

联合收割机排放和油耗特性的试验研究

葛蕴珊¹, 刘红坤¹, 丁焰², 尹航^{1,2}, 付明亮¹, 李加强¹

(1. 北京理工大学汽车动性及排放测试国家专业实验室, 北京 100081; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 为掌握实际工作状态下联合收割机的排放及燃油消耗特性, 该文基于车载排放测试设备选取 10 台典型的联合收割机, 在其实际工作状态下进行了排放及燃油消耗特性的试验研究。研究结果表明: 谷物、玉米联合收割机综合燃油消耗分别为 6.80 和 10.29 L/h。基于燃油消耗率的 CO、HC 排放因子怠速工况下较高, 而 NO_x 排放因子在行走工况下较高, PM 排放因子在作业工况下较高; 谷物联合收割机比玉米联合收割机排放严重。2010 年中国联合收割机 NO_x 和 PM 排放量分别为 4.84 和 0.47 万 t, 分别占同时期机动车排放量的 1.91% 和 1.94%, 并给出了联合收割机排放量排在前 10 位的省份。该文为农业机械排放控制提供参考。

关键词: 联合收割机, 燃油, 测试, 系统, 排放, 油耗

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.005

中图分类号: TK421⁺.5; S225.3; S225.5⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0041-07

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 Yunshan, Liu Hongkun, Ding Yan, et al. Experimental study on characteristics of emissions and fuel consumption for combines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 41-47. (in Chinese with English abstract)

0 引言

伴随着农业机械化进程的不断加快, 农业机械的保有量和总功率已经越来越大, 随之引起的能源和环境问题, 已经成为人们关注的热点。联合收割机作为农业机械的一个重要部分, 其保有量和保有功率逐年增长, 2005—2010 年年增长率均在 15% 左右^[1-6]。联合收割机保有量到 2010 年已达到 99.21 万台, 比 2005 年翻了一番; 保有功率到 2010 年达到 4 042.32 万 kW, 是 2005 年的 2.7 倍^[1-6]。

中国在 2007 年发布了非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国 I, II 阶段)^[7], 用以控制包括农业机械在内的非道路柴油机的排放, 目前标准处于第二阶段。柴油机排放的污染物主要为 HC(碳氢化合物)、CO(一氧化碳)、NO_x(氮氧化物)和 PM(颗粒物)^[8-10]。中国近年对机动车实际工作状态下的排放研究比较深入^[11-18], 但对农业机械在实际工作状态下排放的研究则相对较少, 而农业机械工作条件恶劣, 排放水平低, 因此其实际排放可能更加严重^[19-20], 尤其单缸农业机械, 其排放可能更为恶劣^[21-22]。近几年中国学者基

于国外的排放因子开展了农业机械排放的初步研究, 如樊守彬等^[23]基于美国环保局的 NONROAD 模型^[24-25], 计算出了北京地区 2007 年的农业机械排放清单, 发现其 HC、CO、氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)已经占到道路机动车排放总量的 1.26%、0.5%、2.91% 和 4.33%; 张礼俊等^[26]的研究表明农业机械排放的 NO_x 和 PM 在非道路机械中的分担率已达到 9.11% 和 15.43%, 以上研究采用的排放因子均来自国外相关模型, 与中国实际可能差异较大。2013 年, 付明亮等^[27]发表了拖拉机实际工况下的排放研究结果。

针对缺乏符合中国实际的联合收割机排放因子数据, 本研究首次利用车载排放测试系统(portable emission measurement system, PEMS)对中国联合收割机进行了典型工况下的测试, 获得了其在实际工况的排放及油耗数据, 并计算出了中国联合收割机的年排放量和年燃油消耗量, 以期为中国今后研究和控制农业机械排放提供参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 测试设备

本试验采用 PEMS 测试系统, 该系统包括气态污染物排放分析仪(SEMTECH-DS)、尾气质量流量计(SEMTECH-EFM2)和颗粒物排放测试仪(MAHA MPM-4), 如图 1 所示。SEMTECH-DS 是美国 Sensors 公司生产的用来测试尾气中的气态污染物^[28], 其中

收稿日期: 2013-04-15 修订日期: 2013-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41275133)

