

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.6
第41卷 第6期

目次

基于SPAMS的天津市夏季环境受体中颗粒物的混合状态及来源	林秋菊, 徐娇, 李梅, 王伟, 史国良, 冯银厂 (2505)
南京北郊降水无机离子和有机酸的化学特征及来源分析	杨笑影, 曹芳, 林煜棋, 章炎麟 (2519)
西安市PM _{2.5} 中水溶性离子的季节变化特征	黄含含, 王羽琴, 李升苹, 陈庆彩 (2528)
新疆石化工业区颗粒物含水量和酸度对二次无机组分形成的影响	刘会斌, 迪丽努尔·塔力甫, 王新明, 张潇潇, 王威, 阿布力克木·阿不力孜, 买里克扎提·买合木提, 刘伟 (2536)
长秋季生物物质燃烧对PM _{2.5} 中WSOC吸光性的影响	孟德友, 曹芳, 翟晓瑶, 张世春, 章炎麟 (2547)
2019年5月上海复合污染过程中挥发性有机物的污染特征及来源	王倩 (2555)
南京工业区秋季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	曹梦瑶, 林煜棋, 章炎麟 (2565)
郑州市春季大气污染过程VOCs特征、臭氧生成潜势及源解析	任义君, 马双良, 王思维, 于世杰, 李一丹, 张瑞芹, 尹沙沙 (2577)
上甸子区域背景站VOCs污染特征及其对臭氧生成贡献	韩婷婷, 李颖若, 邱雨露, 何迪, 王焱, 马志强 (2586)
北京市餐饮业大气污染物排放特征	孙成一, 白画画, 陈雪, 翟翼飞, 高启天, 何万清, 聂磊, 石爱军, 李国傲 (2596)
北京市农业机械排放因子与排放清单	王凯, 樊守彬, 亓浩云 (2602)
北京市土壤风蚀扬尘排放因子本地化	李贝贝, 黄玉虎, 毕晓辉, 刘李阳, 秦建平 (2609)
基于MODIS_C061的长三角地区AOD与Angström指数时空变化分析	张颖蕾, 崔希民 (2617)
环渤海地区2,4,4'-三氯联苯的多介质归趋模拟	张毅, 马艳飞, 宋帅, 吕永龙, 张盛, 吴强 (2625)
岗南水库沉积物间隙水有色溶解有机物的时空分布特征及差异分析	周石磊, 孙悦, 苑世超, 彭瑞哲, 刘世崇, 岳奇丞, 张航, 王周强, 李再兴, 罗晓 (2635)
“河-湖”沉积物重金属环境特征及来源解析	李悦昭, 陈海洋, 孙文超 (2646)
伊通河(城区段)沉积物重金属形态分布特征及风险评价	姜时欣, 翟付杰, 张超, 王蒙蒙, 单保庆 (2653)
典型岩溶地下河流域水体中硝酸盐源解析	赵然, 韩志伟, 申春华, 张水, 涂汉, 郭永丽 (2664)
沉积物参与氮磷脉冲式输入对太湖水体营养盐浓度和藻类生长的影响	陈洁, 许海, 詹旭, 许笛, 朱广伟, 朱梦圆, 李鹏飞, 康丽娟 (2671)
丰水期东洞庭湖超微型浮游藻类时空分布特征及其影响因素	李胜男, 陈豪宇, 彭华, 李芸君, 朱坚, 简燕, 纪雄辉 (2679)
胶网藻对水体中恩诺沙星的毒性响应及去除作用	王振方, 韩子玉, 王梦雪, 马逸驰, 王婷, 王丽卿, 张玮 (2688)
不同光照和磷水平下两种沉水植物磷富集和钙磷含量的比较	桑雨璇, 杨珈乐, 熊怡, 尹文博, 汪华, 王和云 (2698)
过氧化钙复合片剂对水体修复和底泥磷控制的作用	张帅, 李大鹏, 丁玉琴, 徐楚天, 许鑫澎, 孙培荣, 赵哲豪, 黄勇 (2706)
基于区域DNDC的稻田轮作氮素空间分异与驱动分析:以晋江流域为例	王亚楠, 祝伟, 祁新华, 范水生 (2714)
不同铁锰浓度的低温铁锰氨地下水净化中氨氮去除途径	张杰, 梅宁, 刘孟浩, 叶雪松, 李冬 (2727)
高晶度Mn-Fe LDH催化剂活化过一硫酸盐降解偶氮染料RBK5	李立, 吴丽颖, 董正玉, 王霖, 张倩, 洪俊明 (2736)
Fe-cyclam/H ₂ O ₂ 体系催化降解罗丹明B机制	余雨清, 陈翔宇, 蔡荣华, 黄歆珏, 陈曼 (2746)
微生物光电化学池去除硝酸盐氮:以PANl/TiO ₂ -NTs为光阳极	卢忆, 周海珊, 彭瑞建, 叶杰旭, 陈建孟, 宋爽, 张士汉 (2754)
缺氧MBR-MMR处理海水养殖废水性能及膜污染特性	陈凡雨, 徐仲, 尤宏, 柳锋, 李之鹏, 陈其伟, 韩红卫 (2762)
HRT对改良式A ² /O-BAF反硝化除磷脱氮的影响	赵凯亮, 刘安迪, 南彦斌, 梁利民, 王云霞, 陈永志 (2771)
重金属Ni(II)对厌氧氨氧化脱氮性能的影响及其动力学特征变化	孙琪, 赵白航, 范飒, 周邦磊, 李玉璋 (2779)
异养硝化-好氧反硝化混合菌对尿素的去除及重金属和盐度的影响	王萌萌, 曹刚, 张迪, 冯乃亮, 潘涌璋 (2787)
火山岩填料曝气生物滤池的SNAD工艺启动特性及功能菌丰度演替	薛嘉俊, 张绍青, 张立秋, 李淑更, 姚海楠, 耿忠轩, 李鸿, 刘晓玲 (2796)
游离羟胺对两种典型亚硝态氮氧化菌活性的影响	沈琛, 张树军, 彭永臻 (2805)
死菌DNA对厌氧消化污泥中抗生素抗性基因及微生物群落分析的干扰	苏宇傲, 刘宏波, 毛秋燕, 张慧旻, 张衍, 刘和 (2812)
中国农田土壤重金属空间分布特征及污染评价	陈文轩, 李茜, 王珍, 孙兆军 (2822)
土壤环境质量预警体系构建与应用	李笑诺, 丁寿康, 陈卫平, 王夏晖, 吕斯丹, 刘睿 (2834)
不同母质发育土壤团聚体分布对外源输入秸秆的响应及其与有机碳矿化的关系	毛霞丽, 邱志腾, 张爽, 沈倩, 章明奎 (2842)
长期施肥稻田土壤胞外酶活性对底物可利用性的响应特征	宁玉菲, 魏亮, 魏晓梦, 祝贞科, 袁红朝, 葛体达, 吴金水 (2852)
生物质炭对磷富集土壤中两种元素生物有效性及作物镉积累的影响	黄洋, 郭晓, 胡学玉 (2861)
基于田块尺度的农田土壤和小麦籽粒镉铅污染特征及健康风险评价	肖冰, 薛培英, 韦亮, 刘成程, 高培培, 樊利敏, 杜佳燕, 刘文菊 (2869)
重构土壤垂直剖面重金属Cd赋存形态及影响因素	胡青青, 沈强, 陈飞, 尹炳, 邹宏光, 庄红娟, 张世文 (2878)
新乡市镉污染土壤细菌群落组成及其对镉固定效果	陈兆进, 李英军, 邵洋, 林立安, 徐鸽, 陈彦, 田伟, 姚伦广, 韩辉 (2889)
三峡消落带适生植物根系活动调控土壤养分与细菌群落多样性特征	李丽娟, 李昌晓, 陈春桦, 杨治华, 陈雪梅 (2898)
滇池水中细菌和古菌氮代谢功能基因的空间分布	张宇, 左剑恶, 王丝可, Alisa Salimova, 李爱军, 李玲玲 (2908)
模拟升温对冰川前缘地微生物种群的影响	王愉琬, 马安周, 种国双, 谢飞, 周汉昌, 刘国华, 庄国强 (2918)
水肥气耦合对温室番茄土壤N ₂ O排放及番茄产量的影响	商子惠, 蔡焕杰, 陈慧, 孙亚楠, 李亮, 朱艳, 王晓云 (2924)
矸石山及其周边村庄土壤浸出液对大麦的毒性作用	尚誉, 杨丰隆, 宁夏, 董铁茹, 桑楠 (2936)
海南省昌化江河口海域生物体中多环芳烃污染特征、来源解析及健康风险评价	汪慧娟, 旷泽行, 周贤, 覃晓青, 黄洪辉 (2942)
春季北京市河流大型底栖动物群落结构特征及影响因素分析	贺玉晓, 李珂, 任玉芬, 王思琪, 方文颖 (2951)
热解温度和时间对香蒲生物炭性质的影响及生态风险评估	蔡朝卉, 楚沉静, 郑浩, 罗先香, 李锋民 (2963)
长江经济带交通碳排放测度及其效率格局(1985~2016年)	蒋自然, 金环环, 王成金, 叶士琳, 黄艳豪 (2972)
《环境科学》征订启事(2595) 《环境科学》征稿简则(2687) 信息(2697, 2713, 2811)	

