

王涛,岳波,孟棒棒,等.基于不同尺度的差异化农村生活垃圾处理模式——以我国 30 881 个镇域单元为例[J].地球科学与环境学报,2023,45(1):104-117.

WANG Tao, YUE Bo, MENG Bang-bang, et al. Differentiated Rural Domestic Waste Treatment Model Based on Different Scales—Taking 30 881 Township Units in China as Examples[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(1): 104-117.

DOI: 10.19814/j.jese.2022.10035

# 基于不同尺度的差异化农村生活垃圾处理模式 ——以我国 30 881 个镇域单元为例

王涛<sup>1,2</sup>, 岳波<sup>1\*</sup>, 孟棒棒<sup>1</sup>, 袁续胜<sup>2</sup>, 高红<sup>2</sup>, 刘博<sup>1,2</sup>

(1. 中国环境科学研究院 固体废物污染控制技术研究所, 北京 100012;

2. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:**农村地区实施生活垃圾处理分区分级处理,提高我国农村地区生活垃圾无害化处理率,对推进美丽乡村建设具有重要意义。基于我国 30 881 个镇域单元的 8 项指标(人均可支配收入、人口密度、垃圾收集密度、人均生活垃圾产生量、乡镇距市县中心距离、公路路网密度、地形起伏度、土地面积)数据分析,研究构建了科学合理的乡镇类型识别指标体系,采用空间差异性分析、空间自相关性分析、空间插值分析讨论了我国镇域空间分布格局,并探讨了东部、中部、西部和东北地区不同类型乡镇的生活垃圾处理模式。结果表明:①从乡镇类型划分来看,我国乡镇可分为城乡一体化型、密集型、村庄农户分散型,并且东部、中部地区乡镇的生活垃圾处理能力总体优于西部、东北地区;②从空间分异性来看,东部、中部地区乡镇指数内部差异性整体较小,可建议推广同一生活垃圾处理模式;东北、西部地区乡镇指数内部差异性较大,建议推广不同类型相组合的生活垃圾处理模式;③从空间关联性来看,不同尺度下的乡镇指数空间聚集效应明显,特别是东部地区产生了“近朱者赤”的空间关联效应。最后,根据乡镇空间分布特征差异,总结提出了不同地区的农村生活垃圾处理模式选择建议。

**关键词:**农村生活垃圾;无害化;处理模式;数据分析;空间差异;聚集效应;乡镇指数;美丽乡村建设中图分类号:X705 文献标志码:A 文章编号:1672-6561(2023)01-0104-14

## Differentiated Rural Domestic Waste Treatment Model Based on Different Scales

—Taking 30 881 Township Units in China as Examples

WANG Tao<sup>1,2</sup>, YUE Bo<sup>1\*</sup>, MENG Bang-bang<sup>1</sup>, YUAN Xu-sheng<sup>2</sup>, GAO Hong<sup>2</sup>, LIU Bo<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Solid Waste Management, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** Promoting the construction of beautiful countryside to carry out zoning and grading of domestic waste disposal in rural areas and to improve the harmlessness of domestic waste disposal in rural areas is of great importance in this regard. 8 indicators (disposable income per capita,

收稿日期:2022-10-19;修回日期:2022-11-29 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1100301)

作者简介:王涛(1996-),男,江苏扬州人,昆明理工大学工学硕士研究生, E-mail: 1042295236@qq.com。

\* 通讯作者:岳波(1980-),男,重庆市人,研究员,博士研究生导师,理学博士, E-mail: yuebo@craes.org.cn。

population density, garbage collection density, household waste generation per capita, distance from urban and county centres, road network density, topography fluctuation, land area) of 30 881 township units in China were proposed; a scientific and reasonable township identification index system was constructed; the spatial distribution pattern of townships in China was calculated by using spatial difference analysis, spatial autocorrelation analysis, spatial interpolation analysis; and the domestic waste disposal patterns of different types of townships in the eastern, central, western and northeastern of China were discussed. The results show that ① according to the township classification, China's townships can be divided into the urban-rural integration type, the intensive type, and the dispersed type of villagers; ② in terms of spatial heterogeneity, the difference within the indices of townships in the eastern and central of China is relatively small, so the same waste treatment model are popularized; the township indices in the northeastern and western of China are very different, so the different types of domestic waste disposal should be popularized; ③ with respect to spatial correlation, the spatial agglomeration effect of the township index is evident at different scales in China, particularly the spatial correlation effect of "near-vermilion" in the eastern of China. Lastly, based on the spatial distribution characteristics of rural cities and towns, the selection of the rural domestic waste disposal model in different regions of China was summarized.

**Key words:** rural household waste; harmless; treatment mode; data analysis; spatial difference; agglomeration effect; township index; beautiful countryside construction

## 0 引 言

镇域是一个建制镇行政区划的所有地理范围,作为我国底层区域的重要组成部分,和城市相互依托,又互有差异<sup>[1]</sup>。党的十九大报告提出:实施乡村振兴战略,要根据不同村镇的发展现状、区位条件、资源禀赋等推进农村发展<sup>[2]</sup>。目前,我国农村生活垃圾产量巨大,但农村生活垃圾处理能力参差不齐。据估算,2020 年我国村镇生活垃圾产生量巨大,为  $3 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[3]</sup>。并且,部分农村地区垃圾管理服务水平较低,相应的垃圾处理技术不够成熟以及配套设施不够完善,甚至存在部分生活垃圾未经无害化处理就直接排放到外界环境的情况,对农村地区的生态环境造成极大的负面影响<sup>[4-5]</sup>。因此,我国农村地区垃圾处理实行分区、分级的差异化发展道路,对于提高农村生活垃圾处理率、实施乡村振兴战略具有重要意义。

近年来,诸多研究人员对中国农村生活垃圾处理模式进行了研究。林宣佐等利用黑龙江省的农户微观调查数据,采用二元 Logistic 模型进行回归分析,总结了我国差异化农村生活垃圾处理模式下农户参与农村生活垃圾处理的影响因素<sup>[6]</sup>。张敏等采用入户调查和发放问卷等方式,对北京、四川南充、新疆和四川西昌等地区农村生活垃圾处理现状和模

式进行了调查与总结,得出现有部分地区生活垃圾处理措施建议<sup>[7]</sup>。Tang 等采取问卷调查的方式,对广东省农村生活垃圾的处理现状进行调查,发现在受访的 169 个行政村中,84% 的行政村实施了生活垃圾的标准化处理,其中只有 18 个行政村进行了分类收集后的处理<sup>[8]</sup>。Fan 等在对陕西省农村生活垃圾分类与资源利用试验区调查的基础上,从供应商角度,运用案例分析法,对 4 个试验村的基本情况、分类实践模式和供应商进行比较研究,发现农村生活垃圾分类目前面临供给、制度、资金和治理等方面的问题<sup>[9]</sup>。

在乡镇空间分布格局与类型识别研究方面,前人分别采用 GIS、生态承载力模型、人工神经网络等技术,从地名分布<sup>[10]</sup>、镇域发展水平<sup>[11]</sup>、空间布局优化<sup>[12-14]</sup>、生态承载力<sup>[15]</sup>、空间规划和治理<sup>[16]</sup> 等方面进行分析。但上述研究集中于我国部分地区,缺少对全国整体维度的考虑,并且基于提高农村生活垃圾无害化处理效率背景下,乡镇空间分布与乡镇地域功能分类的研究较少。基于此,本文基于农村生活垃圾产生、收集、运输等影响因素研究,构建乡镇空间分布格局与乡镇类型识别指标体系;采用乡镇指数定量评价乡镇生活垃圾处理发展水平,并对乡镇类型进行识别;借助变异系数、莫兰指数等计算方法,对我国省域、市域、县域、镇域的内部差异性与自

相关性进行分析;最后,根据乡镇空间分布差异,对不同地区的差异化农村生活垃圾处理模式进行分析,以期兼顾环境与农村生活垃圾收运处理成本,提高我国农村地区生活垃圾无害化处理效率,为乡村振兴战略的实施提供保障。

## 1 研究区概况

目前我国有 23 个省、5 个自治区、4 个直辖市、2 个特别行政区,合计 34 个省级行政单位,其中内地共有 333 个地级市(包括 15 个副省级城市),2 844 个县级行政单位(包括 973 个市辖区、388 个县级市、1 312 个县、117 个自治县、49 个旗、3 个自治旗、1 个特区、1 个林区)。截止到 2020 年底,我国共有 38 741 个乡级行政单位(8 809 个街道、21 157 个镇、8 809 个乡、981 个民族乡、152 个苏木、1 个民族苏木、1 个县辖区)<sup>[17]</sup>。根据区位的不同,本文集中研究中国内地四大区域,分别为东部地区(北京、上海、广东、浙江、江苏、天津、河北、海南、福建、山东)、中部地区(山西、江西、湖南、湖北、河南、安徽)、西部地区(重庆、云南、新疆、西藏、四川、陕西、青海、宁夏、内蒙古、广西、甘肃、贵州)以及东北地区(吉林、辽宁、黑龙江)。

