

Spatial Pattern of Pollutant Emissions at the County Scale in Yunnan Province Based on the Second China Pollution Source Census

Yumin Yi^{1,2}, Yuancun Qin^{1*}, Sha Deng^{1,2}, Xiaofen Li¹

¹Yunnan Appraisal Center for Ecological and Environmental Engineering, Kunming Yunnan

²Yunnan Second Pollution Source Census Office, Kunming Yunnan

Email: 754178896@qq.com, *121369321@qq.com

Received: Jul. 30th, 2020; accepted: Aug. 14th, 2020; published: Aug. 21st, 2020

Abstract

By using the method of GIS spatial analysis, taking the total pollution amount and pollution intensity of SO₂, NO_x, COD and NH₃-N in the Second China Pollution Source Census (The Second CPSC) as the measurement index, the geographical aggregation characteristics of the pollutant emissions and emission intensity at the county level in Yunnan Province were analyzed. The results show that: (1) The spatial difference of total amount and intensity of SO₂ and NO_x emission from waste gas is obvious, while the regional difference of total amount and intensity of COD and NH₃-N emission from waste water is not obvious. (2) According to the Moran index analysis results, the spatial correlation of pollutant emission in Yunnan province is significant, the spatial aggregation significance of the total emission of various pollutants is SO₂ > COD > NH₃-N > NO_x, and the aggregation significance characteristic of the emission intensity is SO₂ > NO_x > COD > NH₃-N. (3) The hot-spot and cold-spot areas of the total emission of SO₂ and NO_x are generally consistent with the distribution of emission intensity, but most areas of Kunming, Yuxi and Honghe are changed from hot-spot areas to cold-spot areas. The total amount and intensity of wastewater COD and NH₃-N emissions have formed multiple hot-spot areas, and the spatial distribution pattern of total discharge and intensity has obviously inverted, and most of the hot-spot areas in Kunming, Qujing, Yuxi, and Honghe have become cold-spot areas. Pu'er, Lincang and Dehong changed from cold-spots to hot-spots. (4) The total amount and intensity of the four types of pollutants are mainly in the low-low aggregation state, and the high-high state areas have great absolute differences in pollutant emissions, and there is a certain proportion of low-high, high-low areas.

Keywords

The Second China Pollution Source Census, Spatial Aggregation, Spatial Autocorrelation, Hot Spot Analysis

*通讯作者。

基于第二次全国污染源普查的云南省县域尺度污染物排放空间格局

易玉敏^{1,2}, 覃源存^{1*}, 邓 莎^{1,2}, 李晓芬¹

¹云南省生态环境工程评估中心, 云南 昆明

²云南省第二次污染源普查工作办公室, 云南 昆明

Email: 754178896@qq.com, *121369321@qq.com

收稿日期: 2020年7月30日; 录用日期: 2020年8月14日; 发布日期: 2020年8月21日

摘要

通过采用GIS空间分析方法,以第二次全国污染源普查(简称“二污普”)SO₂、NO_x、COD、NH₃-N的排放总量和排放强度为测度指标,对云南省县域尺度的污染物排放量及排放强度地理聚集特征进行分析。结果表明,(1)SO₂、NO_x排放总量和强度空间差异明显,COD、NH₃-N排放总量和强度区域差异不明显。(2)按Moran指数分析,云南省污染物排放的空间相关性显著,各类污染物的排放总量空间集聚显著性特征SO₂>COD>NH₃-N>NO_x,排放强度的聚集显著性特征为SO₂>NO_x>COD>NH₃-N。(3)SO₂、NO_x排放总量的热点区与冷点区的分布区域与排放量强度的分布规律总体一致,但昆明、玉溪、红河大部分区域由排放量的热点区变为排放强度的冷点区;COD、NH₃-N排放总量和强度形成了多个热点片区,排放总量和排放强度空间分布格局出现明显倒置,昆明、曲靖、玉溪、红河绝大多数热点区域变为了冷点区,普洱、临沧、德宏由冷点区变为热点区。(4)四类污染物排放总量和强度均主要呈低-低聚集状态,高-高状态的区域污染物排放的绝对差异大,同时存在一定比例的低-高,高-低区域。

