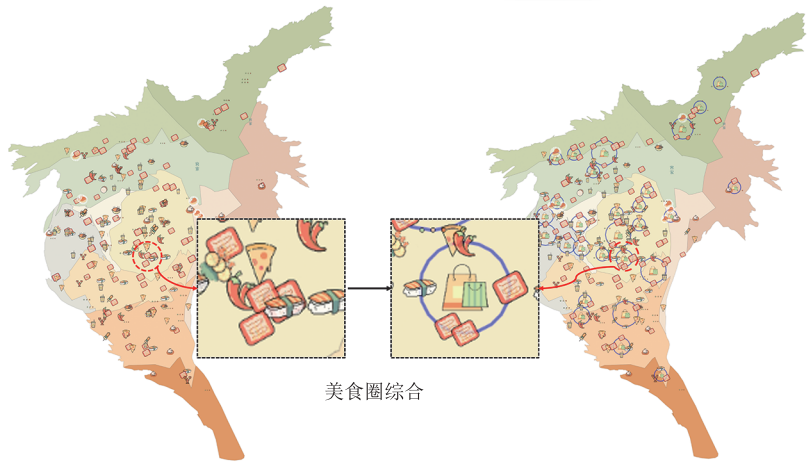


图 8　美食圈综合

Fig. 8　Generalization of “food court”

一，对美食进行分类的方法多种多样。不同区域的气候、地形、物产和习俗存在明显差异[41]，导致孕育的地域美食也互有区别，因此依据地域划分是一种较为主流的美食分类方法，正如高知名度的“八大菜系”所属菜品，带给人的信息除却饮食文化和舌尖体验外，同样包含地理认知信息。基于此，本文将原始数据中的美食 POI 先按照地域分为外国风味、国民美食(国内普遍的美食)和地域美食(国内的各地方菜) 3 大类别，再细分为 32 种不同类型，如表 1 所示。

表 1 美食分类

Table 1 Definition of types of food

一级分类	二级分类
外国风味	西餐 韩国菜 日本菜 东南亚菜
国民美食	火锅 烧烤 甜点饮品 炸物 水煮海鲜 包子饺子 粉面
地域美食	川渝菜 湖北菜 湖南菜 山东菜 云南菜 东北菜 福建菜 西藏菜 桂菜 淮扬菜 京菜 台湾菜 新疆菜 粤菜 西北菜 江南菜 江西菜 贵州菜 徽菜 客家菜 南京菜

由于各个美食种类所含的美食数目较多，因此，为使各类美食元素之间具有明显的区分性，同时也具备能够概括本类的代表性，本文采取如下方法提取各类美食的元素：

(1)选取该类别中知名度前 3 且形态相对简单的美食作为该类别的代表菜；

(2)若代表菜的形态较统一、单调，则选取其中能有效表达美食形态的最小单位作为美食元素；

(3)若代表菜的形态较复杂，则提取整个形态，将其简化后作为美食元素。

7.1.2 美食元素符号化

在前文的基础上，对提取到的美食元素进行符号化。

美食图标作为整体图形符号，依靠视觉传达美食信息。一个形象的图标能迅速、准确地将其蕴含的信息传达给人，但过于形象的图形不仅在设计上复杂困难，而且不具备“图标”简洁、浓缩和便于记忆的特性。偏抽象的图形更为简洁，但传达的信息量少，在图标种类较多的情况下易于混淆[42]。因此，本文尝试在形象与抽象之间寻找平衡，达到既有图标的简洁，又能传递足够信息的效果。

在符号形象设计方面，根据格式塔原则中的相似性、连续性等相关原则，采取线面结合的方式对美食元素进行符号化。基于“前景-背景”法则[43]，在符号化过程中，尽量用线条凸显美食的轮廓与边界，增强美食符号的整体视觉感知。基于相似性法则，人们倾向于将形状、颜色等属性相似的图形看作整体，而在符号内部则去线条化，采用面状图形表达，以增加连续感，减少紊乱感，形成图形的内部协调。对于构成较为单一的美食元素(如山东菜“大蒜”图标)来说，图标以线条为主，旨在突出明显的美食特征，便于辨认；对于相对复杂的美食元素(如东南亚菜“柠檬虾”图标)来说，图标则多采用面状图形，以清晰、有效地传达美食信息。

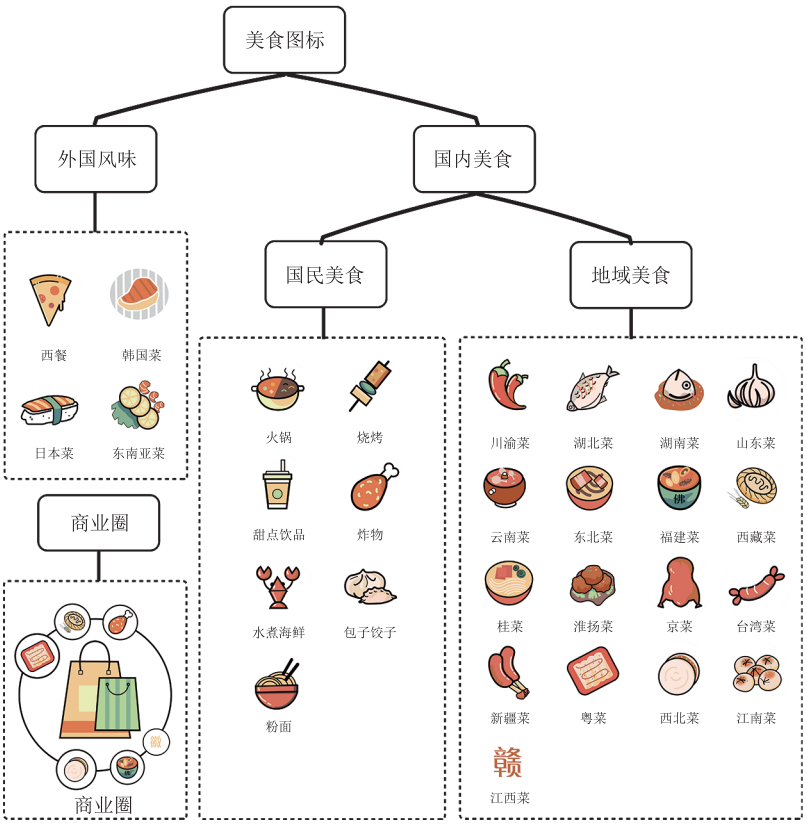
在符号色彩设计方面，为适应不同地图风格，丰富地图外观，本文设计了两套风格迥异的符号配色：第一套采用明亮色彩，主色调为橙、黄，辅色调为棕、绿、白，色彩搭配更贴合实际美食；第二套配色暗黑奇幻，主色调为蓝、红，辅色调为棕、绿、橙、白，饱和度与明度较低，表达较抽象，此外，图标色彩还增加了阴影与明暗对比，以凸显视觉效果。最终设计的美食图标如图 9 所示。