我国农村生活垃圾主要组分包括厨余类(占比 43.58%)、灰土类(23.48%)、橡塑类(8.78%)和纸类(7.77%)以及其他。我国南方和北方地区农村生活垃圾组分也有明显不同。北方地区燃料结构以煤炭为主,生活垃圾中渣土含量较高;而南方地区农村生活垃圾则以有机垃圾为主<sup>[18]</sup>。并且,在农村生活垃圾组分中,纸类、橡塑类含量呈现由南向北逐渐递减的趋势,灰土类含量呈现明显的由南向北逐渐递增的趋势<sup>[19]</sup>。北方地区以及部分南方地区村镇生活垃圾经过筛选后其热值可以满足焚烧处理要求<sup>[20]</sup>,但部分重金属含量严重超标<sup>[21]</sup>。随着农村居民生产与消费模式的变化,农村生活垃圾组分特征日趋城市化,农村生活垃圾处理需要探索新的循环途径<sup>[22]</sup>。

## 2 分析方法

### 2.1 指标体系构建

#### 2.1.1 指标选择

农村生活垃圾收运处理模式的选择受到多重因素的共同影响,各个因素作用程度与机理不同,但最终共同影响了农村生活垃圾处理模式的选择。一般来说,构建指标体系时,需要满足指标的系统性、科

学性、可操作性、定性与定量相结合的原则<sup>[23]</sup>。本文从农村生活垃圾收运处理角度出发,从产生影响因素、收集影响因素、运输影响因素 3 个角度构建农村生活垃圾收运处理模式评价指标体系。与生活垃圾产生有关的指标主要包括地域、气候、文化、地区人口密度、经济发展水平、消费结构、燃料结构、工业类型、城市特征等;与生活垃圾收集有关的指标主要包括垃圾收集密度、垃圾产生量、人口密度、垃圾箱(池)数量、保洁员数量等;与生活垃圾运输有关的指标主要包括距离垃圾处理终端距离、公路路网密度、农村地形、土地面积、转运站数量等<sup>[24]</sup>。由于全国范围的指标数据量较大,获取难度较高,为保证指标的可获取性以及可操作性,通过筛选,最终选取以下 8 项二级指标:人均可支配收入、人口密度、垃圾收集密度、人均生活垃圾产生量、乡镇距市县中心距离、公路路网密度、地形起伏度、土地面积。

#### 2.1.2 数据来源

镇域单元作为我国行政管理的基层单元,其数据难以完整获取。因此,农村居民人均可支配收入数据使用中国各县(市)统计年鉴中的县、市级数据替代;人均生活垃圾产生量、垃圾收集密度数据来源于课题组针对我国典型乡镇收集的西部、东部、西部和东北地区的实地调研省级数据<sup>[25]</sup>;公路路网密度数据为镇级数据,来自国家基础地理信息中心 2019 年最新版的数据源,比例尺为 1:250 000,为非涉密级别下的最高精度;地形起伏度数据为镇级数据,来自中国科学院资源环境科学与数据中心网站;行政边界、土地面积数据为镇级数据,来自全国地理信息资源目录服务系统;乡镇距市县中心距离数据为镇级数据,由 ArcGIS 软件距离分析功能获取。人口密度数据为镇级数据,选自《中国县域统计年鉴》(乡镇卷)<sup>[26]</sup>。由于镇域级别的数据过于庞大,处理过于复杂,采用 ArcGIS 软件的 Python 编程功能进一步处理数据并导出到 Excel 表格中。剔除数据不完整的乡镇后,最终选取 30 881 个镇域单元。

#### 2.1.3 评价指标标准化处理

对评价指标预处理的目的是通过数学变换的方式将指标进行无量纲化处理<sup>[27]</sup>,防止由各指标的单位和数量级不同造成的各指标存在不可公度性<sup>[28]</sup>。采用极差法对各指标进行标准化处理。该方法可将一系列数据拍扁在某一固定区间(常为(0,1),其与最大值、最小值有关)。正向指标越大时,正向化后的值越接近 1;逆向指标越大时,逆向化后的值越接近 0。

正向指标表达式为

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (1)$$

逆向指标表达式为

$$X'_{ij} = -\frac{X_{ij} - \max\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (2)$$

式中: $X'_{ij}$ 为第  $j$  个乡镇第  $i$  个指标的标准化值; $X_{ij}$ 为第  $j$  个乡镇第  $i$  个指标的原始数据; $\max\{X_{ij}\}$ 、 $\min\{X_{ij}\}$ 分别为第  $j$  个乡镇第  $i$  个指标的最大值与最小值。

2.1.4 评价指标权重确定

CRITIC 权重法不但考虑了指标的强度,也考虑了指标之间的冲突性,仅仅依靠数据本身所携带的信息来获取其应当匹配的权重值<sup>[29]</sup>。并且,该方法综合考虑数据波动情况和指标间的相关性,适合指标自身带有一定相关性和波动性的数据。层次分析法(AHP)是一种带有模拟人脑决策方式的方法,会带有较多的定性色彩<sup>[30-31]</sup>。因为现实世界的问题并不能简单地用数字来说明,所以本文采用 CRITIC 权重法与层次分析法互相修正来获取权重。权重表达式为

$$W_i = \frac{W_{Ai} W_{Bi}}{\sum_{i=1}^m W_{Ai} W_{Bi}} \quad (3)$$

式中: $W_i$ 为第  $i$  个指标最终的权重值; $W_{Ai}$ 为层次分析法下的第  $i$  个指标权重值; $W_{Bi}$ 为 CRITIC 权重法下的第  $i$  个指标权重值; $m$ 为指标数量。

通过层次分析法与 CRITIC 权重法综合确定权重,结果如表 1 所示。

2.2 乡镇类型划分方法

乡镇指数代表了当地生活垃圾处理潜力大小。乡镇指数越大,表明当地生活垃圾收运处理潜力越大,采用线性加权法计算乡镇指数(RI)。其表达式为

$$I_R = \sum_{i=1}^m W_i S_{ij} \quad (4)$$

式中: $I_R$ 为第  $j$  个乡镇的乡镇指数; $S_{ij}$ 为第  $j$  个乡镇第  $i$  个指标的标准化值。

自然间断点分级法是一种有效的数据分级方法。该方法利用数据本身固有的间断特性,识别数据分类间隔并对数据进行分组,使组间差异最大化,以实现最佳分组<sup>[32]</sup>。因此,本研究采用自然间断点分级法,基于乡镇指数将选取的 30 881 个镇域单元进行分类。

2.3 空间差异性分析方法

空间差异性分析方法较极差、方差、标准差等指标更能够准确地反映数据之间的离散程度,同时具有客观性<sup>[33]</sup>。本文在镇域尺度下的研究单元超过 30 000 个,因此,采用变异系数分析数据,不但可以防止数据之间的绝对差异影响,也能反映县域、市域、省域、区域的内部差异性。其计算公式为

$$C_V = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中: $C_V$ 表示变异系数; $n$ 表示研究单元数(基于县域、市域、省域、区域); $x_k$ 是第  $k$  个研究单元的平均乡镇指数; $\bar{x}$ 为所有研究单元的平均值。

2.4 探索性空间数据分析

在对数据进行分析时,为了直观地展现出各数据点在空间领域中的潜在关系<sup>[34]</sup>,通常使用莫兰指数来研究数据点在空间是否存在聚集和异常。在进行空间自相关性分析时,首先要通过全局莫兰指数来判断在空间范围内数据点是否存在聚集现象。全局莫兰指数计算公式为

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}} \quad (6)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

表 1 我国农村生活垃圾收运处理模式评价指标体系

Table 1 Evaluation Index System of Rural Domestic Waste Collection and Transportation Model in China

准则层	指标层	指标解释	权重	指标类型
产生影响因素	人均可支配收入/(元·年 <sup>-1</sup> )	居民可用于最终消费支出和储蓄的总和	0.16	正向指标
收集影响因素	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	单位面积土地的人口数量	0.12	正向指标
	垃圾收集密度/(t·km <sup>-2</sup> )	单位面积土地的垃圾收集质量	0.08	正向指标
	人均生活垃圾产生量/(kg·人 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	每人每天产生的生活垃圾质量	0.07	正向指标
运输影响因素	乡镇距市县中心距离/km	乡镇到市县中心的距离	0.28	逆向指标
	公路路网密度/(km·km <sup>-2</sup> )	单位面积的公路里程长度	0.17	正向指标
	地形起伏度/m	当地最高点与最低点高程差值	0.16	逆向指标
	土地面积/km <sup>2</sup>	当地行政区域土地面积	0.22	逆向指标

