

# “双改”背景下河南省食用菌产业制棒生产现状与分析

王安建, 刘丽娜, 李顺峰, 路风银

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心 郑州 450002)

**摘要:** 近年来, 河南省大力支持全省食用菌产业推进煤改电、煤改气的“双改”工作以削减散煤用量。从食用菌制棒生产基本概况、使用设备、废气排放情况等方面介绍梳理了河南省食用菌产业制棒生产现状, 分析了食用菌产业制棒“双改”后成本效益、节能减排效益。在此基础上探讨了制棒生产“双改”工作中存在的企业大气污染防治意识淡薄、清洁能源保障工作做得不够、生产过程管理不够规范等问题, 并有针对性地提出相应的对策建议, 旨在为全国食用菌产业制棒清洁化生产和绿色可持续发展提供一定的参考。

**关键词:** 食用菌; “双改”; 制棒; 河南省; 效益

中图分类号: F323+S646

文献标志码: B

文章编号: 1673-2871(2022)10-105-06

## Current situation and analysis of making-stick production from edible fungi industry in Henan province under “Dual-change”

WANG Anjian, LIU Lina, LI Shunfeng, LU Fengyin

(Research Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract:** In recent years, Henan Province had strongly supported the edible fungi industry to promote the dual-change of coal to electricity or gas to reduce coal consumption. In this paper, the current situation of making-stick production from edible fungi industry in Henan Province was introduced from the aspects of basic situation, using equipment and exhaust emissions. The benefit after dual-change was analyzed in cost, energy conservation and emission reduction. On this basis, this paper discussed the existing problems of weak consciousness on air pollution prevention and control, insufficient clean energy security work, unstandardized production process management etc. It also proposed some corresponding countermeasures and suggestions, and provided a reference for the cleaner production and green sustainable development of making-stick in the national edible fungi industry.

**Key words:** Edible fungi; Dual-change; Making-stick; Henan province; Benefit

中国是全球食用菌产量第一大国, 占世界总产量的 70% 以上<sup>[1]</sup>。由于食用菌产业具有“短、平、快”的特色, 各地都将食用菌产业作为区域经济调整、精准扶贫和乡村振兴的重要产业<sup>[2]</sup>。全国 832 个贫困县全部摘帽, 其中有 70%~80% 的贫困县发展了规模不等的食用菌产业<sup>[3]</sup>。2020 年 4 月习近平总书记在陕西柞水县考察脱贫攻坚情况时, 就点赞了“小木耳, 大产业”<sup>[4]</sup>。由于食用菌制棒灭菌生产分散, 点多面广, 很多企业都缺乏污染防治设施, 直燃直排, 已成为影响产地环境空气质量的突出问题之一。近年来, 随着大气污染防治压力持续加大, 相关环境保护法律法规和大气污染防治产业政策的

要求越来越严格, 食用菌产业面临着较大的减排、清洁生产水平提升等压力。

河南省食用菌产量和产值多年来一直位居全国第一, 已经成为全省促进农民增收、农业增效、农村繁荣和加快现代农业发展的重要支柱产业, 在乡村振兴中发挥着重要作用。根据中国食用菌协会统计, 2020 年河南省食用菌总产量为 561.85 万 t, 其中, 香菇 365.08 万 t, 是栽培量最大的品种。全省食用菌各类品种折合袋数超过 50 亿袋, 是全国第一食用菌大省, 食用菌生产过程中制棒灭菌环节散煤污染问题已成为河南省大气污染治理的短板弱项。为了调整优化农业能源结构, 加快推进农业散

收稿日期: 2022-06-07; 修回日期: 2022-08-27

基金项目: 河南省中央引导地方科技发展专项(YDZX20204100003891); 河南省地方标准项目(20211110021); 河南省重大公益专项项目(201300110700)

作者简介: 王安建, 男, 研究员, 研究方向: 食用菌加工。E-mail: jgs1419@163.com

煤替代,2020年10月河南省污染防治攻坚战办印发了《关于支持全省食用菌企业“双改”工作的实施意见》(豫环攻坚办[2020]44号),文件中明确提出要加快推进食用菌灭菌环节使用散煤改为电力或天然气的“双改”工作。通过削减散煤用量,推动新旧能源转换,对食用菌制棒灭菌环节的大气污染进行有效的防治和管控,促进全省食用菌产业转型升级、提质增效。这对全国食用菌行业起着示范引领作用。笔者通过调查分析,阐述了“双改”背景下河南省食用菌产业制棒生产的现状,分析了制棒生产“双改”后的效益,探讨了“双改”工作中存在的问题并提出相应的对策,对促进河南省食用菌产业绿色、环保、高质量发展具有重要意义。