7.2 美食地图整体风格化

地图整体风格化首先根据图标色彩构建地图底色逻辑，然后进行地图风格设计，将选定的色彩合理地安排在美食地图上，以统一图标与地图的风格。

7.2.1 地图底色逻辑构建

为使美食地图在视觉效果上维持统一的风格，本文为地图底色的选取构建了设计逻辑。首先提取美食图标的色彩组成，发现图标色彩的色



(a) 配色方案一

(b) 配色方案二

图 9　美食图标设计

Fig. 9　Design of food icons

相集中分布在“红-橙-黄”区间，少量分布在绿色区间。据此，将美食的色彩进行融合，将色相区间相近的色彩进行合并，再根据每类色彩的主要特点挑选出一个代表色，最终确定为“栗色”“浅褐色”“绿色”。

根据提取出的美食图标代表色，本文对地图底色组成进行了进一步设计：①协调性，地图底色应与美食图标的色彩相呼应，保证美食地图风格的统一与美观，因此，利用色相偏移对代表色的色相进行扩充；②衬托性，地图底色主要用于衬托美食图标，不能“喧宾夺主”，影响美食图标正常的视觉呈现，所以应适当降低代表色的饱和度，同时，为使美食地图的配色更加简洁明快，可在一定程度上提高代表色的明度。最终选取以下几种色彩作为地图底色的基本组成，如图 10 所示。

7.2.2　地图风格设计

地图风格设计以地图底色逻辑为依据，将上文挑选出来的若干色彩合理地分配在美食地图上，实现美食图标与底色整体风格的统一。为追求舒适、平衡的视觉效果，邻近区域的色彩之间应具有一定的联系，且对比不宜过于强烈。因此，本文在每个城市的中心区域选取饱和度低、明度高、对比度低的色彩作为底色，按照由中心

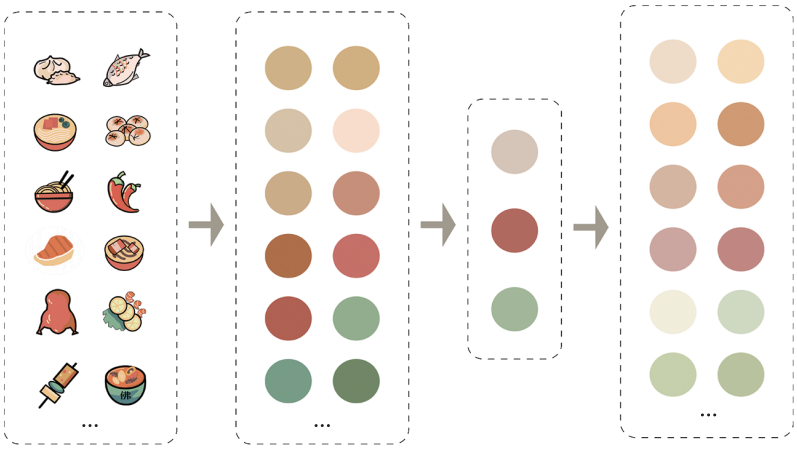


图 10 地图底色逻辑构建过程

Fig. 10 Construction process of map base color logic

向四周的方向，各区域的色彩饱和度逐渐提高。为实现统一地图风格下的细分差异化，本文根据不同城市的美食构成调整色相的比例，使地图风格更贴近地域特色(图 11)。例如：广州市美食口味较为清淡，以粤菜为主，故在配色选择上更加倾向于浅褐色、淡黄色和淡绿色等；而重庆市美食口味偏好麻辣，以川渝菜为主，故在配色选择上倾向于红色、橙黄色等。

8 案例展示

本文采用“前端-后端” Web 框架实现城市美食地图的智能生成和可视化；使用 Python 实现网络爬虫，并完成美食数据的收集和预处

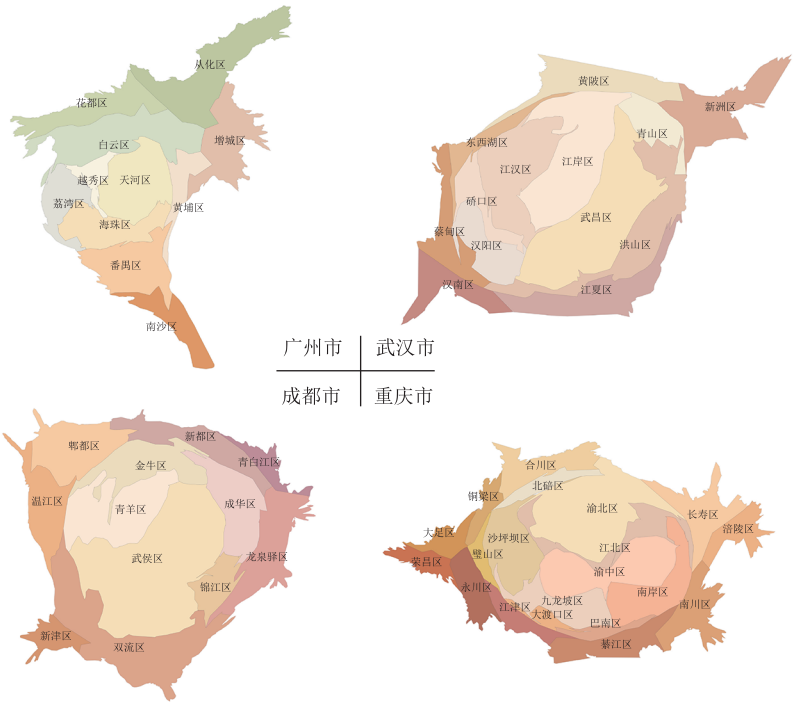


图 11 4 个城市的风格化变形地图

Fig. 11 Stylized Cartogram maps of four cities

理；结合 QGIS 中的泰森多边形构建、Cartogram 等分析工具完成地图风格化和变形；基于 Geopandas、Shapely 等 Python 数据处理库，完成区域美食指标的计算，并与 QGIS 连接完成美食数据驱动的地图变形；在前端通过可视化库 Echarts.js，完成渲染和交互。该城市美食地图可视化探索系统可通过网址(tasteofcity.szuvis.com/)在线访问。