作者简介: 葛蕴珊(1965—), 男, 吉林敦化人, 教授, 博士生导师, 主要从事内燃机排放检测控制技术的研究。北京 北京理工大学机械与车辆学院, 100081。Email: geyunshan@bit.edu.cn

CO 和 CO₂ 采用非分散红外分析法 (non-dispersive infra-red detector, NDIR), 测量精度±3%; HC 采用氢火焰离子检测器 (flame ionization detector, FID), 测量精度±2%; NO 和 NO₂ 采用非分散紫外分析法 (non-dispersive ultraviolet detector, NDUV), 测量精度±3%。SEMTECH-EFM2 是美国 Sensors 公司生产的用来测量瞬时排气流量, 本试验采用 2 英寸流量计, 流量测量范围约为 0~5 m³/min, 整个测量范围内准确度优于±2.5%^[28]。MAHA MPM-4 由德国 Maschinenbau Haldenwang 生产, 用来测量颗粒物瞬时排放浓度, 采用激光散光法, 可测量粒径小于 10 000 nm 的颗粒物, 测量范围为 0~750 mg/m³, 精度为 0.01 mg/m³。

1.2 测试机械及测试工况

本文选取 10 台联合收割机 (6 台谷物联合收割机和 4 台玉米联合收割机), 包含中国收割机械总公司、洛阳中收机械装备有限公司、山西飞象农机制造有限公司、洛阳福格森等收割机主要集团公司的产品, 收割机功率 48~92 kW, 基本覆盖了中国联合收割机的功率范围, 代表了中国收割机主力机

型。试验收割机柴油机满足的排放阶段包括非道路柴油机的国 I 前、国 I 和国 II 阶段, 代表中国现行收割机排放水平, 基本信息见表 1。



注: Combine 为测试的联合收割机; PC 为笔记本电脑; SEMTECH-DS、EFM2 和 MAHA MPM-4 分别是机动车尾气排放气态污染物分析仪、尾气质量流量计和尾气排放颗粒物的测试仪。
Note: Combine stands for the tested combines, PC is a personal computer, SEMTECH-DS is used to test instantaneous exhaust gaseous emissions from vehicle; EFM2 is used to measure instantaneous exhaust mass flow rates from the vehicles; MAHA MPM-4 is used to measure particle mass.

图 1 联合收割机 PEMS 测试系统

Fig.1 Schematic of PEMS for combine tests

表 1 测试联合收割机信息表
Table 1 Specifications of test combines

车型 Equipment type	序号 Equipment number	生产厂商 Manufacturer	生产日期 Date of manufacture	额定功率 Rated power/kW	排放标准 Emission standard
谷物联合收割机 Grain combine	1	江苏沃得	2003-06	48	国 I 前
	2	中国收获	2006-11	58	国 I 前
	3	洛阳中收	2007-03	58	国 I 前
	4	中国收获	2007-05	58	国 I 前
	5	中国收获	2006-12	58	国 I 前
	6	洛阳中收	2008-12	61	国 I
玉米联合收割机 Corn combine	7	山西飞象	2011-03	83	国 II
	8	山西飞象	2012-06	92	国 II
	9	山西飞象	2012-06	92	国 II
	10	洛阳福格森	2012-07	92	国 II

通过调查联合收割机的使用者和联合收割机的使用特点, 选取怠速、行走和作业工况作为联合收割机的 3 个主要工况, 并对 3 个主要工况进行测试。怠速工况: 发动机处于怠速状态, 转速约为 600~800 r/min, 联合收割机静止, 作业部不工作, 无功率输出, 所占测试循环时间的比例 5%; 行走工况: 联合收割机在田间土路、农田等地方正常行走, 作业部分不工作, 发动机处于中低负荷, 所占测试循环时间的比例 15%; 作业工况: 联合收割机在田间来回行走过程中正常收获谷物、玉米等, 作业部分正常工作, 发动机处于中高负荷, 所占测试循环时间的比例 80%。

试验于山西省晋中展开, 分别选取当地典型

的谷物和玉米农田进行联合收割机油耗和排放测试。其中谷物收割机试验于 2012 年 6 月进行, 测试样地 10.67 hm² (160 亩), 样地植株行距 15 cm; 玉米收割机于 2012 年 10 月进行, 测试样地 6 hm² (90 亩), 样地植株行距 50~60 cm, 54 000~57 000 株/hm²。每台收割机进行一个测试循环, 测试循环持续时间为 3 h, 分别测试联合收割机怠速、行走和作业 3 个工况下的油耗和排放, 各工况测试时间按照该工况占测试循环时间的比例进行分配。测试收割机均使用统一的市售 0#柴油, 硫体积分数低于 350×10⁻⁶。