## 1 河南省食用菌产业制棒生产现状

### 1.1 食用菌制棒生产基本概况

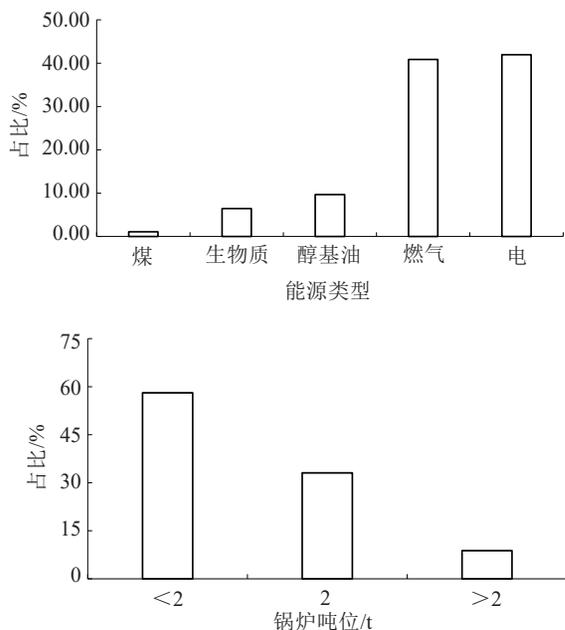
河南省食用菌产业发展特点突出,品种特色优势明显,区域特色集群优势已经形成,全省已经形成了西峡香菇、泌阳花菇、辉县平菇等一批全国知名的食用菌产业基地<sup>[5]</sup>。食用菌产业发展进入省级战略,食用菌成为“四优四化”支持产业。制棒灭菌是食用菌栽培中必不可少且非常重要的环节,“双改”前河南省食用菌产业年生产灭菌用煤达140万t<sup>[6]</sup>,90%菌棒灭菌的蒸汽来自散煤燃烧,“双改”开始后,各地市按照“政府引导、财政扶持、企业主体、多措

并举、梯次推进”的原则,在确保“菇农利益不受损、产业发展不萎缩、产品质量不降低、替代措施可持续”的前提下,探索差异化“双改”方案,做到“应改尽改”,努力实现减污降碳协同共进。目前,河南省食用菌制棒灭菌生产单元数量众多,根据河南省食用菌协会报道,单个生产单元年生产20万袋以上的占整个产业的60%以上,以农民专业合作社为主<sup>[7]</sup>。农民专业合作社所用灭菌能源种类多样,有生物质、醇基油、燃气和电等,以燃气、电为主,占比达到82.8%,用煤做燃料的已寥寥无几。灭菌所用锅炉吨位多为小蒸吨( $\leq 2 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ),占比达到91%,其中小于2蒸吨锅炉最多,占比达到58%(图1)。

### 1.2 食用菌制棒生产使用设备情况

灭菌设备对制棒生产操作极为重要,食用菌灭菌设备主要包括灭菌锅和灭菌器。食用菌灭菌环节普遍使用的各类型设备成本情况见表1,设备类型不同,具体设备配制也不同,所需的数量和单价也不同。电加热设备需改电网增加变压器,一体化灭菌锅不需另外购置灭菌柜;液化天然气如直接使用管道气,则不用投入储气罐,但需增加开户费8万~10万元;醇基油设备所用醇基油属于危化品,产品种类繁多,品质难以保证;生物质气化设备一次性投资大,但运营成本低;燃煤锅炉设备投资小,环保达标成本高。各类型灭菌设备有各自相对应的灭菌程序,使用时对安全、灭菌时间要求都不同。总体来看,采用“双改”支持的电、燃气前期设备投资比煤大,但环保达标成本最低。

