

目次

基于时间序列分解的京津冀区域PM _{2.5} 和O ₃ 空间分布特征	姚青, 丁净, 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹 (2487)
基于随机森林的北京城区臭氧敏感性分析	周红, 王鸣, 柴文轩, 赵昕 (2497)
基于随机森林模型的四川盆地臭氧污染预测	杨晓彤, 康平, 王安怡, 臧增亮, 刘浪 (2507)
海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估	符传博, 林建兴, 唐家翔, 丹利 (2516)
京津冀地区2015~2020年臭氧浓度时空分布特征及其健康效益评估	高冉, 李琴, 车飞, 张艳平, 祖永刚, 刘芬 (2525)
2022年北京市城区PM _{2.5} 水溶性离子含量及其变化特征	陈圆圆, 崔迪, 赵泽熙, 常森, 景宽, 沈秀娥, 刘保献 (2537)
郑州市冬春季PM _{2.5} 中金属元素污染特征、来源及健康风险评估	陶杰, 闫慧姣, 徐艺斐, 荆海涛 (2548)
淄博市供暖前后PM _{2.5} 中多环芳烃及其衍生物污染特征、来源及健康风险	孙港立, 吴丽萍, 徐勃, 高玉宗, 赵雪艳, 姬亚芹, 杨文 (2558)
西安市采暖季过渡期高时间分辨率细颗粒物组分特征及来源解析	李萌津, 张勇, 张倩, 田杰, 李丽, 刘卉昆, 冉伟康, 王启元 (2571)
天津冬季两个典型污染过程高浓度无机气溶胶成因及来源分析	卢苗苗, 韩素芹, 刘可欣, 唐晓, 孔磊, 丁净, 樊文雁, 王自发 (2581)
基于空间尺度效应的山东省PM _{2.5} 浓度时空变化及空间分异地理探测	徐勇, 韦梦新, 邹滨, 郭振东, 李沈鑫 (2596)
我国典型化工行业VOCs排放特征及其对臭氧生成潜势	武婷, 崔焱文, 肖成德, 翟增秀, 韩萌 (2613)
廊坊秋季大气污染过程中VOCs二次气溶胶生成潜势及来源分析	张敬巧, 刘铮, 丁文文, 朱瑶, 曹婷, 凌德印, 王淑兰, 王宏亮 (2622)
景观格局对河流水质影响的尺度效应Meta分析	王玉仓, 杜晶晶, 张禹, 吴昊, 胡敏敏, 陈丁江 (2631)
白洋淀夏季汛期入淀河流水体溶解性有机物的光谱特征及来源	孟佳靖, 宴红, 陈哲, 周石磊, 底怡玲, 武辰彬, 王晨光, 张家丰, 崔建升 (2640)
北京市丰台区永定河以东浅层地下水水化学演变规律及成因分析	胡昱欣, 周瑞静, 宋炜, 杨全合, 王鑫茹 (2651)
庐庐断裂带(安徽段)浅层地下水水化学特征、控制因素及水质评价	刘海, 魏伟, 宋阳, 徐洁, 管政亭, 黄健敏, 赵国红 (2665)
农药施用对兴凯湖水中农药残留的影响及其风险评价	王蔚青, 徐雄, 刘权震, 林利华, 吕婧, 王东红 (2678)
黄河兰州段河岸带土壤中微生物与耐药基因的赋存特征	韦程宸, 魏枫沂, 夏慧, 黄魁 (2686)
基于多源数据的巢湖蓝藻水华时空分布及驱动因素分析	金晓龙, 邓学良, 戴睿, 徐倩倩, 吴月, 范裕祥 (2694)
再生水构建水环境中沉水植物附着细菌群落特征	贺赞, 李雪梅, 李宏权, 魏琳琳, 姜春晖, 姜大伟, 李魁晚 (2707)
水位波动和植被恢复对三峡水库消落带土壤原核微生物群落结构的交互影响	梅渝, 黄平, 王鹏, 朱凯 (2715)
银川市典型湖泊沉积物细菌群落结构及其对重金属的响应关系	蒙俊杰, 刘双羽, 邱小琼, 周娟娟 (2727)
热水解时间对污泥厌氧消化系统微生物群落结构影响分析	张含, 张涵, 王佳伟, 高金华, 文洋, 李相昆, 任征然 (2741)
市政污水中吗啡来源辨析	邵雪婷, 赵悦彤, 蒋冰, 裴伟, 李彦莹, 谭冬芹, 王德高 (2748)
滦河流域生态环境动态遥感评价	李艳翠, 袁金国, 刘博涵, 郭豪 (2757)
黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素	王奕洪, 孙学堂 (2767)
基于贝叶斯网络的生态系统服务权衡协同关系强度及其空间格局优化:以汾河流域为例	蔡进, 危小建, 江平, 梁玉琦 (2780)
贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因	李月, 冯霞, 吴路华, 罗光杰, 罗红芬 (2793)
2000~2021年黄土高原生态分区NEP时空变化及其驱动因子	周怡婷, 严俊霞, 刘菊, 王瑛 (2806)
基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量	崔伟, 董燕, 张露尹, 王荣臻 (2817)
京津冀城市群建设用地扩张多情景模拟及其对生态系统碳储量的影响	武爱彬, 陈辅国, 赵艳霞, 秦彦杰, 刘欣, 郭小平 (2828)
西南岩溶区土地利用变化对团聚体稳定性及其有机碳的影响	江可, 贾亚男, 杨琰, 陈坚淇, 禹朴家 (2840)
不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析	黄世威, 赵一锴, 朱馨雨, 刘贺雷, 刘姣姣, 陈稍, 陈佳永, 张阿凤 (2848)
基于改进麻雀搜索算法优化BP神经网络的土壤有机质空间分布预测	胡志瑞, 赵万伏, 宋根先, 王芳, 林妍敏 (2859)
不同有机物料施用对菜地磷累积和转化的影响	孙凯, 崔玉涛, 李顺晋, 魏冰丽, 王媛, 杨宏博, 王孝忠, 张伟 (2871)
集约化柑橘种植抑制土壤磷循环微生物活性	周连吴, 曾全超, 梅唐英泽, 汪明霞, 谭文峰 (2881)
控释掺混肥对麦玉米轮作体系作物产量和温室气体排放的影响	高玮, 王学霞, 谢建治, 陈延华, 倪小会, 王甲辰, 董艳芳, 李子双, 曹兵 (2891)
生物炭对黄绵土中NO ₃ -N运移过程影响及模拟	白一茹, 刘旭, 张钰涵, 张睿媛, 马艳, 王幼奇 (2905)
中国农田土壤重金属污染分析与评价	杨雳, 白宗旭, 薄文浩, 林静, 杨俱佳, 陈涛 (2913)
城市土壤和地表灰尘重金属污染研究进展与展望	王晓雨, 刘恩峰, 杨祥梦, 王碧莲, 林锦阔, 颜梦霞, 毕世杰 (2926)
场地重金属污染土壤固化及MICP技术研究进展	陈玥如, 高文艳, 陈虹任, 薛生国, 吴川 (2939)
黄河流域山东段近河道煤矿区土壤重金属污染特征及源解析	戴文婷, 张晖, 吴霞, 钟鸣, 段桂兰, 董霁红, 张培培, 樊洪明 (2952)
拒马河流域河流沉积物与土壤重金属含量及风险评价	韩双宝, 袁磊, 张秋霞, 郑焰, 李甫成 (2962)
银川市黄河滩区土壤重金属污染特征、生态风险评估及来源解析	于路加, 马海军, 王翠平 (2971)
基于源导向和蒙特卡罗模型的广东省某城市土壤重金属健康风险评估	陈莲, 邹子航, 张培珍, 王雨菡, 王振江, 林森, 唐翠明, 罗国庆, 钟建武, 李智毅, 王圆 (2983)
西南典型碳酸盐岩高地背景区农田重金属化学形态、影响因素及回归模型	唐瑞玲, 徐进力, 刘彬, 杜雪苗, 顾雪, 于林松, 毕婧 (2995)
贵州省水田土壤-水稻Hg含量特征与安全种植区划	韦美溜, 周浪, 黄燕玲, 庞瑞, 王佛鹏, 宋波 (3005)
柠檬酸辅助甜高粱对南方典型母质土壤的镉修复效应	刘梦宇, 罗绪锋, 辜娇峰, 易轩韬, 周航, 曾鹏, 廖柏寒 (3016)
改性酒糟生物炭对紫色土壤镉形态及水稻吸收镉的影响	肖乃川, 王子芳, 杨文娜, 谢永红, 代文才, 高明 (3027)
生物炭对四环素和铜复合污染土壤生菜生长及污染物累积的影响	郑晨格, 裴欢欢, 张亚珊, 李嘉欣, 刘奋武, 乔星星, 秦俊梅 (3037)
基于Meta分析的蚯蚓堆肥对堆肥质量和重金属的影响效应	姜继韶, 侯睿, 崔慧林, 闫广轩, 刘栋 (3047)
微塑料对土壤N ₂ O排放及氮素转化的影响研究进展	刘一戈, 杨安琪, 陈舒欣, 牛英奕, 卢瑛, 李博 (3059)
土地利用对洱海罗时江小流域土壤微塑料污染的影响	戴柳云, 侯磊, 王化, 符立松, 王艳霞, 李晓琳, 王万宾, 梁启斌 (3069)
养殖海湾淤泥质海岸沉积物微塑料污染特征	宋可心, 贺金成, 李昌文, 解思琦, 刘宝堃, 黄伟, 冯志华 (3078)
聚乙烷微塑料对盐渍化土壤微生物群落的影响	王志超, 李哲, 李嘉晨, 屈忠义, 杨文煊, 李卫平 (3088)
鄱阳湖候鸟栖息地微塑料表面细菌群落结构特征与生态风险预测	俞锦丽, 赵俊凯, 罗思琦, 朱颖婷, 张文慧, 胡启武, 刘淑丽 (3098)
粤闽浙沿海重点城市道路交通节能减排路径	徐艺诺, 翁大维, 王硕, 胡喜生, 王占永, 张园园, 张兰怡 (3107)
电动重卡替代柴油重卡的全生命周期碳减排效益分析	徐圆圆, 龚德鸿, 黄正光, 杨浪 (3119)