北京市农业机械排放因子与排放清单

王凯^{1,2}, 樊守彬^{1,3*}, 亓浩云^{1,4}

(1. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 2. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100124; 3. 国家城市环境污染防治工程技术研究中心, 北京 100037; 4. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要: 利用车载排放测试技术对典型的联合收割机、拖拉机、农用运输车和农田建设机械实际工况下的尾气进行测试, 建立了实际工况下农业机械的排放因子和 2017 年北京市农用机械排放清单。结果表明, 不同的工作状态对农业机械尾气排放有较大的影响, 怠速和行走时 CO、NO_x、HC 和 PM 排放趋于平稳; 而切地和翻地模式下的波动较为明显。根据各类机械的分类和排放标准对排放因子进行细化, 建立了较为完整的实际工况下的排放因子。根据农业机械排放因子和燃油消耗量计算出 2017 年北京市 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放量分别是 2 566.60、1 239.29、563.08 和 538.32 t。拖拉机、运输机械和联合收割机的污染物总量占 CO、NO_x、HC 和 PM 这 4 种污染物总量的 98%、95%、95% 和 98%。因此, 农用拖拉机、运输机械和联合收割机在农业机械污染减排中应作为重点控制对象。

关键词: 农业机械; 排放因子; 排放清单; 车载测试系统(PEMS); 北京市

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)06-2602-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201912005

Emission Factors and Emission Inventory of Agricultural Machinery in Beijing Under Real-world Operation

WANG Kai^{1,2}, FAN Shou-bin^{1,3*}, QI Hao-yun^{1,4}

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124 China; 3. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China; 4. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: This study aimed to establish the emission factors and the emission inventory of agricultural machinery in Beijing in 2017 under real-world operation. The emissions of typical harvesters, tractors, agricultural transport vehicles, and farm construction machinery under real-world operation were tested by a portable emission measurement system. The results showed that different operation modes have a greater impact on the tailpipe emissions of agricultural machinery. The CO, NO_x, HC, and PM emissions were relatively stable when the engine is idling and moving compared to when the excavator is performing actual work. According to the classification and emission standards of various types of machinery, a relatively perfect emission factor system of agricultural machinery in Beijing was established, which can provide reference and support for relevant research and management decisions. According to the emission factors of agricultural machinery and fuel consumption in Beijing, the emissions of CO, NO_x, HC, and PM in 2017 were 2 566.60, 1 239.29, 563.08, and 538.32 t, respectively. The total pollutants of transport machinery, tractors, and combined harvester accounted for 98%, 95%, 95%, and 98% of the total concentrations of CO, NO_x, HC, and PM, respectively. Therefore, transport machinery, tractor, and combined harvester should be the key control objects in the reduction of agricultural machinery pollution.

Key words: agricultural machinery; emission factor; emission inventory; portable emission measurement system(PEMS); Beijing

农业机械作为一种重要的非道路机械, 主要包括农业动力机械、种植机械、农田基本工程机械和农业运输机械等^[1]。农业机械大部分以柴油为动力, 氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)、一氧化碳(CO)和颗粒物(PM)是主要的尾气污染物^[2~5]。与机动车等道路移动源相比, 农业机械具有技术水平低、使用年限长、耗油量高、维护率低和单机排放量较大等特点^[6]。随着我国农业机械化步伐的加快, 农业机械带来的污染也引起了人们的关注^[7,8]。

中国非道路移动源的排放控制工作起步较晚^[9~11]。近些年来, 一些专家学者对农业机械大气污染物排放清单进行了探索性研究^[12~16]。张意等^[17]对天津市非道路机械进行了较为完整的研究, 建立了天

津市非道路移动源排放清单。范武波等^[18]采用环保部推荐的排放因子, 分析了四川省非道路移动源的尾气污染排放特征。国内对农业机械的研究较少, 缺乏农业机械实际排放因子, 所用的排放因子通常来自一些非道路机械排放因子模型^[19]和实验室台架测试结果^[20~22], 从而造成估算的排放清单具有较大的不确定性。付明亮等^[23]利用车载排放测量系统(portable emission measure system, PEMS)^[24,25]对 45 辆典型工

收稿日期: 2019-12-01; 修订日期: 2019-12-30

基金项目: 大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG0201); 北京市环境保护科学研究院基金项目(2018B01)

作者简介: 王凯(1992~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: 819905813@qq.com

* 通信作者, E-mail: fanshoubin@163.com

程机械进行实际工况排放测试,得到了工程机械怠速、行走和工作等不同工况下的排放因子。

本研究利用车载排放测试系统对北京市农业机械进行实际工况排放测试,得到了不同农业机械实际工况下的瞬时排放特征,计算了不同类型农业机械的排放因子,建立了北京市农业机械排放清单。