上述城市美食地图可视化探索系统提供 4 个城市的美食地图浏览和 POI 信息查看功能。用户可通过菜单选择城市和驱动地图生成所使用的美食指标。确认选择后，主界面将展示基于本研究方法生成的城市美食地图。在与地图底图的交互过程中，用户可查看各区域的美食统计数据，而当用户与地图上的美食标签进行交互时，会显示相应美食 POI 的详尽信息。此外，标签的尺寸将根据美食 POI 评分、评论数等评估指标的变化进行调整。基于以上技术流程，本文从以下几个方面对广州、武汉、重庆和成都 4 座城市的美食地图进行探索。

8.1　高分美食分布地图

以“区域内高评分(评分＞3.9)美食 POI 数量”为美食指标的案例如图 12 所示。整体来看，4 座城市呈现出相似的美食分布特征，即 4 座城市的美食 POI 均主要分布在中心城区，而城市郊区的美食分布则较为稀疏。同时，每个城市的美食分布又各具特色：广州市以粤菜为主，美食 POI 类型丰富；武汉市的各种美食类型均匀分布，湖北菜稍微突出；而成都市和重庆市则是川渝菜和火锅占据多数。

通过地图变形，可将美食信息空间与实际地理空间完美地对应起来，从而使美食分布得到较充分全面的展示。以生成的广州市美食地图为例，通过对比变形前后各行政区域的面积占比(区域面积/广州市总面积)变化情况(如表 2 所示)，可观察到不同的行政区域面积变化。美

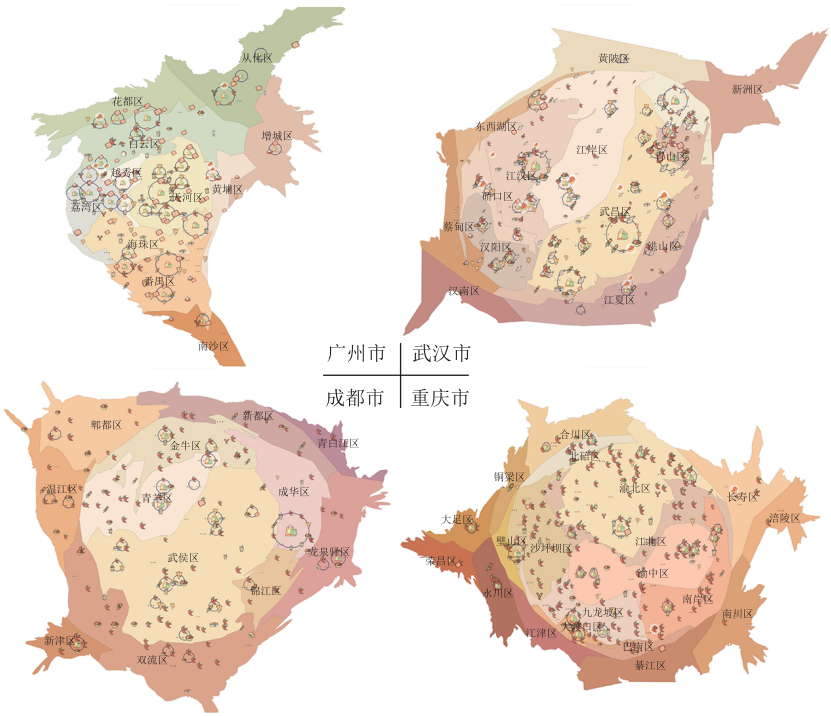


图 12　4 个城市的高分美食分布地图

Fig. 12　High-scoring restaurants distribution map of four cities

表 2 地图变形前后广州市各区域地图面积占比变化情况

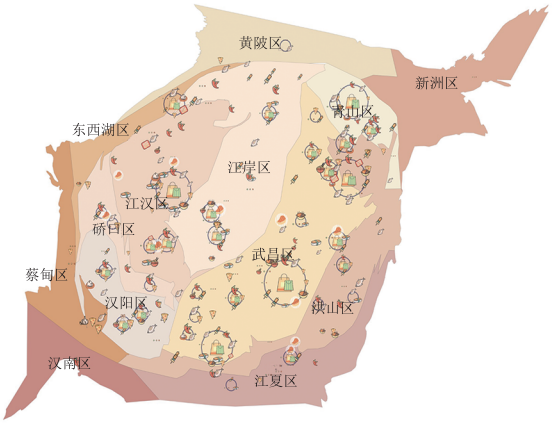
Table 2 Changes in the proportional area of districts in Guangzhou before and after Cartogram

行政区名	变形前面积占比 (%)	变形后面积占比 (%)	面积占比变化 (%)	美食 POI 数量 (个)
天河区	1.85	11.63	9.78	636
海珠区	1.23	8.20	6.97	426
越秀区	0.45	4.78	4.33	386
番禺区	7.02	10.49	3.47	253
白云区	8.98	14.99	6.01	237
荔湾区	0.85	6.00	5.15	148
花都区	13.09	8.78	−4.31	49
从化区	26.83	15.12	−11.71	42
黄埔区	6.53	4.13	−2.40	38
增城区	21.81	10.17	−11.64	29
南沙区	11.37	5.71	−5.66	14

