

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2019.04.013

铜仁地区遥感反演与大气污染物 VOCs 耦合分析^①

秦 微, 兰安军, 李 芸, 鲁 霞

贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳, 550025

摘要: 基于铜仁地区大气污染物中的挥发性有机化合物(VOCs)网格化结果, 结合 Landsat8 遥感反演温度和植被覆盖度, 分析网格化后的 VOCs 空间分布特征和温度、植被覆盖度的耦合关系. 结果表明: VOCs 分布特征与温度、植被覆盖度分布特征类似, 具有一定的耦合关系; VOCs 排放量分布和温度分布以城区为中心点向四周逐渐降低, 植被覆盖度分布以城区为中心向四周逐渐升高; 温度与 VOCs 呈正相关且相关系数为 0.419, 城区和郊区分布非常明显; 植被覆盖度与 VOCs 呈负相关且相关系数为-0.608.

关 键 词: 遥感反演; VOCs; 网格化; 铜仁地区

中图分类号: X515

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)04-0071-06

挥发性有机化合物(VOCs)是大气污染物之一, 美国环保署(EPA)将其定义为除了 CO , CO_2 , H_2CO_3 , 金属碳化合物和碳酸盐外, 参与光化学反应的含碳化合物. 欧盟对 VOCs 的定义为在标准大气压下沸点小于和等于 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 的有机化合物. 铜仁地区相对整个贵州省温度偏高, 根据欧盟对 VOCs 的定义, 温度可能会对 VOCs 的产生有一定的影响. 吴海龙等^[1]、肖建武等^[2]、陶豫萍等^[3]、余应新等^[4]、刘佩琪等^[5]研究指出森林生态系统的价值主要表现在植被对环境中气体污染物的吸收, 对工业、交通及社会生活噪声的有效降低, 分泌杀伤力极强的杀菌素, 可见, 植被对大气污染物 VOCs 的净化有一定作用. 本研究将结合遥感反演来观测大气污染物 VOCs 在温度和植被两个方面的空间变化.

1 材料与方法

1.1 大气污染 VOCs 网格化

大气污染物排放清单一般是基于排放源分类的年度排放量, 估算过程一般是基于乡镇和县为空间统计单位分配的, 且污染物易受各类气象要素的影响^[6]. 所以利用铜仁地区行政边界通过 ArcMap 创建 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 的网格进行空间分配, 使之满足大气污染源的控制和空气质量预测研究对清单数据的需求. 采用面积占优法判断网格所属地理位置, 铜仁地区网格共 2 008 个.

由于收集到的铜仁 VOCs 数据具有详细的地理位置的排放源数量统计表, 包括人类生活中固定燃烧源和家庭去污脱脂、耕地秸秆和生活垃圾等生物质燃烧、机动车道路排放等详细 VOCs 污染数据, 根据铜仁地区行政边界建立的网格, 按照收集的详细统计表和土地利用建立网格空间分配因子, 通过 GIS 技术将 VOCs 污染物排放按照相应的空间分配因子分配到相应的空间分辨率网格, 再对各类型的污染物进行汇总. 大气污染物 VOCs 在空间上表现出连续的块状特征, 因此本研究的污染物排放清单采用郑君瑜等^[6-7] 的排放空间分配方法.

^① 收稿日期: 2018-07-01

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合 SY 字[2012]3058); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合[2016]2595-2 号); 贵州省水利厅科技处项目(KT201706).

作者简介: 秦 微(1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事灾害环境遥感研究.

通信作者: 兰安军, 副教授.

$$Srg(City, GridCell) = \frac{\sum Value(City | GridCell)}{\sum Value(City)} \quad (1)$$

式中: $Srg(City, GridCell)$ = 网格分配因子;

$\sum Value(City | GridCell)$ = 单个网格土地利用值;

$\sum Value(City)$ = 乡镇(县、州)与网格相交区域中所有网格的总值.

$$Emis(GridCell) = Srg(City, GridCell) \times emis(City) \quad (2)$$

式中: $Emis(GridCell)$ = 单个网格污染物排放量;

$emis(City)$ = 乡镇(县、州)排放量.

