

辽宁省秸秆焚烧PM2.5排放量估算及研究分析

李天瑞

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年12月6日; 录用日期: 2024年1月12日; 发布日期: 2024年1月19日

摘要

进入21世纪以来, 辽宁省农民主要农作物是大米、玉米、高粱、油料、谷子、大豆、花生等产生秸秆的农作物。虽然经济水平提高但主要农作物仍然是这些粮食作物, 易于产生秸秆。随着农作物单季产量每年不断提高, 秸秆总量也在飞速增加, 所以多数地区接连出现大规模秸秆焚烧现象; 然而, 秸秆的大量燃烧不仅造成了丰富而宝贵的生物资源的持续浪费, 而且造成了该地区严重的环境污染, 主要是在辽宁省的秋收时期, 造成区域性重雾霾污染事件发生的重要原因之一就是大面积集中焚烧秸秆。焚烧秸秆产生空气污染物, 以PM2.5为主要污染物, 易造成雾霾天气。PM2.5因其粒径小、组成复杂、性质多样等特点, 具有较强的吸附能力, 并且会将产生的可吸入颗粒物、重金属和病毒输送到人体呼吸道和肺部, 对人体健康产生很大的负面影响, 所以有必要研究这种污染源。辽宁省农作物秸秆理论资源量由2010年的 2046.51×10^4 t增长到了2019年的 2804.20×10^4 t, 增幅37.02%, 增幅较大; 区域内秸秆资源特别丰富, 总焚烧量年均达到近 2804.4×10^4 t左右。根据预测的发展趋势, 未来秸秆焚烧不会减少, 秸秆焚烧产生的PM2.5排放量将逐年增加。但是由于现有的政策以及规范, 让秸秆处理更加多样化, 使秸秆处理对环境伤害更小, 相信在不久的将来农作物秸秆处理会更加完善。

关键词

辽宁省, PM2.5, 排放因子, 秸秆

Estimation and Research Analysis of PM2.5 Emissions from Straw Incineration in Liaoning Province

Tianrui Li

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Dec. 6th, 2023; accepted: Jan. 12th, 2024; published: Jan. 19th, 2024

Abstract

Since entering the 21st century, the main crops of farmers in Liaoning Province are rice, corn, sorghum, oil, millet, soybean, peanut and other straw crops. Although the economic level has improved, the main crops are still these food crops, which are easy to produce straw. With the annual increase of crop output in one season, the total amount of straw is also increasing rapidly, so large-scale straw burning occurs in most areas. However, large-scale straw burning not only caused the continuous waste of rich and valuable biological resources, but also caused serious environmental pollution in the region, mainly in the autumn harvest period of Liaoning Province, one of the important reasons for regional heavy haze pollution events is large-scale centralized burning of straw. PM2.5 has strong adsorption capacity because of its small particle size, complex composition and diverse properties, and will produce respirable particles, heavy metals and viruses to the human respiratory tract and lungs, having a great negative impact on human health. Therefore, it is necessary to study this source of pollution. Liaoning Province has superior natural conditions, crop output is relatively stable, and straw output is large. The theoretical crop straw resources in Liaoning Province increased from 2046.51×10^4 t in 2010 to 2804.20×10^4 t in 2019, with an increase of 37.02%. The straw resources in the region are particularly rich, and the total incineration amount reaches about 2804.4×10^4 t per year. According to the predicted development trend, the future straw incineration will not be reduced, and the PM2.5 emissions generated by straw incineration will increase year by year. However, due to the existing policies and norms, the straw treatment is more diversified, so that the straw treatment is less harmful to the environment, and I believe that the crop straw treatment will be more perfect in the near future.