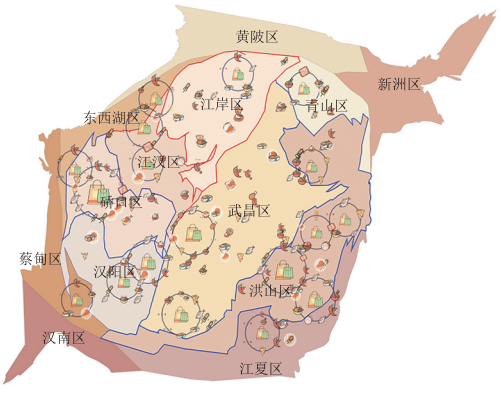
食 POI 数量排在前 3，但实际面积排在末端的天河、海珠、越秀 3 个中心城区在美食地图中的相对面积都在变形过程中得到放大，并相应地展示了较多的美食空间要素。而那些实际地理面积大但美食 POI 分布稀疏的地区，如从化区和增城区，则在地图变形过程中被适当缩小，以较准确地反映美食空间分布的实际情况。

8.2 美食多样性地图

以辛普森多样性指数为美食指标驱动生成的武汉市美食地图案例如图 13(b)所示，与高评分 POI 数量指标驱动案例(图 13(a))相比，以蓝色线条突显的区域的相对面积得到了增大，与之相反，红色边界区域在多样性案例中则显示出相对较小的面积。武汉市各行政区在辛普森多样性指数和高评分 POI 数量两个美食指标上的具体数据如表 3 所示。在辛普森多样性指数与 POI 数量指数的差距上，硚口区的差值为 0.192，位于正向差异的第二位；而江汉区的差值为 −0.354，位列负向差异的首位。两个区域在两个案例中的相对面积变化与上述数据呈相应的关联性，由此推断，不同的美食指标能有效反映各个区域的美食分布状况，表明地图智能生成方法在针对不同指标和专题进行地图生成时的有效性。



(a) 高评分 POI 数量



(b) 辛普森多样性指数

图 13 武汉市高分美食分布地图和美食多样性地图对比

Fig. 13 Comparison of high-scoring restaurants distribution map and cuisine diversity map in Wuhan city

表 3　武汉市行政区美食指标统计

Table 3　Statistics analysis of food indicators by administrative districts in Wuhan City

行政区名	POI 数量	辛普森多样性指数
蔡甸区	0.032	0.044
东西湖区	0.076	0.141
汉南区	0.000	0.000
汉阳区	0.292	0.423
洪山区	0.455	0.736
黄陂区	0.023	0.055
江岸区	0.932	0.618
江汉区	0.614	0.260
江夏区	0.065	0.117
硚口区	0.176	0.368
青山区	0.163	0.188
武昌区	1.000	1.000

辛普森多样性指数用于揭示特定地区内美食 POI 种类的丰富性和均衡度。在对应的美食多样性地图中可以观察到，相对面积较大的地区在美食 POI 种类上展现出的丰富性和均衡度较高。通过对比图 13 中的美食多样性地图与图 14 中的区域美食种类柱状图可以发现，江汉区和江岸区均以湖北菜、甜点饮品和其他类别为主导美食，这两个区域在多样性中的均衡度不高。汉南区、黄陂区则呈现美食种类分布较少、丰富度较低的特点。而硚口区、洪山区内既包含丰富的美食种类，又没有明显的主导美食，因此，相对面积随着辛普森多样性指数增大而增大。利用多样性美食地图可以深入分析各区域的美食类型分布特征。此外，多样性美食地图也为非主流美食类型的美食店铺提供了展示空间，从而可以从美食种类的广度去发现城市美食的特色与魅力。

8.3　城市中的美食圈

美食地图对美食圈进行了提取和综合，让城市中的美食圈一览无余。如图 15 所示，武汉市美食地图中展示的美食圈与武汉市热门商圈、街区相对应：位于江汉区武广商圈的美食 POI 分布在武商 MALL·世贸、武商 MALL·武广等商场中，本文生成的地图以美食圈的形式，仅使用 9 个具有代表性的美食 POI，对武广商圈的 97 个热门美食 POI 进行了综合表达；位于洪山区和武昌区交界的美食圈与分布在街道口社区群光广场和未来城等商城的 200 个美食商铺对应；洪山区北部由 10 个美食 POI 组成的美食圈与徐东商区分布在沙湖路-岳家嘴区域的美食聚簇对应，该聚簇共有 102 个美食 POI。

8.4　“酒香不怕巷子深”单例美食

除了形成聚集效应的美食圈外，美食专题地图还展示了分布较为独立的美食店铺。

如图 15 所示，在武汉市美食地图中，位于洪山区的“我们家中餐厅”、江汉区的“八雲神川日本料理”和武昌区的“九田家黑牛牛肉料理”等高分店铺，若在原始的地图空间中则极容易被埋没在众多的美食 POI 中，再如位于汉南区的“巴人重庆老火锅”和青山区的“酒拾烤肉”等店铺，在原始的地图空间中，或许由于位置偏远，容易被忽略。

8.5　用户实验

为更好地评估美食地图的可视化感知效果，本文邀请 20 名受试人员进行用户调查实验，测试者年龄为 20～40 岁(平均值 $mean_{age}$=28.5，标准差 SD_{age}=6.17)，他们的专业背景包括地理信息、计算机等。实验通过 5 分量表问卷调查的形式收集感知反馈信息。

本实验主要评估本文生成的美食地图与手绘美食地图和传统电子地图在艺术性(即是否美观)、可用性(即是否可用于美食地理信息的搜索)和准确性(即是否可准确展示美食地理信息)上的差异(采用 5 分量表，1 为非常不满意，5 为非常满意)。