1.3 数据处理

基于碳平衡原理计算出燃油消耗, 油耗计算公式如下^[29-30]

$$FC_{l/s} = (0.866HC + 0.429CO + 0.273CO_2) / (1000CWF_F \times \rho_{diesel}) \quad (1)$$

$$FC_{g/s} = (0.866HC + 0.429CO + 0.273CO_2) / CWF_F \quad (2)$$

式中, $FC_{l/s}$ 为燃油消耗率, L/s; $FC_{g/s}$ 为燃油消耗率, g/s; HC 为碳氢排放速率, g/s; CO 为一氧化碳排放速率, g/s; CO_2 代表二氧化碳排放速率, g/s; CWF_F 代表柴油中的碳含量, 本试验取值为 0.866; ρ_{diesel} 为柴油密度, 通常为 0.848 kg/L。

然后将测试出 CO , HC , NO_x 和 PM 速率数据, 结合联合收割机油耗, 可以换算成基于油耗的排放因子, 计算公式为

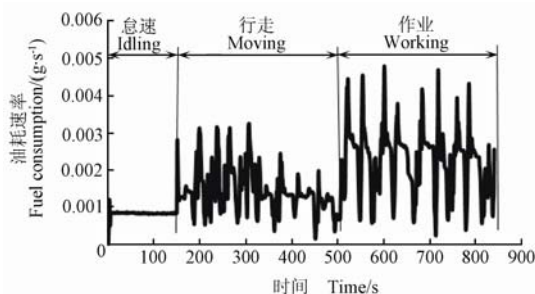
$$EF_p = \frac{\sum_{n=i}^j ER_{p,n}}{\sum_{n=i}^j FR_n} \quad (3)$$

式中, EF 基于燃油消耗的排放因子, g/kg (以燃油计); p 代表收割机某种污染物; n 为某一工况持续时间, s; i 和 j 分别是该工况的起始和结束时间, s; ER 某种污染物在某一工况下的瞬时排放速率, g/s; FR 是某一工况下的油耗速率, kg/s。

2 结果与分析

2.1 联合收割机典型工况下燃油消耗特性

图 2 给出了联合收割机瞬时燃油消耗特性(以 2# 收割机为例)。图示结果表明, 燃油消耗速率从大到小的顺序, 依次为作业、行走、怠速工况。主要因为怠速、行走、作业发动机输出功率依次增加, 发动机负荷增加, 需要燃油增加。怠速工况下的峰值为发动机冷启动时, 燃油多喷所致; 行走工况下的波峰、波谷为收割机加、减速所致; 工作工况下的波峰为开始行走并工作时, 瞬间需要较大功率输出, 燃油瞬间消耗增加所致, 波谷为收割机停止工作, 转弯减速, 发动机负荷减少, 瞬时油耗降低所致。



注: 2#谷物收割机怠速、行走和作业工况下的油耗片段。

Note: Segment of instantaneous fuel consumption from No.2 grain combine under idling, moving and working.

图 2 谷物联合收割机瞬时燃油消耗

Fig.2 Instantaneous fuel consumption of test grain combines

测试收割机各工况平均燃油消耗率见表 2。从表 2 中数据可知, 测试的谷物、玉米联合收割机在怠速工况下平均燃油消耗率分别为 3.49 和 4.16 L/h; 在行走工况下分别为 5.04 和 4.84 L/h; 在作业工况下分别为 7.34 和 11.69 L/h。怠速和行走工况, 谷物和玉米收割机的燃油消耗相差不多, 但作业工况下, 玉米收割机却是谷物收割机的 1.6 倍。这主要是因为玉米收割机的平均功率较谷物收割机的功率大, 在大负荷时, 燃油消耗较大。