海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估

符传博^{1,2}, 林建兴^{3*}, 唐家翔³, 丹利⁴

(1. 海南省气象科学研究所, 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203; 3. 海南省气象台, 海口 570203; 4. 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029)

摘要: 主要利用2015~2020年海口市臭氧(O_3)浓度资料和ERA5再分析资料, 基于污染物浓度控制方程挑选出海口市 O_3 -8h浓度(日最大8h滑动平均)的15个关键预报因子, 构建了多元线性回归模型(MLR)、支持向量机模型(SVM)和BP神经网络模型(BPNN), 并对2021年海口市 O_3 -8h浓度进行预测和效果检验。结果表明, O_3 -8h浓度与关键预报因子的相关系数绝对值主要分布在0.2~0.507之间, 其中1000 hPa的相对湿度(RH_{1000})和风向(WD_{1000}), 875 hPa的经向风(v_{875})的相关系数绝对值超过了0.4, 具有较好的指示作用。3个预报模型基本能预报出海口市 O_3 -8h浓度冬半年偏高, 夏半年偏低的变化趋势, 其中BPNN模型的标准误差(RMSE)数值最小($22.29 \mu g \cdot m^{-3}$)。实测值与3个统计模型预报值的相关系数从大到小排列为: 0.733(BPNN) > 0.724(SVM) > 0.591(MLR), 均通过了99.9%的信度检验。 O_3 -8h浓度等级预报的结果检验表明, 3个预报模型的TS评分均随着 O_3 -8h浓度等级的上升而下降, 而漏报率(PO)和空报率(NH)随着 O_3 -8h浓度等级的上升而上升。SVM和BPNN模型在3个等级预报中TS评分均略高于MLR模型, 特别是在轻度污染等级, TS评分还维持在70%以上, 具有较好的预报性能。

关键词: 臭氧(O_3); 多元线性回归; 支持向量机; BP神经网络; 预报评估; 海口市

中图分类号: X515 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)05-2516-09 DOI: 10.13227/j.hjks.202306035

Establishment and Effective Evaluation of Haikou Ozone Concentration Statistical Prediction Model

FU Chuan-bo^{1,2}, LIN Jian-xing^{3*}, TANG Jia-xiang³, DAN Li⁴

(1. Hainan Institute of Meteorological Science, Haikou 570203, China; 2. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China; 3. Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203, China; 4. Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: This study selected 15 key predictors of the maximum of 8-hour averaged ozone (O_3) concentration (O_3 -8h), using the O_3 concentration of Haikou and ERA5 reanalysis data from 2015 to 2020, and constructed a multiple linear regression (MLR) model, support vector machine (SVM) model, and BP neural network (BPNN) model, to predict and test the O_3 -8h concentration of Haikou in 2021. The results showed that the absolute value of correlation coefficients between the O_3 -8h and related key prediction factors was mainly among 0.2 and 0.507. The 1000 hPa relative humidity (RH_{1000}), wind direction (WD_{1000}), and 875 hPa meridional wind (v_{875}) showed a good indicative effect on the O_3 -8h, with the absolute correlation value exceeding 0.4. The three prediction models could predict the seasonal variation in the O_3 -8h in Haikou, which was larger in the winter half year and smaller in the summer half year. The root mean square error (RMSE) was the smallest ($22.29 \mu g \cdot m^{-3}$) in the BPNN model. The correlation coefficients between the predicted values of three statistical models and observations were ranked as 0.733 (BPNN) > 0.724 (SVM) > 0.591 (MLR), all passing the 99.9% significance test. For the prediction of the O_3 -8h level, we found that TS scores of these three prediction models decreased with the increase in O_3 -8h concentration level. Relatively, the point over rate and not hit rate increased with the rise in O_3 -8h concentration level. TS scores of the SVM and BPNN model were relatively larger than those of MLR, especially in the light pollution level with TS scores remaining above 70%, indicating a better prediction capability.

Key words: ozone (O_3); multiple linear regression; support vector machine; BP neural network; assessment of forecast results; Haikou City

近年来, 随着《大气污染防治行动计划》等一系列大气治理工作的开展和落实, 以及产业结构调整持续推进, 我国 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 等一次污染物已经得到有效控制, 但臭氧(O_3)等二次污染物的治理并未得到有效改善^[1,2]。根据生态环境部门的监测数据显示^[3], 2021年京津冀及周边地区、长三角地区和汾渭平原以 O_3 为首要污染物的超标天数占总超标天数分别为41.8%、55.4%和39.3%, 而全国339个地级及以上城市, 以 O_3 为首要污染物的超标天数占总超标天数的比例只为34.7%, 表明 O_3 已经成为影响我国重要区域大气环境的首要污染物, 其形成机制更为复杂, 污染防控难度更大^[4,5]。 O_3 作为一种极其

不稳定的有毒气体, 其浓度上升会严重影响公众健康和社会形象^[6,7], 准确预报城市 O_3 污染状况有助于建立有效的大气污染预警机制和采取灵活的控制政策减轻大气污染^[8]。

目前空气污染预报方法主要分为潜势预报、统计预报和数值预报这3种^[9]。潜势预报是对影响空气中污染物的聚集、扩散等气象条件和背景场进行预

收稿日期: 2023-06-05; 修订日期: 2023-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(42065010, 42141017); 海南省重大科技计划项目(ZDKJ202007); 海南省自然科学基金项目(422RC802, 421QN0967); 海南省院士创新平台科研项目(YSPTZX202143)

作者简介: 符传博(1985~), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为大气环境与大气污染, E-mail: hnfuchuanbo@163.com

* 通信作者, E-mail: ljx_1015_9332515@163.com

报,属于定性预报.这一方法比较单一,仅分析气象条件或气象因子等要素,缺乏污染源和其他相关因素的结合分析,预报结果可能存在较大偏差^[10,11].近年来,大量学者对潜势预报的研究升级为各种大气污染物指数的研究,如静稳指数^[12]、PLAM指数^[13]、大气自净能力系数^[14]和大气扩散能力指数^[15]等,对大气的静稳情况有一定的指示意义.统计预报和数值预报是可以直接给出大气污染物浓度预报结果,属于定量预报.数值预报以大气动力学理论为基础,通过数值求解物质守恒数学模型或其各种近似条件下的简化形式,进而得到各种污染过程演变特征,解析污染物的来源和去向,模拟预测应急控制效果等^[16].目前大气环境数值模型先后发展出了三代,第一代为拉格朗日轨迹模型^[17],在局地范围内少数污染物的预报应用较为广泛;第二代为欧拉网格模型^[18],包括城市大气质量模型(urban airshed model, UAM)、区域酸沉降模型(regional acid deposition model, RADM1和RADM2)和区域氧化物模型(regional oxidant model, ROM);第三代为区域多尺度空气质量模型(Model-3/CMAQ)^[19],由美国环保局1998年提出,随后做了进一步完善.数值预报具有较为完善的理论基础,能够定量给出区域内不同大气污染物的传输、扩散、转化以及沉降过程,但同时要求也较高,如气象背景场需要相对准确,排放源清单尽可能完备,污染物扩散过程的物理化学模型相对合理等,这一定程度上对数值预报方法的广泛应用形成了限制^[20].统计预报是指利用长期气象与污染物浓度变化资料,针对特定区域或城市建立影响因子与污染物浓度之间定量或半定量的关系.与数值预报不同,统计预报不涉及太多的大气化学和大气动力学理论,只需分析影响要素与污染物发展规律就可完成预报^[21].早期的统计预报主要分为3类:回归模型、分类法和趋势外推法^[22],其中回归模型在空气质量预报领域应用较为广泛,如沈劲等^[23]利用气象因子聚类与多元线性回归方法(multiple linear regression, MLR),开发了可以较好模拟顺德区多种环境要素的预报模型.李颖若等^[24]采用MLR方法,定量评估了气象条件和空气污染控制措施对APEC期间北京空气质量的影响,结果表明基于气象因子建立的MLR模型效果较好.近十几年,随着大数据时代的来临,基于统计学和人工智能发展而来的机器学习快速崛起并得到广泛应用^[25],常见的机器学习方法包括支持向量机(multiple linear regression, SVM)、BP神经网络(BP neural network, BPNN)和贝叶斯网络等^[26].苏筱倩等^[27]利用SVM方法预报了南京2016年5月高污染期

间O₃浓度,发现该方法比MLR方法具有明显优势.朱媛媛等^[28]评估了BPNN方法在京津冀地区O₃浓度预报效果,发现BPNN方法在O₃超标情况多发的月份预报效果较好.