将本文生成的美食地图与手绘美食地图进行对比，结果表明：约 85% 的受试人员认为，手绘美食地图在艺术性上更具优势(手绘地图：

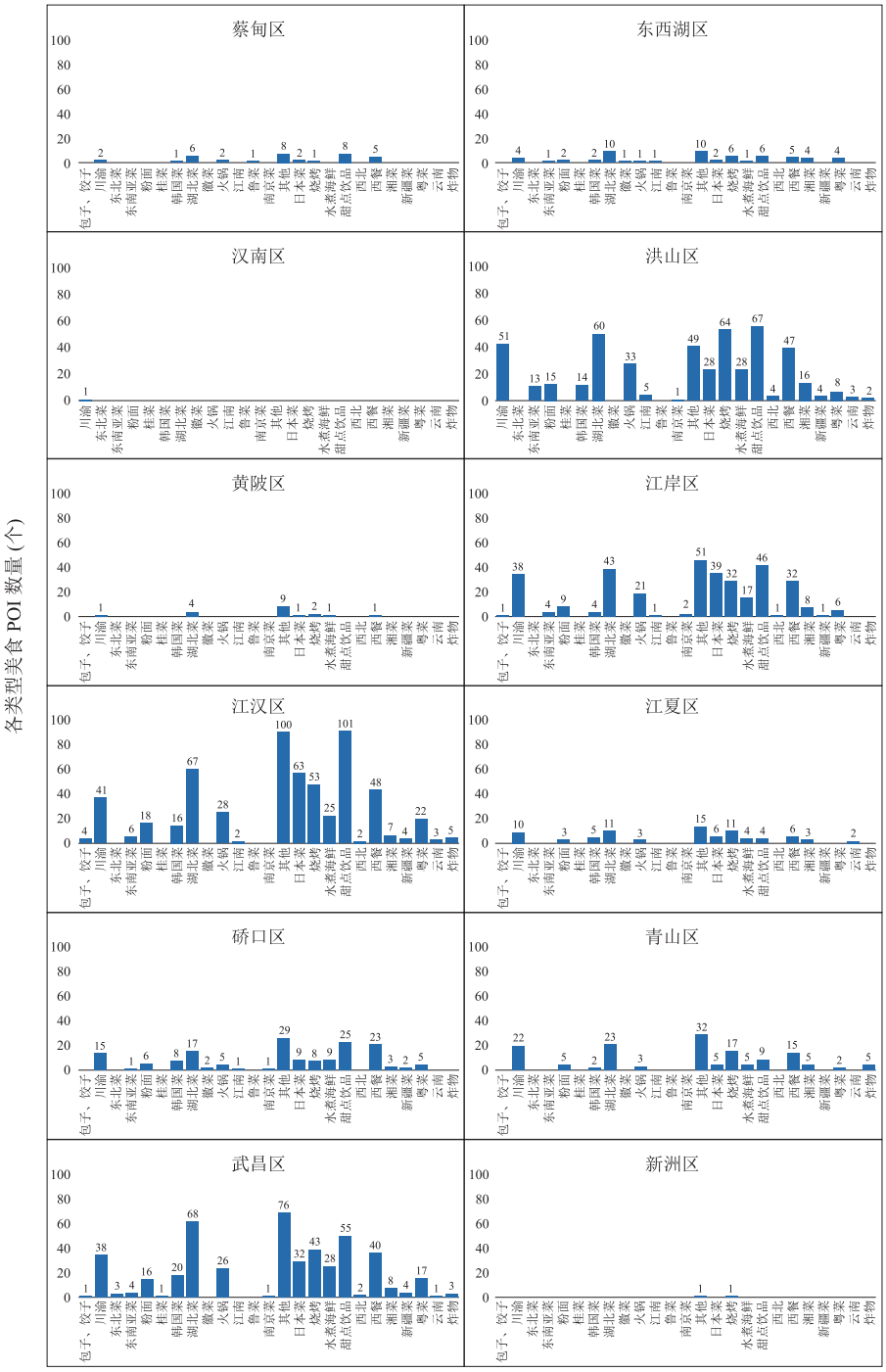


图 14　武汉市行政区内的美食 POI 柱状图

Fig. 14　Bar chart of food POI in the administrative districts of Wuhan city

mean＝4.5，*SD*＝0.98；本文地图：*mean*＝2.8，*SD*＝0.97。其中，*mean* 为受试人员 5 分量表评分的平均值；*SD* 为评分的标准差）；85% 的受试人员在可用性评分上对本文生成的美食地图评分更高，而 90% 的受试者认为本文生成的美食地图在空间位置等数据信息的表达上更准确。（手绘地图，可用性：*mean*＝2.8，*SD*＝0.91，准确性：*mean*＝2.6，*SD*＝0.99；本文地图，可