食用菌灭菌环节常用灭菌器包括简易灭菌大帐和灭菌柜。简易灭菌大帐一般配合简易灭菌筐使用,主要用于常压灭菌,其造价低,易于制作,主要是食用菌种植散户使用。但由于其密封性和保温性能欠佳,常四处漏气,帐内四处蒸汽不均匀,为了达到较好的灭菌效果而延长灭菌时间,灭菌时间一般在30h以上。尽管延长了灭菌时间,但坏袋率依然很高,有的可高达15%。并且由于灭菌时间长,蒸汽未被充分利用而造成能源浪费。食用菌企业多采用灭菌柜生产菌棒,灭菌柜常用的有常压灭菌柜和高压灭菌柜。常压灭菌柜虽然密封性和保温性能较好,但仍存在柜内蒸汽不均匀现象。而高压灭菌柜配有抽真空系统,加速了气体的交换,柜内压力和温度达到预设温度的时间大大缩短,且柜内蒸汽不均匀问题得到解决,灭菌时间缩短<sup>[8]</sup>。高压灭菌柜虽一次投入大,但灭菌效率高、时间短、效果好。因此,在条件允许情况下,推荐使用高压灭



注:数据来源于河南省部分地市环境保护局、农业农村局统计结果。下同。

图1 食用菌制棒生产情况及数量占比

表1 各类型设备成本

设备类型	设备名称	数量	单价/万元
电加热设备	1 t 电加热蒸汽锅炉	2	10.00
	变压器 2000 kW 及配套	1	54.00
一体化电灭菌设备	一体化电加热蒸汽灭菌柜	2	24.00
	变压器 1500 kW	1	36.00
液化天然气设备	1 t 燃气蒸发器	2	6.00
	5 t 卧式储气罐(含辅助设施)	1	12.00
醇基油设备	醇基锅炉燃料机及自动控制系统	2	5.00
	燃料储存罐	2	0.10
生物质气化设备	2 t 生物质气化炉(净化装置)	1	160.00
	燃烧器(灶头)	2	0.50
	配套管网	2	0.25
	布袋除尘	3	1.00
生物质设备	生物质颗粒燃烧锅炉	2	8.80
	除硫除尘罐	2	1.00
燃煤设备	1 t 燃煤锅炉	2	1.00
高压灭菌柜	万袋灭菌柜及配套周转架	2	21.00
常压灭菌柜	万袋灭菌柜及配套周转架	2	5.00

菌柜。

### 1.3 食用菌制棒生产废气排放情况

“双改”前河南省食用菌产业 90% 菌棒生产灭菌的蒸汽来自散煤燃烧,点多面广,直燃直排,且无任何污染防治设施,其排放产生了二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等大量污染物<sup>[9]</sup>。以香菇产业为例,据测算全省香菇生产灭菌用煤约 80 万 t,如果用无烟煤,二氧化硫排放将达到 330.0 万~395.0 万 kg,氮氧化物排放将达到 72.6 万~86.9 万 kg,一氧化碳排放将达到 4 613.4 万~5 522.1 万 kg;如果用烟煤,二氧化硫排放将达到 488.4 万~584.6 万 kg,氮氧化物排放将达到 105.6 万~126.4 万 kg,一氧化碳排放将达到 9 246.6 万~11 067.9 万 kg,严重污染大气环境。“双改”开始后,食用菌制棒企业逐渐改为电力或天然气等能源。目前,河南省食用菌企业灭菌所用锅炉种类众多,不同炉型的锅炉烟气排放物质浓度相差较大<sup>[10]</sup>。由于采用锅炉蒸吨较小( $\leq 2 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ),

较少在质监部门备案,目前环保部门缺乏对食用菌制棒灭菌环节废气的常规监测,对食用菌制棒灭菌环节的监控和管理力度不够。

食用菌种植散户自制棒灭菌一般是采用常压灭菌灶,无任何污染防治措施而进行直排;食用菌企业制棒生产多采用各类型蒸汽锅炉,燃煤锅炉、燃生物质锅炉一般都配有尾气强制喷淋装置,经处理后燃烧尾气呈无色或白色排入环境中;燃油锅炉一般带有湿式水膜除尘设施,燃气锅炉多采用低氮燃烧机,燃油(气)锅炉燃烧后均不产生燃料灰渣,故无需排渣设施。大型企业如卢氏县德海菌业有限公司、河南金海生物科技有限公司年产菌棒均在 1000 万袋以上,使用的是 4 t、10 t 燃气锅炉,且配有低氮燃烧机。燃煤锅炉在实际运行中,外排废气污染物浓度较高,燃生物质锅炉、燃油(气)的废气排放情况跟燃料密切相关。各类型锅炉的废气检测数据显示(表 2),只有燃气锅炉的废气能达到国家