Keywords

Liaoning Province, PM2.5, Emission Factor, Straw

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来, 重大空气污染事件不断发生, 特别是自 2015 年冬季以来, 京津冀城市群及其周边地区经历了一系列大规模严重的气候污染引起了社会各界的广泛关注, 对社会的影响也越来越大[1]。如何应对严重的气候污染、处理污染对公众日常出行以及身体状况的影响, 已成为一个亟待解决的问题[2]。而当前对于环境管理面临的非常紧急而重要的问题就是怎样解决污染, 国家对空气污染的处理方式要远远超过公众对空气污染的认识。

在对 PM2.5 的理解基础上, 对细颗粒物危害的认识引起了国内外专家和各国的广泛关注。新修订的《环境空气质量标准》增添了监测细颗粒物(PM2.5)和臭氧(O₃)的浓度限值。细颗粒一般与人工源有关, 人工源可由大气中各种气体的冷凝或化学反应形成[3]。燃煤生成的气体和汽车尾气、工程建设的粉尘、次生硫酸盐、硝酸盐和有机化合物都是 PM2.5 的来源之一[4]。其中煤尘、挥发尘、有机质、硫酸和硝酸盐的产生是最大的。秸秆燃烧是 PM2.5 的重要来源之一, 是 PM2.5 的生成的重要参与者之一[5]。研究了 PM2.5 的排放因子, 估算了该地区 PM2.5 的排放情况及其分布。为制定污染控制政策和改善区域空气质量提供科学和理论依据。大气中的固体和液体颗粒统称为大气颗粒物(PM), 根据颗粒大小, 可分为粗分

散系统(粒径 $> 10 \mu\text{m}$)和胶体分散系统($0.001\sim 10 \mu\text{m}$)。PM_{2.5} 指的空气动力学直径 $< 2.5 \mu\text{m}$ 的各种颗粒物, 也被称为可入颗粒物[6]。直接排放到大气中的原生颗粒和大气中其他污染物发生反应转化合成的次生颗粒就是 PM_{2.5}。燃烧源、扬尘源、工业源和流动源是主要污染源。化石燃料和农作物秸秆燃烧产生的微细颗粒就是燃烧的主要来源之一[7]。生物质燃烧量的 1/5 大概是农作物秸秆的主要燃烧量。秸秆焚烧严重影响了城市空气质量, 因此有必要对秸秆焚烧污染源进行研究。

而近年来, 雾霾极端天气横行, 大气颗粒物成为多地影响大气环境质量的首要污染物, 其中大颗粒分子 PM_{2.5} 易吸附各种有毒有害物质对人类身体健康造成严重危害, 并且雾霾天气就是高浓度 PM_{2.5} 聚集的原因。其中秸秆燃烧会释放大量颗粒物进入大气, 对生态环境和生态系统产生负面影响。生物质燃烧向大气排放大量颗粒污染物, 我国农作物收获季节大量秸秆直接在室外燃烧, 严重影响区域环境质量和人类健康。对我国主要粮食作物玉米和麦秸的室外燃烧进行了模拟, 分析了颗粒物的排放水平、特征及影响因素。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

2.1.1. 自然环境概况

东北地区地处北半球中高纬度地区, 属温带季风气候, 四季分明, 雨季同热。东北三省粮食总产量由 1980 年的 3543.6 万吨增加到 2019 年的 1381.1 万吨, 农作物播种面积粮食产量由 1406.3 万 hm^2 增加到 2347.2 万 hm^2 。目前, 全国粮食总产量的五分之一都是来自东北地区粮食总产量, 号称中国最大的商品粮生产基地和维护国家粮食安全的“压舱石”。

辽宁省地处中国北部, 纬度位置为北纬 $38^{\circ}43'\sim 43^{\circ}26'$, 经度介于东经 $118^{\circ}53'\sim 125^{\circ}46'$ 之间。辽宁省毗邻黄海和渤海, 并且与河北、内蒙古、吉林接壤, 与朝鲜隔鸭绿江相望。占地面积较广阔, 约为 14.86 万平方公里。辽宁省总体呈现出是“六山一水三田”。地形北高南低, 两边高中间低。丘陵地形分为东面和西面, 下降到中央平原的马蹄形向渤海。辽宁省主要为山地和丘陵, 海拔较低, 铁路交通发达。渤海西海岸是一个狭窄的海岸平原, 被称为“辽西走廊”。在辽宁省全部占地面积中, 山地占总陆地面积的五分之三; 平地大约三分之一; 水域较少, 和其他区域大致占 8.1%。