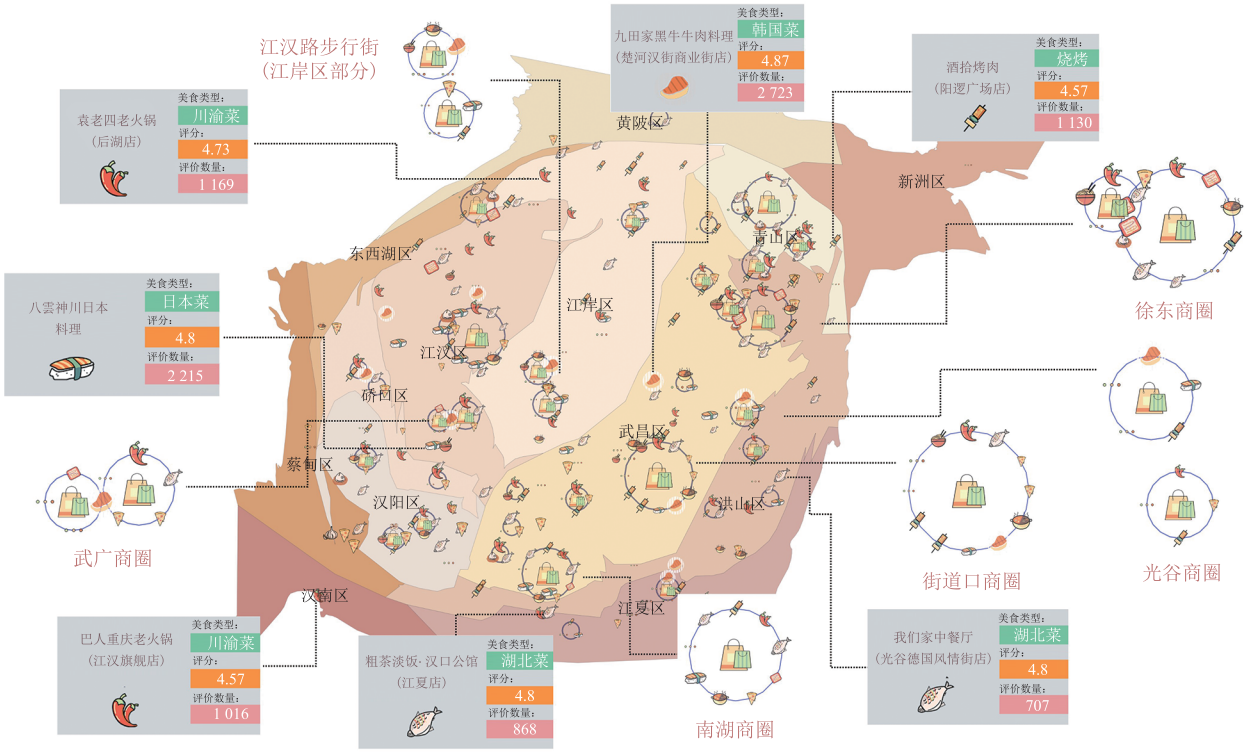


图 15　武汉市美食圈和单例美食店铺

Fig. 15　Food courts and stand-alone good restaurants of Wuhan city

用性：*mean*＝3.7，*SD*＝1.23，准确性：*mean*＝3.8，*SD*＝1.06)。

将本文生成的美食地图与传统电子地图进行对比，结果表明，近 100% 的受试人员认为，本文生成的美食地图的准确性和可用性更好。因此，本文对如下 3 个问题进行进一步问卷调查：(1)在本文生成的美食地图中，美食图标的重叠情况是否被有效减少；(2)本文生成的美食地图是否更有利于感知美食要素的空间关系；(3)在本文生成的美食地图中，美食圈综合是否能让用户更好地了解城市美食聚集。结果表明，所有参与者均认为变形处理可有效减少美食图标的重叠(*mean*＝4.7，*SD*＝0.60)。然而，对于变形处理是否会影响用户感知美食元素的空间关系，参与者的倾向较为分散，但整体上呈同意态度(*mean*＝3.2，*SD*＝1.28)。此外，17 名(85%)参与者认为，“美食圈”有助于他们对城市美食聚集空间分布的理解。

最后，本文对手绘美食地图和智能生成美食地图的优缺点，以及测试者对两种地图的偏好进行探讨。大部分参与者认为智能生成地图的优点为空间感知性较好、信息定向明确、空间信息传达准确、更新便捷；缺点为艺术性较差、表述过于单一、变形后的地理形状变化较大，不利于区域的识别。手绘地图的优点为美观、“更接地气”和“吸引眼球”；缺点为承载信息有限、实用性不足、设计和绘制耗时较长。在对两类地图的偏好上，测试者的选择几乎持平，其中 5 位参与者表示，希望能将两者的优势融合起来。

用户实验显示：本实验生成的城市美食专题地图在可视化城市美食空间分布和聚集情况方面具有有效性；但在艺术性方面，地图美感和对原始地理形状的保持欠佳，需在后续研究中进一步改进。

9 总结与展望

本文将大众点评社交媒体上的海量美食信息作为数据源，对其进行筛选和预处理后，计算区域统计性、多样性和优势性 3 个美食指标，并以此为驱动进行自动地图变形，然后在地图上对变形后的美食空间要素进行布局和综合，初步形成城市美食地图。通过设计出一套完整的风格化美食图标和地图底色配色，形成风格化的城市美食地图。此外，本文进一步搭建了在线 Web 网页，以展示城市美食地图，并通过案例详细介绍地图的最终成果和分析结论。

本文提出的方法不仅可实现智能化制图，还可自动完成数据获取、指标计算、地图变形、美食地图生成等主要步骤，不仅节省人力和时间，而且具有良好的可扩展性。对于不同的城市或者数据源而言，该方法都可适用，必要的地图表现差异可通过调整参数实现。而现存的专题地图设计和制作研究[44-48]主要侧重于地图设计，在制图方法上仍存在较多需人工参与的部分。本文方法引入了社交媒体数据，融合了机器学习算法和地图变形算法，在城市美食地图设计的基础上提出智能生成方法，在确保成果符合地图设计的情况下，降低制图步骤中人工参与的程度，在增加地图信息量的同时，节省设计和绘制的时间。此外，伴随深度学习算法的快速发展，一些基于遥感数据或其他空间大数据的地图智能生成算法[49-52]不断涌现。当前，基于深度学习和空间大数据的地图智能生成研究的重点是正确绘制可见的地形[53]或地物[54]，加快在线地图的更新速度，但基于遥感数据或其他空间大数据的地图智能生成算法生成的地图存在缺乏除地形或地物的类别外其他的属性语义的问题。而本文方法聚焦于城市美食，设计了适合美食语义表达的地图生成流程，考虑了美食空间要素图标的综合和布局，使生成的地图具有展示城市美食类型，分析城市美食 POI 空间分布特征的功能。未来，可进一步探索本文美食地图生成方法与基于深度学习的地图智能生成算法的融合，提高地图生成的精度和效率。本文设计的美食图标自成一套风格，可在后续制图中延续使用，已作为公开资源供大家免费下载使用，也可以为其他美食地图或相关设计提供参考。此外，未来还可结合当前的人工智能生成内容，探索更为智能的地图美食图标生成方法。

本研究生成的城市美食地图在制图效果上仍有瑕疵，主要体现在地图艺术性和地理形状变形过大等，在后续研究中，本研究团队将对方法进行优化，寻求和手绘地图设计的结合点，融入更多合适的人工智能算法。而在数据源方面，也会探索更多元的数据，以达到合适的制图效果。

由于时间限制，本文尚未完成全国范围内的城市美食地图制图，在线 Web 网页也有待完善，智能化制图系统也存在改进升级的空间。本研究团队将继续开展后续研究工作，并将对已有成果进行进一步优化。

参 考 文 献

[1] 管婧婧. 国外美食与旅游研究述评: 兼谈美食旅游概念泛化现象 [J]. 旅游学刊, 2012, 27(10): 85-92.
Guan JJ. Review of gourmet abroad and tourism studies: talking about the extensive phenomenon of the concept of gourmet travel [J]. Tourism Tribune, 2012, 27(10): 85-92.