海口市位于海南岛北部,气候暖热湿润,环境优美^[29].近年来随着社会经济的快速增长,O₃污染事件也时有发生^[30,31],O₃已经成为制约海口市空气质量持续改善的主要大气污染物.一方面,海口市地处热带,常年气温较高,日照时间长,太阳辐射强,气象条件较有利于光化学反应的发生;另一方面海口市毗邻珠三角地区,冬季风携带而来的北方O₃及其前体物进一步增加了海口市O₃污染的复杂性^[32].目前对于海口市O₃浓度预报的方法研究,主要集中于数值预报模式^[33],而基于统计模型的O₃浓度预报的研究较少.为了更好地实现海口市乃至全省气象部门和生态环境部门O₃浓度预报工作的开展和预报质量的提高,本文利用2015~2020年海口市最大8h滑动平均的O₃逐日数据(O₃-8h)和同期的EAR5再分析资料,基于污染物浓度控制方程,在考虑垂直边界层内各气象要素后对预报因子进行筛选,并利用MLR^[34,35]、SVM^[27]和BPNN算法^[28,32,36]构建海口市O₃浓度预报模型,利用观测数据对2021年的预报结果进行了检验,以期对海口市行之有效的O₃污染防治提供依据和参考.

1 材料与方法

1.1 数据资料

本文主要采用了海口市2015~2021年环境监测中心站监测的包括海南大学站、海南师范大学站、龙华区环保局宿舍站和秀英区海南医院站,共4个国控站,数据分辨率为1h,数据有效率均在99.9%以上,站点位置信息可参考文献[37].O₃浓度超标值参考标准为《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(HJ 633-2012)和《环境空气质量标准》(GB 3095-2012), $\rho(\text{O}_3\text{-8h})$ 等级标准:0~100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 为优;101~160 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 为良;161~215 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 为轻度污染;216~265 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 为中度污染;266~800 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 为重度污染.其中大于160 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,为O₃超标日.为了将垂直边界层内各气象要素作为预报因子纳入统计模型中,再分析资料使用了ECMWF发布的第5代资料(ERA5)^[38],数据源自哥白尼气候变化服务中心数据库(<https://cds.climate.copernicus.eu>),时间分辨率为1h,空间分辨率为0.25°×0.25°,要素包括1000~850 hPa的气温、相对湿度和水平风向风速等,以及近地面的边界层高度、地面气压、总降水量、总云量和地表太阳辐射.

1.2 研究方法

本文的基本思路是利用2015~2020年挑选出来的海口市气象因子和O₃-8h浓度资料进行MLR建模,同时进行SVM和BPNN方法训练,最后利用2021年的O₃-8h浓度观测值对3个统计模型的预报结果进行检验.具体步骤如下.

(1)根据污染物浓度控制方程,首先挑选出海口市不同层次的气象因子作为预选因子,包括与O₃-8h浓度相关的1000~850 hPa高空因子和地面因子.

(2)分别计算出海口市2015~2020年逐日的O₃-8h浓度与各个预选因子的相关系数,根据相关系数绝对值大小进行排序,且基于预报因子的多元性原则,挑选数值较大的气象因子作为预报因子,同时尽量避免同种因子相邻气压层或同一高度相似气象因子被挑选.

(3)基于2015~2020年挑选出来的数据,构建MLR方程并对2021年海口市O₃-8h浓度进行预报.SVM和BPNN的做法是随机抽取2015~2020年中70%的数据作为训练数据集,剩余的30%用作验证数据集并对各个参数权重进行调试.其中SVM模型核函数为RBF,核函数系数为4.1,错误项的惩罚因子为100,训练的标准误差(root mean square error, RMSE)为14.72 μg·m⁻³,测试的RMSE为19.29 μg·m⁻³.BPNN本文采用了3层隐含层,为了抑制过拟合,加入Dropout函数,丢弃率设置为0.05,采用前馈神经网络运算,其中激励函数采用Relu,学习率为0.01.最后基于稳定的SVM和BPNN模型,将2021年的预报因子代入模型并进行预报.此外,为避免各因子间数量级差异造成的预报误差,所有的气象因子都进行了归一化处理.

在对3个统计模型2021年海口市O₃-8h浓度预报结果进行评估时,本文主要选择标准误差(RMSE)、平均偏差(mean bias, MB)、归一化偏差(mean normalized bias, MNB)和相关系数(R)来进行.RMSE能反映出预报值和观测值的差值,MB的大小主要表示样本总体预报值比观测值偏大或偏小的数值,MNB反映的是预报值比观测值偏大或偏小的程度,而相关系数R表示了预报值与观测值相关关系的密切程度^[33].此外对O₃-8h浓度等级评估时,本文主要采用的是TS评分、漏报率(point over, PO)、空报率(not hit, NH)和预报偏差(bias, B)来进行检验,具体公式为:

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \quad (1)$$

$$PO = \frac{NC}{NA + NC} \quad (2)$$

$$NH = \frac{NB}{NA + NB} \quad (3)$$

$$B = \frac{NA + NB}{NA + NC} \quad (4)$$

式中,NA、NB和NC的物理意义见表1.TS(%)评分数值越大表示O₃-8h浓度等级的预报准确性越高,其区间在0~1之间.PO(%)和NH(%)表示的是漏报次数和空报次数与观测次数的比值,其区间也分布在0~1之间,数值越小反映该模型对O₃-8h浓度等级的预报的准确率越高.B(%)的数值区间在0~±∞之间,B大于1时表示O₃-8h浓度等级在预报中出现的次数多于实际出现的次数;反之,B小于1时则表示模型对O₃-8h浓度等级少报.

表1 O₃-8h浓度等级预报检验分类

Table 1 Classification of O₃-8h level forecast verification

观测	预报	
	有	无
有	NA	NC
无	NB	

2 结果与讨论

2.1 O₃-8h浓度与关键气象因子的确立

为了给出海口市不同层次气象因子对O₃-8h浓度的影响,进而确定关键性气象因子,并用于预报方程的构建和预报效果检验.本文首先采用污染物浓度控制方程^[39]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial q}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial q}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial(\bar{u}'q')}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}'q')}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{w}'q')}{\partial z} + S_c \quad (5)$$

式中, $\frac{\partial q}{\partial t}$ 为污染物浓度的局地变化, $\bar{U} \frac{\partial q}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial q}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial q}{\partial z}$ 为污染物的平流输送, $\frac{\partial(\bar{u}'q')}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}'q')}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{w}'q')}{\partial z}$ 为污染物的湍流输送, S_c 为污染物的体源项.从中可知,污染物浓度的局地变化 $\frac{\partial q}{\partial t}$ 主要受污染物的

平流输送 $\bar{U} \frac{\partial q}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial q}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial q}{\partial z}$ 、湍流输送 $\frac{\partial(\bar{u}'q')}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}'q')}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{w}'q')}{\partial z}$ 以及体源项 S_c 影响.体源项 S_c 包括排放源,干湿沉降和化学反应.考虑到污染物主要集中在边界层内,其浓度主要受边界层内气象因子的共同作用影响,因此O₃-8h浓度预选因子如下.

(1)平流输送项,主要与风速大小和污染物浓度梯度有关,由于难于获得瞬时O₃浓度梯度,因此本文只选取了1000~850 hPa高度上各个风速(WS)和风向(WD)作为预选因子之一.

(2)湍流输送项, 包括热力湍流和动力湍流两种, 可分别用逆温强度 $\left(\frac{\Delta T}{\Delta z}\right)$ 及热力稳定度 $\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)$ 和风切变 $\left(\frac{\Delta WS}{\Delta z}\right)$ 表示, 本文选取了相邻两气压层间风速差、位温差和温度差作为预选因子之一.

(3)对流层 O_3 是一种光化学反应产物, 属于二次污染物, 因此本文中不考虑 O_3 的排放源.

(4)植被气孔沉降过程是大气中 O_3 干沉降最重要的过程之一^[40], 而本文主要基于气象要素进行模型构建, 因此不考虑干沉降的影响, 只考虑不同水汽条件下的光化学分解效应等, 故引入相对湿度(RH)及相对湿度差 $\left(\frac{\Delta RH}{\Delta z}\right)$ 作为预选因子.

(5)边界层高度(PBLH)决定了污染物扩散的大气环境容量和有效空气体积. 通常边界层较低时, 由于垂直扩散条件受到抑制, 致使边界层内污染物浓度升高. 海口市PBLH数据从ERA5中直接获得.

(6)地表通风系数(SVC), 其可表示边界层内污染物的水平扩散和输送的能力, 一般值越小越不利于污染物扩散. 其大小可用大气边界层高度乘以边界层高度内平均风速表示^[41]. 计算公式见式(6):

$$SVC = PBLH \times v_h$$

(6)

式中, SVC为地表通风系数, v_h 为1 000 hPa平均风速. 此外, 本文地面气象要素还考虑了地面气压(SP)、总降水量(TP)、总云量(TCC)和地表太阳辐

射(SSRD), 数据直接从ERA5中获得.
本文中位温(θ)由温度(T)经公式(7)计算得到:

$$\theta_i = T_i \left(\frac{1\,000}{P_i} \right)^{0.286}$$

(7)

式中, i 表示为气压高度, P_i 为对应高度的大气压强.
风向(WD)由 u 和 v 经公式(8)得到:

$$WD_i = \begin{cases} 270 - \tan^{-1}\left(\frac{v_i}{u_i}\right) & (v > 0, \text{且} u \neq 0) \\ 90 - \tan^{-1}\left(\frac{v_i}{u_i}\right) & (v < 0, \text{且} u \neq 0) \\ 180 & (u = 0, v > 0) \\ 0 & (u = 0, v < 0) \\ 270 & (u > 0, v = 0) \\ 90 & (u < 0, v = 0) \end{cases}$$

(8)

式中, i 表示气压高度, u_i 和 v_i 分别为对应高度的水平 u 风速和水平 v 风速, WD表示风的来向.