辽宁省河流较多, 大约为 390 条。大多数河流领土由东、西、北三个方向向中南方向汇合在海洋。河流水文特征为: 河流有结冰期, 春季有时会发生春汛。河道较直, 河流平缓, 但含沙量高, 雨热同期, 有明显的汛期。由于其毗邻海洋, 河床较窄, 泄洪能力较差, 容易发生洪水。东部的河流水质较好, 水流落差大, 水能较大, 适合开发中小型发点站。辽宁省位于亚欧大陆东部, 具有我国独有的温带季风气候, 雨热同期, 阳光较充足, 四季分明。由于季风气候的影响, 导致其四季太阳辐射强度有所差异, 且存在零下的温度, 寒冷期较长。辽宁省临海的地形, 使其降水量相比于吉林和黑龙江有所增加。年降水量在 600 mm~1100 mm 之间, 东湿西干, 有一定的经度地带性。

辽宁省不仅地理位置、气候条件较优越, 而且自然资源丰富。森林资源丰富, 覆盖率达到 28.7%。临海的优势也使其海洋资源和生物资源更为丰富。并且辽宁省是我国重要的农副产品和商品粮基地。截至 2016 年底, 据统计, 辽宁省耕地面积 409.29 万公顷, 占全省土地总面积的三分之一, 人均耕地面积约 0.096 公顷。

2.1.2. 人文经济概况

辽宁省是粮食大省, 据国家统计局数据显示, 2020 年辽宁省粮食总产量居全国第 12。由于辽宁省优越的地理位置, 使其成为东北地区的重要经济区, 以及交通中心。随着沈阳成为新一线城市, 辽宁省的经济发展也不再仅仅依靠沿海城市的旅游业。由于辽宁省地形和降水量的影响, 其农作物生长周期较短,

例如玉米为一年两熟制。这也增加了其粮食产量。其便利的水陆交通也方便其商品的外销和旅游业的发展。

2.2. 秸秆焚烧估算方法

根据辽宁省小麦、大米、玉米、花生、棉花及其他作物的年产量,我们通常用年产量再与各种农作物的草谷比相乘(农作物秸秆的产生量/作物产量),各省市农作物秸秆年产生量估算由此得出,即农作物秸秆理论资源量 = 农作物产量 × 草谷比。由于每地秸秆焚烧比例不同以及排放因子的不同,我们可以根据各省市因秸秆焚烧的特征以及运算得到 PM2.5 年排放量[8] [9]。

2.3. 数据来源

2.3.1. 辽宁省作物产量及秸秆综合利用情况

2019年,辽宁省粮食产量达到243亿kg,创历史新高,较上一年增长10.8%。按照农业农村部科教司最新公布的农作物秸秆草谷比并根据辽宁省实际情进行测算。搜集辽宁省的可收集资源量可达到2700万t,秸秆消耗量约为2330万t、消耗率达86%。其中化肥、饲料、燃料利用率各占三分之一,原料占比较小,即辽宁综合利用以燃料化、饲料化和肥料化利用为主。通过政策引导和支持,杆肥料化和饲料化利用量占比进一步提高,农用为主、多元利用的体系更加健全。

通过收集到的辽宁省农作物统计年鉴及中国农作物统计年鉴,选取符合辽宁省区域特征的辽宁省农产量、草谷比、焚烧比和PM2.5排放因子等数据。文章选取的数据来自有关书籍和网站查询[8] [9],见表1。

Table 1. Crop production of Liaoning Province, 2010~2019 (10,000 tons)