表2 各类型锅炉废气排放检测结果

锅炉类型	$\rho$ (颗粒物排放)/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		颗粒物排 放速率/ ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\rho$ (二氧化硫排放)/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		二氧化硫 排放速率/ ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\rho$ (氮氧化物排放)/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		氮氧化物排放 速率/( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\varphi$ (氧)/ %
	实测值	折算值		实测值	折算值		实测值	折算值		
2 t 生物质气化炉	1.3	3.4	0.081 0	31.0	82.0	2.000 0	42.0	110.0	2.680	16.40
2 t 生物质锅炉	708.0	1 322.0	0.258 0	11.0	20.0	0.004 0	353.0	658.0	0.129	14.60
2 t 燃煤锅炉	133.0	232.0	1.720 0	169.0	295.0	2.180 0	93.0	167.0	1.200	14.30
2 t 燃油锅炉	127.0	189.0	0.129 0	5.0	8.0	0.005 4	522.0	779.0	0.531	9.30
4 t 燃气锅炉	3.6	4.1	0.005 6	3.3	3.7	0.005 1	22.7	25.7	0.035	5.45
10 t 燃气锅炉	3.3	3.3	0.032 1	未检出	未检出	未检出	17.0	17.0	0.167	3.60

标准 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》、河南省地标 DB 41/2089—2021《锅炉大气污染物排放标准》的排放限值要求。

## 2 河南省食用菌产业制棒生产“双改”后效益分析

### 2.1 成本效益分析

根据“双改”要求,污染严重的燃煤锅炉要改造为热效率更高的燃气锅炉和电锅炉,要推行环保锅炉和高效灭菌新方式,变传统污染为清洁化能源生产。经过多个产季的生产实践,高效灭菌新方式日趋成熟,改造升级的成效逐步显现。目前,食用菌

制棒灭菌采用的技术是湿热灭菌法,生产模式是采用灭菌锅炉和灭菌器配合使用,不同设备灭菌效果差异较大,能源结构和生产方式的改进所产生的灭菌成本也大不相同,以“双改”前后普遍使用的灭菌方式做成本对比(灭菌量 9000 袋计)。“双改”前,传统以煤做燃料的灭菌灶上温慢、耗时长、劳动强度大,用工成本高,消耗能源多并且灭菌效果常不稳定<sup>[11]</sup>。“双改”后新法灭菌用工成本低,热效率高,灭菌时间缩短一半,灭菌环节坏袋率一般不超过 3% (表 3),灭菌效果好,有利于提升食用菌生产标准化水平。此外,灭菌时间过长,也会造成营养流失,对食用菌后期产量、质量产生不利的影响。而采用新

表 3 灭菌成本对比

能源类型	燃料用量	生产成本				坏袋率/%	袋均成本/元	时间成本/h				
		燃料费用/元	袋均燃料成本/元	用工数	用工工资/元			合计	升温	控温	降温	总用时
煤	2.5 t	2125	0.23	5	500	2625	8~10	0.32	8.0	30.0	4.0	42.0
气	980.0 Nm <sup>3</sup>	3530	0.39	2	200	3730	3	0.43	2.5	14.0	4.0	20.5
电	5 815.0 kW·h <sup>-1</sup>	2791	0.31	2	200	2991	3	0.34	2.5	14.0	4.0	20.5

法灭菌可有效避免这些问题的发生,后期隐性效益完全可弥补灭菌成本增加部分。

### 2.2 节能减排效益分析

食用菌产业制棒灭菌环节归根到底靠的是锅炉燃烧,锅炉作为一种能量转换设备,可使用的燃料有很多种,不同种类的燃料组成不同、燃烧方式不同,产生的废气污染物质的成分和量也就不同<sup>[12-14]</sup>。有研究从环境经济学角度<sup>[15]</sup>,对一般常用的小型燃煤锅炉与燃气锅炉产生的污染物进行了比较,以 7.0 MW 锅炉为例,使用燃煤的锅炉煤的颗粒物产污量约为 26.00 kg·t<sup>-1</sup>,二氧化硫的排污量约为 16.00 kg·t<sup>-1</sup>;使用天然气的锅炉燃料的颗粒物产污量约为 0.22 kg·t<sup>-1</sup>,二氧化硫的排污量约为 2.60 kg·t<sup>-1</sup>,燃气锅炉比燃煤锅炉产生的污染物要少 93.3%;很明显燃气锅炉的大气污染物产生量较少。天然气是目前世界上最清洁的燃料,1 m<sup>3</sup>天然气的热值约为 33 480 kJ,它燃烧充分,产生的颗粒物、二氧化硫等污染物比燃煤少得多<sup>[16]</sup>。此外,电锅炉是采用电阻、电磁或电蒸汽发生器来产生蒸汽的一种锅炉,这种锅炉产蒸汽快,无烟囱,在工作过程中无废气和固体颗粒物排放。因此,“双改”优先推荐使用电、气。以“双改”前后普遍使用的灭菌方式进行能源消耗和排污情况对比(表 4~5),显而易见,食用菌制棒灭菌环节采用电、气后,能源消耗量比用煤折标煤量明显减少,分别降低了 59.98%和 33.36%;用