1 材料与方法

1.1 测试仪器

本研究应用的车载排放测试仪器主要包括全球定位系统(GPS)、SEMTECH-DS 气态污染物分析仪(美国 Sensors 公司)、MAHA MPM-4 颗粒物测试仪(德国 Maschinenbau Haldenwang)和 EFM2 尾气质量流量计(美国 Asert 公司)。农业机械尾气气态污染物排放因子测量仪器为 SEMTECH-DS 车载尾气分析系统,流量计 EFM 记录排气温度和流量,GPS 记录经纬度、海拔并计算车速等。MAHA MPM-4 用来测量颗粒物瞬时排放浓度,可测量粒径小于 10 000 nm 的颗粒物,测量范围为 0 ~ 750 mg·m⁻³,精度为 0.01 mg·m⁻³。

1.2 计算方法

依据碳平衡原理对农业机械的油耗进行计算,如公式(1)所示:

FR =
$$\frac{0.866ER(\text{HC}) + 0.429ER(\text{CO}) + 0.273ER(\text{CO}_2)}{\rho_{\text{diesel}} \times 1\,000 \times \text{CWF}_F}$$
(1)

式中,FR 表示柴油的消耗率(L·s⁻¹); ρ_{diesel} 表示柴油的密度(0.868 g·L⁻¹);ER(HC)、ER(CO)和 ER(CO₂)分别表示 HC、CO 和 CO₂ 的瞬时排放速率(g·s⁻¹);CWF_F表示柴油含碳量,为 0.866。

实测的 CO、HC、NO_x 和 PM 的排放速率数据,结合农业机械油耗,计算基于油耗的排放因子,如公式(2)所示:

$$\text{EF}_P = \frac{\sum_{n=1}^j \text{ER}_{P,n}}{\sum_{n=1}^i \text{FR}_n}$$
(2)

式中,EF_P表示基于油耗的排放因子(g·kg⁻¹);P表示车辆排放的某类污染物;n表示某工况的持续时间(s);i和j表示该工况的开始时间和完成时间(s);ER表示污染物的瞬时排放速率(g·s⁻¹);FR表示某一工况下的油耗速率(kg·s⁻¹)。

按下式(3)估算基于油耗的综合排放因子。

$$\text{CEF}_P = \sum_i^n (\text{EF}_{P,i} \times T_i)$$
(3)

式中,CEF_P表示污染物 P 的综合排放因子(g·kg⁻¹);P表示污染物类型;EF_{P,i}表示污染物的平均排放因子(g·kg⁻¹);i表示农业机械的工况;n表示测试的工况类型数;T_i表示农业机械在完成工况的时间占比(%)。

污染物 CO、HC、NO_x 和 PM 排放量的估算方法如公式(4)所示:

$$E_P = D \times \text{CEF}_P$$
(4)

式中,E_P表示污染物的排放量(kg);P表示污染物的类型;D表示柴油的使用量(kg);CEF_P表示污染物的综合排放因子(g·kg⁻¹)。

1.3 测试机械

本研究对2台联合收割机、5台大中型拖拉机、2台小型拖拉机、2台农用运输车和1台农田建设机械进行了测试。测试的联合收割机和农田建设机械测试的工况主要有3种,怠速(发动机处于低转速状态且工程机械处于静止状态)、行走(机械在测试地点自由前行或后移)、作业(机械行走同时对农作物进行收割、对农田进行管理);拖拉机的工况有4种,怠速、行走、切地(机械行走同时利用铲刀对土地进行切割)、翻地(机械行走同时利用铲刀对土地进行翻整);运输车的工况有匀速和加速2种。农业机械柴油机排放标准包括国1、国2和国3,具体信息见表1。

表1 测试农业机械信息
Table 1 Information of agricultural machinery in this study

编号	生产厂商	机型	生产年份	功率/kW	燃油类型	排放标准
1	约翰迪尔	大型	2017	93	柴油	国3
2	约翰迪尔	中型	2015	29	柴油	国2
3	约翰迪尔	中型	2016	29	柴油	国3
4	东方红	大型	2017	62	柴油	国3
5	黄金海马	小型	2007	22	柴油	国1
6	黄金海马	小型	2011	26	柴油	国2
7	东方红	大型	2013	66	柴油	国2
8	福田五星牌	三轮车	2010	13	柴油	国1
9	福田五星牌	三轮车	2008	10	柴油	国1
10	福田雷沃	联合收割机	2013	63.2	柴油	国2
11	福田雷沃	联合收割机	2008	60.3	柴油	国1
12	福田雷沃	挖掘机	2010	39	柴油	国1

1.4 北京市农业机械基本情况

北京市农业机械主要分为农产品初加工机械、联合收割机、农业运输车、农田基本建设机械、畜牧养殖业机械、排灌机械和拖拉机这7大

类,见表2.北京农业机械数量庞大,保有量最大的为农用运输机械近5万辆,占总量的60%;其次为拖拉机和畜牧业生产机械近1万台,约占12%.

表2 北京农业机械基本情况

Table 2 Basic information of agricultural machinery in Beijing

机械类型	燃油类型	平均功率/kW	分类	排放标准	保有量/辆
拖拉机	柴油	14.7 以上	大中型	国 1	1 556
				国 2	4 109
				国 3	1 185
	柴油	2.2 ~ 14.7	小型	国 1	285
				国 2	19
				国 3	3
联合收割机	柴油	60		国 1	288
				国 2	947
				国 3	39
农用运输车	柴油	13.2			50 700
排灌机械	柴油	10.8			1 904
畜牧业生产机械	柴油	7.3			11 042
农田基本建设机械	柴油	40			820
农产品初加工机械	柴油	9.5			9 254

2 结果与讨论

2.1 瞬时排放特征

2.1.1 拖拉机瞬时排放特征

本研究给出了1号测试拖拉机怠速、行走、切地和翻地这4种情况下CO、NO_x、HC和PM的瞬时排放速率片段,如图1所示.怠速和行走时4种污染物的瞬时变化趋于平稳;而切地和翻地模式下的波动较明显,这是由于拖拉机在旋耕时发动机负荷较大,

这与葛蕴珊等^[26]和付明亮等^[27]的研究结果一致.CO排放率随发动机负荷的增大而增大,在开始怠速时,CO排放率最小,为4.8 mg·s⁻¹;在行走时,CO排放率逐渐增加;在切地和翻地时CO的排放率达到最大值.NO_x排放速率在怠速、行走和切地时波动不大,但随着进入发动机负荷较大的翻地阶段NO_x的变化幅度增大,最大值达到42.8 mg·s⁻¹.HC排放速率在刚进入翻地阶段后有较大的变化,最大值达到49.11 mg·s⁻¹,但是进入翻地阶段以后变化波