表 1. 辽宁省 2010~2019 年农作物产量(万吨)

年份	水稻	小麦	玉米	油料	高粱	其他作物	农作物总产量
2019年	434.8	1.4	1884.4	97.7	0.1	3.4	2421.8
2018年	418.0	1.4	1662.8	78.1	0.1	3.9	2164.3
2017年	422.1	1.3	1789.4	81.5	0.1	11.9	2306.3
2016年	410.4	1.1	1810.1	79.4	0.1	13.2	2314.3
2015年	402.7	1.4	1697.1	58.7	0.1	7.9	2167.9
2014年	395.3	1.6	1385.8	57.8	0.1	14.2	1854.8
2013年	451.2	1.7	1812.1	68.3	0.1	9.6	2343
2012年	459.6	2.1	1615.7	68.2	0.1	7.13	2152.83
2011年	461.3	2.6	1511.7	71.1	0.1	29.1	2075.9
2010年	428.2	2.8	1251.9	63.7	0.1	28.9	1775.6

2.3.2. 草谷比

作物单位面积的秸秆产量与粮食产量的比率就是秸秆与粮食的比率。辽宁省是一个粮食大省,农作物秸秆资源十分丰富,其中大米、玉米、油料、大豆种植面积占全省的80%左右,都是产生秸秆的来源之一。随着辽宁省粮食总产量不断攀升以及单位面积产量也持续增长,秸秆资源量也在不断变化,只有更准确地估计秸秆产生总量及其时空分布才会进行更准确的分析研究。现阶段,用于计算农作物秸秆资源量的草谷比数据是2008年调查数据或国家推荐的数据。随着农作物新品种的定向选择和栽培措施不断完善,草谷比系数发生了明显变化,现有数据已不能代表全省的实际情况。评价作物产量效益尤为重要指标就是草谷比。并且草谷比基本都按照按风干计[8] [9]。草谷比对于不同总农作物系数不同且有关数据研究还很少,采集相关文献以及研究的草谷比,见表2。

Table 2. Ratio of grass to grain
表 2. 草谷比

作物	草谷比								
水稻	0.9	1.3	0.6	1.2	0.8	0.7	0.6	1.0	1.1
小麦	1.1	1.7	1.4	1.3	0.7	0.7	1.4	1.0	1.1
玉米	1.2	1.2	2.0	0.9	0.9	1.3	2.0	2.0	2.0
油料	1.5	2.9	2.0	2.1	1.3	1.0	2.0	-	3.0
高粱	1.1	1.6	3.0	3.1	3.5	5.5	3.0	3.0	3.0

本文采用的草谷比需考虑辽宁省位于东北地区的北方农作物的特性,故取草谷比为:水稻 0.9,小麦 1.1,玉米 1.2,油料 1.5,高粱 1.1,其他作物 1.0。

2.3.3. 秸秆焚烧比

我国各地相关焚烧比例的报道以及数据非常少,并且秸秆焚烧比例自身就有非常大的不确定性。尽管辽宁省农民对秸秆的其他方式再利用已经超过一大半,但还是有少部分的农民选择焚烧处理的方式。本文通过采用问卷调查的方式,结合我国的实际现状,将中国分成 6 个区域。通过适当的统计学方法来判定符合各地自身特征的秸秆焚烧比例,辽宁省地区选择使用的焚烧比例是 57.2% [8] [9]。

2.3.4. PM2.5 排放因子

PM2.5 排放量测算精确度的一个关键影响因素是排放因子,秸秆的湿度大小、有机质含量多少和降水速率、自然条件等自然环境因素都为影响大气中 PM2.5 浓度的主要因素。在不同燃烧条件下对 PM2.5 的排放因子以及化学组分进行比对。对分析秸秆的实际燃烧和污染物质的理化性质具有重要意义。目前我们关于排放因子详细的数据统计非常少,文字对比有关的参考文献并且对照选取美国环保部(EPA)公布的 AP-42 排放因子等,要选取相对符合辽宁省地区特征的排放因子。合理的排放因子为 3.9 kg/t。