式中:  $I$  表示全局莫兰指数;  $\omega_{ij}$  表示要素  $i$  和  $j$  的空间权重;  $x_i$  和  $x_j$  分别是要素  $i$  和要素  $j$  的观测值;  $\bar{x}$  为平均值;  $S^2$  为样本方差。

全局莫兰指数的取值一般为  $-1 \sim 1$ 。  $I < 0$  表示负相关,  $I = 0$  表示不相关,  $I > 0$  表示正相关。如果全局自相关性不等于 0, 则接着进行局部空间自相关分析, 这样就可以得出具体的聚集情况。局部空间自相关指数表达式为

$$I' = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j \neq i}^n \mathbf{W}_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (8)$$

式中:  $I'$  是第  $i$  个单元的局部空间自相关指数;  $x_i$  和  $x_j$  分别是要素  $i$  和要素  $j$  的观测值;  $\mathbf{W}_{ij}$  是空间权重矩阵。

最后, 运用 GeoDa 软件绘制 LISA 聚集图与莫兰散点图, 分析不同尺度下的乡镇指数空间自相关程度和聚集现象。

## 3 结果分析

### 3.1 乡镇类型划分

为了深入分析我国乡镇生活垃圾处理能力差异, 本文采用自然间断点分级法划分乡镇指数, 并对其进行分类。由于部分乡镇没有完整的统计数据, 所以采用普通克里金插值法对其拟合补充<sup>[35]</sup>。自然间断点分级法基于乡镇指数的大小将我国乡镇生活垃圾处理分为 3 种类型: 城乡一体化型(乡镇指数为  $0.64 \sim 0.87$ )、密集型( $0.54 \sim 0.64$ )、村庄农户分散型( $0 \sim 0.54$ )。一般来说, 城乡一体化型乡镇靠近城市, 人口密度、人均可支配收入对比密集型及村庄农户分散型乡镇较高, 公路路网密度和地形起伏度较小。村庄农户分散型大部分处于山区、牧区等地区, 受经济以及区位等多重因素影响, 垃圾收集密度、人均生活垃圾产生量较低, 土地面积较大, 距市县中心距离也较远。

为了进一步分析我国东部、中部、西部和东北地区不同省份乡镇类型以及不同地域的乡镇指数空间分布格局, 对 4 个区域不同省份乡镇类型进行统计, 利用 ArcGIS 软件的克里金插值法对未统计乡镇进行拟合, 并展现不同地域的乡镇指数空间分布格局, 结果如图 1 和 2 所示。结合图 1、2 可以发现, 我国各地区乡镇指数呈现出“东高西低、南高北低”的特点。这表明东部、中部地区乡镇生活垃圾处理能力优于西部、东北地区。具体来看, 东部地区整体发展较好, 除海南外, 其余省份均以城乡一体化型乡镇为核心; 中部地区以密集型乡镇为主, 伴有少量城乡一

体化型乡镇与极少数的村庄农户分散型乡镇, 其中山西密集型乡镇占比最高, 河南密集型乡镇占比最低; 西部地区整体以密集型和村庄农户分散型乡镇为主, 其发展均衡性较差, 其中重庆、广西密集型乡镇占比最高, 而云南、新疆、青海的村庄农户分散型乡镇占比较高; 东北地区同样以密集型乡镇为主, 其占比介于中部与西部地区之间, 而黑龙江村庄农户分散型乡镇占比较高。上述空间分布格局表明东部地区城乡一体化较为明显, 其余地区多以密集型和村庄农户分散型乡镇为主, 这跟经济收入、人口分布等多种因素相关。

### 3.2 乡镇指数内部差异性

通过探究在不同维度下各地区生活垃圾收运处理与周边地区的差异特点, 从而选择对应的生活垃圾处理模式。根据变异系数计算公式得出我国基于四大区域、省域、市域、县域层次的乡镇指数地域差异性, 结果如图 3 所示。

从四大区域层次来看, 东北地区变异系数最大, 西部地区次之, 东部地区中等, 中部地区最小。中部、东部地区乡镇指数整体较为协调, 内部之间较为均衡; 而东北及西部局部地区生活垃圾处理能力相对落后, 且内部发展程度不均衡性明显。

从省域层次来看, 东北地区的黑龙江、吉林变异系数极高, 辽宁变异系数较高; 西部地区的新疆、内蒙古变异系数极高, 甘肃、青海、宁夏、陕西、重庆、贵州较高, 西藏、广西、四川适中, 云南北低; 中部地区的山西、河南、湖南、湖北、安徽变异系数适中, 内部较为均衡, 江西较高且内部发展不均衡; 东部地区的北京、上海、浙江、天津变异系数极低, 其余省份同样较低。

从市域层次来看, 东北地区各市的变异系数整体适中, 乡镇指数较为协调, 结合省域层次乡镇指数变异系数[图 3(b)]可知, 东北地区各市乡镇内部均衡, 但各市之间极度不均衡; 西部地区呈现一个明显的变异系数边界线, 这条边界线穿越内蒙古、宁夏、四川、云南, 边界线西侧各市的变异系数较高, 东侧各市的变异系数适中; 中部地区围绕着安徽和江西的交界处形成一个变异系数低值区, 整个中部地区以低值区为主; 东部地区仅有山东东营、福建梅州的变异系数不属于低值区。

从县域层次来看, 整体差异与市域层次相类似, 东部、中部地区较为均衡, 西部、东北地区普遍变异系数较高, 存在较大差异。

总体来看, 四大区域层次乡镇指数内部差异性

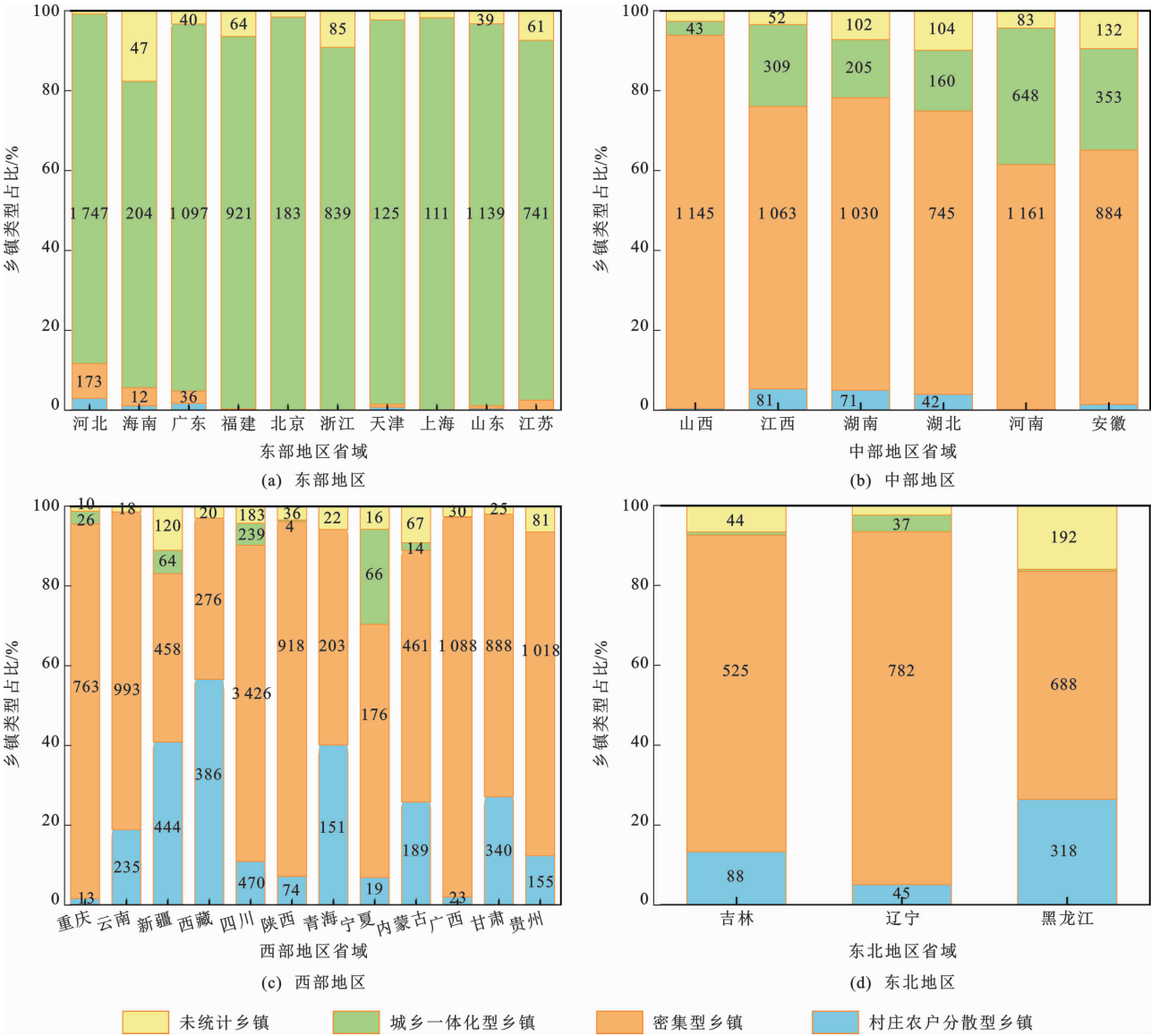


图 1 四大区域不同省域乡镇类型的占比堆积图

Fig. 1 Proportion Stacked Diagrams of Township Types in Different Provinces of Four Major Regions