由式(1)可以计算出每个网格 VOCs 污染物排放影响因素权重值, 式(2)即是将污染物添加到网格化空间数据库中得到的网格污染物排放量.

1.2 遥感反演

1.2.1 植被覆盖度

随着遥感技术的发展, 已出现利用遥感测量植被覆盖度的具体计算方法, 许多学者利用野外采集样本点的方式, 根据植被指数建立植被覆盖度模型. 本研究采用李苗苗^[8]等的像元二分模型研究的模型进行植被覆盖度研究.

$$VFC = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (3)$$

式中: VFC 表示植被覆盖度; $NDVI$ 表示归一化植被覆盖度; $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别表示归一化植被指数最大值和最小值;

采用 Landsat8 数据计算归一化植被指数, 利用归一化植被指数进行统计, 将累计概率为 95% 和 5% 的作为归一化植被指数最大值和最小值.

1.2.2 地表温度反演

目前地表温度反演最主流的方法有大气校正法、单通道算法和分裂窗算法, 胡德勇^[9]、徐涵秋^[10]等利用单窗算法反演地表温度进行研究, 发现反演地表温度与实测数据都有较好的一致性; 高文升^[11]等在大气参数快速估算方法上也作了相关研究; S. C. Ou 等^[12]认为大气校正方案反演地表温度具有可行性.

本研究采用大气校正法来修正大气对地表热辐射传输的影响. 卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值 L_λ 主要由 3 部分组成: 地面反射到大气的热辐射、大气向上的辐射亮度 $L_\lambda \uparrow$ 及大气向下辐射到达地面后反射的能量 $L_\lambda \downarrow$. 把相应的大气影响值从卫星传感器所观测到的热辐射总量中减去, 得到地表热辐射强度, 再把这一热辐射强度转化为相应的地表温度^[13].

$$L_\lambda = [\epsilon B(TS) + (1 - \epsilon)L_\lambda \downarrow] \tau + L_\lambda \uparrow \quad (4)$$

式中: L_λ 表示传感器接收到的热红外辐射亮度值; ϵ 表示地表比辐射率; TS 表示地表绝对温度(K); $B(TS)$ 表示黑体热辐射亮度值; τ 表示大气在热红外波段透过程.

温度为 T 的黑体在热红外波段的辐射亮度 $B(TS)$ 为:

$$B(TS) = [L_\lambda - L_\lambda \uparrow - \tau(1 - \epsilon)L_\lambda \downarrow] / \tau \epsilon \quad (5)$$

根据普朗克公式函数得到热红外段辐射亮度 TS 值为:

$$TS = K_2 / \ln[K_1 / B(TS) + 1] \quad (6)$$

式中: K_1, K_2 是常数, 对于 $OLI/TIRS$, $K_2 = 1\,321.08 / \text{mWm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_1 = 774.89 / \text{mWm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; TS 是绝对温度, 将绝对温度转化为摄氏度, 即

$$T = (TS - 273.5)^\circ\text{C} \quad (7)$$

最后计算所得 T 值即为所反演计算出来的区域地表温度.

2 结果分析

2.1 大气污染 VOCs 空间分布特征

通过网格化后的大气污染 VOCs 由连续的块状分布特征变成了不连续的较为合理的年平均浓度分布

图(图 1)。

由图 1 可知, 污染物 VOCs 主要分布在人口密集的县城区域, VOCs 污染物从这个中心往四周扩散, 逐渐减少, 其中铜仁碧江区和德江县 2 个地方的 VOCs 污染物排放分布量最高, 其他县城比碧江区和德江县 VOCs 污染物排放量低一个等级。江口县、印江县、松桃县 3 地交接边界上的梵净山年平均分布污染物最低, 污染物从沿河县至德江县、印江县、思南县、石阡县分布较为严重。