3. 结果与分析

3.1. 作物秸秆产生量

根据草谷比,可得出辽宁省近 10 年产生的秸秆产生量,见图 1,秸秆产生量由 2015.3 万吨增加到 2804.2 万吨。

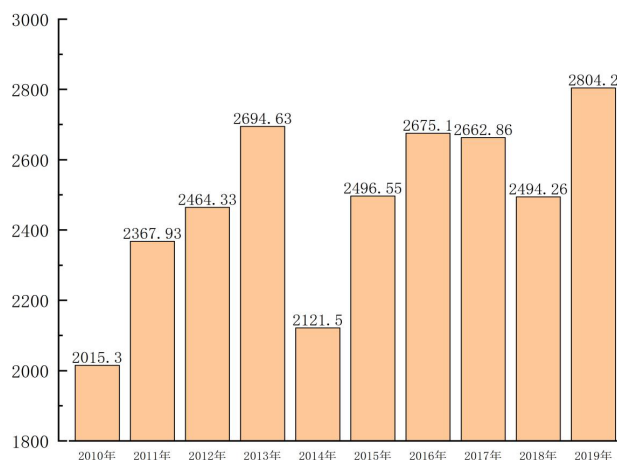


Figure 1. Straw production in Liaoning Province, 2010~2019 (unit: 10,000 tons)

图 1. 辽宁省 2010~2019 年秸秆产生量(单位: 万吨)

3.2. 作物秸秆焚烧量

根据 2.2 节介绍的秸秆焚烧估算方法, 计算得出辽宁省近十年农作物秸秆产生量, 估算结果见表辽宁省秸秆年产生总量由 2015.3 万吨增加到 2804.2 万吨。本文的测算与估算相较辽宁省自身的统计量与相关相近文献的具体数据比较为接近。因为东北地区种植业的主体是大米、小麦和玉米, 每年的年总播种量都占 80% 以上, 所以这几种主要农作物的秸秆产生总量占到了辽宁省总量的 80% 以上, 是辽宁省的年秸秆产生总量的大部分输出单位。

东北地区主要以农业为主, 该地区的秸秆焚烧量整体是呈波动上升趋势, 见图 2, 主要辽宁省是以农业为主要生产领域, 所以秸秆产生量会有所增加。

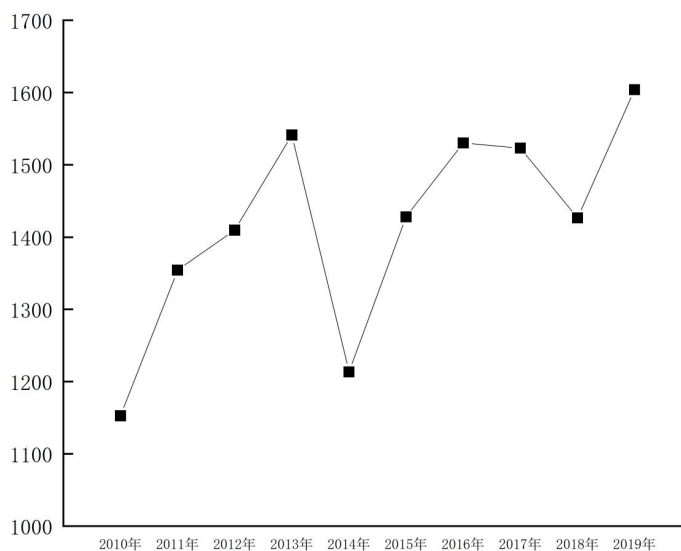


Figure 2. Amount of straw incineration in Liaoning Province, 2010~2019 (unit: 10,000 tons)

图 2. 2010~2019 年辽宁省秸秆焚烧量(单位: 万吨)