表 2 测试联合收割机燃油消耗率
Table 2 Fuel consumption of test combines

收割机类型	收割机序号 Equipment number	怠速 Idling/(L·h ⁻¹)	行走 Moving/(L·h ⁻¹)	作业 Working/(L·h ⁻¹)
谷物联合收割机 Grain combine	1	3.54	5.83	6.50
	2	2.99	5.35	7.59
	3	2.77	6.39	7.23
	4	1.99	2.80	5.52
	5	4.73	4.90	9.05
	6	4.92	4.97	8.15
	平均	3.49	5.04	7.34
玉米联合收割机 Corn combine	7	3.88	4.76	8.05
	8	4.83	5.09	11.54
	9	4.80	5.09	16.10
	10	3.15	4.41	11.07
	平均	4.16	4.84	11.69

谷物联合收割机作业和行走分别是怠速工况燃油消耗速率的 2.1 和 1.4 倍, 玉米联合收割机作业和行走分别是怠速工况燃油消耗速率的 2.8 和 1.2 倍。并且作业工况是联合收割机所占比例最大的工况, 因此减少作业工况下的油耗将有助于减少联合收割机总油耗。

谷物收割机和玉米收割机综合燃油消耗速率分别为 6.80 和 10.29 L/h。

2.2 作业工况下不同速度的排放及燃油消耗特性

由于作业工况是联合收割机最主要的工况, 对作业工况进一步研究, 以 4#谷物联合收割机为例, 分别在 3.9、5.9、7.2 km/h 速度进行作业, 测试结果见表 3。

表 3 分析结果表明, 随着速度的增加, 燃油消耗增加, 这主要是因为发动机不仅要提供收获部分工作的动力, 而且还要提供保证行走的动力, 速度增加, 发动机负荷增加, 燃油消耗增加。 CO 基于时间和基于油耗的排放因子随速度增加而增加, 这主要是因为, 发动机负荷增加, 所需要的燃油增加, 燃烧室过量空气系数减少, 利于 CO 生成。 HC 基于时间的排放因子, 随速度增加而增加, HC 基于油耗的排放因子基本不变。 NO_x 基于时间和基于油耗的排放因子则是中等速度较高, 这主要是因为低

速时, 发动机负荷较低, 燃烧温度较低, 不利 NO_x 产生; 而高速时, 发动机负荷较大, 但氧浓度降低, 同样不利 NO_x 产生。PM 排放因子则与 NO_x 排放因子相反, PM 基于时间和基于油耗低排放因子为中速时最低, 这主要是因为低速时, 负荷较低, 空燃比高, 缸内温度较低, 有利 PM 生成; 而高速时, 负荷较高, 过量空气系数减少, 且喷油持续期延长,

喷油量增加, 造成燃烧气局部过浓, 燃烧恶化, 颗粒物形成速率急剧增加。

2.3 基于燃油消耗的排放因子

将测试的排放数据与油耗数据转化为基于燃油消耗的排放因子, 联合收割机各工况下的排放因子和谷物、玉米联合收割机的综合排放因子的见表 4。

表 3 作业工况下不同速度时的排放因子和油耗

Table 3 Emission factors together with fuel consumption in working mode at various speeds

车速 Speed (km·h ⁻¹)	CO 排放因子		HC 排放因子		NO _x 排放因子		PM 排放因子		油耗 Fuel consumption (L·h ⁻¹)
	CO emission factor		HC emission factor		NO _x emission factor		PM emission factor		
	基于油耗 (g·kg ⁻¹)	基于时间 (g·h ⁻¹)	基于油耗 (g·kg ⁻¹)	基于时间 (g·h ⁻¹)	基于油耗 (g·kg ⁻¹)	基于时间 (g·h ⁻¹)	基于油耗 (g·kg ⁻¹)	基于时间 (g·h ⁻¹)	
3.9	29.8	249.4	11.5	96.2	45.3	378.2	10.2	84.9	9.8
5.9	40.3	344.2	11.4	97.2	52.6	448.9	3.7	31.9	10.0
7.2	44.4	421.3	11.4	108.1	45.0	427.1	9.3	88.8	11.0

注: 速度 3.9、5.9、7.2 km/h 为 4#谷物联合收割机在田间作业时的低、中、高 3 种速度。

Note: 3.9, 5.9 and 7.2 km/h are respectively corresponding to the low speed, medium speed and high speed of the 4 # grain combine under working mode.