2.2 遥感反演空间分布特征

2.2.1 植被覆盖度空间分布特征

根据式(3)计算得到铜仁的植被覆盖图, 为了更好的分析 VOCs 污染物与植被覆盖度的关系, 对植被覆盖图进行重采样, 最后得到与 VOCs 污染物同样分辨率的植被覆盖度图。

图 2 直观地反应了铜仁地区的植被覆盖度, 县城区域植被覆盖度最低, 平均植被覆盖度在 45%~60%之间; 梵净山景区植被覆盖度最高。铜仁地区植被覆盖度图中主要交通分布明显, 从沿河县往下一直到石阡县植被覆盖度分布较低, VOCs 污染物空间分布规律与植被覆盖度图空间分布规律相似。

2.2.2 地表温度空间分布特征

获取 Landsat8 的遥感影像数据, 分别对数据进行辐射定标和大气校正, 采用大气校正法来修正大气对地表热辐射传输的影响, 最后算出铜仁地区地表温度值。对气象网发布的同一日、同一时间的气温进行比较发现, 气象网发布的气温数据与遥感反演的地表温度误差在 0.86℃~1.35℃间。由于大气污染物 VOCs 采用 3 km×3 km 的网格分布, 需要对 Landsat8 遥感反演的地表温度重新采样比较大气污染物 VOCs 大小(图 3)。