关键词

第二次全国污染源普查,空间聚集,空间自相关性,热点分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2013年1月,我国中东部地区出现了持续的雾霾天气,并蔓延至25个省份,这种大规模、综合性的区域性环境污染问题引发了大家对污染物排放量及排放强度在空间交互影响的关注[1]。使用空间计量方法探索区域单元间污染物的排放差异和排放格局,关注污染物排放的空间溢出效应,将有利于从宏观层面去揭示区域单元间的相互作用对污染物排放的影响[2][3][4],建立区域间产业集聚水平、产业结构、污染治理水平对污染物排放量及排放强度的相关关系。目前,空间数据探索性分析技术已经成熟地应用于探索要素的空间格局和可视化,并探索区域要素之间的差异[5][6][7][8][9]。鉴于此,本文以“二污普”为基础,并运用空间相关性分析、热点分析、数据探索等手段,分析云南省4类污染物排放的空间分布格局、地理聚集特征。在分析尺度上,覆盖129个县;在污染源覆盖上,涵盖云南省二污普中的工

业源、农业源、生活源[10] [11] [12], 以期为云南省制定科学合理的污染防治措施提供理论依据和决策参考, 并对不同污染源、不同污染物、不同区域提出差异化的污染防治政策。

2. 研究对象及数据来源

本研究选取与产业结构、聚集度及治理水平相关的 SO_2 、 NO_x 、COD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为研究对象。研究指标除使用污染源排放总量(Ti)外, 还采用单位 GDP 污染物排放强度(Ei)进行表征。数据以 2017 年为分析断面, 污染物排放数据来源“二污普”, 经济社会发展数据来源云南省及各州市 2017 年统计年鉴。

3. 研究方法

采用全局 Moran 指数法、局域空间相关性分析、热点分析法进行污染物空间分布规律分析和影响因素分析, 以体现污染源排放强度与地理空间的相关性, 即研究区域内空间变量的空间分布规律和影响因素。

(1) 全局 Moran 指数法

全局 Moran 指数可对污染源排放总量或强度属性值在空间上的相关性进行描述, 用于分析区域总体的空间关联和空间差异程度。其计算公式为[13]:

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

式中: I 为 Moran's I 指数; n 为研究县区个数; x_i 和 x_j 分别为 i 区域和 j 区域污染物排放总量或强度; \bar{x} 为污染物排放总量或强度的均值; $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$; w_{ij} 为空间权重矩阵, 空间相邻为 1, 不相邻为 0。

Moran's I 值介于-1~1, 对 I 值进行 Z 检验, 其显著为正表示污染物总量(或强度)存在空间正相关性, 显著为负则表示空间负相关, 为零则表示呈空间随机分布。

(2) 局域空间相关性分析

为进一步分析局部空间聚集情况, 在进行全局相关性分析的基础上再进行热点分析和局部 Moran's I 分析。

① 热点分析

热点分析是局部空间自相关的一种判定模式, 通过对每一个要素及其相邻要素的局部总和所有要素的总和进行比较, 计算得到高值或低值要素在空间上发生聚类的位置, 直观的展现聚类的空间位置以及集聚的程度, 并反映空间数据在一定范围内的高值与低值的积聚效应。本研究采用 ArcGIS 计算热点分析 (Getis-Ord G_i^*), 其表达式为:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n x_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (2)$$

其中 x_j 是要素 j 的属性值, $w_{i,j}$ 是要素 i 和 j 之间的空间权重, n 为要素综合, 且:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} - (\bar{X})^2} \quad (4)$$

G_i^* 统计是 z 得分, 进行该分析可以为每个区域要素返回 G^* 统计得到的 z 得分 $Z(G_i)$, 对式中得到的 $Z(G_i)$ 进行显著性检验, 若 $Z(G_i)$ 显著为正, 说明污染总量(或强度)高值集聚, 即为热点区; 反之, 则为冷点区。根据 Jenks 最佳自然断裂法, 将 $Z(G_i)$ 由低到高分四级, 依次为冷点区、次冷点区、次热点区、热点区[14]。

② Moran 散点图

Moran 散点图能解释区域或地理单元间的空间相互作用在污染物排放量及排放强度的影响。为研究污染物局域的空间异质性, 其横坐标为各单元污染物排放量或排放强度的标准化值, 纵坐标为空间权重所确定的相邻单元的属值值的平均值。四个象限表达某一区域和其周围区域四种类型的局域空间关系, 第一象限是高-高、第二象限是低-高、第三象限是低-低、第四象限是高-低[13]。Moran 散点图的分散程度可体现污染物排放量或强度的分散程度, 若散点图非常分散, 说明区域污染物排放的绝对差异非常大。