表 4 联合收割机基于燃油消耗的排放因子

Table 4 Fuel-based emission factors of the test combines

排放因子 Emission factor	怠速 Idling	行走 Moving	作业 Working	谷物收割机 Grain combine	玉米收割机 Corn combine
CO 排放因子/g	62.55	30.18	20.61	30.31	16.42
HC 排放因子/g	12.10	9.97	8.24	11.87	4.71
NO_x 排放因子/g	51.72	61.95	50.94	53.08	52.07
PM 排放因子/g	2.25	1.06	6.00	5.28	4.81

注: 排放因子已 1 kg 燃油计。怠速、行走和作业工况下的排放因子为测试的 10 台收割机在该工况下的均值, 用以表征该工况的排放特性。谷物收割机和玉米收割机的排放因子分别为测试的 6 台谷物收割机和 4 台玉米收割机综合排放因子的均值, 其中综合排放因子为收割机在怠速、行走和作业工况下基于油耗的排放因子与该工况在测试循环中所占比例的加权。

Note: Emission factor unit is gram per kilogram fuel. The emission factor of idling moving and working is the average of 10 combines under idling moving and working. This is used to represent the condition the characteristics under different modes. The emission factors of grain and corn combine respectively are the average of 6 grain combines and 4 corn combines comprehensive emission factor. Comprehensive emission factor is sum of the mode emission factor multiplied by this mode proportion of weighting in the test cycle.

从表 4 可以看出, CO、HC 基于燃油消耗的排放因子怠速工况明显高于行走和作业工况, 这主要是因为怠速工况下燃烧温度较低, 燃烧不充分, 导致 CO、HC 排放增加; NO_x 基于燃油消耗的排放因子为行走工况下最高, 主要是因为怠速工况燃烧温度较低, 不利 NO_x 生成, 而作业工况, 发动机负荷增加, 喷油量增加, 导致过量空气系数较少, 氧含量减少, 抑制 NO_x 生成; PM 基于燃油消耗的排放因子为作业工况下最高, 此工况, 发动机负荷较大, 喷油量增加, 过量空气系数减少, 造成燃烧气局部过浓, 燃烧恶化, 导致颗粒物形成。

对比谷物、玉米综合排放因子, 谷物联合收割机排放较玉米联合收割机恶劣, 谷物收割机排放因子 CO、HC、 NO_x 和 PM 分别是玉米联合收割机的 1.85、2.52、1.02 和 1.10 倍。这主要原因可能: 1) 因为谷物联合收割机使用小时数较大, 大部分机械老旧, 发动机排放恶劣, 而玉米联合收割机多为新车, 排放相对较好。2) 因为谷物收割机多为国 I 以前排放标准的发动机, 而玉米收割机多为国 I、国 II 的发动机。

2.4 联合收割机燃油消耗及排放总量的估算

通过调研 400 台收割机械的年活动水平, 获得了中国收割机械年活动水平约为 140~160 h, 研究假定联合收割机年活动水平约为 150 h。

利用联合收割机的保有量、单车单位时间的燃油消耗量和活动水平, 得到了联合收割机 2010 年燃油消耗总量, 并结合联合收割机基于燃油消耗的排放因子, 得到收割机械排放总量, 见表 5。由表 5 可知, 对于 CO、HC、 NO_x 和 PM 而言, 收割机排放总量分别为 2.54、0.97、4.84 和 0.47 万 t, 其中谷物收割机排放量分别占收割机排放总量的 89.0%、91.7%、81.8% 和 82.8%, 玉米收割机排放量分别占收割机排放总量的 11.0%、8.3%、18.2% 和 17.2%; 中国 2010 年谷物、玉米联合收割机燃油消耗约为 74.59 和 16.97 万 t。

收割机械的使用具有非常强的时域性, 通过对 400 台收割机械的调研和相关文献^[23], 认为收获时间约从 6 月中旬开始到 11 月中旬结束, 为期 5 个月, 短时间内联合收割机污染物排放会对当时环境造成巨大的压力。有数据显示, 2010 年全国约为 1.9 亿辆

机动车在 5 个月的 CO、HC、NO_x 和 PM 排放量为 1700、203、250 和 25 万 t^[31]。联合收割机 NO_x 和 PM 排放总量占当时机动车排放总量的 1.91% 和 1.94%。