3.3. 秸秆焚烧 PM2.5 排放量

通过前文所述的秸秆焚烧估算方法, 计算得出辽宁省 2010~2019 年的 PM2.5 排放量。由下图 2 可知从 2010 年至 2019 年, 辽宁省 PM2.5 总排放量呈波动上升趋势。2010 年, PM2.5 总排放量为 44957.31 吨, 随后逐年增加, 2019 年达到 62556.09 吨, 增长 39.14%。

从整个辽宁省来看, 见图 3, 2010 年~2019 年辽宁省的 PM2.5 排放量还是在逐年增加, 但近几年由于辽宁省的秸秆处理政策 PM2.5 会有所减。

由此可见, 通过秸秆焚烧产生的 PM2.5 可以得出辽宁省的秸秆焚烧排放 PM2.5 排放具有很强的区域性特征, 与其当地耕作的特征非常契合。

辽宁省 PM2.5 浓度呈下降趋势。研究表明, 冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季, 且符合 11 月最高, 9 月份最低, 辽宁省 PM2.5 浓度的变化与每日的气象因素和当地地形环境关系密切。

根据有关研究, 对秸秆焚烧排的各类污染以及排放时间变化的分析。进而判定了中国北部每年各月秸秆焚烧排放占全年总焚烧量的比率。9 至 5 月份是北方秸秆处理的主要时间段, 11 月和 3 月分别是处理秸秆燃烧的峰值期。比较符合辽宁省自己的耕作与收割的实际情况。

在了解秸秆焚烧数量归一化月变化并经过分析后, 可得出在东北地秸秆焚烧峰期主要集中在 3 月、4

月和 10 月, 该地区全年焚烧数量总量的 72.6% 都在这 3 个月的燃烧。中国东北地区的十月是秋收最繁忙的季节, 所以通常辽宁省燃烧稻草的高峰期是十月[10] [11] [12]。这个地区的秸秆燃烧总量达到了 69.3%。小麦、玉米等农作物在 3 月、4 月开始进行播种, 秋季未燃烧的秸秆在此时会再次焚烧, 因此东北地区在 3、4 月份出现第二个秸秆焚烧峰值期, 占比为全国同期总量的 62.56% [11]。同时, 由于南北冰雪融化期的影响, 辽宁省的春季秸秆焚烧主要发生在 3 月份。

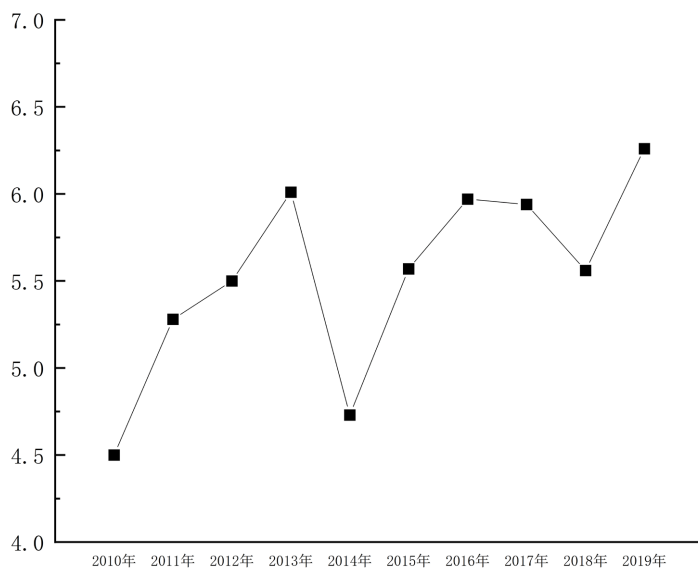


Figure 3. PM2.5 emissions in Liaoning Province, 2010~2019 (unit: 10,000 tons)

图 3. 2010~2019 年辽宁省 PM2.5 排放量(单位: 万吨)