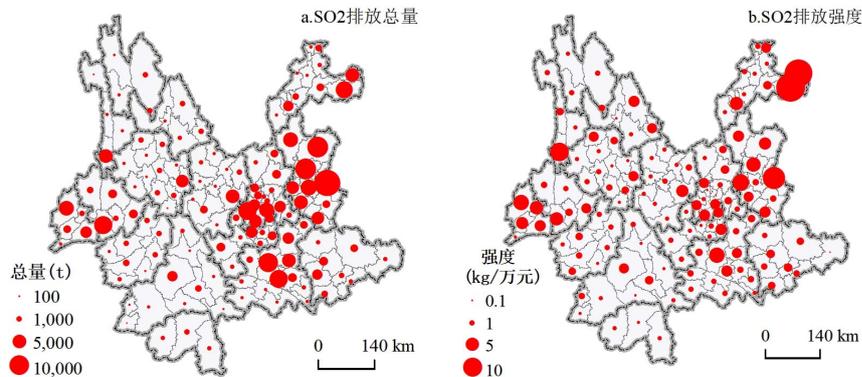
4. 结果与讨论

4.1. 污染物排放分布

(1) SO_2 分布特征。从排放总量(图 1(a))看, SO_2 排放量主要集中于滇南、滇中、滇西地区, 排放量大的是曲靖富源、宣威、沾益, 红河建水、个旧, 昆明安宁, 保山龙陵等地, 排放量小的是临沧孟连、江城、西盟、迪庆等滇西南、滇西北等地。从排放强度(图 1(b))看, 排放强度大区域的集中在滇东北昭通镇雄、威信, 曲靖富源, 怒江泸水, 德宏盈江等地; 排放强度小的是文山富宁, 昆明五华、盘龙、官渡区, 普洱思茅, 丽江古城区、西双版纳区域。

(2) NO_x 分布特征。从排放总量(图 1(c))看, NO_x 排放集中滇南、滇中、滇西地区, 排放量大的是昆明安宁、宜良, 玉溪红塔区、新平, 红河开远, 曲靖麒麟区、富源, 滇西龙陵、盈江等地, 排放量小的是滇西南、滇西北等地。从排放强度(图 1(d))看, 排放强度大的区域在滇东北昭通镇雄、威信, 曲靖富源, 怒江泸水等地, 排放强度小的在昆明五华、西山、盘龙、官渡区, 文山富宁, 滇西南西双版纳区域。

(3) COD 分布特征。从排放总量(图 1(e))看, COD 排放量除滇西北地区外较为分散于各州市中, 排放量大的是曲靖陆良、宣威, 昭通镇雄, 大理祥云, 楚雄大姚, 保山隆阳区, 昆明寻甸、临沧永德等地, 排放量小的是怒江贡山、福贡, 香格里拉德钦等地。从排放强度(图 1(f))看, 排放强度大的在滇东北昭通镇雄、威信, 临沧永德, 楚雄大姚, 大理弥渡, 文山丘北等地, 排放强度小的是昆明官渡、五华、西山、盘龙、呈贡区, 玉溪红塔区、易门, 曲靖富宁等地。