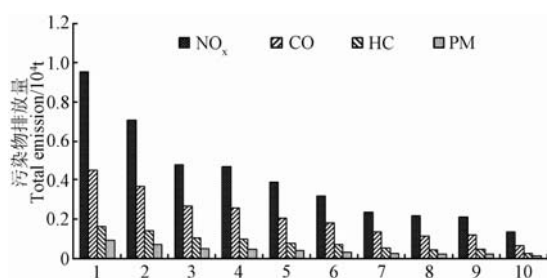
收割机械不仅具有时域性，而且具有地域性。中国

幅员辽阔，各省市农业机械水平参差不齐，所以各省联合收割机污染物排放量差异很大，图 3 为中国联合收割机排放量前 10 的省份，其 CO、HC、NO_x 和 PM 排放量分别占全国联合收割机排放量的 84.5%~84.7%。

表 5 2010 年联合收割机燃油消耗及排放总量

Table 5 Inventory of emissions and fuel consumption of combines in 2010

	燃油消耗 Fuel consumption/10 ⁴ t	CO 排放总量 CO total emissions/10 ⁴ t	HC 排放总量 HC total emissions/10 ⁴ t	NO _x 排放总量 NO _x total emissions/10 ⁴ t	PM 排放总量 PM total emissions/10 ⁴ t
谷物收割机 Grain combine	74.59	2.26	0.89	3.96	0.39
玉米收割机 Corn combine	16.97	0.28	0.08	0.88	0.08



注：1 为山东；2 为河南；3 为安徽；4 为江苏；5 为河北；6 为湖南；7 为湖北；8 为黑龙江；9 为江西；10 为陕西。

Note: 1 Shandong, 2 Henan, 3 Anhui, 4 Jiangsu, 5 Hebei, 6 Hunan, 7 Hubei, 8 Heilongjiang, 9 Jiangxi, 10 Shaanxi

图 3 2010 年联合收割机污染物排放量最大的前 10 省份

Fig.3 Total emissions from combines in the top 10 provinces of combine application in China

3 结 论

本试验基于目前收割机车队的实际情况，选取不同排放标准和不同型号发动机的收割机，能够反应收割机车队目前的现状，可以代表中国收割机目前的排放水平。试验所获得的排放和油耗因子符合中国收割机实际状况，所得排放清单具有一定代表性。

1) 谷物、玉米联合收割机综合燃油消耗分别为 6.80 和 10.29 L/h，通过调查联合收割机活动水平，估算出中国 2010 年谷物、玉米联合收割机燃油消耗约为 74.59 和 16.97 万 t。

2) 基于燃油消耗的排放因子的研究结果表明：CO、HC 排放因子怠速工况下较高；NO_x 排放因子行走工况下较高；PM 排放因子作业工况下较高，谷物联合收割机比玉米联合收割机排放恶劣。

3) 联合收割机排放具有较强的时域性和地域性，NO_x 和 PM 2010 年排放量占联合收割机使用期间机动车排放量的 1.91% 和 1.94%，且排放量较多的 10 省份占全国联合收割机排放量的 84.5%~84.7%。

[参 考 文 献]

[1] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2006[M]. 北京：北京机械工业出版社，2006.

[2] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2007[M]. 北京：北京机械工业出版社，2007.

[3] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2008[M]. 北京：北京机械工业出版社，2008.

[4] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2009[M]. 北京：北京机械工业出版社，2009.

[5] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2010[M]. 北京：北京机械工业出版社，2010.

[6] 中国农业机械工业协会. 中国农业机械年鉴 2011[M]. 北京：北京机械工业出版社，2011.

[7] GB20891—2007，非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国 I、II 阶段)[S].

[8] Larsson G, Hansson P. Environmental impact of catalytic converters and particle filters for agricultural tractors determined by life cycle assessment[J]. Bio-systems Engineering, 2011, 109(1): 15—21.

[9] 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.

[10] 刘志华，何超，谭建伟，等. 风冷非道路柴油机排放特性研究[J]. 内燃机学报，2009，27(3): 237—241.

Liu Zhihua, He Chao, Tan Jianwei, et al. Study on emission characteristics of off-road air-cooler diesel engine[J]. Transactions of CSICE, 2009, 27(3): 237—241. (in Chinese with English abstract)

[11] Wang Aijuan, Ge Yunshan, Tan Jianwei, et al. On-road pollutant emission and fuel consumption characteristics of buses in Beijing[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(3): 419—426.