[2] 廖克. 现代专题地图的发展特点和趋势 [J]. 测绘通报, 1979, (2): 1-4.
Liao K. Features and trends in the development of modern thematic maps [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 1979, (2): 1-4.

[3] Sun GD, Liang RH, Qu HM, et al. Embedding spatio-temporal information into maps by route-zooming [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2016, 23(5): 1506-1519.

[4] 杜清运, 任福, 侯宛玥, 等. 大数据时代综合性城市地图集设计的思考 [J]. 测绘地理信息, 2021, 46(1): 16-20.
Du QY, Ren F, Hou WY, et al. Thoughts on the design of comprehensive city atlas in the era of big data [J]. Journal of Geomatics, 2021, 46(1): 16-20.

[5] 郭仁忠, 应申. 论 ICT 时代的地图学复兴 [J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1274-1283.
Guo RZ, Ying S. The rejuvenation of cartography in ICT era [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1274-1283.

[6] 王家耀, 孙力楠, 成毅. 创新思维改变地图学 [J]. 地理空间信息, 2011, 9(2): 1-5+18.
Wang JY, Sun LN, Cheng Y. Innovative thinking change cartography [J]. Geospatial Information, 2011, 9(2): 1-5+18.

[7] 艾廷华. 大数据驱动下的地图学发展 [J]. 测绘地理信息, 2016, 41(2): 1-7.
Ai TH. Development of cartography driven by big data [J]. Journal of Geomatics, 2016, 41(2): 1-7.

[8] 王丽娜, 江南, 李响, 等. Cartogram 表示方法研究综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(3): 393-405.
Wang LN, Jiang N, Li X, et al. A survey of Cartogram [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(3): 393-405.

[9] 郑束蕾. 个性化地图的认知机理研究 [J]. 测绘学报. 2016, 45(8): 1008.
Zheng SL. Research on personalized map cognition mechanism [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(8): 1008.

[10] 李伟, 陈毓芬, 钱凌韬, 等. 语言学的个性化地图符号设计 [J]. 测绘学报, 2015, 44(3): 323-329.
Li W, Chen YF, Qian LT, et al. Personalized map symbol design mechanism based on linguistics [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(3): 323-329.

[11] 郭仁忠, 陈业滨, 应申, 等. 三元空间下的泛地图可视化维度 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(11): 1603-1610.
Guo RZ, Chen YB, Ying S, et al. Geographic visualization of pan-map with the context of ternary spaces [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(11): 1603-1610.

[12] 翁敏, 窦晓越, 尹向军, 等. 城市特色电子地图设计: 以南京市为例 [J]. 测绘通报, 2021, (12): 54-59.
Weng M, Dou XY, Yin XJ, et al. Design of city characteristic electronic map: a case of Nanjing city [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021, (12): 54-59.

[13] 苏世亮, 吴林颖, 杜清运, 等. 文化景观地图设计: 表达对象与艺术风格 [J]. 测绘通报, 2021, (3): 81-86.
Su SL, Wu LY, Du QY, et al. Cultural landscape map design: visualization objects and artistic style [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021, (3): 81-86.

[14] 黄丽娜, 陈晨. 武汉大学意象地图配色研究 [J]. 地理空间信息, 2013, 11(5): 145-147+151.
Huang LN, Chen C. Matching color of the image map of Wuhan University [J]. Geospatial Information, 2013, 11(5): 145-147+151.

[15] 陈小军, 蔡忠亮, 李亚平, 等. 应用模型驱动的专题地图自动制图系统 [J]. 测绘地理信息, 2019, 44(2): 57-60.
Chen XJ, Cai ZL, Li YP, et al. Application of automatic thematic mapping system driven by model [J]. Journal of Geomatics, 2019, 44(2): 57-60.

[16] 祁华斌, 艾廷华, 胡珂. 基于 ArcGIS 的地图符号库建立及符号化实施 [J]. 测绘通报, 2003, (1): 14-17.
Qi HB, Ai TH, Hu K. Construction of symbol database and implementation of visualization based on ArcGIS [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2003, (1): 14-17.

[17] Harrower M, Bloch M. MapShaper.org: a map generalization web service [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2006, 26(4): 22-27.

[18] Hu YJ, Gao S, Newsam S, et al. GeoAI 2018 workshop report the 2nd ACM SIGSPATIAL international workshop on GeoAI: AI for geographic knowledge discovery Seattle, WA, USA-November 6, 2018 [J]. SIGSPATIAL Special, 2019, 10(3): 16.

[19] Gao S, Newsam S, Zhao L, et al. GeoAI 2019

workshop report: the 3nd ACM SIGSPATIAL international workshop on GeoAI: AI for geographic knowledge discovery: Seattle, WA, USA-November 5, 2019 [J]. SIGSPATIAL Special, 2020, 11(3): 23-24.

[20] Yan XF, Ai TH, Yang M, et al. A graph convolutional neural network for classification of building patterns using spatial vector data [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019, 150: 259-273.

[21] Yan XF, Ai TH, Yang M, et al. Graph convolutional autoencoder model for the shape coding and cognition of buildings in maps [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2021, 35(3): 490-512.

[22] Sester M, Feng Y, Thiemann F. Building generalization using deep learning [J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018, XLII-4: 565-572.

[23] 周志光, 石晨, 史林松, 等. 地理空间数据可视分析综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(5): 747-763.
Zhou ZG, Shi C, Shi LS, et al. A survey on the visual analytics of geospatial data [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(5): 747-763.

[24] Kopf J, Agrawala M, Bargeron D, et al. Automatic generation of destination maps [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2010, 29(6): 1-12.

[25] 王映雪, 李少梅, 张鑫禄, 等. 基于复合距离 Cartogram 的网络空间信息地图可视化方法 [J]. 信息工程大学学报, 2020, 21(3): 334-339+360.
Wang YX, Li SM, Zhang XL, et al. Visualization of cyberspace information based on composite distance Cartogram [J]. Journal of Information Engineering University, 2020, 21(3): 334-339+360.