从大到小分别为东北地区、西部地区、东部地区、中部地区。当尺度细化为省域、市域、县域时,乡镇指数内部差异性从大到小分别为东北地区、西部地区、中部地区、东部地区。因此,对于中部和东部地区,建议推广同一生活垃圾处理模式,减少运营成本;对于东北和西部地区,应当因地制宜,推广不同类型相组合的生活垃圾处理模式;而当尺度细化时,应具体问题具体分析,因地制宜地进行不同生活垃圾处理模式的选择。

3.3 乡镇指数自相关性

通过探究农村生活垃圾收运处理能力强弱对周边地区的同化作用,从而针对性地选择生活垃圾处理模式。本文采用全局自相关指数和局部空间自相

关指数<sup>[36]</sup>研究省域、市域、县域、镇域乡镇指数的空间关联特征。运用 GeoDa 绘制乡镇指数莫兰散点图与 LISA 聚集图,分析省域、市域、县域、镇域尺度下的空间自相关程度和聚集现象。图 4 为乡镇指数莫兰散点图。图 5 为乡镇指数 LISA 聚集图。

由图 4 可知,我国省域、市域、县域、镇域的全局莫兰指数分别为 0.736、0.872、0.879、0.619。这表明不同研究尺度下的乡镇指数成空间正相关关系,且空间聚集效应显著,乡镇指数高的区域对其接壤的区域有同化作用。

由图 5 可知:①从省域层次来看,显著 HH 区分布在安徽、江苏、天津,说明其自身乡镇指数较高,且周围区域与其形成高值联动;显著 LL 区分布在



西部地区的宁夏、甘肃、四川、云南、青海、西藏、新疆,形成了低值聚集区;显著 LH 区分布在中部地区的江西,江西虽然地处中部地带,但是其乡镇指数相对于附近省份偏低,难以适应附近省份的村镇生活垃圾处理模式;其余省份为不显著区。②从市域层次来看,显著 HH 区分布在东部地区,说明东部地区各市的乡镇指数聚集效应明显,产生了“近朱者赤”的邻近效应;显著 LL 区主要分布在宁夏、甘肃、青海、西藏、新疆的全部地级市以及四川、贵州、云南的部分地级市,同时内蒙古和黑龙江的部分城市也片状聚集共同形成了“滞后聚集区”;显著 LH 区分布在江西赣州以及安徽宣城,其主要原因是这两个城市邻近东部发达城市。③从县域层次来看,显著 HH 区全部分布在东部地区各县,显著 LL 区分布在西部及东北地区部分县;值得一提的是,显著 HL 地区仅分布在内蒙古。④从镇域层次来看,显

著 HH 区与显著 LL 区占比极高,从省域过渡到镇域,乡镇的聚集范围越发显著;然而,显著 HL 区与显著 LH 区占比很少,呈现点状分布,且没有聚集成

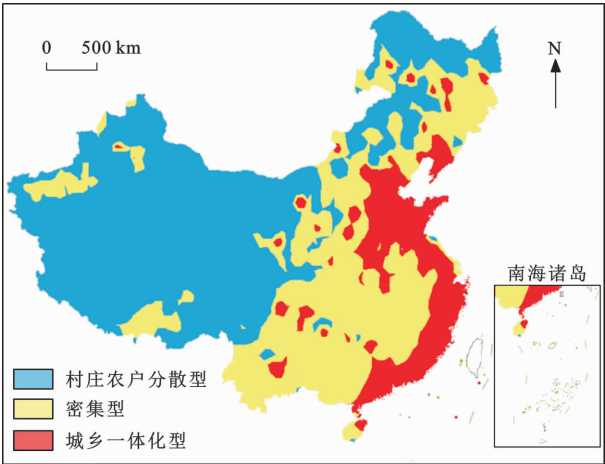
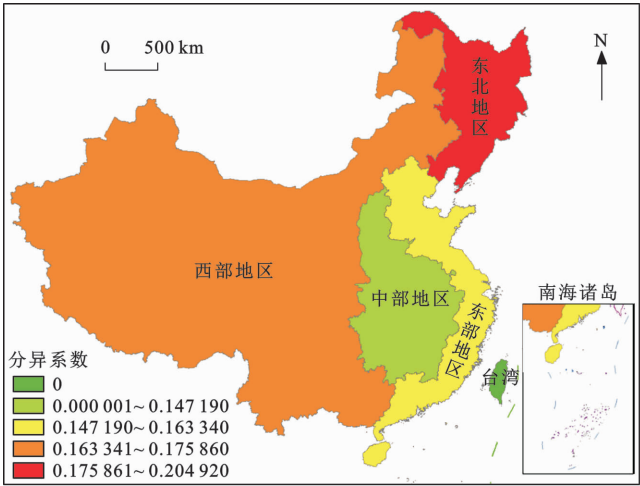
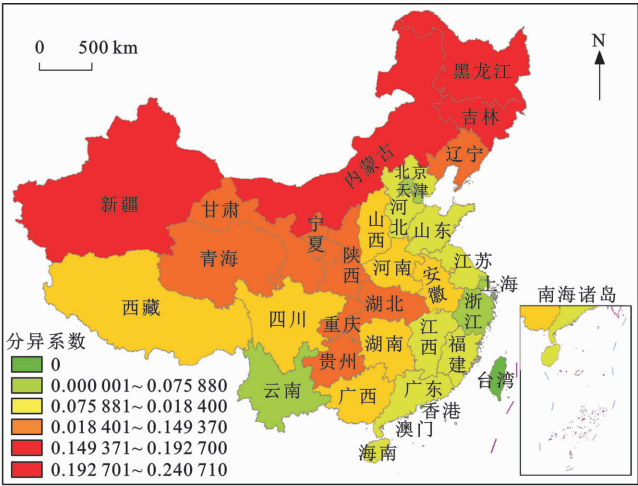


图 2 镇域乡镇指数空间分布格局

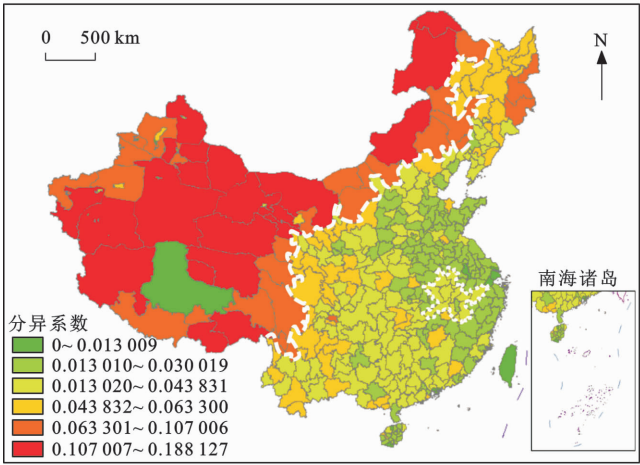
Fig. 2 Spatial Distribution Pattern of Township Indices