[12] Changhong Chen, Cheng Huang, Qiguo Jing, et al. On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai[J]. Journal of Atmospheric Environment, 2007, 41(26): 5334—5344.

[13] 李孟良，冯玉乔，秦孔建，等. 北京市轻型车在实际道路排放特征分析[J]. 武汉理工大学学报，2011，35(2): 237—240，245.

Li Mengliang, Feng Yuqiao, Qin Kongjian, et al. Real-world emission characteristics of in-use light-duty vehicles in Beijing[J]. Journal of Wuhan University of

- Technology, 2011, 35(2): 237—240, 245. (in Chinese with English abstract)
- [14] Hu Jingnan, Wu Ye, Wang Zhishi, et al. Real-world fuel efficiency and exhaust emissions of light-duty diesel vehicles and their correlation with road conditions[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(3): 419—426.
- [15] 王爱娟, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 北京市出租车实际道路行驶特征与排放特性的关系研究[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(8): 891—895.
- Wang Aijuan, Ge Yunshan, Tan Jianwei, et al. Study on relationship between on-road driving characters and emission characteristics of taxis in Beijing[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(8): 891—895. (in Chinese with English abstract)
- [16] Yao Zhiliang, Huo Hong, Zhang Qiang, et al. Gaseous and particulate emissions from rural vehicles in China[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(18): 3055—3061.
- [17] Liu Huan, He Kebin, James Lents, et al. Characteristics of diesel truck emission in China based on portable emissions measurement systems[J]. Environmental Science and Technology, 2009, 43(24): 9507—9511.
- [18] Huo Hong, Yao Zhiliang, Zhang Yingzhi, et al. On-board measurements of emissions from diesel trucks in five cities in China[J]. Atmospheric Environment, 2012, 46: 159—167.
- [19] 王晓云, 刘健, 王宏儒. 农业机械用柴油机排放微粒控制研究[J]. 湖南农机, 2009, 36(22): 27—29.
- Wang Xiaoyun, Liu Jian, Wang Hongru. Study on control of agricultural machinery diesel particulate emissions[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2009, 36(22): 27—29. (in Chinese with English abstract)
- [20] 孙俊华, 陆桂良, 刘胜吉. 江苏省农机污染物排放状况的分析研究[J]. 中国农机化, 2010(1): 25—27, 31.
- Sun Junhua, Lu Guiliang, Liu Shengji. Research on status of agricultural pollution in Jiangsu province[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(1): 25—27, 31. (in Chinese with English abstract)
- [21] 尹必峰, 黄晨春, 刘胜吉, 等. 高性能低排放小型非道路柴油机的开发[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 32—38.
- Yin Bifeng, Huang Chenchun, Liu Shengji, et al. Development of small off-road diesel with high-performance and low emission[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 28(5): 32—38. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘胜吉, 何政, 尹必峰, 等. 单缸柴油机的排放要求和产品发展[J]. 农机化研究, 2009(6): 206—210.
- Liu Shengji, He Zheng, Yin Bifeng, et al. Product development and emission requirement of the single cylinder diesel engine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(6): 206—210. (in Chinese with English abstract)
- [23] 樊守彬, 聂磊, 阚睿斌, 等. 基于燃油消耗的北京农用机械排放清单建立[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(1): 145—148.
- Fan Shoubin, Nie Lei, Kan Ruibin, et al. Fuel consumption based exhaust emissions estimating from agriculture equipment in Beijing[J]. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(1): 145—148. (in Chinese with English abstract)
- [24] U. S. Environmental Protection Agency. Exhaust and crankcase emission factors for non-road engine modeling-compression-ignition[R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2004: 6—23.
- [25] United States Environmental Protection Agency. Users Guide for the Final NONROAD 2005 Model[R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2005, 1.
- [26] 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 Lijun, Zheng Junyu, Yin Shasha, et al. Development of non-road mobile source emission inventory for the pearl river delta region[J]. Environment Science, 2010, 31(4): 886—891. (in Chinese with English abstract)
- [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 Mingliang, Ding Yan, Yin Hang, et al. Characteristics of agricultural tractors emissions under real-word operating mode[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 42—48. (in Chinese with English abstract)
- [28] Liu Zhihua, Ge Yunshan, Johnson Kent C, et al. Real-world operation conditions and on-road emissions of Beijing diesel buses measured by using portable emission measurement system and electric low-pressure impactor[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(8): 1476—1480.
- [29] 张学敏, 葛蕴珊, 张昱, 等. 利用碳平衡法进行汽车油耗测量的应用研究[J]. 车用发动机, 2005, 157(3): 56—58.
- Zhang Xuemin, Ge Yunshan, Zhang Yu, et al. Research on fuel consumption measurement using carbon balance method[J]. Vehicle Engine, 2005, 157(3): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [30] 方茂生, 郑贺悦. 基于碳平衡法的汽车油耗测量方法[J]. 汽车工程, 2003, 25(3): 294—297.
- Fang Maodong, Zheng Heyue. Fuel consumption measurement for motor vehicle based on carbon balance method[J]. Automotive Engineering, 2003, 25(3): 294—297. (in Chinese with English abstract)
- [31] 中华人民共和国环境保护部. 中国机动车污染防治年报 2011[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2011.