表2给出了 O_3 -8h 浓度预报因子的所有预选因子. 包括1 000~850 hPa共7个层次的温度(T)、位温(θ)、相对湿度(RH)、垂直速度(W)、水平速度(u)、水平速度(v)、风速(WS)和风向(WD), 还有相邻气压间的温度差(ΔT)、位温差($\Delta \theta$)、相对湿度差(ΔRH)和风速差(ΔWS), 最后是地面的边界层高度(PBLH)、地表通风系数(SVC)、地面气压(SP)、总降水量(TP)、总云量(TCC)和地表太阳辐射(SSRD), 共86个预选因子.

表2 O_3 -8h 浓度预选预报因子

Table 2 Preslected prediction factors of O_3 -8h

因子	预报因子						
温度(T)	T_{1000}	T_{975}	T_{950}	T_{925}	T_{900}	T_{875}	T_{850}
位温(θ)	θ_{1000}	θ_{975}	θ_{950}	θ_{925}	θ_{900}	θ_{875}	θ_{850}
相对湿度(RH)	RH_{1000}	RH_{975}	RH_{950}	RH_{925}	RH_{900}	RH_{875}	RH_{850}
垂直速度(W)	W_{1000}	W_{975}	W_{950}	W_{925}	W_{900}	W_{875}	W_{850}
水平速度(u)	u_{1000}	u_{975}	u_{950}	u_{925}	u_{900}	u_{875}	u_{850}
水平速度(v)	v_{1000}	v_{975}	v_{950}	v_{925}	v_{900}	v_{875}	v_{850}
风速(WS)	WS_{1000}	WS_{975}	WS_{950}	WS_{925}	WS_{900}	WS_{875}	WS_{850}
风向(WD)	WD_{1000}	WD_{975}	WD_{950}	WD_{925}	WD_{900}	WD_{875}	WD_{850}
温度差(ΔT)	$\Delta T_{1000-975}$	$\Delta T_{975-950}$	$\Delta T_{950-925}$	$\Delta T_{925-900}$	$\Delta T_{900-875}$	$\Delta T_{875-850}$	
位温差($\Delta \theta$)	$\Delta \theta_{1000-975}$	$\Delta \theta_{975-950}$	$\Delta \theta_{950-925}$	$\Delta \theta_{925-900}$	$\Delta \theta_{900-875}$	$\Delta \theta_{875-850}$	
相对湿度差(ΔRH)	$\Delta RH_{1000-975}$	$\Delta RH_{975-950}$	$\Delta RH_{950-925}$	$\Delta RH_{925-900}$	$\Delta RH_{900-875}$	$\Delta RH_{875-850}$	
风速差(ΔWS)	$\Delta WS_{1000-975}$	$\Delta WS_{975-950}$	$\Delta WS_{950-925}$	$\Delta WS_{925-900}$	$\Delta WS_{900-875}$	$\Delta WS_{875-850}$	
边界层高度(PBLH)	PBLH						
地表通风系数(SVC)	SVC						
地面气压(SP)	SP						
总降水量(TP)	TP						
总云量(TCC)	TCC						
地表太阳辐射(SSRD)	SSRD						

计算2015~2020年逐日的 O_3 -8h 浓度与86个预选因子的相关系数, 综合考虑相关系数绝对值大小

和基于预报因子的多元性原则, 避免同种因子相邻气压层或同一高度相似气象因子被挑选, 最后共选

出 15 个预报因子见表 3 所示. 从中可以清楚发现, 海口市 O_3 -8h 浓度与 T_{850} 、 θ_{850} 、 RH_{1000} 、 W_{1000} 、 u_{875} 、 v_{875} 、 WD_{1000} 、 $\Delta RH_{975-950}$ 和 TCC 呈负相关关系, 与 $\Delta T_{975-950}$ 、 $\Delta \theta_{975-950}$ 、 $\Delta WS_{1000-975}$ 、PBLH、SVC 和 SP 呈正相关关系, 其中边界层下层的相对湿度 RH_{1000} 和风向 WD_{1000} , 上层的经向风 v_{875} 与 O_3 -8h 浓度的相关系数绝对值超过了 0.4, 具有较好的指示作用. RH_{1000} 与光化学反应有关, RH 偏高时, 大气中水汽含量偏大, 一方面会减弱太阳紫外辐射; 另一方面会与 O_3 发生化学反应, 进而降低对流层 O_3 浓度^[34]. WD_{1000} 和 v_{875} 因子与外源输送有关, 说明合适的风向有利于北方气流携带 O_3 及其前体物输送至海口市, 影响 O_3 浓度的变化. 边界层上层的温度和位温 (T_{850} 和 θ_{850})、下层的温度差和位温差 ($\Delta T_{975-950}$ 和

$\Delta \theta_{975-950}$) 和地面气压 (SP) 与 O_3 -8h 浓度的相关系数绝对值在 0.3 ~ 0.4 之间, 也有较好的指示作用. 这些因子主要与天气形势的变化相关, 海口市 O_3 -8h 浓度超标多与冷空气南下有关^[32], 冷高压控制会引起地面气压升高, 气温下降, 配合上下层逆温层的出现, 有利于地面污染物浓度上升. 此外, 海口市 O_3 -8h 浓度还与边界层下层风速 (W_{1000})、上层纬向风 (u_{875})、下层的相对湿度差 ($\Delta RH_{975-950}$) 和风速差 ($\Delta WS_{1000-975}$), 以及边界层高度 (PBLH)、地表通风系数 (SVC) 和总云量 (TCC) 有关, 相关系数绝对值均在 0.3 以下, 有一定的指示作用. 这些因子涉及影响 O_3 浓度的水汽、天空状况、水平输送和垂直扩散条件等, 体现了海口市 O_3 污染的复杂性.

表 3 O_3 -8h 浓度与入选的预报因子相关系数¹⁾

Table 3 Correlation coefficient between O_3 -8h and selected forecast factors

项目	T_{850}	θ_{850}	RH_{1000}	W_{1000}	u_{875}	v_{875}	WD_{1000}	$\Delta T_{975-950}$	$\Delta \theta_{975-950}$	$\Delta RH_{975-950}$	$\Delta WS_{1000-975}$	PBLH	SVC	SP	TCC
数值	-0.377	-0.377	-0.407	-0.267	-0.299	-0.507	-0.409	0.337	0.347	-0.202	0.250	0.267	0.248	0.333	-0.232

1) 所有预报因子相关系数均通过 99.9% 的信度检验

2.2 O_3 -8h 浓度预报效果检验

本小节利用前面挑选出来的 15 个气象因子, 首先构建海口市 O_3 -8h 浓度的 MLR 预报模型, 并利用 2021 年的气象因子进行预报; 其次利用 2015 ~ 2020 年中 15 个气象因子和 O_3 -8h 浓度资料随机选择 70% 数据作为训练数据集, 剩余 30% 的数据作验证数据集并对 SVM 和 BPNN 模型的各个参数权重进行调试, 待模型稳定后将 2021 年的预报因子代入两个模型并进行预报. 最后得出 MLR、SVM 和 BPNN 模型的 2021 年 O_3 -8h 浓度预报结果并与观测值进行对比分析, 结果如图 1 所示. 从中可知, 3 个模型基本能预报出海口市 O_3 -8h 浓度的变化趋势, 即 2021 年 O_3 -8h 浓度呈现冬半年偏高, 夏半年偏低的变化特征, 与观测值的基本一致. 对比而言, MLR 模型预报值总体偏低, 且变化幅度偏小. 特别是春季的 3 月和 4 月, 秋季的 10 月和 11 月, 冬季的 12 月和 1 月, O_3 -8h 浓度观测值偏高时段预报值明显偏低, 而在夏季的 7 月和 8 月, 预报值又略高于观测值. 与 MLR 模型不同, SVM 和 BPNN 模型的预报值变化基本一致, 同时与实测值较为接近. 除了春季的 3 月和 4 月, 冬季的 12 月和 1 月两个模型的预报值略偏低, 部分 O_3 -8h 浓度峰值没有预报出来外, 其余时段基本预报出了 O_3 -8h 浓度观测值的变化趋势. 进一步计算 O_3 -8h 浓度观测值与 3 个统计模型预报值的相关系数 (表 4) 分别为 0.591 (MLR)、0.724 (SVM) 和 0.733 (BPNN), 均通过了 99.9% 的信度检验, 其中 SVM 和 BPNN 模型相关系数明显高于 MLR 模型, 表明机

器学习方法预报结果优于传统的回归模型.

图 2 进一步给出了 2021 年 3 个模型的 O_3 -8h 浓度预报值和观测值的相关性分布. 从中可知, MLR 模型预报值基本偏低, 这与前面的分析一致; SVM 和 BPNN 模型离散点分布较为一致, 在 O_3 -8h 浓度小于 $100 \mu g \cdot m^{-3}$ 时段基本分布在趋势线附近, 而在 O_3 -8h 浓度大于 $100 \mu g \cdot m^{-3}$ 时段分布相对较为分散, 表明两个模型对于 O_3 -8h 浓度偏大的预报均存在明显误差. 表 4 给出了 3 个模型预报值与观测值的标准误差 (RMSE)、平均偏差 (MB) 和归一化偏差 (MNB). 从 3 个模型的 RMSE 值来看, BPNN 模型最小, 仅为 $22.29 \mu g \cdot m^{-3}$, SVM 次之, 为 $22.48 \mu g \cdot m^{-3}$, MLR 最大, 为 $24.88 \mu g \cdot m^{-3}$, 表明 BPNN 模型预报值与观测值最为接近, SVM 模型偏差最大. 从 MB 值上看, 3 个模型的 MB 值均为负值, 分布在 $-4.73 \sim -8.34 \mu g \cdot m^{-3}$ 之间, 3 个统计模型预报值均偏低, 其中 SVM 模型偏低最明显, MB 值为 $-8.34 \mu g \cdot m^{-3}$, 这可能与 2021 年春季和冬季的预报值偏低有关. 从 MNB 值上看, SVM 和 BPNN 模型为负值, 而 MLR 模型 MNB 值为正值, 与 MB 值不同. 结合图 1 和图 2 可判断, MLR 模型预报值总体比观测值小, 因而 MB 值为负值, 但由于个别时段预报值偏大, 致使 MNB 值为正值.