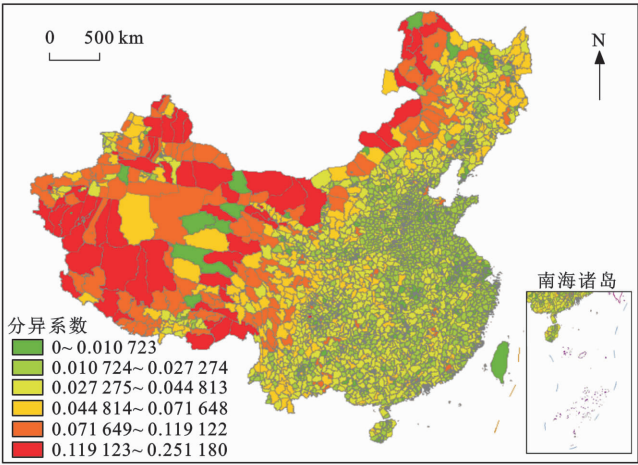
(a) 四大区域层次



(b) 省域层次



(c) 市域层次



(d) 县域层次

图 3 乡镇指数内部差异性分布格局

Fig. 3 Distribution Patterns of Internal Differences of Township Indices

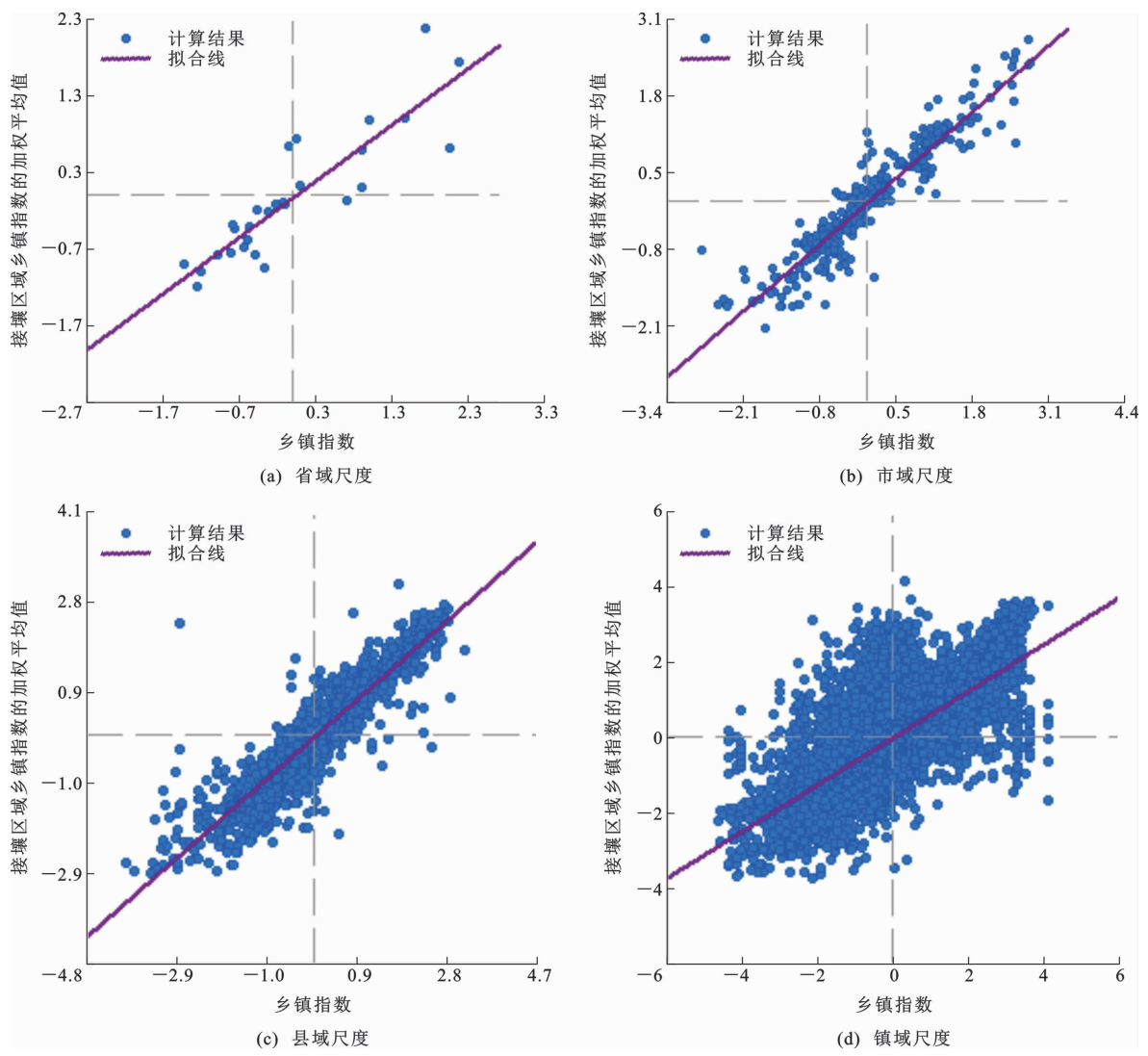


图 4 乡镇指数莫兰散点图

Fig. 4 Moran Scatter Plots of Township Indices

片的趋势。

## 4 差异化农村生活垃圾处理模式

通过对四大区域农村生活垃圾组分进行了解以及对乡镇类型识别思路、方法进行分析,遵循乡镇农村生活垃圾处理模式的差异化发展原则,本文提出了四大区域乡镇农村生活垃圾处理模式。图 6 为基于乡镇空间分布特征的差异化农村生活垃圾处理模式总结框架图。

### 4.1 东部地区

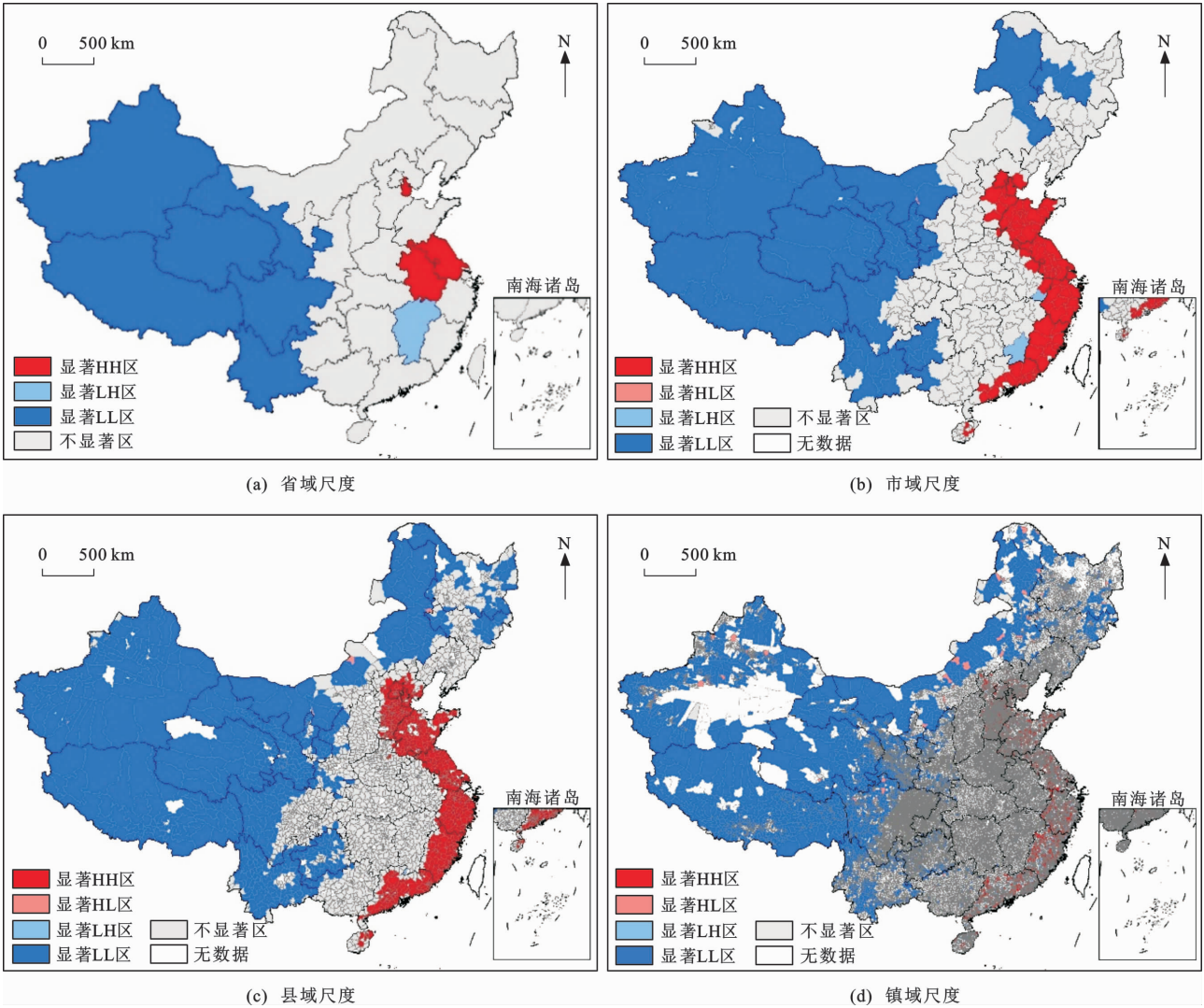
东部地区乡镇类型以城乡一体化型为主,且不同尺度下的乡镇指数内部差异性较小、空间聚集效应明显。结合东部地区的农村生活垃圾收运处理条件与生活垃圾组分特征,东部地区乡镇利用其经济优势与区位优势大力推广了“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”的农村生活垃圾处理模式,改变了