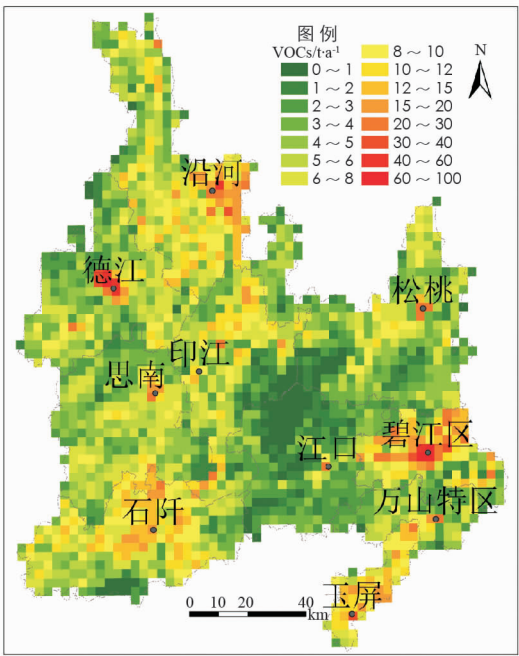


图 1 铜仁地区 VOCs 空间分布图

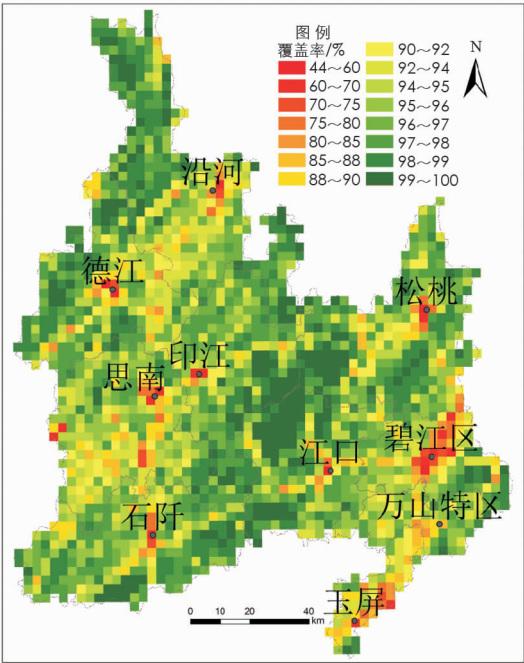


图 2 铜仁地区植被覆盖空间分布图

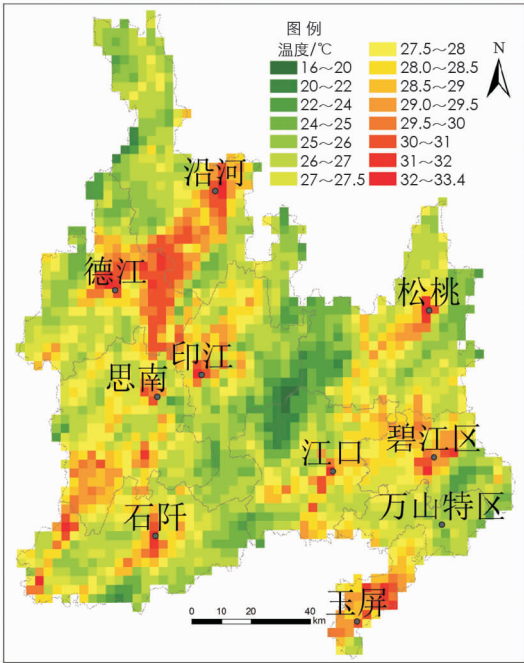


图 3 铜仁地区温度空间分布图

由图 3 可知,铜仁地区属中亚热带季风湿润气候,气候的垂直差异明显,山间、河谷气候垂直变化明显.高温区主要分布在县城或人口密集区域以及海拔较低的乌江两岸;著梵净山景区平均温度分布最低,以梵净山为中心区域,温度逐步升高,分布特征和污染物 VOCs 类似,但是比污染物 VOCs 分布更加明显.

2.3 污染物 VOCs 与地表温度耦合分析

根据铜仁地区污染物 VOCs 分布与地表温度分布可以得到 2 个数据之间的散点图.结合污染物 VOCs 空间分布图、平均温度空间分布图与散点图,根据 Pearson 相关性划分,大气污染物 VOCs 与温度存在正相关关系,铜仁地区 VOCs 排放与地表温度相关指数在 0.01 上有统计学意义,相关性为 0.419,呈中度相关,VOCs 污染物空间分布与地表温度回归方程为: $Y=1.446\ 6X-32.795$.图 4 显示大气污染物 VOCs 随着温度的升高排放量在逐渐的增加,当温度约高于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,大气污染物 VOCs 的排放量变化比较明显,数据排放比较随机分散,不再是呈线性的变化.

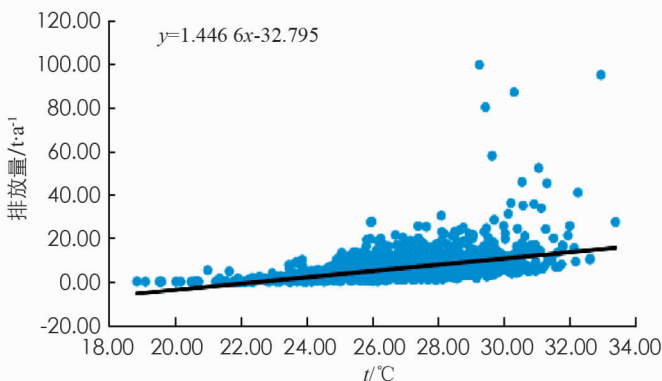


图 4 VOCs 与温度散点图

污染物排放主要分布在 $24\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,这部分污染物分布在城区外,污染物排放量主要分布在 $0\sim 20\text{ t/a}$ 间,平均污染物排放量为 6.06 t/a ,最高污染物排放量达到 99.75 t/a ;地表温度在 $16\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间污染物分布较少,这部分污染物主要分布在梵净山以及附近区域,平均污染物排放量 1.29 t/a ;地表温度在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的污染物分布较为分散,主要分布在人口密度较高的县城区域,以德江县和沿河县沿乌江两岸,平均污染物排放量 15.5 t/a ,其中县城平均污染物排放量为 20 t/a ,沿乌江两岸平均排放量 7.5 t/a .