China Ministry of Environmental Protection . China
Vehicle Emission Control Annual Report 2011[R].

Beijing: China Ministry of Environmental Protection,
2011.

Experimental study on characteristics of emissions and fuel consumption for combines

Ge Yunshan¹, Liu Hongkun¹, Ding Yan², Yin Hang^{1,2}, Fu Mingliang¹, Li Jiaqiang¹

(1. National Lab of Auto Performance and Emission Test, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China)

Abstract: Agricultural machinery has been considered an important contributor to atmospheric pollution. However, as the volume of agricultural machinery increases, studies on the emission characteristics and fuel consumption of agricultural machinery have been rarely reported, especially for real-world characteristics of combines' emissions and fuel consumption. Only twelve large and middle-sized agricultural tractors were tested by using a portable emission measurement system in 2013, and the emissions characteristics of tractors were studied. Therefore, it is difficult for the policymakers and researchers to understand the actual emissions characteristics and fuel consumption of combines. In order to deepen the understanding of the factual emission and fuel consumption of agricultural machinery, 10 combines were tested by using a portable emission measurement system in this study. These combines' emission standards included Pre-China I (the combines before 2007 model year were defined as Pre-China I), and China I and China II. All the tested combines' fuel was 0# diesel oil bought on the market. Three typical operating modes were included in the tests, namely idling, moving, and working. Both emission factors and fuel consumption were obtained in different operating modes. The results showed that fuel consumption of grain combines was 6.799L/h, as for corn combines, the value turned out to be 10.287L/h. The largest averaged fuel consumption from grain combines was under working among the three modes, as same as the corn combines. It was also indicated that instantaneous fuel consumption during working mode was higher than that during idle and moving modes. However, fuel-based CO and HC emissions measured at idling appeared higher than that measured in moving and working modes. Fuel-based NO_x and PM emissions revealed their peaks in moving and working respectively. Generally, the emission factors of grain combines were higher than that of corn combines. The 400 combines' annual working hours were obtained in Shaanxi province, and the result showed the annual working hours of combines was 140~160 h. In this study, the averaged annual working hours of combines was considered as 150h. Based on annual working hours, the populations, and the fuel consumption, the fuel consumptions of total grain combines was 74.59×10^4 tons, and that of corn combines was 16.97×10^4 tons in 2010. As estimated, the total emission of CO, HC, NO_x, and PM from combines in 2010 were 2.54×10^4 t, 0.97×10^4 t, 4.84×10^4 t, and 0.47×10^4 t, and NO_x and PM emissions generated from combine operations accounted for 1.91% and 1.94% of the total vehicle emission in China in 2010. In addition, approximately 84.5%~84.7% of combine emissions in China were produced in the top 10 provinces of combine application in 2010, and the total emissions of CO, HC, NO_x, and PM from each province of the top 10 were also presented in this paper. It was the first time for this study to test emissions and fuel consumption of combines, and the data could help policymakers and researchers to understand the real-world characteristics of combines' emissions and fuel consumption.

Key words: combines, fuels, testing, systems, emission, fuel consumption

(责任编辑: 张俊芳)