[26] 路强, 梁翀, 曹书博, 等. 约束规则下的城市线路变形 [J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(6): 796-804.
Lu Q, Liang C, Cao SB, et al. Deformation of city lines based on constraint rules [J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(6): 796-804.

[27] 艾廷华. 深度学习赋能地图制图的若干思考 [J]. 测绘学报, 2021, 50(9): 1170-1182.
AI TH. Some thoughts on deep learning enabling cartography [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2021, 50(9): 1170-1182.

[28] Raisz E. The rectangular statistical Cartogram [J]. Geographical Review, 1934, 24(2): 292-296.

[29] Raisz E. Rectangular statistical cartograms of the world [J]. Journal of Geography, 1936, 35(1): 8-10.

[30] The map reader: Theories of mapping practice and cartographic representation [M/OL]. Oxford: John Wiley & Sons, 2011 [2024-04-12]. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470979587.ch33.

[31] Olson JM. Noncontiguous area cartograms [J]. The Professional Geographer, 1976, 28(4): 371-380.

[32] Tobler WR. A continuous transformation useful for districting [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1973, 219: 215-220

[33] Dougenik JA, Chrisman NR, Niemeyer DR. An algorithm to construct continuous area cartograms [J]. The Professional Geographer, 1985, 37(1): 75-81.

[34] 张玥, 钱新林. 基于扩散面域拓扑图 Cartogram 算法的一种优化策略 [J]. 甘肃科技, 2014, 30(13): 37-40.
Zhang Y, Qian XL. An optimization strategy for diffusion-based cartogram algorithm [J]. Gansu Science and Technology, 2014, 30(13): 37-40.

[35] 胡碧菡, 李连营. 基于热力传导的 Cartogram 算法研究 [J]. 测绘地理信息, 2022, 47(3): 146-148.
Hu BH, Li LY. Cartogram algorithm based on thermal conduction [J]. Journal of Geomatics, 2022, 47(3): 146-148.

[36] Aurenhammer F. Voronoi diagrams: a survey of a fundamental geometric data structure [J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 1991, 23(3): 345-405.

[37] Ester M, Kriegel HP, Sander J, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise [C] // Proceedings of the KDD, 1996: 226-231.

[38] Simpson EH. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163(4148): 688.

[39] Shannon CE. A mathematical theory of communication [J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.

[40] Berger WH, Parker FL. Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments [J]. Science, 1970, 168(3937): 1345-1347.

[41] 吕晓敏, 丁骁, 代养勇. 中国八大菜系的形成历程和背景 [J]. 中国食物与营养, 2009, (10): 62-64.
Lü XM, Ding X, Dai YY. Form process of eight cuisines of China and its background [J]. Food and Nutrition in China, 2009, (10): 62-64.

[42] 李爽. 视觉符号的抽象程度与意义表达 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2003, 5(5): 21-23.
Li S. The abstract degree of visual signs and the corresponding expression of meanings [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2003, 5(5): 21-23.

[43] 库尔特·考夫卡. 格式塔心理学原理 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
Koffka K. Principle of Gestalt psychology [M]. Beijing: Peking University Press, 2010.

[44] 翁敏, 宋晓燕, 杜清运, 等. 历史文化名城旅游地图的主题内容与表达策略 [J]. 测绘科学, 2021, 46(4): 178-185.
Weng M, Song XY, Du QY, et al. Tourism map design for historical and cultural cities: thematic content and visualization strategy [J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(4): 178-185.

[45] 亢孟军, 徐召硕, 朱军, 等. 一种数据驱动的专题地图自动编制方法 [J]. 测绘科学, 2021, 46(11): 135-140.
Kang MJ, Xu ZS, Zhu J, et al. A new approach for data-driven automatic rendering of thematic maps [J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(11): 135-140.

[46] 徐虹, 王禄斌, 方志祥, 等. 街景影像下的临街建筑风格映射及地图生成方法 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(5): 659-671.
Xu H, Wang LB, Fang ZX, et al. Street-facing architectural image mapping and architectural style map generation method using street view images [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(5): 659-671.

[47] 肖一心, 杜清运, 王荣林, 等. 基于格式塔原则的海洋专题地图设计 [J]. 测绘地理信息, 2022, 47(1): 124-128.
Xiao YX, Du QY, Wang RL, et al. Design of marine thematic maps based on Gestalt principle [J]. Journal of Geomatics, 2022, 47(1): 124-128.

[48] 翁敏, 申晴蕾, 王海银, 等. 海岸带专题地图设计: 以青岛市为例 [J]. 测绘地理信息, 2022, 47(1): 96-101.
Weng M, Shen QL, Wang HY, et al. Thematic map design of coastal zone: a case study of Qingdao [J]. Journal of Geomatics, 2022, 47(1): 96-101.

[49] Zhu JY, Park T, Isola P, et al. Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks [C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017: 2223-2232.

[50] Ganguli S, Garzon P, Glaser N. GeoGAN: a conditional GAN with reconstruction and style loss to generate standard layer of maps from satellite images [Z/OL]. arXiv Preprint, arXiv: 1902.05611, 2019.

[51] Chen X, Chen SQ, Xu T, et al. SMAPGAN: generative adversarial network-based semisupervised styled map tile generation method [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2020, 59(5): 4388-4406.

[52] 方政, 付莹, 刘利雄. Transformer 特征引导的双阶段地图智能生成 [J]. 中国图象图形学报, 2023, 28(10): 3281-3294.
Fang Z, Fu Y, Liu LX. A dual of Transformer features-related map-intelligent generation method [J]. Journal of Image and Graphics, 2023, 28(10): 3281-3294.

[53] Jenny B, Heitzler M, Singh D, et al. Cartographic relief shading with neural networks [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2020, 27(2): 1225-1235.

[54] Song JQ, Chen H, Du C, et al. Semi-MapGen: translation of remote sensing image into map via semisupervised adversarial learning [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2023, 61: 4701219.