2.3 O_3 -8h 浓度等级预报效果检验

为了进一步检验 2021 年 3 个统计模型 O_3 -8h 浓度等级预报值与观测值的结果, 本小节首先统计了海口市 O_3 -8h 浓度不同等级天数和占比如表 5 所示.

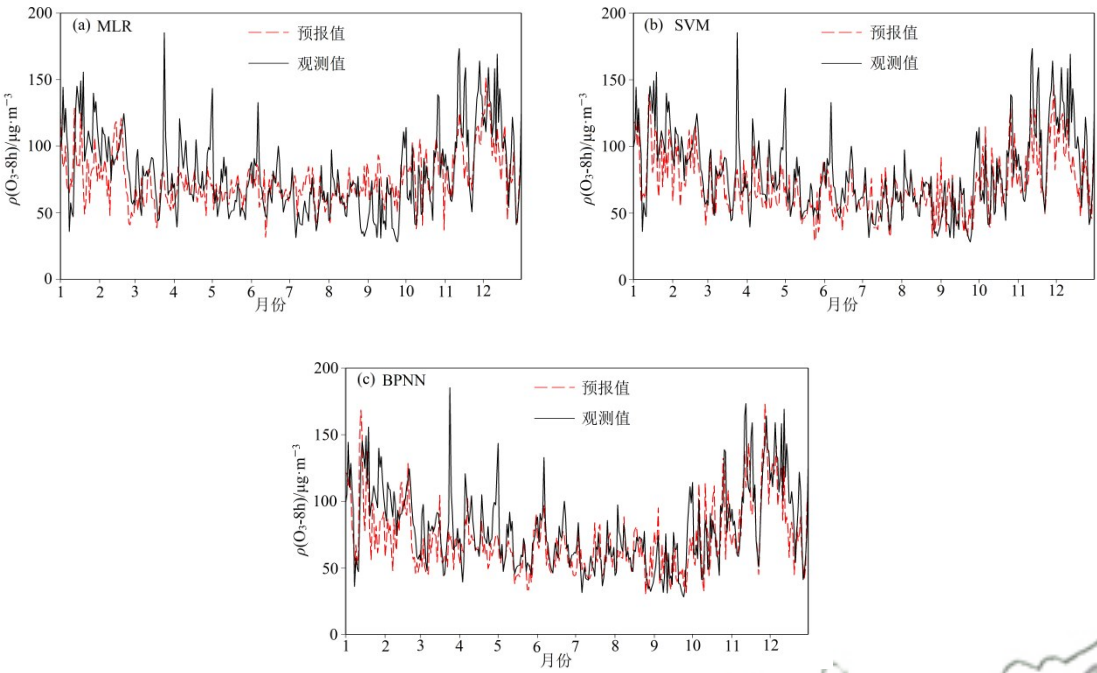


图 1 2021 年海口市 O₃-8h 浓度 3 个统计模型预报值和观测值对比

Fig. 1 Comparisons between three predicted statistical models and observation for O₃-8h in Haikou in 2021

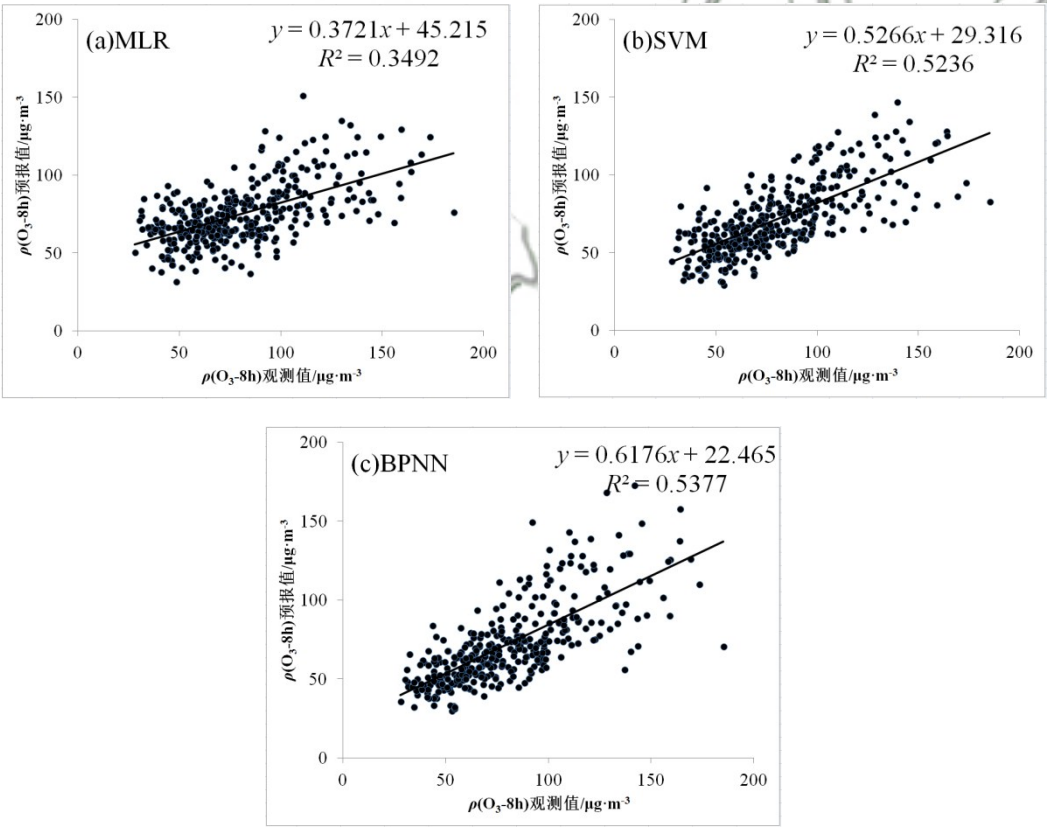


图 2 2021 年海口市 O₃-8h 浓度 3 个统计模型预报值和观测值的相关性分布

Fig. 2 Correlations between three predicted statistical models and observation for O₃-8h in Haikou in 2021

从中可见，2021 年海口市总体空气质量较好，O₃-8h 浓度等级只有 3 个等级，分别是优、良和轻度污染，没有中度污染及其以上等级出现。大部分天数以优和良为主，分别为 284 d 和 76 d，占了全年天数的

77.81% 和 20.82%。2021 年海口市共有 5 d O₃-8h 浓度达到轻度污染等级，占比为 1.37%。近年来随着海口市人口规模的扩大和经济建设的加强，O₃ 污染问题也呈现愈发严重的趋势^[33,37]。

表 4 3 个模型 O₃-8h 浓度预报结果检验¹⁾

Table 4 Verification of O₃-8h prediction results of three models

模型	RMSE / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	MB / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	MNB/%	R
MLR	24.88	-4.73	3.159	0.591 [*]
SVM	22.48	-8.34	-4.774	0.724 [*]
BPNN	22.29	-7.95	-5.570	0.733 [*]

1)*为 $P<0.001$

TS 评分在气象部门中广泛应用于对定量降水预报准确率的评分标准, 本小节也采用 TS 评分对 3 个统计模型的 O₃-8h 浓度等级预报结果进行评分, 方法包括 TS 评分、漏报率(PO)、空报率(NH)和预报偏差(B)等, 具体公式见 1.2 节. 表 6 给出了 2021 年 3 个模型 O₃-8h 浓度等级预报效果. 从中可知, 海口市 O₃-8h 浓度等级为优时, MLR、SVM 和 BPNN 预报模型 TS 评分均在 80% 以上, 其中 SVM 模型的 TS 评分最高, 为 83.94%, BPNN 次之, 为 82.62%, MLR 最小, 只为 81.85%, 同时 SVM 模型的 PO 值偏小于其余两个模型, 为 2.46%. 而 BPNN 模型的 NH 值最小, 只为 13.97%. 3 个模型的 B 值均略偏高于 100%, 表明对于优等级, 3 个模型都略多报, 其中 MLR 的 B 值最大. 对于良等级, SVM 的 TS 评为 74.70%, 明显偏高于其余两个模型, 而 PO 值和 NH 值均最小, 分别为 13.89% 和 15.07%, 表明 SVM 模型在良等级漏报和空报均最少. 3 个模型的 B 值均略偏高于 100%,

表 6 2021 年 3 个模型 O₃-8h 浓度等级预报结果/%

Table 6 Verification of level prediction of O₃-8h in three models in 2021/%

模型	优				良				轻度污染			
	TS 评分	漏报率 (PO)	空报率 (NH)	预报偏差 (B)	TS 评分	漏报率 (PO)	空报率 (NH)	预报偏差 (B)	TS 评分	漏报率 (PO)	空报率 (NH)	预报偏差 (B)
MLR	81.85	3.17	15.90	115.14	70.59	16.67	17.81	101.39	69.77	17.81	17.81	100.00
SVM	83.94	2.46	14.24	113.73	74.70	13.89	15.07	101.39	73.81	15.07	15.07	100.00
BPNN	82.62	4.58	13.97	110.92	71.73	16.11	16.80	100.83	70.56	17.26	17.26	100.00

3 结论

(1) 基于污染物浓度控制方程, 综合考虑相关系数绝对值大小和预报因子的多元性原则后, 筛选出 2015 ~ 2020 年逐日的海口市 O₃-8h 浓度的 15 个预报因子, O₃-8h 浓度与 T_{850} 、 θ_{850} 、 RH_{1000} 、 W_{1000} 、 u_{875} 、 v_{875} 、 WD_{1000} 、 $\Delta RH_{975-950}$ 和 TCC 呈负相关关系, 与 $\Delta T_{975-950}$ 、 $\Delta \theta_{975-950}$ 、 $\Delta WS_{1000-975}$ 、PBLH、SVC 和 SP 呈正相关关系, 相关系数绝对值主要分布在 0.2 ~ 0.507 之间, 其中边界层下层的相对湿度 RH_{1000} 和风向 WD_{1000} 、上层的经向风 v_{875} 与 O₃-8h 浓度的相关系数绝对值超过了 0.4, 具有较好的指示作用.