垃圾围村的现象,收到了良好的效果<sup>[37]</sup>。然而,许多县转运成本的增加且不能及时转运以及垃圾的无序堆放,同样导致了二次污染<sup>[38]</sup>。2020 年中央一号文件再次强调要实施农村生活垃圾就地分类、源头减量处理。针对东部地区的农村,部分试点地区由政府投资推行了阳光堆肥房,有效地资源化转换厨余易腐垃圾<sup>[39]</sup>。因此,针对东部地区的农村生活垃圾处理模式选择,建议利用其内部差异较小、空间聚集效应明显的优势,对原有“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”模式进行改进,可在原有转运站旁边增设如阳光堆肥房的就地处理设施,以减少二次转运产生的污染,适度分散处理<sup>[40]</sup>。

### 4.2 中部地区

中部地区乡镇类型以密集型为主,伴有少量城乡一体化型和零星村庄农户分散型,不同尺度下的乡镇指数内部差异性较小,但空间聚集效应并不明





显著 HH 区表示自身观测值与周围观测值都较高;显著 LH 区表示自身观测值低,周围观测值高;显著 LL 区表示自身观测值低,周围观测值也较低;显著 HL 区表示自身观测值高,周围观测值低

图 5 乡镇指数 LISA 聚集图

Fig. 5 LISA Aggregation Maps of Township Indices

显。目前,中部地区广泛采用“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”的农村生活垃圾处理模式,虽然一定程度上减轻了垃圾围村现象,但是由于垃圾处理设施的薄弱以及分类的粗放发展,农村生活垃圾处理已经成为中部地区农村公共服务体系与基层社会治理的短板<sup>[41]</sup>。因此,针对中部地区的农村生活垃圾处理模式选择,在采取“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”模式的同时,建议加强对村民的引导,促进垃圾分类的落实,其次加强资金投入,提升垃圾资源化利用水平,完善垃圾基础处理设施建设。

4.3 西部地区

西部地区不同尺度下的乡镇指数内部差异性较大,单一的采用城乡一体化方式处理农村生活垃圾将会增大人力、物力成本,本文结合当地的实际情况

进一步细化了农村生活垃圾处理模式。例如,新疆、甘肃、内蒙古、宁夏、青海、西藏、陕西等省区大部分处于干旱与半干旱地区,乡镇类型主要以村庄农户分散型为主,道路不够完善,距中心城市较远,村民居住分散,但由于生活垃圾产生量较小,可以采取就地处理的方式<sup>[42]</sup>;云南、贵州、四川、重庆、广西等省区的乡镇类型以密集型为主,和其他西部地区相比气候较为湿润,地下水和地表水较丰富,可将厨余垃圾和人畜粪便协同就地处理后还田,消除对水体的污染,其余生活垃圾可采取“户分类-村收集-镇处理”+“户分类-村收集处理”的协同处理模式。另外,针对西部地区生态较为脆弱的地区,采取易降解的厨余垃圾就地处理、回收价值不大的废纸和塑料可适当集中后简易焚烧处理的方式,同时在做好防

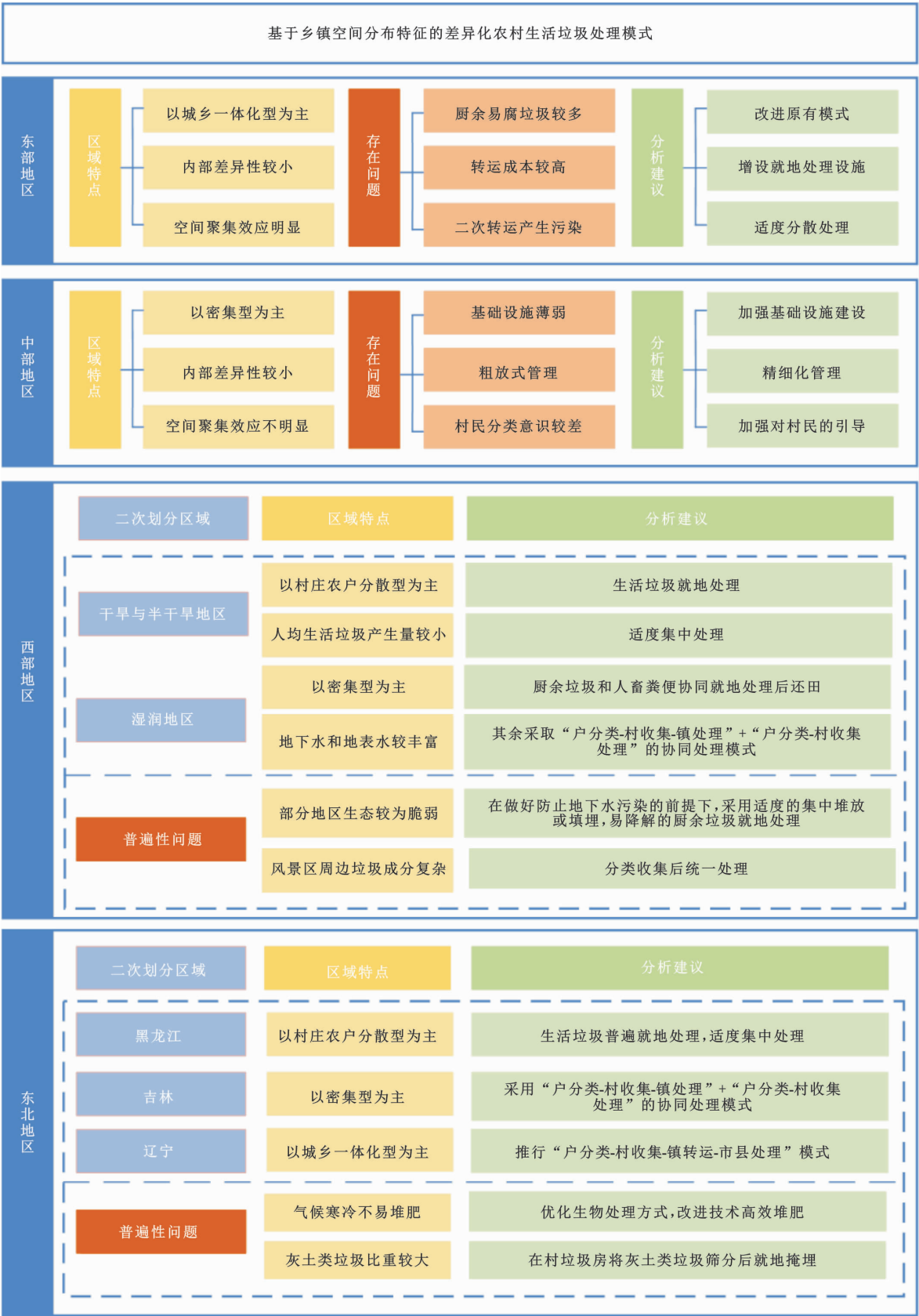


图 6 基于乡镇空间分布特征的差异化农村生活垃圾处理模式总结框架图

Fig. 6 Summary Framework of Differentiated Rural Domestic Waste Treatment Model Based on Spatial Distribution Characteristics of Townships

止地下水污染的前提下,采用适度的集中堆放或填埋;对于西部地区众多的风景区,由于游客众多,周边垃圾成分较为复杂,可分类收集后进行统一处理<sup>[43]</sup>。