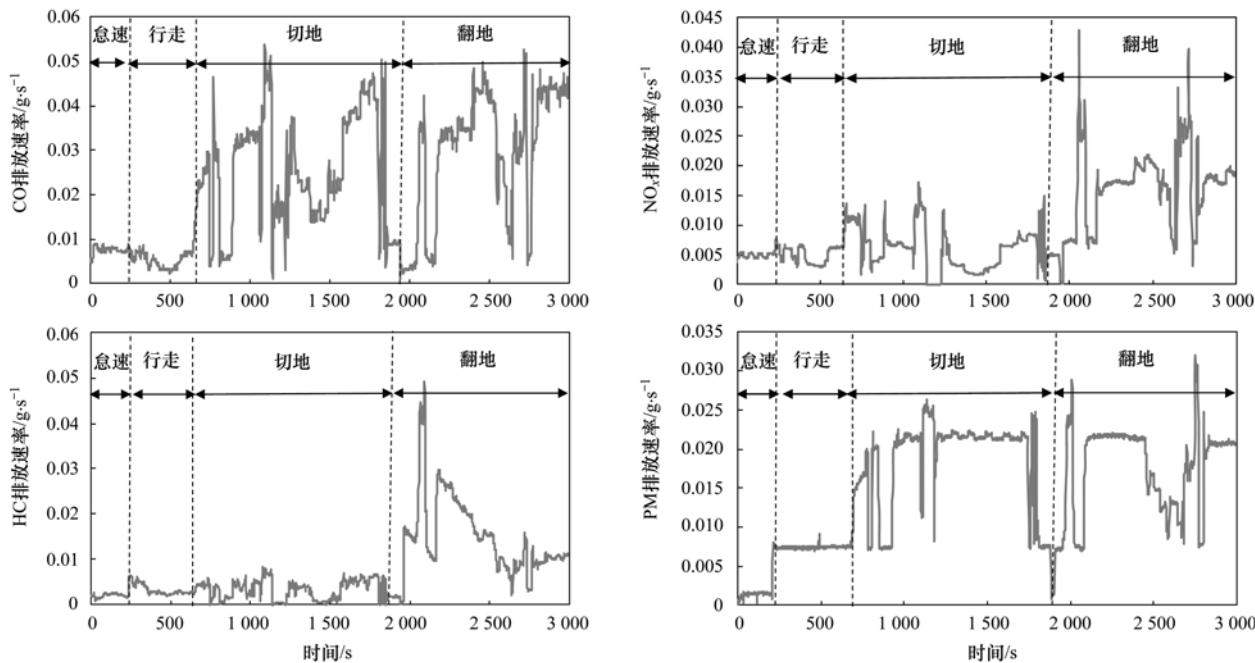


图1 拖拉机瞬时排放速率

Fig. 1 Instantaneous emission rate of tractors

动不大. PM 的排放速率在怠速和行走阶段几乎没有波动,当发动机负荷加大使排放速率变大,排放速率波动也变大.

2.1.2 三轮车瞬时排放特征

图2为三轮车在不同工况下CO、NO_x、HC和PM的瞬时排放速率片段,匀速和加速状态下4种污染物的变化趋势相似.在匀速阶段,发动机的负荷比较小,燃油消耗量较小,4种污染物的瞬时排放速率较小.进入加速阶段,燃油消耗增加,这主

要是因为发动机不仅要提供维持现阶段速度动力,而且还要提供加速的动力,所以出现了较多的排放峰值.CO排放速率随发动机负荷的增大而增大,加速阶段变化明显,排放速率增大,最大值为600 mg·s⁻¹.NO_x排放速率在匀速阶段变化不大,最大值约为20 mg·s⁻¹,但是在加速阶段数值变化较大.PM和HC的变化与NO_x的变化趋势相似,也是在匀速阶段变化幅度不大,在加速阶段变化幅度大.

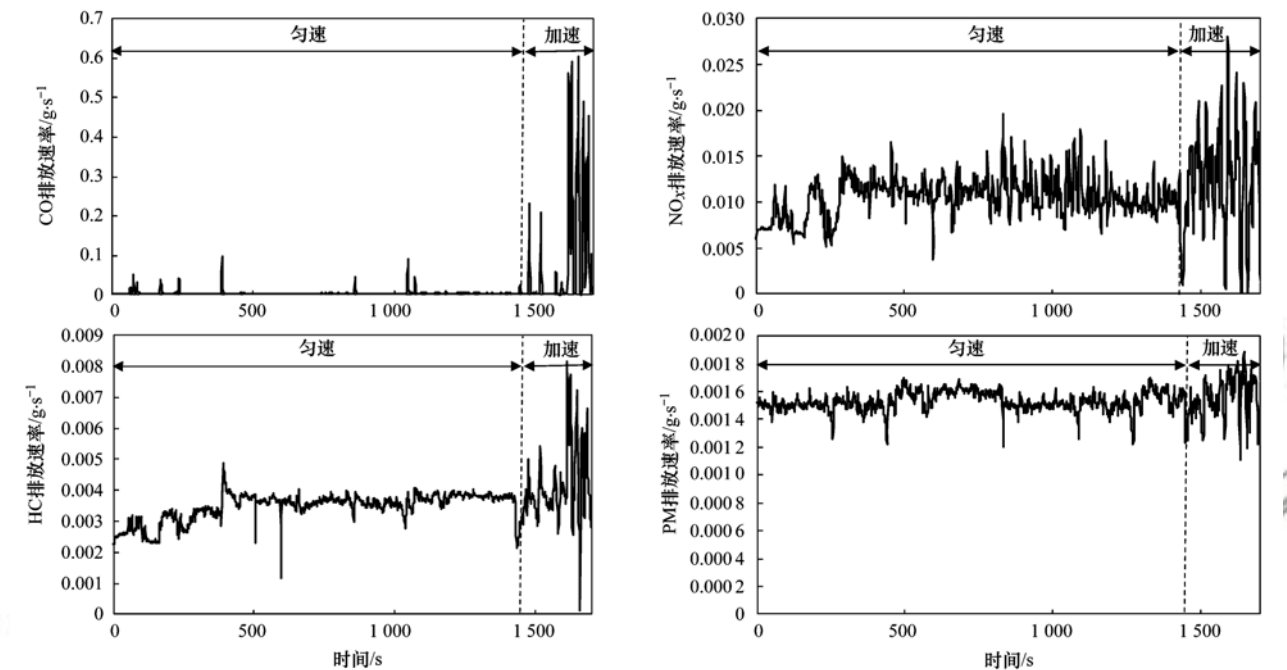


图2 三轮车瞬时排放速率
Fig. 2 Instantaneous emission rate of tricycles

2.2 基于燃油消耗的排放因子

按照各类农业机械的用途,将北京市农业机械分为7大类,分别为拖拉机、联合收割机、农用运输车、排灌机械、畜牧业生产机械、农田基本建设机械和农产品初加工机械.根据实测的尾气排放速率计

算出农业机械基于油耗的排放因子.本文参考了文献[28]及国内相关研究实测的排放因子,给出了北京市农业机械的排放因子,见表3.

本次测试的拖拉机中2号、3号和5号功率为<37 kW,具有相同的污染物排放限值.3辆拖拉机

表3 典型农业机械排放因子
Table 3 Emission factors of typical agricultural machinery

机械类型	分类	排放标准	综合排放因子/g·kg ⁻¹				文献
			CO	NO _x	HC	PM	
拖拉机	大中型	国1	84.87	35.06	36.87	8.97	本研究
		国2	35.96	24.63	16.27	7.18	本研究
		国3	25.33	11.36	8.11	5.16	本研究
	小型		26.00	52.30	5.20	4.87	[29,28]
联合收割机		国1	31.26	41.86	11.86	12.89	本研究
		国2	21.94	67.80	9.38	9.81	本研究
农用运输车			103.91	30.90	18.30	4.76	本研究
排灌机械			26.00	42.00	5.20	3.80	[28]
畜牧业生产机械			26.00	50.93	5.20	4.48	[29,28]
农田基本建设机械			14.90	3.89	23.91	2.62	本研究
农产品初加工机械			26.00	48.30	5.20	3.90	[29,30]

都只有旋耕和播种两个工作状态,因此在研究排放标准对农机排放的影响时,计算 2 种工况的加权平均值. 图 3 对比了不同排放标准下,CO、NO_x、HC 和 PM 的排放因子. 从图 3 中可以看出,4 种污染物从国 1 排放标准到国 3 排放标准都有递减规律,CO 和 HC 的变化规律明显,从国 1 到国 2 污染物排放因子降低了 50% 左右.