(2) 利用归一化后的 15 个预报因子, 构建了 MLR、SVM 和 BPNN 统计模型并对 2021 年海口市

与优等级一致. 对于轻度污染等级, 3 个模型 TS 评分均有所下降, 其中 MLR 模型下降至 70% 以下, SVM 和 BPNN 模型在 70% 以上, 其中 SVM 模型为 73.81%, 而 PO 值和 NH 值均为 15.07%, 低于 MLR 和 BPNN, 3 个预报模型 B 值均为 100%. 总体而言, 3 个预报模型 TS 评分均随着 O₃-8h 浓度等级的上升而下降, 而 PO 值和 NH 值随着 O₃-8h 浓度等级的上升而上升, 特别是轻度污染等级, 主要是由于海口市属于空气质量较好地区, O₃-8h 浓度超标属于低概率事件, 2021 年也只有 5 d 达到轻度污染等级, 因此预报难度大, 命中率较低, 导致 TS 评分偏低, PO 和 NH 较高. 对比而言, SVM 和 BPNN 模型预报效果优于 MLR 模型, 特别是轻度污染等级, SVM 和 BPNN 模型的 TS 评分还能维持在 70% 以上, 表明 2 个模型在该等级还有一定的预报能力.

需要指出的是, 文中 3 个模型预报效果的检验输入的是 ERA5 再分析资料的气象要素结果, 后续业务应用时需使用模式气象要素的预报, 可能会对预报结果产生影响.

表 5 2021 年海口市 O₃-8h 等级天数和占比

Table 5 Statistical summary for O₃-8h levels and proportion over Haikou City in 2021

项目	优(占比/%)	良(占比/%)	轻度污染(占比/%)
数值	284(77.81)	76(20.82)	5(1.37)

O₃-8h 浓度的预报结果进行检验, 发现 3 个模型基本能预报出海口市 O₃-8h 浓度冬半年偏高, 夏半年偏低的变化趋势. 其中 BPNN 模型的 RMSE 数值最小, 只为 22.29 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 实测值与 3 个统计模型预报值的相关系数从大到小排列为: 0.733(BPNN) > 0.724(SVM) > 0.591(MLR), 均通过了 99.9% 的信度检验.

(3) 对 2021 年 3 个统计模型 O₃-8h 浓度等级预报的结果检验表明, 3 个预报模型的 TS 评分均随着 O₃-8h 浓度等级的上升而下降, 而 PO 值和 NH 值随着 O₃-8h 浓度等级的上升而上升. SVM 和 BPNN 模型在 3 个 O₃-8h 浓度等级的预报中, TS 评分均略高于 MLR 模型, 特别是轻度污染等级, TS 评分还能维持在 70% 以上, 而 MLR 模型 TS 评分小于 70%, 体现了 SVM 和 BPNN 模型均具有较好的预报性能.

参考文献:

- [1] Wang T, Xue L K, Brimblecombe P, *et al.* Ozone pollution in China: a review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **575**: 1582-1596.
- [2] 符传博, 周航. 中国城市臭氧的形成机理及污染影响因素研究进展[J]. *中国环境监测*, 2021, **37**(2): 33-43.
- Fu C B, Zhou H. Research progress on the formation mechanism and impact factors of urban ozone pollution in China [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2021, **37**(2): 33-43.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2021 年中国生态环境状况公报 [EB/OL]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202205/P020220527581962738409.pdf>, 2022-09-24.
- [4] Yu R L, Lin Y L, Zou J H, *et al.* Review on atmospheric ozone pollution in China: formation, spatiotemporal distribution, precursors and affecting factors [J]. *Atmosphere*, 2021, **12**(12), doi: 10.3390/atmos12121675.
- [5] Li Y S, Yin S S, Yu S J, *et al.* Characteristics of ozone pollution and the sensitivity to precursors during early summer in central plain, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, **99**: 354-368.
- [6] Chen K, Zhou L, Chen X D, *et al.* Acute effect of ozone exposure on daily mortality in seven cities of Jiangsu Province, China: no clear evidence for threshold [J]. *Environmental Research*, 2017, **155**: 235-241.
- [7] Wang P, Shen J Y, Xia M, *et al.* Unexpected enhancement of ozone exposure and health risks during national day in China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2021, **21**(13): 10347-10356.
- [8] 陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 等. 佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用[J]. *环境科学*, 2022, **43**(10): 4316-4326.
- Chen C, Hong Y Y, Tan H B, *et al.* Establishment and application of Foshan ozone concentration forecast equation [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(10): 4316-4326.
- [9] 任万辉, 苏枫枫, 赵宏德. 城市环境空气污染预报研究进展[J]. *环境保护科学*, 2010, **36**(3): 9-11.
- Ren W H, Su C C, Zhao H D. Research progress of air pollution forecasting in urban area [J]. *Environmental Protection Science*, 2010, **36**(3): 9-11.
- [10] 黄晓娴, 王体健, 江飞. 空气污染潜势—统计结合预报模型的建立及应用[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(8): 1400-1408.
- Huang X X, Wang T J, Jiang F. An air pollution potential forecast model combined with statistical method and its application [J]. *China Environmental Science*, 2012, **32**(8): 1400-1408.
- [11] 张莹, 王式功, 贾旭伟, 等. 华北地区冬半年空气污染天气客观分型研究[J]. *环境科学学报*, 2018, **38**(10): 3826-3833.
- Zhang Y, Wang S G, Jia X W, *et al.* Study on an objective synoptic typing method for air pollution weather in North China during winter half year [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(10): 3826-3833.
- [12] 张敏, 蔡子颖, 韩素芹. 天津静稳指数建立及在环境气象预报和评估中的应用[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(12): 4453-4460.
- Zhang M, Cai Z Y, Han S Q. Establishment of stable weather index of Tianjin and its application in environmental weather forecast and assessment [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(12): 4453-4460.
- [13] 王继志, 杨元琴, 王亚强, 等. PLAM 指数跟踪方法对中国沙尘天气过程及其波动变化特征的研究[J]. *气象与环境学报*, 2013, **29**(5): 92-97.
- Wang J Z, Yang Y Q, Wang Y Q, *et al.* Sand dust weather and its variation in China based on PLAM index tracking method [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2013, **29**(5): 92-97.
- [14] 朱蓉, 张存杰, 梅梅. 大气自净能力指数的气候特征与应用研究[J]. *中国环境科学*, 2018, **38**(10): 3601-3610.
- Zhu R, Zhang C J, Mei M. The climate characteristics of atmospheric self-cleaning ability index and its application in China [J]. *China Environmental Science*, 2018, **38**(10): 3601-3610.
- [15] 毛敏娟, 杜荣光, 齐冰. 浙江省大气扩散能力的时空分布特征[J]. *热带气象学报*, 2019, **35**(5): 644-651.
- Mao M J, Du R G, Qi B. The spatiotemporal distribution of atmospheric diffusion capacity in Zhejiang Province [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2019, **35**(5): 644-651.
- [16] 王自发, 庞成明, 朱江, 等. 大气环境数值模拟研究新进展[J]. *大气科学*, 2008, **32**(4): 987-995.
- Wang Z F, Pang C M, Zhu J, *et al.* IAP Progress in atmospheric environment modeling research [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, **32**(4): 987-995.
- [17] 裴成磊, 牟江山, 张英南, 等. 广州市臭氧污染溯源: 基于拉格朗日光化学轨迹模型的案例分析[J]. *环境科学*, 2021, **42**(4): 1615-1625.
- Pei C L, Mu J S, Zhang Y N, *et al.* Source apportionment of ozone pollution in Guangzhou: Case study with the application of Lagrangian photochemical trajectory model [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(4): 1615-1625.
- [18] Genc D D, Yesilyurt C, Tuncel G. Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **166**(1-4): 11-27.
- [19] Arnold J R, Dennis R L, Tonnesen G S. Diagnostic evaluation of numerical air quality models with specialized ambient observations: testing the community multiscale air quality modeling system (CMAQ) at selected SOS 95 ground sites [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(9-10): 1185-1198.
- [20] 高雅, 刘杨, 吕佳佩. 空气质量模型研究进展综述[J]. *环境污染与防治*, 2022, **44**(7): 939-943.
- Gao Y, Liu Y, Lyu J P. A review of air quality models research progress [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2022, **44**(7): 939-943.
- [21] 李颖若, 韩婷婷, 汪君霞, 等. ARIMA 时间序列分析模型在臭氧浓度中长期预报中的应用[J]. *环境科学*, 2021, **42**(7): 3118-3126.
- Li Y R, Han T T, Wang J X, *et al.* Application of ARIMA model for mid-and long-term forecasting of ozone concentration [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3118-3126.
- [22] 姜有山, 陈飞, 班欣, 等. 连云港市城市空气质量预报方法研究[J]. *气象科学*, 2007, **27**(2): 220-225.
- Jiang Y S, Chen F, Ban X, *et al.* The research of analysis and predication of air quality in Lianyungang City [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, **27**(2): 220-225.
- [23] 沈劲, 钟流举, 何芳芳, 等. 基于聚类与多元回归的空气质量预报模型开发[J]. *环境科学与技术*, 2015, **38**(2): 63-66.
- Shen J, Zhong L J, He F F, *et al.* Development of air quality forecast model based on clustering and multiple regression [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **38**(2): 63-66.
- [24] 李颖若, 汪君霞, 韩婷婷, 等. 利用多元线性回归方法评估气象条件和控制措施对 APEC 期间北京空气质量的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1024-1034.
- Li Y R, Wang J X, Han T T, *et al.* Using multiple linear regression method to evaluate the impact of meteorological conditions and