2.4 污染物 VOCs 与植被覆盖度耦合分析

铜仁地区 VOCs 污染物主要来源于生活中固定燃烧源、生物质燃烧源和道路源,研究表明森林植被对污染防治、吸收粉尘和减少噪音有一定的防治作用.结合污染物 VOCs 空间分布排放数据、平均植被覆盖度空间分布数据生成的散点图(图 5)发现,当植被覆盖度较低时,污染物排放比较分散并且排放较大,线性变化不够明显;植被覆盖度较高时,污染物分布较为集中并且排放较低.根据 Pearson 相关性划分,大气污染物 VOCs 与植被覆盖度呈负相关

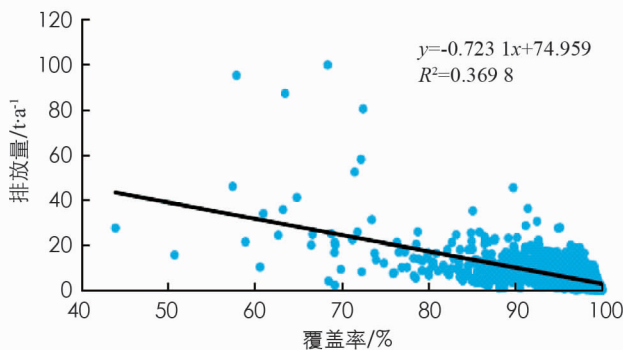


图 5 VOCs 与植被覆盖度散点图

关系,铜仁地区 VOCs 排放量与植被覆盖度相关指数在 0.01 上有统计学意义,相关性为 -0.608 ,呈中强度相关,VOCs 污染物与植被覆盖度的回归方程为: $Y=-0.723\ 1X+74.959$.

污染物 VOCs 集中分布在 85% 的植被覆盖度以上,污染物排放量主要分布在 $0\sim 20\text{ t/a}$ 间,平均污染物排放量为 5.72 t/a ;植被覆盖度在 85% 以下的区域主要分布在县城区域,温度相对较高,污染物线性分布不明显,分布较为分散,污染物最高可达 99.7 t/a ,平均排放量 20.25 t/a .

3 结论与讨论

3.1 结 论

本研究区大气污染物 VOCs 排放空间分布图和地表温度分布图显示,污染物排放量和地表温度由县城中心向四周逐渐降低,而地表植被覆盖度与此相反,县城植被覆盖较低,周围植被覆盖相对城区较高.

大气污染物 VOCs 分布较浓区域为碧江区、玉屏县、德江县、沿河县、思南县、印江县,这些区域平均海拔相对较低,属中亚热带季风湿润气候区,网格平均温度相对较高,平均植被覆盖度较低,VOCs 空间分布图、平均气温分布图和植被覆盖图在空间上存在相似性,空间分布状况具有一定程度上的耦合关系。

结合铜仁地区的大气污染物 VOCs 空间分布数据与温度空间分布、植被覆盖度空间分布的散点图发现,整个铜仁地区的温度、植被覆盖度与大气污染物 VOCs 之间的耦合相关指数在置信度 0.01 时,相关性有统计学意义,温度与污染物呈正相关且相关系数为 0.419,植被覆盖度与污染物呈负相关且相关系数为 -0.608。

3.2 讨 论

有研究表明污染物随季节变化呈明显时空变化特征^[14],提高对生态的保护,污染会逐年改善^[15],特别是在大气污染 VOCs 高浓度区高质量的植被对城市热岛效应不仅有缓解作用^[16],也能缓解 VOCs 对城市的污染,如碧江区、德江县、沿河县等城市污染物排放量较高,温度比较炎热,植被覆盖度相对较少的区域应增加植被覆盖度。

大气污染物 VOCs 与温度和植被有着密切的联系,由于铜仁地区的工业发展水平不高,铜仁地区 VOCs 收集到的数据主要来源于生物质燃烧、固定源燃烧和道路。故铜仁地区计算得出的地表温度和植被覆盖度与大气污染浓度的耦合指数属于中等相关。

计算结果表明大气污染物 VOCs 与铜仁地区温度和植被覆盖度之间存在着一定的相关关系,但这种相关关系属于中等相关关系。一方面是因为数据的获取和反演过程中存在一定误差,另一方面铜仁地区大气污染程度不算严重,植被覆盖较多,工业产业相对较少,空气质量良好。