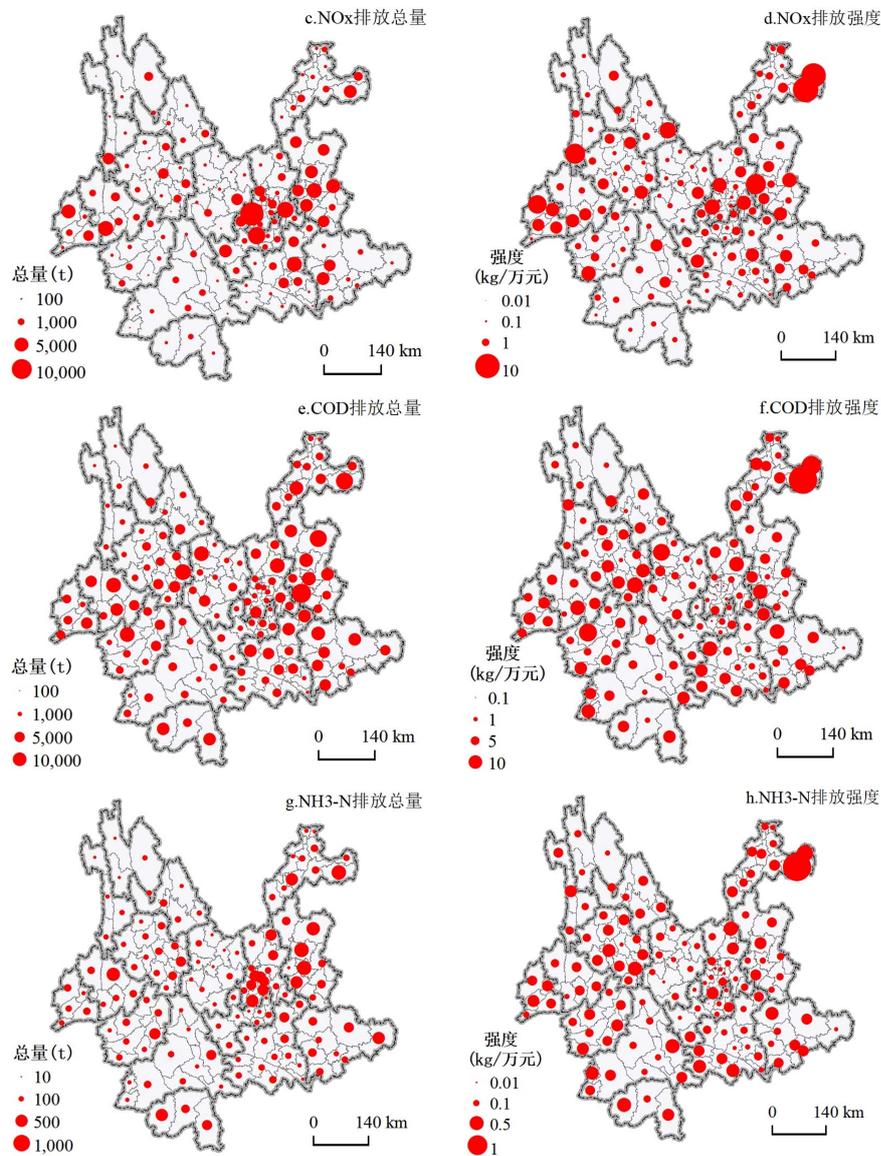


Figure 1. Spatial distribution of wastewater and exhaust pollutants
图 1. 废水和废气污染物的空间分布

(4) 废水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布特征。从排放总量(图 1(g))看, 云南省废水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放集中在滇中区域, 排放量大的是曲靖沾益区、麒麟区、宣威, 昭通镇雄、昭阳区, 保山隆阳区, 昆明晋宁区等地, 排放量小的是怒江贡山、昭通水富, 玉溪澄江、香格里拉德庆等地。从排放强度(图 1(h))看, 排放强度大的是昭通镇雄、威信, 红河墨江, 昆明东川等地, 排放强度小的是玉溪红塔区、新平、澄江, 昆明五华、官渡区, 楚雄等地。

4.2. 污染物排放总量和强度空间相关性分析

为进一步分析云南省 SO_2 、 NO_x 、COD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 四种污染物排放总量和强度的空间相关性及聚集格局, 利用全局 Moran's I 指数和局域空间相关性分析方法进行相应的测算。

4.2.1. 全局 Moran's I 指数分析

SO_2 、 NO_x 、COD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 四项污染物总量和强度的莫兰指数均为正, 检验指标 $Z(I)$ 远大于临界值

1.65, P 值均小于 0.01, 通过了显著性检验。云南省各县污染物排放之间存在着总体空间自相关现象, 污染水平相似的地区在空间上呈集聚分布, 即排放总量和强度较高的地区和同为排放总量和强度较高的地区相邻, 反之亦然。

Table 1. Statistical value of Moran's I index of pollutant emissions in Yunnan province

表 1. 云南省污染物排放全局 Moran's I 指数统计值

| 指标 | Moran's I | E(I) | 方差 | Z(I) | P |
|---------------------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| TSO ₂ | 0.410 | -0.008 | 0.003 | 7.834 | 0.000 |
| ESO ₂ | 0.400 | -0.008 | 0.002 | 8.165 | 0.000 |
| TNO _x | 0.158 | -0.008 | 0.003 | 3.133 | 0.002 |
| ENO _x | 0.274 | -0.008 | 0.003 | 5.337 | 0.000 |
| TCOD | 0.222 | -0.008 | 0.003 | 4.180 | 0.000 |
| ECOD | 0.243 | -0.008 | 0.002 | 5.119 | 0.000 |
| TNH ₃ -N | 0.209 | -0.008 | 0.003 | 3.925 | 0.000 |
| ENH ₃ -N | 0.227 | -0.008 | 0.002 | 5.379 | 0.000 |