- control measures on air quality in Beijing during APEC 2014 [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1024-1034.
- [25] 魏煜, 徐起翔, 赵金帅, 等. 基于机器学习算法的新冠疫情管控对河南省空气质量影响的模拟分析[J]. *环境科学*, 2021, **42**(9): 4126-4139.
- Wei Y, Xu Q X, Zhao J S, *et al.* Simulation analysis of the impact of COVID-19 pandemic control on air quality in Henan Province based on machine learning algorithm [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(9): 4126-4139.
- [26] 芦华, 谢旻, 吴钰, 等. 基于机器学习的成渝地区空气质量数值预报PM_{2.5}订正方法研究[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(12): 4419-4431.
- Lu H, Xie M, Wu Z, *et al.* Adjusting PM_{2.5} prediction of the numerical air quality forecast model based on machine learning methods in Chengyu region [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(12): 4419-4431.
- [27] 苏筱倩, 安俊琳, 张玉欣, 等. 支持向量机回归在臭氧预报中的应用[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1697-1704.
- Su X Q, An J L, Zhang Y X, *et al.* Application of support vector machine regression in ozone forecasting [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(4): 1697-1704.
- [28] 朱媛媛, 刘冰, 桂海林, 等. 京津冀臭氧污染特征、气象影响及基于神经网络的预报效果评估[J]. *环境科学*, 2022, **43**(8): 3966-3976.
- Zhu Y Y, Liu B, Gui H L, *et al.* Characteristics of ozone pollution, meteorological impact, and evaluation of forecasting results based on a neural network model in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(8): 3966-3976.
- [29] 王春乙. 海南气候[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [30] 赵蕾, 吴坤梯, 陈明. 2013—2016年海口市空气质量特征及典型个例污染物来源分析[J]. *气象与环境学报*, 2019, **35**(5): 63-69.
- Zhao L, Wu K T, Chen M. Characteristics of air quality in Haikou from 2013 to 2016 and pollutant source analysis during typical pollution events [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2019, **35**(5): 63-69.
- [31] 符传博, 丹利, 唐家翔, 等. 2017年10月海南省一次臭氧污染特征及输送路径与潜在源区分析[J]. *环境科学研究*, 2021, **34**(4): 863-871.
- Fu C B, Dan L, Tang J X, *et al.* Potential source contributions and transported routes in Hainan Province during ozone polluted episode in October 2017 [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, **34**(4): 863-871.
- [32] 符传博, 丹利, 唐家翔, 等. 海南省城市臭氧污染特征及气象学成因[M]. 北京: 气象出版社, 2021.
- [33] 符传博, 唐家翔, 丹利, 等. 2014-2016年海口市空气质量概况及预报效果检验[J]. *环境科学学报*, 2019, **39**(1): 270-278.
- Fu C B, Tang J X, Dan L, *et al.* Verification of air quality forecasted by CUACE model in Haikou City during 2014 to 2016 [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(1): 270-278.
- [34] 符传博, 徐文帅, 丹利, 等. 2015~2020年海南省臭氧时空变化及其成因分析[J]. *环境科学*, 2022, **43**(2): 675-685.
- Fu C B, Xu W S, Dan L, *et al.* Temporal and spatial variations in ozone and its causes over Hainan Province from 2015 to 2020 [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(2): 675-685.
- [35] 步巧利, 余乐福, 陈辰. 广州2014—2019年气象条件对O₃污染影响的定量评估[J]. *干旱气象*, 2022, **40**(2): 266-274.
- Bu Q L, Yu L F, Chen C. Quantitative assessment of influence of meteorological conditions on ozone pollution in Guangzhou during 2014-2019 [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2022, **40**(2): 266-274.
- [36] 沈路路, 王聿绚, 段雷. 神经网络模型在O₃浓度预测中的应用[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2231-2235.
- Shen L L, Wang Y X, Duan L. Application of artificial neural networks on the prediction of surface ozone concentrations [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(8): 2231-2235.
- [37] 宋娜, 徐虹, 毕晓辉, 等. 海口市PM_{2.5}和PM₁₀来源解析[J]. *环境科学研究*, 2015, **28**(10): 1501-1509.
- Song N, Xu H, Bi X H, *et al.* Source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ in Haikou [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(10): 1501-1509.
- [38] 朱景, 袁慧珍. ERA再分析陆面温度资料在浙江省的适用性[J]. *气象科技*, 2019, **47**(2): 289-298.
- Zhu J, Yuan H Z. Applicability of ERA reanalysis data of land surface temperature in Zhejiang Province [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2019, **47**(2): 289-298.
- [39] 蒋维维, 孙鉴泞, 曹文俊, 等. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [40] 耿一超, 田春艳, 陈晓阳, 等. 珠江三角洲秋季臭氧干沉降特征的数值模拟[J]. *中国环境科学*, 2019, **39**(4): 1345-1354.
- Geng Y C, Tian C Y, Chen X Y, *et al.* Numerical simulation of ozone dry deposition characteristics in autumn over the Pearl River delta region, China [J]. *China Environmental Science*, 2019, **39**(4): 1345-1354.
- [41] 陈璇, 王晓玲, 陈赛男, 等. 不同天气型下武汉城市圈PM_{2.5}污染及大气层结特征分析[J]. *环境科学学报*, 2022, **42**(8): 52-63.
- Chen X, Wang X L, Chen S N, *et al.* Characteristics of PM_{2.5} pollution and atmospheric stratification in Wuhan metropolitan area under different weather types [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, **42**(8): 52-63.