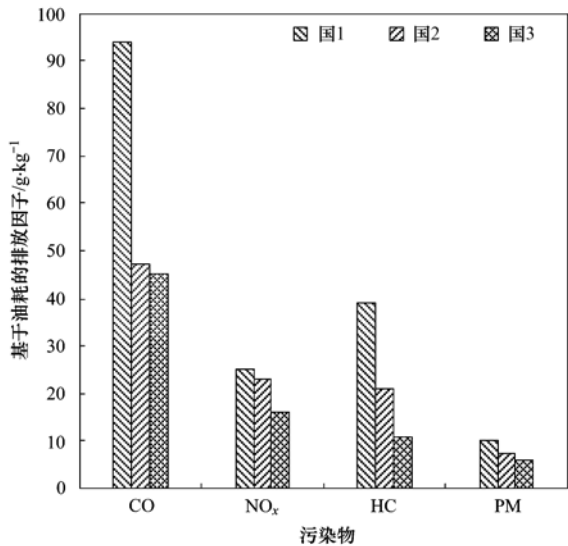


图 3 不同排放标准的排放因子比较
Fig. 3 Comparison of emission factors under different emission standards

为分析不同排放标准农业机械实际工况下的尾气排放因子,将实测的综合排放因子与文献[28]进行比较,如图 4 所示. 对于 CO, 7 台拖拉机中有 3 台的排放水平均低于指南推荐值, 2 台三轮车高于指南推荐值,联合收割机排放因子和指南推荐值差别不大,挖掘机的排放因子低于指南推荐值. 对于 NO_x, 5 台拖拉机的排放因子低于指南推荐值, 1 台三轮车低于指南推荐值,挖掘机的排放因子低于指

南推荐值. 对于 HC, 12 台农业机械全部高于指南推荐值. 对于 PM 而言, 6 号和 9 号农业机械低于指南推荐值. 这表明使用文献[28]推荐的排放因子预测农业机械可能会导致排放清单结果被低估,这与马帅^[30]的研究结果一致.

2.3 排放清单建立

根据北京市农业机械排放因子和农业机械耗油量^[31],计算 2017 年 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放量分别是 2 566.60、1 239.29、563.08 和 538.32 t,见表 4. 对各种农业机械大气污染物排放的分担率进行分析,见图 5. 对于 CO,拖拉机和农用运输车的贡献率最高达到了 50% 和 46%,排灌机械的贡献率最小,这可能是因为拖拉机和运输机械的数量比较多,多数机械的排放因子较大. 对于 NO_x,拖拉机的贡献率最大,占所调查的农业机械排放总量的 51%,其次为农用运输车和联合收割机. 对于 HC,拖拉机的污染物贡献率最高,农用运输车次之. 对于 PM,拖拉机的贡献率达到了 83%. 总体来看,拖拉机、运输机械和联合收割机的污染物总量占 CO、NO_x、HC 和 PM 这 4 种污染物总量的 98%、95%、95% 和 98%. 因此,农用拖拉机、运输车和联合收割机在农业机械污染减排中应作为重点控制对象.

表 4 污染物排放量/t

Table 4 Total exhaust emissions/t				
农业机械	CO	NO _x	HC	PM
拖拉机	1 284.73	633.78	303.44	448.86
联合收割机	64.42	199.06	27.54	28.80
农用运输车	1 177.42	350.13	207.36	53.94
排灌机械	3.82	6.17	0.76	0.56
畜牧业生产机械	19.08	37.38	3.82	3.29
农田基本建设机械	11.92	3.11	19.13	2.10
农产品初加工机械	5.20	9.66	1.04	0.78
合计	2 566.60	1 239.29	563.08	538.32

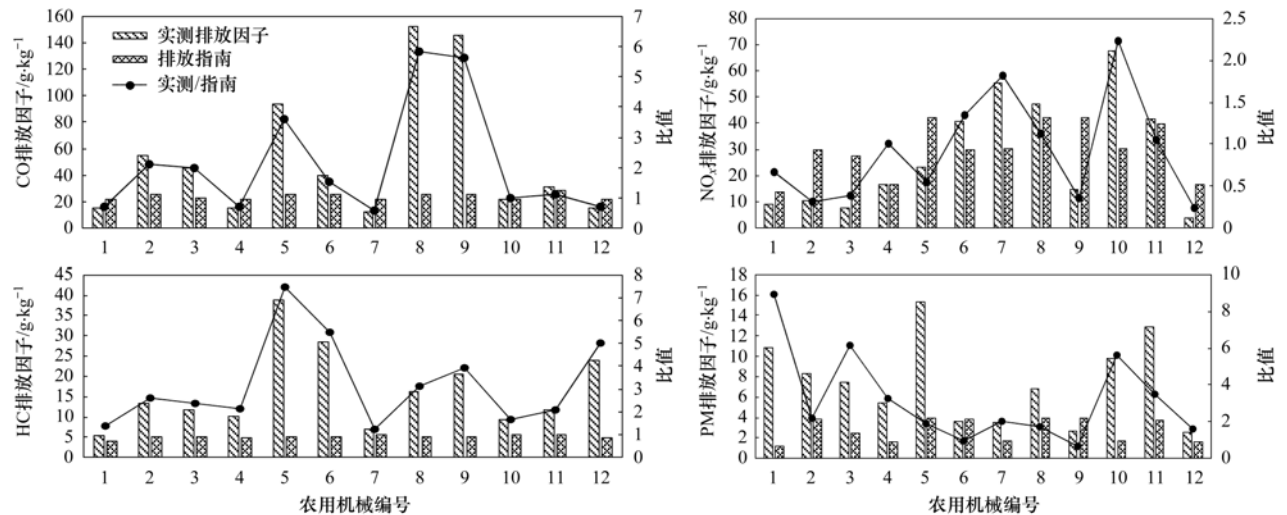


图 4 实际排放因子与文献[28]比较

Fig. 4 Comparisons of measured emission factors and its complying National Emissions Standards