4. 结论

(1) 辽宁省农作物秸秆理论资源量由 2010 年的 2015.3×10^4 t 增长到了 2019 年的 2804.20×10^4 t, 增幅 37.02%, 增幅较大; 区域内秸秆资源特别丰富, 总焚烧量年均达到近 2804.2×10^4 t 左右。对于 2010 年至 2019 年辽宁省秸秆焚烧产生的 PM2.5 的量采用统计方法进行估算, 通过此方法能让我们全面了解辽宁省农作物秸秆焚烧状况、PM2.5 排放情况以及时空分布特征。可帮助该地区制定相关的污染规定和控制措施, 可以为改善空气环境质量的研究提供科学的理论依据。

(2) 据统计 2019 年达到峰值, 数值为 62556.09 t。秸秆燃烧是 PM2.5 的重要来源之一, 秸秆燃烧对各种污染物的贡献率在各种生物质燃烧方式中最高。根据目前的趋势, 未来秸秆燃烧产生的 PM2.5 排放量可能会逐年增加, 但是由于现有的政策以及规范, 让秸秆处理更加多样化, 使秸秆处理对环境伤害更小, 合理利用秸秆, 提高秸秆的综合利用率, 不仅可以节约资源, 减少生物质燃烧过程中污染物的产生, 改善环境, 而且可以增加农民收入, 实现经济价值, 相信在不久的将来农作物秸秆处理会更加完善。

(3) 在秸秆处理的问题上不应该全部依靠国家规章制度等原则, 而应该向广大群众进行相关秸秆知识的普及, 让他们了解秸秆处理的新技术。现阶段大部分农民没有充分认识到焚烧秸秆对土壤、大气以及身体健康产生的危害, 也没有充分认识到秸秆资源的潜在应用价值。所以, 对于农作物秸秆的处理问题, 有关部门应向农民传递正确的处理方式, 以及寻找相关企业进行秸秆处理技术方面的研究, 并向农民普及。这可以使秸秆制品及其辅助产业得到全面、快速的发展。

(4) 辽宁省中, 水稻和玉米秸秆焚烧产生的污染微粒占比最大, 这与其季风气候, 作物种植的地理位

置以及农作物种类关系密切。秸秆处理工作中国家采取了许多措施,制定了许多规定,有关部门也在支持并且指导相关产业或是项目的开发、研究和完善。现阶段也有所改善,在我们现在这个建设资源节约型社会将来一定会找到更合适的方法将它转化为经济产物,改善空气质量还需全社会人们的努力和担当。

参考文献

- [1] 张晓峰. 辽宁省 2018 年空气质量预报结果评估[J]. 南方农机, 2019, 50(10): 260.
- [2] 王慧慧, 吴开亚. 长三角地区秸秆焚烧 PM_{2.5} 排放量估算与分析研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(9): 88-92.
- [3] 刘诗奇. 北京地区农作物秸秆焚烧 PM_{2.5} 排放量估算[J]. 科技致富向导, 2013(23): 138.
- [4] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 800-804.
- [5] 郑毅, 刘标. 大气颗粒物污染及防治措施[J]. 科技信息, 2012(3): 535, 541.
- [6] 杨洪斌, 邹旭东, 汪宏宇, 等. 大气环境中 PM_{2.5} 的研究进展与展望[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 77-82.
- [7] 尹洧. 大气颗粒物及其组成研究进展(上) [J]. 现代仪器, 2012(2): 1-5.
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [9] 辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [10] 陈宗娇, 白璐, 张峻玮, 祖彪. 春季秸秆焚烧导致辽宁中部一次污染过程分析[J]. 环境保护与循环经济, 2019, 39(2): 66-70.
- [11] 靳全锋, 马祥庆, 王文辉, 杨淑妍, 郭福涛. 华东地区 2000-2014 年间秸秆燃烧排放 PM_{2.5} 时空动态变化[J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 460-468.
- [12] 高香兰. 辽宁省秸秆综合利用现状、问题与建议[J]. 园艺与种苗, 2020, 40(11): 60-62.