从排放总量的 Moran's I 指数排序来看(如表 1), SO₂ 排放总量 > COD 排放总量 > NH₃-N 排放总量 > NO_x 排放总量; 就排放强度的 Moran's I 指数排序而言, SO₂ 排放强度 > NO_x 排放强度 > COD 排放强度 > NH₃-N 排放强度, SO₂ 的排放量及排放强度的空间自相关性及空间集聚水平最高。

4.2.2. 局域空间相关性分析

(1) 热点分析结果

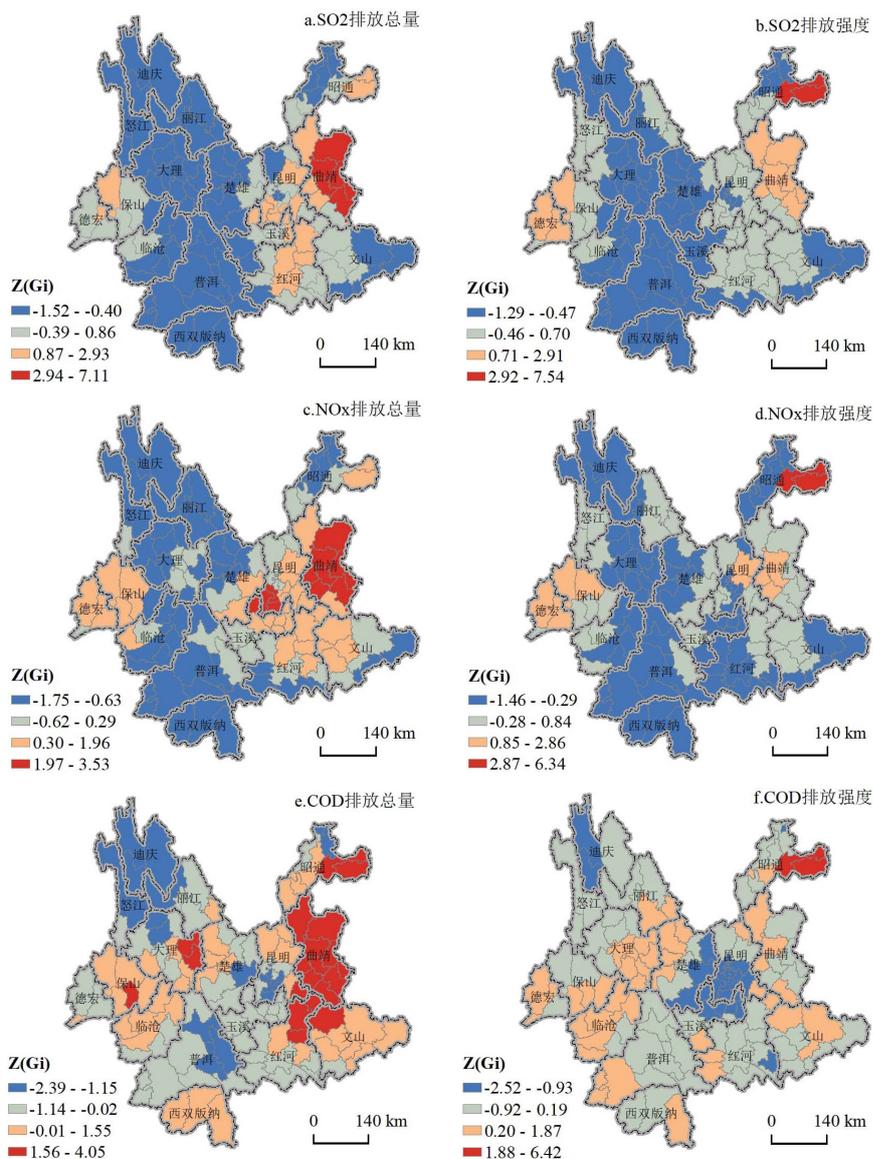
① SO₂ 聚集情况。从排放总量热度(图 2(a))看, SO₂ 排放总量的热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 5:21:34:66。热点区集中在滇南曲靖宣威、沾益、富源、罗平、麒麟区; 次热点主要分布于滇南曲靖会泽、马龙、陆良, 滇中昆明西山、安宁、晋宁, 红河开远, 建水、个旧, 玉溪澄江、易门、华宁, 昭通镇雄、威信, 德宏梁河; 冷点区连片分布于滇西北和滇西南区域。从排放强度量热度(图 2(b))看, SO₂ 排放强度热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 3:12:48:66, 热点区在昭通镇雄和威信; 次热点区在曲靖和德宏; 次冷点区分布于滇中昆明、红河、文山西北部县区等地; 冷点区连片分布在迪庆、大理、临沧、普洱、版纳等地。