参考文献:

- [1] 吴海龙,余新晓,师 忱,等. PM_{2.5} 特征及森林植被对其调控研究进展 [J]. 中国水土保持科学,2012,10(6): 116-122.
- [2] 肖建武,康文星,尹少华. 城市森林净化环境功能及经济价值评估——以“国家森林城市”长沙市为例 [J]. 浙江林业科技,2009,29(6): 71-75.
- [3] 陶豫萍,吴 宁,罗 鹏,等. 森林植被截留对大气污染物湿沉降的影响 [J]. 中国生态农业学报,2007,15(4): 9-12.
- [4] 余应新,文 晟,吕辉雄,等. 广州森林大气中 VOCs 昼夜变化特征及对 O₃ 的影响 [J]. 环境科学与技术,2009,32(3): 94-98.
- [5] 刘佩琪,邓志华,陈伯奇. 城市园林对大气颗粒物的消减与大气中二氧化硫和氮氧化物的浓度变化 [J]. 西北林学院学报,2016,31(6): 13-18.
- [6] 郑君瑜,王水胜,黄志炯,等. 区域高分辨率大气污染排放源清单建立的技术方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社,2014.
- [7] 郑君瑜,张礼俊,钟流举,等. 珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征 [J]. 中国环境科学,2009,29(5): 455-460.
- [8] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算 [J]. 资源科学,2004,26(4): 153-159.
- [9] 胡德勇,乔 琨,王兴玲,等. 单窗算法结合 Landsat8 热红外数据反演地表温度 [J]. 遥感学报,2015,19(6): 964-976.
- [10] 徐涵秋. 新型 Landsat8 卫星影像的反射率和地表温度反演 [J]. 地球物理学报,2015,58(3): 741-747.
- [11] 高文升,张雨泽,房世峰,等. 基于 Landsat-8TIRS 的大气参数快速估算方法 [J]. 地球信息科学学报,2017,19(1): 110-116.
- [12] OU S C, CHEN Y, LIOU K N, et al. Satellite Remote Sensing of Land Surface Temperatures: Application of the Atmospheric Correction Method and Split-Window Technique to Data of ARM-SGP Site [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(24).
- [13] CHANDER G. Revised Landsat- 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2003, 41 (11): 2674-2677

- [14] 张永江, 邓 茂, 黄晓容, 等. 典型生态旅游城市黔江区大气污染物分析及健康风险评估 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(4): 81-87.
- [15] 邓 茂, 张永江, 李莹莹, 等. 基于模糊数学综合评价法的生态保护发展区大气环境研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(7): 5-11.
- [16] 蒋幸莹, 兰安军, 钟九生. 基于遥感反演的喀斯特地区城市热岛效应与叶面积指数相关性分析——以贵阳市为例 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2017, 35(2): 1-6.

Coupling Analysis of Remote Sensing Inversion and VOCs of Atmospheric Pollutants in Tongren Area

QIN Wei, LAN An-jun, LI Yun, LU Xia

College of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China

Abstract: Based on the gridding results of volatile organic compounds (VOCs) in atmospheric pollutants in Tongren area, combined with Landsat8 remote sensing inversion temperature and vegetation coverage, the spatial distribution characteristics of VOCs after gridding and the coupling relationship between temperature and vegetation coverage have been analyzed. The results show that the distribution characteristics of VOCs are similar to those of temperature and vegetation coverage, and have a certain coupling relationship. The distribution of VOCs and the distribution of temperature distribution in the urban area gradually decrease toward the surrounding area, and the distribution of vegetation coverage increases gradually around the urban area. The temperature is positively correlated with VOCs and the correlation coefficient was 0.419. The distribution of urban and suburban areas is very obvious; the vegetation coverage is negatively correlated with VOCs and the correlation coefficient is -0.608 .

Key words: remote sensing inversion; Volatile organic compounds; grid; Tongren region

责任编辑 胡 杨