#### 4.4 东北地区

东北地区不同尺度下的乡镇指数内部差异性较大,空间聚集效应较弱,本文结合各省域乡镇类型对东北地区农村生活垃圾处理模式进行了进一步细化。黑龙江乡镇类型主要以村庄农户分散型为主,并且由于经济发展等因素的影响,黑龙江农村生活垃圾的每日人均产生量( $0.394 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )远小于辽宁( $1.042 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )与吉林( $1.210 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>[44]</sup>。针对黑龙江村民居住分散,生活垃圾产生量较小的特点,可采取生活垃圾普遍就地处理,适当集中处理的方式<sup>[45]</sup>;吉林主要以密集型乡镇为主,采用“户分类-村收集-镇处理”+“户分类-村收集处理”的协同处理模式适度集中处理;辽宁主要以城乡一体化型乡镇为主,可效仿东部地区的部分乡镇,采取“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”的农村生活垃圾处理模式。另外,在管理模式上,相比于乡镇及以上政府管理和保洁公司管理,村领导和个人承包管理模式在西部和东北地区更容易实施<sup>[46]</sup>。并且,针对东北地区普遍的灰土类垃圾比重较大以及气候寒冷等问题,可采取在村垃圾房将灰土类垃圾筛分后就地掩埋、优化生物处理以及改善通风效率等方式进行低温高效堆肥<sup>[47-49]</sup>,以实现东北地区农村生活垃圾长效治理。

## 5 结 语

基于我国 30 881 个镇域单元的 8 项指标数据,本文采用空间差异性分析、空间自相关性分析、空间插值分析讨论了镇域空间分布格局,并探讨不同类型乡镇的生活垃圾处理模式。

(1)从乡镇类型划分来看,我国乡镇可分为城乡一体化型、密集型、村庄农户分散型,并且东部、中部地区乡镇的生活垃圾处理能力普遍优于西部、东北地区。

(2)从空间分异性来看,我国四大区域层次内部差异性从大到小分别为东北地区、西部地区、东部地区、中部地区。从省域、市域、县域层次内部差异性来看,乡镇内部差异性分布更为细化,但整体较为相似,从大到小分别为东北地区、西部地区、中部地区、东部地区,西部和中部地区存在明显的变异系数突变边界。东部、中部地区乡镇指数内部差异性整体

较小,可推广同一生活垃圾处理模式;东北、西部地区乡镇指数内部差异性较大,可推广不同类型相组合的生活垃圾处理模式。

(3)从空间关联性来看,不同尺度下的乡镇指数空间聚集效应明显。从省域尺度来看,江苏、天津自身乡镇指数较高,且周围区域与其形成高值联动,西部地区部分省区以低值聚集区为主。从市域、县域、镇域尺度来看,东部地区沿海省份各县市共同构成了片状高值区,西部和东北部分地区构成了片状低值区,特别是东部地区产生了“近朱者赤”的空间关联效应。

(4)我国东部地区乡镇类型以城乡一体化型为主,且聚集效应明显,应充分利用其经济优势与区位优势进一步优化“户分类-村收集-镇转运-市(县)处理”的农村生活垃圾处理模式;中部地区乡镇类型以密集型为主,在推行集中处理模式的同时,应实现精细化管理;西部地区不同尺度下的乡镇指数内部差异性较大,农村生活垃圾处理模式应结合当地实际情况进一步细化;东北地区农村生活垃圾处理模式结合了各省域乡镇类型特点进行了二次划分,且针对灰土类垃圾比重较大以及气候寒冷的特点,提出了相对应的解决方法。

#### 参 考 文 献 :

#### References :

- [1] 王亚楠,王 数,高 阳. 基于 GIS 和灰色星座聚类模型的乡村发展类型识别及振兴策略:以江西省万年县为例[J]. 江苏农业科学,2021,49(17):19-27.  
WANG Ya-nan, WANG Shu, GAO Yang. Rural Development Types Based on GIS and Grey Constellation Clustering Model Identification and Revitalization Strategy: Take Wannian County of Jiangxi Province as an Example[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(17):19-27.
- [2] 新华社. 中共中央、国务院印发《乡村振兴战略规划(2018~2022 年)》[J]. 农村工作通讯,2018(18):8-35.  
Xinhua News Agency. Central Committee of the Communist Party of China and State Council Issues *Strategic Plan for Rural Revitalization* (2018 - 2022) [J]. Rural Work Newsletter, 2018(18):8-35.
- [3] 颜蓓蓓,杨学忠,侯林桐,等. 村镇生活垃圾热解处理技术综述[J]. 中国环境科学,2022,42(8):3755-3769.  
YAN Bei-bei, YANG Xue-zhong, HOU Lin-tong, et al. A Review on Pyrolysis of Rural Household Garbage[J].

- China Environmental Science, 2022, 42 (8): 3755-3769.
- [4] 张国治,魏璐宇,葛一洪,等.我国农村生活垃圾处理现状及其展望[J].中国沼气,2021,39(4):54-61.  
ZHANG Guo-zhi, WEI Luo-yu, GE Yi-hong, et al. Present Situation and Prospect of Domestic Waste Disposal in Rural Areas of China[J]. China Biogas, 2021, 39(4): 54-61.
- [5] JIA Y, CHENG S, SHI R. Decision-making Behavior of Rural Residents' Domestic Waste Classification in Northwestern of China: Analysis Based on Environmental Responsibility and Pollution Perception[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 326: 129374.
- [6] 林宣佐,李 晴,王颜齐.差异化农村生活垃圾处理模式下的农户参与意愿及其影响因素分析[J].东北农业大学学报(社会科学版),2021,19(5):84-96.  
LIN Xuan-zuo, LI Qing, WANG Yan-qi. Analysis on Farmers' Behavioral Response and Its Influencing Factors Under Differentiated Rural Municipal Solid Waste Treatment Model[J]. Journal of Northeast Agricultural University(Social Science Edition), 2021, 19(5): 84-96.
- [7] 张 敏,韩智勇,姜 磊,等.我国部分地区农村生活垃圾处理现状及模式[J].中国沼气,2016,34(2):89-95.  
ZHANG Min, HAN Zhi-yong, JIANG Lei, et al. Status Quo and Modes of Domestic Waste Treatment in Rural Areas of China[J]. China Biogas, 2016, 34(2): 89-95.
- [8] TANG Y, HONG C Y. A Survey on Current Situation of Rural Household Waste Treatment and Disposal in Guangdong Province[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 621(1): 012071.
- [9] FAN Z G, WANG J W. Model and Suggestions on Classified Treatment of Rural Domestic Waste[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 781(3): 032023.
- [10] 李建华,米文宝,冯翠月,等.基于GIS的宁夏中卫县地名文化景观分析[J].人文地理,2011,26(1):100-104.  
LI Jian-hua, MI Wen-bao, FENG Cui-yue, et al. An Analysis on Toponym Cultural Landscape Based on GIS Application in Zhongwei County, Ningxia Municipality[J]. Human Geography, 2011, 26(1): 100-104.
- [11] 魏建飞,程 迪,丁志伟,等.安徽省镇域经济发展水平的时空分异及空间格局影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1860-1871.  
WEI Jian-fei, CHENG Di, DING Zhi-wei, et al. Spatial-temporal Analysis of Economic Development and Influence Factors at Town Level in Anhui Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(8): 1860-1871.
- [12] 谭雪兰,段建南,包春红,等.基于GIS的麻阳县农村居民点空间布局优化研究[J].水土保持研究,2010,17(6):177-180,185.  
TAN Xue-lan, DUAN Jian-nan, BAO Chun-hong, et al. A GIS-based Study on Optimized Spatial Distribution of Rural Settlements in Mayang County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(6): 177-180, 185.
- [13] PENG L H, CHEN W W, LI M, et al. GIS-based Study of the Spatial Distribution Suitability of Livestock and Poultry Farming: The Case of Putian, Fujian, China[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 108: 183-190.
- [14] 许月卿,李双成,蔡运龙.基于GIS和人工神经网络的区域贫困化空间模拟分析:以贵州省猫跳河流域为例[J].地理科学进展,2006,25(3):79-85,140.  
XU Yue-qing, LI Shuang-cheng, CAI Yun-long. Spatial Simulation Using GIS and Artificial Neural Network for Regional Poverty: A Case Study of Maotiaohe Watershed, Guizhou Province[J]. Progress in Geography, 2006, 25(3): 79-85, 140.
- [15] 蔡海生,朱德海,张学玲,等.鄱阳湖自然保护区生态承载力[J].生态学报,2007,27(11):4751-4757.  
CAI Hai-sheng, ZHU De-hai, ZHANG Xue-ling, et al. Dynamics Analysis of the Ecological Capacity in Poyang Lake Nature Reserve Based on RS and GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4751-4757.
- [16] WU L, XIE B G, XIAO X, et al. Classification Method and Determination of Mountainous Area Types at Township Scales: A Case Study of Yuxi City, Yunnan Province[J]. Complexity, 2020, 2020: 3484568.
- [17] 付凌晖,刘爱华.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.  
FU Ling-hui, LIU Ai-hua. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [18] 岳 波,张志彬,孙英杰,等.我国农村生活垃圾的产生特征研究[J].环境科学与技术,2014,37(6):129-134.  
YUE Bo, ZHANG Zhi-bin, SUN Ying-jie, et al. Characteristics of Rural Household Solid Wastes in China[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(6): 129-134.
- [19] 韩智勇,费勇强,刘 丹,等.中国农村生活垃圾的产生量与物理特性分析及处理建议[J].农业工程学报,