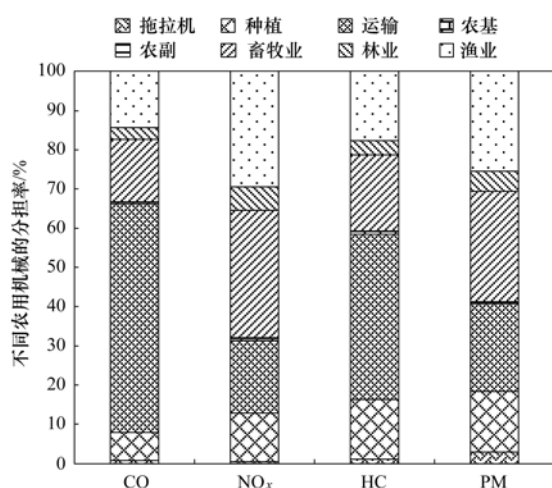


图5 各类农业机械的排放分担率

Fig. 5 Contribution of different agricultural machinery to different pollutants

2.4 不确定性分析

本研究的不确定性主要存在排放因子和活动水平两方面。农业机械的活动水平数据来自统计年鉴,存在统计误差。本研究选12台农业机械进行了测试,选取的数量和种类有限,可能因实测数据代表性不足引起不确定性。2辆农用运输车的排放标准较低,排放因子明显大于国家推荐的排放清单指南推荐值。综合排放因子是根据不同工况的排放因子,按照时间占比得到的加权排放因子,存在不确定性。对于本文没有测试的农业机械类型,参考了已有研究和国家指南推荐,有必要在以后补充各类农业机械本地化研究,以减少排放清单的不确定性。

3 结论

(1)不同的工况对农业机械尾气排放有较大的影响。行走和怠速时4种污染物的瞬时排放变化较小;而切地和翻地模式下的波动明显,排放速率远高于行走和怠速。

(2)根据农业机械的分类和排放标准对排放因子进行细化,对本文没有测量的机械类型,参考了国内相关研究实测的排放因子以及环境保护部发布的《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南》,建立了较为完善的本地化农业机械排放因子。

(3)将实测的排放因子与我国《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南》中推荐排放因子进行了对比,4种污染物从国1排放标准到国3排放标准都有递减规律,

CO和HC的变化规律明显,从国1到国2污染物排放因子降低了50%左右。

(4)根据北京农业机械排放因子和燃油消耗量计算2017年CO、NO_x、HC和PM的排放量分别是

2 566.60、1 239.29、563.08和538.32 t。拖拉机、运输机械和联合收割机的污染物总量占CO、NO_x、HC和PM总量的98%、95%、95%和98%。因此,农用拖拉机、运输机械和联合收割机在农业机械污染减排中应作为重点控制对象。

参考文献:

- [1] 谭丕强,王德源,楼狄明,等. 农业机械污染排放控制技术的现状与展望[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 1-14.
Tan P Q, Wang D Y, Lou D M, et al. Progress of control technologies on exhaust emissions for agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(7): 1-14.
- [2] Larsson G, Hansson P A. Environmental impact of catalytic converters and particle filters for agricultural tractors determined by life cycle assessment[J]. Biosystems Engineering, 2011, 109(1): 15-21.
- [3] Gokalp B, Buyukkaya E, Soyhan H S. Performance and emissions of a diesel tractor engine fueled with marine diesel and soybean methyl ester[J]. Biomass and Bioenergy, 2011, 35(8): 3575-3583.
- [4] Daggolu P R, Gogia D K, Siddiquie T A. Exhaust after treatment system for diesel locomotive engines—a review[A]. In: Agarwal A K, Dhar A, Gautam A, et al (Eds.). Locomotives and Rail Road Transportation: Technology, Challenges and Prospects [M]. Singapore: Springer, 2017. 155-168.
- [5] 田晶,蔡亿昔,濮晓宇,等. 掺混聚甲氧基二甲醚对柴油机排放的影响[J]. 中国环境科学, 2018, 38(1): 73-82.
Tian J, Cai Y X, Pu X Y, et al. Effects of polyoxymethylene dimethyl ethers/diesel blends on emissions of diesel engine[J]. China Environmental Science, 2018, 38(1): 73-82.
- [6] Kean A J, Sawyer R F, Harley R A. A fuel-based assessment of off-road diesel engine emissions[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000, 50(11): 1929-1939.
- [7] 李俊韬,郭智武,刘婷洁,等. 小型农业机械排放现状[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 634-637.
Li J T, Guo Z W, Liu T J, et al. The present emission status of small type agricultural machinery [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(S1): 634-637.
- [8] 张礼俊,郑君瑜,尹沙沙,等. 珠江三角洲非道路移动源排放清单开发[J]. 环境科学, 2010, 31(4): 886-891.
Zhang L J, Zheng J Y, Yin S S, et al. Development of non-road mobile source emission inventory for the Pearl River Delta Region [J]. Environmental Science, 2010, 31(4): 886-891.
- [9] Huang C, Chen C H, Li L, et al. Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11(9): 4105-4120.
- [10] 鲁君,黄成,胡馨遥,等. 长三角地区典型城市非道路移动机械大气污染物排放清单[J]. 环境科学, 2017, 38(7): 2738-2746.
Lu J, Huang C, Hu Q Y, et al. Air pollutant emission inventory of non-road machineries in typical cities in eastern China [J]. Environmental Science, 2017, 38(7): 2738-2746.
- [11] 李东玲,吴烨,周昱,等. 我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 518-524.
Li D L, Wu Y, Zhou Y, et al. Fuel consumption and emission inventory of typical construction equipments in China [J]. Environmental Science, 2012, 33(2): 518-524.
- [12] 李伟铿,张宝春,叶子铭,等. 南宁市非道路移动源排放清