② NO_x 聚集情况。从排放总量热度(图 2(c))看, NO_x 排放总量的热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 11:34:28:56。热点区集中在曲靖市, 昆明安宁、晋宁、盘龙、西山, 玉溪易门; 次热点主要连片集中分布于滇中昆明东南部、玉溪东北部、红河东北部、文山西北部和滇西德宏、保山地区; 冷点区连片分布于滇西北迪庆、怒江、丽江、大理、楚雄西北部, 滇西南临沧、普洱、版纳, 红河西南部, 昭通北部区县。从排放强度量热度(图 2(d))看, NO_x 排放强度热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 3:12:37:77, 热点区在昭通镇雄、威信、彝良; 次热点区在连片分布在曲靖陆良县, 沾益、麒麟、马龙区, 昆明寻甸、嵩明, 德宏, 保山腾冲和隆阳区; 冷点区连片分布在迪庆、大理、临沧、普洱、红河、版纳等地。

③ COD 聚集情况。从排放总量热度(图 2(e))看, COD 排放总量的热点区、次热点区、次冷点区、

冷点区的比例为 20:40:49:20。热点区为曲靖市, 昆明石林, 红河泸西、弥勒、开远, 文山丘北等地, 昭通镇雄、威信、彝良, 大理宾川、祥云, 保山施甸; 冷点区分布在昆明市主城区、迪庆、怒江、普洱东北部区县、昭通等地。从排放强度量热度(图 2(f))看, 废水 COD 排放强度热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 3:45:58:23, 热点区集中在昭通镇雄、威信、彝良; 次热点区连片分布的是丽江华坪、永胜, 楚雄西北区县, 大理东南区县, 保山西南区县和临沧构成的区域; 冷点区集中分布在昆明、楚雄、玉溪连片区域和迪庆德钦、维西, 红河屏边。

④ 废水 NH₃-N 聚集情况。从排放总量热度(图 2(g))看, 废水 NH₃-N 排放总量的热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 18:36:51:24。热点区集中分布在曲靖、昆明、昭通; 次热点分在昆明、曲靖、昭通, 文山、版纳、保山、大理; 冷点分布在迪庆、怒江、楚雄、玉溪, 昭通东北区域。从排放强度热度(图 2(h))看, 废水 NH₃-N 排放强度热点区、次热点区、次冷点区、冷点区的比例为 3:32:63:31。热点区在昭通镇雄、威信、彝良; 次热点零星分布除迪庆、怒江、丽江、楚雄外各州市; 冷点区分布在迪庆、楚雄、昆明、玉溪、红河的连片绝大部分区县。



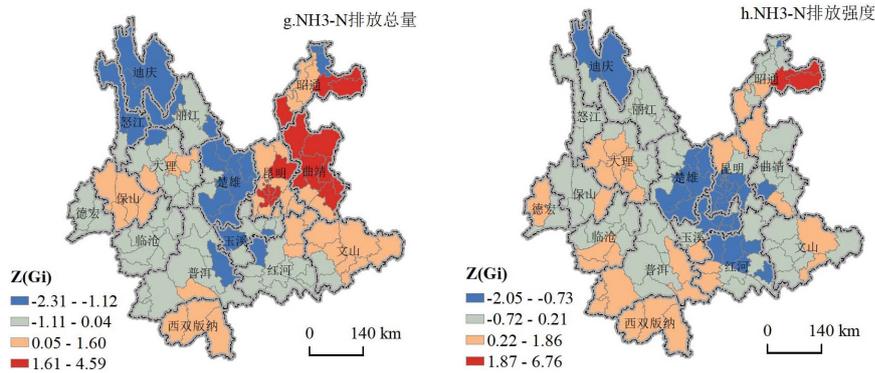


Figure 2. Hot-spot map of pollutant discharge and discharge intensity in counties of Yunnan Province
图 2. 云南省县域污染物排放量及排放强度热点图

总体来说，废气污染物排放总量和强度的热点、次热点区域比废水污染物排放集中且个数少，冷点、次冷点区域比废水排放集中且个数多。污染物排放总量热点、次热点集中区大多数在滇中、滇东、滇东南、滇东北区域，排放强度热点集中在昭通镇雄、威信、彝良；废气排放总量冷点集中在滇西北，滇西南、滇西绝大部分区域，排放强度冷点部分与全省大部分区域；废水排放总量冷点主要集中在滇西北区域，排放强度冷点主要集中于滇中区域。