- 2017,33(15):1-14.
- HAN Zhi-yong, FEI Yong-qiang, LIU Dan, et al. Yield and Physical Characteristics Analysis of Domestic Waste in Rural Areas of China and Its Disposal Proposal[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(15): 1-14.
- [20] 晏卓逸, 岳波, 高红, 等. 我国村镇生活垃圾可燃组分基本特征及其时空差异[J]. 环境科学, 2017, 38(7): 3078-3084.
- YAN Zhuo-yi, YUE Bo, GAO Hong, et al. Basic Features of Combustible Rural Garbage Component and Its Spatial-temporal Difference in China[J]. Environmental Science, 2017, 38(7): 3078-3084.
- [21] 靳琪, 高红, 岳波, 等. 村镇生活垃圾重金属含量及其来源分析[J]. 环境科学, 2018, 39(9): 4385-4392.
- JIN Qi, GAO Hong, YUE Bo, et al. Heavy Metal Content of Rural Living Solid Waste and Related Source and Distribution Analysis[J]. Environmental Science, 2018, 39(9): 4385-4392.
- [22] 邱才娣. 农村生活垃圾资源化技术及管理模式探讨[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- QIU Cai-di. Research on Utilization and Management Pattern for Rural Domestic Refuse[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [23] 王佳旭. 高原湖泊流域人居环境生态敏感性评价及空间优化研究: 以异龙湖为例[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- WANG Jia-xu. Study on the Living Environment of Ecological Sensitivity Evaluation and Space Optimization in Plateau Lake Basins: The Yi Long Lake as an Example[D]. Kunming: Yunnan University, 2015.
- [24] WU X H, YUE B, HUANG Q F, et al. Investigation of the Physical and Chemical Characteristics of Rural Solid Waste in China and Its Spatiotemporal Distributions[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(8): 17330-17342.
- [25] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 浙江统计, 2003(4): 25-26.
- YE Zong-yu. On the Choice of Indicator Forwarding and Dimensionless Methods in the Comprehensive Evaluation of Multiple Indicators[J]. Zhejiang Statistics, 2003(4): 25-26.
- [26] 李锁强. 中国县域统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- LI Suo-qiang. China County Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [27] 王春枝. 综合评价指标筛选及预处理的方法研究[J]. 统计教育, 2007(3): 15-16.
- WANG Chun-zhi. Research on the Method of Comprehensive Evaluation Index Screening and Pre-processing[J]. Statistical Education, 2007(3): 15-16.
- [28] 刘小妹, 程中琴, 施崇精, 等. 基于 AHP-CRITIC 法的正交设计优选参膝口服液提取工艺[J]. 中草药, 2018, 49(11): 2577-2583.
- LIU Xiao-mei, CHENG Zhong-qin, SHI Chong-jing, et al. Optimization of Extraction Technique for Shenxi Oral Liquid by Orthogonal Design Based on AHP-CRITIC Analysis[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(11): 2577-2583.
- [29] ENDERLEIN T, BAUMER G M. ArcGIS Desktop: Release 10[R]. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2009.
- [30] CHAN H K, SUN X, CHUNG S H. When Should Fuzzy Analytic Hierarchy Process Be Used Instead of Analytic Hierarchy Process? [J]. Decision Support Systems, 2019, 125: 113114.
- [31] LIU Y, ECKERT C M, EARL C. A Review of Fuzzy AHP Methods for Decision-making with Subjective Judgements[J]. Expert Systems with Applications, 2020, 161: 113738.
- [32] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- XU Jian-hua. Econometric Geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [33] 徐建华. 地理建模方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- XU Jian-hua. Geographical Modelling Methods[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [34] HAN Z Y, LIU Y, ZHONG M, et al. Influencing Factors of Domestic Waste Characteristics in Rural Areas of Developing Countries [J]. Waste Management, 2018, 72(2): 45-54.
- [35] 李俊晓, 李朝奎, 殷智慧. 基于 ArcGIS 的克里金插值方法及其应用[J]. 测绘通报, 2013(9): 87-90, 97.
- LI Jun-xiao, LI Chao-kui, YIN Zhi-hui. ArcGIS Based Kriging Interpolation Method and Its Application[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2013(9): 87-90, 97.
- [36] 何宗贵, 韩世民, 崔道永, 等. 空间自相关分析的统计量探讨[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2008, 20(4): 315-318.
- HE Zong-gui, HAN Shi-min, CUI Dao-yong, et al. Discussion on Statistic of Spatial Autocorrelation Analysis[J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2008, 20(4): 315-318.
- [37] 姚步慧. 我国农村生活垃圾处理机制研究[D]. 天津:

- 天津商业大学,2010.
- YAO Bu-hui. Study on the Mechanism of China's Rural Garbage Disposal[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce,2010.
- [38] 郑凤娇. 农村生活垃圾分类处理模式研究[J]. 吉首大学学报(社会科学版),2013,34(3):52-56.
- ZHENG Feng-jiao. On the Sorting Disposal of Rural Household Waste[J]. Journal of Jishou University (Social Sciences Edition),2013,34(3):52-56.
- [39] 贾亚娟,赵敏娟. 生活垃圾分类治理:基于选择实验法的阳光堆肥农户合作偏好[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(4):108-117.
- JIA Ya-juan,ZHAO Min-juan. Domestic Waste Classification and Treatment: A Study on Farmers' Cooperative Preference in Sunshine Composting House Based on Choice Experiment[J]. China Population, Resources and Environment,2021,31(4):108-117.
- [40] CHEN Y, LAI Z, WANG Z, et al. Optimizing Locations of Waste Transfer Stations in Rural Areas[J]. PLOS ONE,2021,16(5):e0250962.
- [41] 门金珂. 中部地区农村垃圾处理的现状、问题与治理对策[J]. 经济研究导刊,2019(11):59-61.
- MEN Jin-ke. The Current Situation, Problems and Management Measures of Rural Waste Treatment in the Central Region[J]. Economic Research Guide,2019(11):59-61.
- [42] XU X, MOLA-YUDEGO B, SELKIMKI M, et al. Determinants of Farmers' Waste Generation and Disposal in Rural Areas of Central China[J]. Environmental Science and Pollution Research,2023,30:9011-9021.
- [43] 聂二旗,郑国砥,高 定,等. 中国西部农村生活垃圾处理现状及对策分析[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(10):882-889.
- NIE Er-qi, ZHENG Guo-di, GAO Ding, et al. Status Quo and Strategy for Management of Rural Domestic Waste in West China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2017,33(10):882-889.
- [44] 宫 傲,孙 黛,刘辛宇,等. 东北地区农村生活垃圾特征及处理模式研究[J]. 广东化工,2019,46(12):99-100.
- GONG Ao, SUN Dai, LIU Xin-yu, et al. Study on Characteristics and Treatment Mode of Rural Domestic Waste in Northeast China[J]. Guangdong Chemical Industry,2019,46(12):99-100.
- [45] YANG Y, WANG S, ZHAO Y. Current Situation Survey of Garbage Management in Rural Areas of Heilongjiang Province[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2018,322:052035.
- [46] 靳 琪,岳 波,王 琪,等. 我国不同区域农村生活垃圾的产生、管理现状:基于抽样的村镇调查研究[J]. 环境工程,2018,36(10):97-101,107.
- JIN Qi, YUE Bo, WANG Qi, et al. Present Situation of Production and Management of Rural Domestic Refuse in Different Regions of China: Based on Survey of the Sampled Villages and Towns[J]. Environmental Engineering,2018,36(10):97-101,107.
- [47] CHEN W, LUO S S, DU S W, et al. Strategy to Strengthen Rural Domestic Waste Composting at Low Temperature: Choice of Ventilation Condition[J]. Waste and Biomass Valorization,2020,11(12):6649-6665.
- [48] AJMAL M, SHI A, AWAIS M, et al. Optimization of Pilot-scale In-vessel Composting Process for Various Agricultural Wastes on Elevated Temperature by Using Taguchi Technique and Compost Quality Assessment[J]. Process Safety and Environmental Protection,2020,140:34-45.
- [49] DOORGA J, RUGHOOPTH S, CHUNG S Y, et al. A Geospatial Approach for Addressing Long-term Solid Waste Management Issues: Extracting Value from Waste[J]. Journal of cleaner production,2022,334:130282.