- 单研究[J]. 广东化工, 2016, **43**(8): 120, 122.
- Li W K, Zhang B C, Ye Z M, *et al.* Study on non-road mobile source emission inventory for Nanning[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, **43**(8): 120, 122.
- [13] 陈洁, 张静. 南京市典型施工工地非道路移动机械活动水平及排放清单研究[J]. 环境科技, 2016, **29**(6): 22-25.
- Chen J, Zhang J. The non-road mobile machinery activity and emission inventory of typical construction site in Nanjing[J]. Environmental Science and Technology, 2016, **29**(6): 22-25.
- [14] Wang F, Li Z, Zhang K S, *et al.* An overview of non-road equipment emissions in China[J]. Atmospheric Environment, 2016, **132**: 283-289.
- [15] 谢铁嵩, 郑新梅. 南京市非道路移动源大气污染物排放清单及特征[J]. 污染防治技术, 2016, **29**(4): 47-51.
- Xie Y S, Zheng X M. Atmospheric pollutant emission inventory from non-road mobile sources in Nanjing and its characteristics[J]. Pollution Control Technology, 2016, **29**(4): 47-51.
- [16] 卞雅慧, 范小莉, 李成, 等. 广东省非道路移动机械排放清单及不确定性研究[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(6): 2167-2178.
- Bian Y H, Fan X L, Li C, *et al.* A sector-based emission inventory and its uncertainty from non-road mobile machinery in Guangdong Province, China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, **38**(6): 2167-2178.
- [17] 张意, Michel A, 李东, 等. 天津市非道路移动源污染物排放清单开发[J]. 环境科学, 2017, **38**(11): 4447-4453.
- Zhang Y, Michel A, Li D, *et al.* Development of a non-road mobile source emissions inventory for Tianjin[J]. Environmental Science, 2017, **38**(11): 4447-4453.
- [18] 范武波, 陈军辉, 李媛, 等. 四川省非道路移动源大气污染物排放清单研究[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(12): 4460-4468.
- Fan W B, Chen J H, Li Y, *et al.* Study on the non-road mobile source emission inventory for Sichuan province[J]. China Environmental Science, 2018, **38**(12): 4460-4468.
- [19] 张强, Klimont Z, Streets D G, 等. 中国人为源颗粒物排放模型及2001年排放清单估算[J]. 自然科学进展, 2006, **16**(2): 223-231.
- Zhang Q, Klimont Z, Streets D G, *et al.* Chinese anthropogenic particulate matter emission model and emission inventory building in 2001[J]. Progress in Natural Science, 2006, **16**(2): 223-231.
- [20] 金陶胜, 胡杰, 李振国, 等. 4种重要因素对柴油机颗粒物排放因子的量化影响研究[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(12): 4630-4635.
- Jin T S, Hu J, Li Z L, *et al.* Study on quantitative effects of four important factors on diesel engine particulate emission factors[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, **38**(12): 4630-4635.
- [21] 姚森, 魏巍, 程水源, 等. 轻型汽油车 VOCs 排放特征及其大气反应活性[J]. 中国环境科学, 2016, **36**(10): 2923-2929.
- Yao S, Wei W, Cheng S Y, *et al.* Emission characteristics and chemical reactivity of volatile organic compounds from light-duty gasoline vehicles[J]. China Environmental Science, 2016, **36**(10): 2923-2929.
- [22] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. 北京市机动车尾气排放因子研究[J]. 环境科学, 2015, **36**(7): 2374-2380.
- Fan S B, Tian L D, Zhang D X, *et al.* Emission factors of vehicle exhaust in Beijing[J]. Environmental Science, 2015, **36**(7): 2374-2380.
- [23] 付明亮, 丁焰, 尹航, 等. 基于燃油消耗的工程机械排放因子研究[J]. 北京理工大学学报, 2014, **34**(2): 138-142.
- Fu M L, Ding Y, Yin H, *et al.* Study on fuel-based emission factors from construction equipment[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2014, **34**(2): 138-142.
- [24] Abolhasani S, Frey H C, Kim L, *et al.* Real-world in-use activity, fuel use, and emissions for nonroad construction vehicles: A case study for excavators[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2008, **58**(8): 1033-1046.
- [25] Cao T F, Durbin T D, Russell R L, *et al.* Evaluations of in-use emission factors from off-road construction equipment[J]. Atmospheric Environment, 2016, **147**: 234-245.
- [26] 葛蕴珊, 刘红坤, 丁焰, 等. 联合收割机排放和油耗特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 2013, **29**(19): 41-47.
- Ge Y S, Liu H K, Ding Y, *et al.* Experimental study on characteristics of emissions and fuel consumption for combines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, **29**(19): 41-47.
- [27] 付明亮, 丁焰, 尹航, 等. 实际作业工况下农用拖拉机的排放特性[J]. 农业工程学报, 2013, **29**(6): 42-48.
- Fu M L, Ding Y, Yin H, *et al.* Characteristics of agricultural tractors emissions under real-world operating cycle[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, **29**(6): 42-48.
- [28] 中华人民共和国生态环境部. 非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587960717.pdf>.
- [29] 金陶胜, 陈东, 付雪梅, 等. 基于油耗调查的2010年天津市农业机械排放研究[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(8): 2148-2152.
- Jin T S, Chen D, Fu X M, *et al.* Estimation of agricultural machinery emissions in Tianjin in 2010 based on fuel consumption[J]. China Environmental Science, 2014, **34**(8): 2148-2152.
- [30] 马帅, 张凯山, 王帆, 等. 现实工况下挖掘机尾气排放特征分析[J]. 环境科学, 2019, **40**(4): 1670-1679.
- Ma S, Zhang K S, Wang F, *et al.* Characterization of tailpipe emissions from in-use excavators[J]. Environmental Science, 2019, **40**(4): 1670-1679.
- [31] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