(2) Moran 散点图分析结果

根据 Moran 散点图分析结果(图 3)，SO₂、NO_x、COD 及 NH₃-N 排放量和排放强度主要落在第三象限内，暨整体呈现低 - 低聚集状态，云南省排放总量和排放强度弱的区域相邻数量占多数；落在第一象限内的个数最少且最为分散，暨四种污染物排放量和排放强度高的区域外也是高区域的数量在云南省所占比例不高；而落在第二和第四象限内的县区个数存在一定的比例，说明四种污染物排放量和排放强度在低区域外是高区域，高区域外是低区域的现象存在。

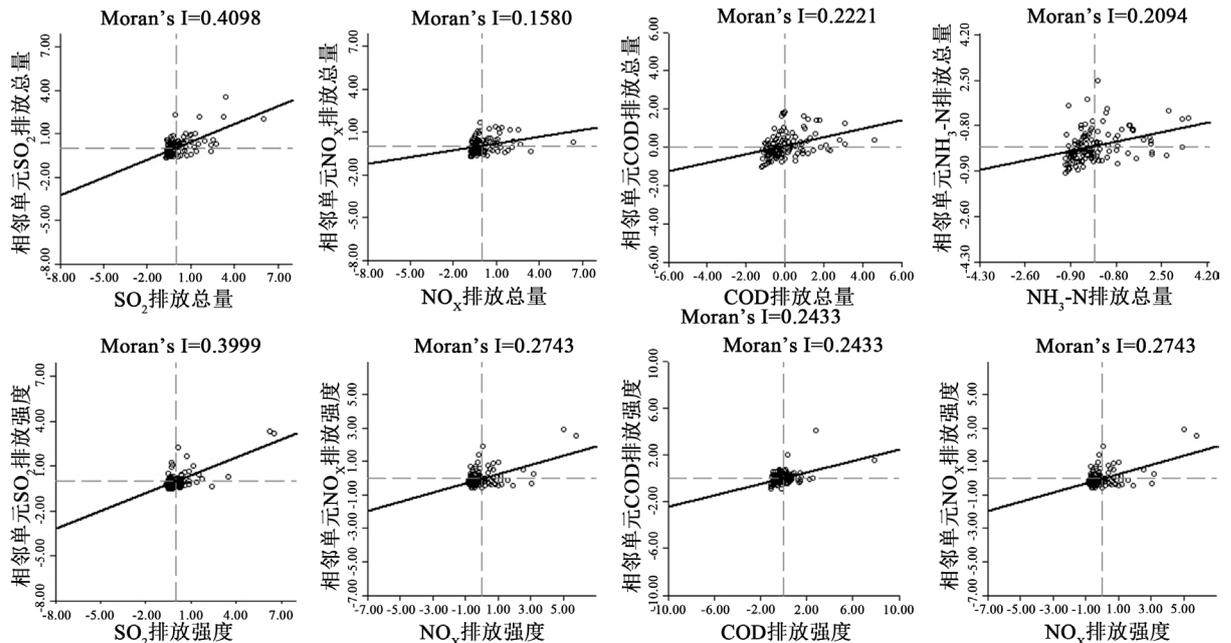


Figure 3. Scatter of pollutant discharge volume and discharge intensity of counties in Yunnan Province
图 3. 云南省县域污染物排放量及排放强度散点图

5. 结论

基于云南省 129 个县 2017 年的断面数据,采用空间数据探索性分析方法,分析了云南省污染物排放量和强度的空间集聚特征和空间格局,研究发现:

(1) SO_2 、 NO_x 总量和强度空间差异明显, COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 总量和强度区域差异不明显。废气污染物排放总量大的分布在滇南、滇中、滇西区域,排放总量小的主要分布在滇西南、滇西北区域;排放强度最大的为滇东北的昭通,虽强度分布格局大体上与总量一致,但也出现局部倒置情况,如:昆明和玉溪等地排放强度较小。废水污染物排放总量和强度分布格局基本一致。

(2) 污染物排放量及排放强度的空间集聚特征明显。污染物总量和强度较高的地区和同为较高的地区相邻,排放总量和强度较低的地区和同为较低区域相邻,说明周边污染物的排放和其他影响因素会对本区域污染物排放产生相关作用。其具体含义为,相邻区域间在产业结构上呈现出一定的相似性,人口分布密度、环境基础设施建设水平上也存在一致性,这意味着在环境保护和治理行动中,要高度重视区域间的合作,建立相关区域联防联控的环保机制,在基础设施建设、污染治理设施改善、污染联防联控、联合预警及应急上应相互协调。