CONTENTS

Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} and O ₃ in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Time Series Decomposition	YAO Qing, DING Jing, YANG Xu, <i>et al.</i>	(2487)
Ozone Sensitivity Analysis in Urban Beijing Based on Random Forest	ZHOU Hong, WANG Ming, CHAI Wen-xuan, <i>et al.</i>	(2497)
Prediction of Ozone Pollution in Sichuan Basin Based on Random Forest Model	YANG Xiao-tong, KANG Ping, WANG An-yi, <i>et al.</i>	(2507)
Establishment and Effective Evaluation of Haikou Ozone Concentration Statistical Prediction Model	FU Chuan-bo, LIN Jian-xing, TANG Jia-xiang, <i>et al.</i>	(2516)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Ozone Concentration and Health Benefit Assessment in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2015 to 2020	GAO Ran, LI Qin, CHE Fei, <i>et al.</i>	(2525)
Water-soluble Inorganic Ion Content of PM _{2.5} and Its Change Characteristics in Urban Area of Beijing in 2022	CHEN Yuan-yuan, CUI Di, ZHAO Ze-xi, <i>et al.</i>	(2537)
Pollution Characteristics, Source, and Health Risk Assessment of Metal Elements in PM _{2.5} Between Winter and Spring in Zhengzhou	TAO Jie, YAN Hui-jiao, XU Yi-fei, <i>et al.</i>	(2548)
Characteristics, Sources Apportionment, and Health Risks of PM _{2.5} -bound PAHs and Their Derivatives Before and After Heating in Zibo City	SUN Gang-li, WU Li-ping, XU Bo, <i>et al.</i>	(2558)
Components Characteristic and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Transition Period of Heating Season in Xi'an with High Time Resolution	LI Meng-jin, ZHANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i>	(2571)
Source and Cause Analysis of High Concentration of Inorganic Aerosol During Two Typical Pollution Processes in Winter over Tianjin	LU Miao-miao, HAN Su-qin, LIU Ke-xin, <i>et al.</i>	(2581)
Spatial-temporal Variation and Spatial Differentiation Geographic Detection of PM _{2.5} Concentration in the Shandong Province Based on Spatial Scale Effect	XU Yong, WEI Meng-xin, ZOU Bin, <i>et al.</i>	(2596)
Characteristics of VOCs Emissions and Ozone Formation Potential for Typical Chemicals Industry Sources in China	WU Ting, CUI Huan-wen, XIAO Xian-de, <i>et al.</i>	(2613)
Formation Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources of Volatile Organic Compounds During an Air Pollution Episode in Autumn, Langfang	ZHANG Jing-qiao, LIU Zheng, DING Wen-wen, <i>et al.</i>	(2622)
Scale Effects of Landscape Pattern on Impacts of River Water Quality: A Meta-analysis	WANG Yu-cang, DU Jing-jing, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(2631)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter in Inflow Rivers of Baiyangdian Lake Water in Summer Flood Season	MENG Jia-jing, DOU Hong, CHEN Zhe, <i>et al.</i>	(2640)
Analysis on Hydrochemical Evolution of Shallow Groundwater East of Yongding River in Fengtai District, Beijing	HU Yu-xin, ZHOU Rui-jing, SONG Wei, <i>et al.</i>	(2651)
Hydrochemical Characteristics, Controlling Factors and Water Quality Evaluation of Shallow Groundwater in Tan-Lu Fault Zone (Anhui Section)	LIU Hai, WEI Wei, SONG Yang, <i>et al.</i>	(2665)
Effects of Pesticides Use on Pesticides Residues and Its Environmental Risk Assessment in Xingkai Lake (China)	WANG Wei-qing, XU Xiong, LIU Quan-zhen, <i>et al.</i>	(2678)
Characteristics of Microorganisms and Antibiotic Resistance Genes of the Riparian Soil in the Lanzhou Section of the Yellow River	WEI Cheng-chen, WEI Feng-yi, XIA Hui, <i>et al.</i>	(2686)
Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Algal Blooms and Its Driving Factors in Chaohu Lake Based on Multi-source Datasets	JIN Xiao-long, DENG Xue-liang, DAI Rui, <i>et al.</i>	(2694)
Characteristics of Epiphytic Bacterial Community on Submerged Macrophytes in Water Environment Supplemented with Reclaimed Water	HE Yun, LI Xue-mei, LI Hong-quan, <i>et al.</i>	(2707)
Effects of Water Level Fluctuations and Vegetation Restoration on Soil Prokaryotic Microbial Community Structure in the Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	MEI Yu, HUANG Ping, WANG Peng, <i>et al.</i>	(2715)
Bacterial Community Structure of Typical Lake Sediments in Yinchuan City and Its Response to Heavy Metals	MENG Jun-jie, LIU Shuang-yu, QIU Xiao-cong, <i>et al.</i>	(2727)
Effect of Thermal Hydrolysis Pretreatment Time on Microbial Community Structure in Sludge Anaerobic Digestion System	ZHANG Han, ZHANG Han, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(2741)
Source Apportionment of Morphine in Wastewater	SHAO Xue-ting, ZHAO Yue-tong, JIANG Bing, <i>et al.</i>	(2748)
Ecological Environment Dynamical Evaluation of Hutuo River Basin Using Remote Sensing	LI Yan-cui, YUAN Jin-guo, LIU Bo-han, <i>et al.</i>	(2757)
Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Ecosystem Service Value in the Yellow River Basin	WANG Yi-qi, SUN Xue-ying	(2767)
Ecosystem Service Trade-off Synergy Strength and Spatial Pattern Optimization Based on Bayesian Network: A Case Study of the Fenhe River Basin	CAI Jin, WEI Xiao-jian, JIANG Ping, <i>et al.</i>	(2780)
Spatial-temporal Evolution and Quantitative Attribution of Habitat Quality in Typical Karst Counties of Guizhou Plateau	LI Yue, FENG Xia, WU Lu-hua, <i>et al.</i>	(2793)
Spatio-temporal Variation in NEP in Ecological Zoning on the Loess Plateau and Its Driving Factors from 2000 to 2021	ZHOU Yi-ting, YAN Jun-xia, LIU Ju, <i>et al.</i>	(2806)
Land Change Simulation and Grassland Carbon Storage in the Loess Plateau Based on SSP-RCP Scenarios	CUI Xie, DONG Yan, ZHANG Lu-yin, <i>et al.</i>	(2817)
Multi-scenario Simulation of Construction Land Expansion and Its Impact on Ecosystem Carbon Storage in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration	WU Ai-bin, CHEN Fu-guo, ZHAO Yan-xia, <i>et al.</i>	(2828)
Effects of Land Use Change on Soil Aggregate Stability and Soil Aggregate Organic Carbon in Karst Area of Southwest China	JIANG Ke, JIA Ya-nan, YANG Yan, <i>et al.</i>	(2840)
Integrated Analysis of Soil Organic Matter Molecular Composition Changes Under Different Land Uses	HUANG Shi-wei, ZHAO Yi-kai, ZHU Xin-yu, <i>et al.</i>	(2848)
Prediction Spatial Distribution of Soil Organic Matter Based on Improved BP Neural Network with Optimized Sparrow Search Algorithm	HU Zhi-rui, ZHAO Wan-fu, SONG Yin-xian, <i>et al.</i>	(2859)
Effects of Application of Different Organic Materials on Phosphorus Accumulation and Transformation in Vegetable Fields	SUN Kai, CUI Yu-tao, LI Shun-jin, <i>et al.</i>	(2871)
Intensive Citrus Cultivation Suppresses Soil Phosphorus Cycling Microbial Activity	ZHOU Lian-hao, ZENG Quan-chao, MEI Tang-ying-ze, <i>et al.</i>	(2881)
Effects of Controlled-release Blended Fertilizer on Crop Yield and Greenhouse Gas Emissions in Wheat-maize Rotation System	GAO Wei, WANG Xue-xia, XIE Jian-zhi, <i>et al.</i>	(2891)
Effect of Biochar on NO ₃ ⁻ -N Transport in Loessial Soil and Its Simulation	BAI Yi-ru, LIU Xu, ZHANG Yu-han, <i>et al.</i>	(2905)
Analysis and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil in China: A Meta-analysis	YANG Li, BAI Zong-xu, BO Wen-hao, <i>et al.</i>	(2913)
Critical Review on Heavy Metal Contamination in Urban Soil and Surface Dust	WANG Xiao-yu, LIU En-feng, YANG Xiang-meng, <i>et al.</i>	(2926)
Research Progress on Solidification and MICP Remediation of Soils in Heavy Metal Contaminated Site	CHEN Yue-ru, GAO Wen-yan, CHEN Hong-ren, <i>et al.</i>	(2939)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metal in Coal Mine Area near the Yellow River in Shandong	DAI Wen-ting, ZHANG Hui, WU Xia, <i>et al.</i>	(2952)
Heavy Metal Content and Risk Assessment of Sediments and Soils in the Juma River Basin	HAN Shuang-bao, YUAN Lei, ZHANG Qiu-xia, <i>et al.</i>	(2962)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Apportionment of Soil Heavy Metals in the Yellow River Floodplain of Yinchuan City	YU Lu-jia, MA Hai-jun, WANG Cui-ping	(2971)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils of a City in Guangdong Province Based on Source Oriented and Monte Carlo Models	CHEN Lian, ZOU Zi-hang, ZHANG Pei-zhen, <i>et al.</i>	(2983)
Chemical Speciation, Influencing Factors, and Regression Model of Heavy Metals in Farmland of Typical Carbonate Area with High Geological Background, Southwest China	TANG Rui-ling, XU Jin-li, LIU Bin, <i>et al.</i>	(2995)
Hg Content Characteristics and Safe Planting Zoning of Paddy Soil and Rice in Guizhou Province	WEI Mei-liu, ZHOU Lang, HUANG Yan-ling, <i>et al.</i>	(3005)
Cadmium Phytoremediation Effect of Sweet Sorghum Assisted with Citric Acid on Typical Parent Soil in Southern China	LIU Meng-yu, LUO Xu-feng, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(3016)
Effects of Modified Distillers' Grains Biochar on Cadmium Forms in Purple Soil and Cadmium Uptake by Rice	XIAO Nai-chuan, WANG Zi-fang, YANG Wen-na, <i>et al.</i>	(3027)
Effects of Biochar on Growth and Pollutant Accumulation of Lettuce in Soil Co-contaminated with Tetracycline and Copper	ZHENG Chen-ge, PEI Huan-huan, ZHANG Ya-shan, <i>et al.</i>	(3037)
Effects of Vermicomposting on Compost Quality and Heavy Metals: A Meta-analysis	JIANG Ji-shao, HOU Rui, CUI Hui-lin, <i>et al.</i>	(3047)
Advances in the Effects of Microplastics on Soil N ₂ O Emissions and Nitrogen Transformation	LIU Yi-ge, YANG An-qi, CHEN Shu-xin, <i>et al.</i>	(3059)
Effects of Land Use Patterns on Soil Microplastic Pollution in the Luoshijiang Sub-watershed of Erhai Lake Basin	DAI Liu-yun, HOU Lei, WANG Hua, <i>et al.</i>	(3069)
Characteristics of Microplastic Pollution in Sediment of Silty Coast in Culture Bay	SONG Ke-xin, HE Jin-cheng, LI Chang-wen, <i>et al.</i>	(3078)
Effect of Polyethylene Microplastics on the Microbial Community of Saline Soils	WANG Zhi-chao, LI Zhe, LI Jia-chen, <i>et al.</i>	(3088)
Characterization of Microplastic Surface Bacterial Community Structure and Prediction of Ecological Risk in Poyang Lake, China	YU Jin-li, ZHAO Jun-kai, LUO Si-qi, <i>et al.</i>	(3098)
Energy-saving and Emission Reduction Path for Road Traffic in Key Coastal Cities of Guangdong, Fujian and Zhejiang	XU Yi-nuo, WENG Da-wei, WANG Shuo, <i>et al.</i>	(3107)
Life Cycle Carbon Reduction Benefits of Electric Heavy-duty Truck to Replace Diesel Heavy-duty Truck	XU Yuan-yuan, GONG De-hong, HUANG Zheng-guang, <i>et al.</i>	(3119)