CONTENTS

Mixed State and Sources of Fine Particulate Matter in the Summer in Tianjin City Based on Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	LIN Qiu-ju, XU Jiao, LI Mei, <i>et al.</i> (2505)
Characteristics and Sources of Inorganic Ions and Organic Acids in Precipitation in the Northern Suburb of Nanjing, China	YANG Xiao-ying, CAO Fang, LIN Yu-qi, <i>et al.</i> (2519)
Seasonal Variation of Water-soluble Ions in PM _{2.5} in Xi'an	HUANG Han-han, WANG Yu-qin, LI Sheng-ping, <i>et al.</i> (2528)
Effect of Liquid Water Content of Particles and Acidity of Particulate Matter on the Formation of Secondary Inorganic Components in Xinjiang Petrochemical Industrial Area	LIU Hui-bin, Dilinuer-Talifu, WANG Xin-ming, <i>et al.</i> (2536)
Effect of Biomass Burning on the Light Absorption Properties of Water Soluble Organic Carbon in Atmospheric Particulate Matter in Changchun	MENG De-you, CAO Fang, ZHAI Xiao-yao, <i>et al.</i> (2547)
Chemical Characteristics and Sources of Volatile Organic Compounds in Shanghai During an Ozone and Particulate Pollution Episode in May 2019	WANG Qian (2555)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in the Nanjing Industrial Area in Autumn	CAO Meng-yao, LIN Yu-chi, ZHANG Yan-lin (2565)
Ambient VOCs Characteristics, Ozone Formation Potential, and Source Apportionment of Air Pollution in Spring in Zhengzhou	REN Yi-jun, MA Shuang-liang, WANG Si-wei, <i>et al.</i> (2577)
Characteristics of VOCs and Their Roles in Ozone Formation at a Regional Background Site in Beijing, China	HAN Ting-ting, LI Ying-ruo, QIU Yu-lu, <i>et al.</i> (2586)
Emission Characteristics of the Catering Industry in Beijing	SUN Cheng-yi, BAI Hua-hua, CHEN Xue, <i>et al.</i> (2596)
Emission Factors and Emission Inventory of Agricultural Machinery in Beijing Under Real-world Operation	WANG Kai, FAN Shou-bin, QI Hao-yun (2602)
Localization of Soil Wind Erosion Dust Emission Factor in Beijing	LI Bei-bei, HUANG Yu-hu, BI Xiao-hui, <i>et al.</i> (2609)
Spatial and Temporal Characteristics of AOD and Angström Exponent in the Yangtze River Delta Based on MODIS_C061	ZHANG Ying-lei, CUI Xi-min (2617)
Fate Simulation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl in the Bohai Rim Using the Multimedia Model	ZHANG Yi, MA Yan-fei, SONG Shuai, <i>et al.</i> (2625)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Difference Analysis of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Sediment Interstitial Water from Gangnan Reservoir	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, YUAN Shi-chao, <i>et al.</i> (2635)
Environmental Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in the Sediments of a River-Lake System	LI Yue-zhao, CHEN Hai-yang, SUN Wen-chao (2646)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Yitong River City Area	JIANG Shi-xin, ZHAI Fu-jie, ZHANG Chang, <i>et al.</i> (2653)
Identifying Nitrate Sources in a Typical Karst Underground River Basin	ZHAO Ran, HAN Zhi-wei, SHEN Chun-hua, <i>et al.</i> (2664)
Influence of Nutrient Pulse Input on Nitrogen and Phosphorus Concentrations and Algal Growth in the Sediment-Water System of Lake Taihu	CHEN Jie, XU Hai, ZHAN Xu, <i>et al.</i> (2671)
Temporal and Spatial Variation Patterns of Picophytoplankton and Their Correlations with Environmental Factors During the Wet Season in East Lake Dongting	LI Sheng-nan, CHEN Hao-yu, PENG Hua, <i>et al.</i> (2679)
Toxicological Effects of Enrofloxacin and Its Removal by Freshwater Micro-Green Algae <i>Dictyosphaerium</i> sp.	WANG Zhen-fang, HAN Zi-yu, WANG Meng-xue, <i>et al.</i> (2688)
Comparative Phosphorus Accumulation and Ca-P Content of Two Submerged Plants in Response to Light Intensity and Phosphorus Levels	SANG Yu-xuan, YANG Jia-le, XIONG Yi, <i>et al.</i> (2698)
Effect of Calcium Peroxide Composite Tablets on Water Remediation and Phosphorus Control in Sediment	ZHANG Shuai, LI Da-peng, DING Yu-qin, <i>et al.</i> (2706)
Spatial Differentiation and Driving Analysis of Nitrogen in Rice Rotation Based on Regional DNDC: Case Study of Jinjiang River Watershed	WANG Ya-nan, SHUI Wei, QI Xin-hua, <i>et al.</i> (2714)
Low Temperature Ammonia Nitrogen Removal from an Iron, Manganese, and Ammonia Groundwater Purification Process with Different Concentrations of Iron and Manganese	ZHANG Jie, MEI Ning, LIU Meng-hao, <i>et al.</i> (2727)
Degradation of RBKS by High Crystallinity Mn-Fe LDH Catalyst Activating Peroxymonosulfate	LI Li, WU Li-ying, DONG Zheng-yu, <i>et al.</i> (2736)
Mechanisms of Fe-cyclam/H ₂ O ₂ System Catalyzing the Degradation of Rhodamine B	YU Yu-qing, CHEN Xiang-yu, CAI Quan-hua, <i>et al.</i> (2746)
Removal of Nitrate Nitrogen by Microbial Photoelectrochemical Cell; PANI/TiO ₂ -NTs as a Photoanode	LU Yi, ZHOU Hai-shan, PENG Rui-jian, <i>et al.</i> (2754)
Performance and Membrane Fouling Characteristics of Mariculture Wastewater Treated by Anoxic MBR-MMR	CHEN Fan-yu, XU Zhong, YOU Hong, <i>et al.</i> (2762)
Effect of HRT on Denitrifying Phosphorus and Nitrogen Removal in Modified A ² /O-BAF	ZHAO Kai-liang, LIU An-di, NAN Yan-bin, <i>et al.</i> (2771)
Effect of Ni(II) on Anaerobic Ammonium Oxidation and Changes in Kinetics	SUN Qi, ZHAO Bai-hang, FAN Sa, <i>et al.</i> (2779)
Removal of Urea by Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Mixed Strains and Effects of Heavy Metals and Salinity	WANG Meng-meng, CAO Gang, ZHANG Di, <i>et al.</i> (2787)
Start-up Characteristics of SNAD Process and Functional Abundance Succession of Volcanic Rock Biological Aerated Filter	XUE Jia-jun, ZHANG Shao-qing, ZHANG Li-qiu, <i>et al.</i> (2796)
Effect of Free Hydroxylamine on the Activity of Two Typical Nitrite-oxidizing Bacteria	SHEN Chen, ZHANG Shu-jun, PENG Yong-zhen (2805)
Interference of Dead Cell DNA on the Analysis of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Community in Anaerobic Digestion Sludge	SU Yu-ao, LIU Hong-bo, MAO Qiu-yan, <i>et al.</i> (2812)
Spatial Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Heavy Metals in Arable Land Soil of China	CHEN Wen-xuan, LI Qian, WANG Zhen, <i>et al.</i> (2822)
Construction and Application of Early Warning System for Soil Environmental Quality	LI Xiao-nuo, DING Shou-kang, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (2834)
Response of Aggregate Distribution to Input Straw and Their Linkages to Organic Carbon Mineralization in Soils Developed from Five Different Parent Materials	MAO Xia-li, QIU Zhi-teng, ZHANG Shuang, <i>et al.</i> (2842)
Response of Extracellular Enzyme Activities to Substrate Availability in Paddy Soil with Long-term Fertilizer Management	NING Yu-fei, WEI Liang, WEI Xiao-meng, <i>et al.</i> (2852)
Effects of Biochar on Bioavailability of Two Elements in Phosphorus and Cadmium-Enriched Soil and Accumulation of Cadmium in Crops	HUANG Yang, GUO Xiao, HU Xue-yu (2861)
Characteristics of Cd, As, and Pb in Soil and Wheat Grains and Health Risk Assessment of Grain-Cd/As/Pb on the Field Scale	XIAO Bing, XUE Pei-ying, WEI Liang, <i>et al.</i> (2869)
Reconstructed Soil Vertical Profile Heavy Metal Cd Occurrence and Its Influencing Factors	HU Qing-qing, SHEN Qiang, CHEN Fei, <i>et al.</i> (2878)
Bacterial Community Composition in Cadmium-Contaminated Soils in Xinxiang City and Its Ability to Reduce Cadmium Bioaccumulation in Pak Choi (<i>Brassica chinensis</i> L.)	CHEN Zhao-jin, LI Ying-jun, SHAO Yang, <i>et al.</i> (2889)
Root Activities of Re-Vegetated Plant Species Regulate Soil Nutrients and Bacterial Diversity in the Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Li-juan, LI Chang-xiao, CHEN Chun-hua, <i>et al.</i> (2898)
Spatial Distribution of Nitrogen Metabolism Functional Genes of Eubacteria and Archaeobacteria in Dianchi Lake	ZHANG Yu, ZUO Jian-e, WANG Si-ke, <i>et al.</i> (2908)
Effect of Simulated Warming on Microbial Community in Glacier Forefield	WANG Yu-wan, MA An-zhou, CHONG Guo-shuang, <i>et al.</i> (2918)
Effect of Water-Fertilizer-Gas Coupling on Soil N ₂ O Emission and Yield in Greenhouse Tomato	SHANG Zi-hui, CAI Huan-jie, CHEN Hui, <i>et al.</i> (2924)
Toxicity of Soil Leachate from Coal Gangue and Its Surrounding Village of Barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	SHANG Yu, YANG Feng-long, NING Xia, <i>et al.</i> (2936)
Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Pollution in Marine Organisms from Estuaries of Changhua River in Hainan Province	WANG Hui-juan, KUANG Ze-xing, ZHOU Xian, <i>et al.</i> (2942)
Characteristics of Macrobenthos Community Structure and Their Relationships with Environmental Factors in Rivers of Beijing in Spring	HE Yu-xiao, LI Ke, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2951)
Effect of Pyrolytic Temperature and Time on Characteristics of <i>Typha angustifolia</i> Derived Biochar and Preliminary Assessment of the Ecological Risk	CAI Zhao-hui, CHU Chen-jing, ZHENG Hao, <i>et al.</i> (2963)
Measurement of Traffic Carbon Emissions and Pattern of Efficiency in the Yangtze River Economic Belt (1985-2016)	JIANG Zi-ran, JIN Huan-huan, WANG Cheng-jin, <i>et al.</i> (2972)