(3) SO_2 、 NO_x 排放总量的热点区与冷点区分布区域与排放量强度的分布规律总体一致,但昆明、玉溪、红河绝大部分区域由排放量的热点区变为排放强度的冷点区。这也说明,昆明、玉溪、红河的产业结构明显高于其他区域,产业及人口的聚集已经起到了优化资源配置、延伸产业链、引导技术创新、提升区域污染治理及管理水平的的作用。曲靖、昭通、德宏、保山等废气排放热点区、次热点区的火电、钢铁、有色金属、非金属矿物制品业集中分布,有色金属及非金属矿物制品业等行业治理水平的相对滞后,导致污染物排放量及排放强度热度的双高,应该在后续环保政策的制定及实施中予以高度重视。

(4) COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放总量和强度形成了多个热点片区,排放总量和排放强度空间分布格局出现明显的倒置,昆明、曲靖、玉溪、红河绝大多数热点区域变为了冷点区,普洱、临沧、德宏由冷点区变为热点区域。云南省废水污染物主要来自于农业源,各地区污染物的排放差异不大,不能形成明显的聚集特征,而农业源对于污染物的治理水平较弱,现代化水平较高的地区对于污染物的治理水平较高,其排放强度会比较弱,因此应该重视农业源的污染治理,提高农业生产的现代化和生态化水平,减少农药化肥的使用。

(5) 四类污染物的排放量及排放强度存在着“空间溢出”,即区域的污染物排放,会带动相邻地区的污染物排放,如滇中、滇东北、滇东南等片区。但与“空间溢出”相反的是,也存在污染物排放量较大及强度较高区域周边为污染物排放量较小或强度较低的区域,如与昆明市、玉溪市和楚雄州毗邻的区域中,昆明市、玉溪市所属区域为热点、次热点区,但楚雄州大部分区域处于次冷点、冷点区,区域污染物排放存在明显的“负效应”,这说明滇中城市圈内部的经济互通及协调发展机制尚未形成,未形成因“产业溢出”导致的“污染物排放溢出”,昆明市对周边工业经济发展的带动作用尚未真正形成。但从长期来看,随着邻近地区产业的进一步发展及产业溢出的形成,“负效应”将逐步消失,即污染物排放量存在长期的“空间溢出”与短期的“负效应”会同时存在。

参考文献

- [1] 马丽梅, 张晓. 区域大气污染空间效应及产业结构影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 157-164.
- [2] 胡志强, 苗健铭, 苗长虹. 中国地市尺度工业污染的集聚特征与影响因素[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1470-1482.
- [3] 周侃, 樊杰, 刘汉初. 环渤海地区水污染物排放的时空格局及其驱动因素[J]. 地理科学进展, 2017, 36(2): 171-181.
- [4] 帕孜丽娅木·木力提江, 孜比布拉·司马义, 颀渊, 等. 新疆城镇化与生态环境耦合协调发展时空区域差异评价研

- 究[J]. 环境污染与防治, 2017, 39(9): 1043-1047.
- [5] 麻永建, 徐建刚. 基于 ESDA 的河南省区域经济差异的时空演变研究[J]. 软科学, 2006, 20(5): 51-54.
- [6] 谢伟伟, 邓宏兵, 王楠. 地理邻近与技术邻近对区域创新的空间溢出效应研究[J]. 华东经济管理, 2019(7): 61-67.
- [7] 杨蓉, 王淑云, 雷林, 等. 基于 ESDA 的省域空气污染空间特征研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(12): 16-19.
- [8] 徐焯. 基于聚类的农产品产地土壤重金属污染与企业空间分布关系研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [9] 张羽威, 张昊哲. 新疆经济发展与水资源利用空间关联性研究[J]. 哈尔滨工业大学学报: 社会科学版, 2018, 20(2): 129-134.
- [10] 国务院. 中华人民共和国国务院令 第 508 号全国污染源普查条例[Z]. 2007-10-9.
- [11] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发第二次全国污染源普查方案的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-09/21/content_5226606.htm, 2017-9-21.
- [12] 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室. 国务院办公厅关于印发第二次全国污染源普查方案的通知公室关于印发第二次全国污染源普查技术规定的通知[Z]. 北京, 2018.
- [13] Cliff, A. and Ord, J. (1981) *Spatial Processes Models and Applications*. Pion, London.
- [14] Goodchild, M.F., Haining, R.P. and Wise, S. (1992) Integrating GIS and Spatial Data Analysis: Problems and Possibilities. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6, 407-423. <https://doi.org/10.1080/02693799208901923>