电无废气排放,用气可降低废气排放量 47.62%,减排效果明显。若以全省食用菌各类品种折合袋数超过 50 亿袋计,则用电、用气节能减排效益显著。

表 4 用煤、电、气能源消耗量对比

能源	燃料用量	折标煤系数	折标煤量/kgce	减少量/%
煤	2.5 t	0.714 3	1 785.75	
气	980.0 Nm <sup>3</sup>	1.214 3	1 190.01	33.36
电	5 815.0 kW·h <sup>-1</sup>	0.122 9	714.66	59.98

注:折标煤系数依据 GB/T 2589—2020《综合能耗计算通则》。

表 5 用煤、电、气排废气情况对比

能源	燃料用量	废气排放量/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> 排放量/kg	NO <sub>x</sub> 排放量/kg
煤	2.5 t	25 492.48	40.000	6.75
气	980.0 Nm <sup>3</sup>	13 353.40	0.196	1.83
电	5 815.0 kW·h <sup>-1</sup>			

## 3 河南省食用菌产业制棒生产“双改”中存在的问题与对策分析

### 3.1 食用菌生产者大气污染防治意识淡薄,应强化宣传引导

食用菌属于劳动密集型产业,由于生产门槛低,相关从业人员众多,水平参差不齐,农民专业合作社生产居多,同时为了规避日益增长的人工成本,在制棒环节多数农户提供原材料由制棒点代工生产,之后对料棒进行自行灭菌处理。多数农民专业合作社在灭菌环节技术水平低、灭菌不彻底,大气污染防治意识淡薄,造成大量能源浪费的同时也

造成了大气污染。要改变这一现状,就要强化宣传引导,有关部门要坚持正确的舆论导向,通过多种新闻媒介形式,运用喜闻乐见、简单易懂的方式,大力宣传大气污染防治相关法律法规及政策、使用散煤的危害等,提高全社会对大气污染防治工作的认知度、接受度和参与度,营造良好舆论氛围。同时,应加快推进集中制棒分散出菇模式,以便制棒灭菌环节技术水平提升,降低污染和能耗,以及坏袋率<sup>[17]</sup>。

### 3.2 “双改”清洁能源保障工作做得不够,要从源头控制污染

食用菌菌棒加工集中在每年的9—12月,正值秋冬季大气污染防治综合治理重点时段,给大气污染防治治理造成了很大压力<sup>[18]</sup>。锅炉大气污染物的排放与燃料品质密切相关<sup>[19]</sup>,因此,食用菌“双改”要求使用清洁能源电或气。而食用菌生产企业大都位置偏僻,位于山区,一方面无天然气管道或天然气只通到县城主城区,而对县域所辖乡镇及自然村则基本无天然气管道,且山区坡多路险,罐装燃气运输难度大,尤其是食用菌制棒集中期主要在冬季,再加上冰雪对道路的影响,燃气运输更是难上加难。同时,气价不稳定也是造成改气难的一个主要因素,对于食用菌生产企业来说,夏季用气量较少,气价相对较便宜,而在生产旺季冬季,气价较高,并且为了保障基本民生,往往会无气可用。另一方面改电一般要求变压器在1000 kW以上,且须有相应的配套电网,电网改造、架设电线、变压器购置等费用政府补贴较少,大部分需由用电单位承担,投资比较大,改电也存在一定难度。因此,要研究制定支持食用菌企业“双改”工作的相关政策,电力部门要落实配套电网建设,燃气管网铺设单位要加快天然气管网铺设进程,在清洁能源价格、供应方面给予长期稳定的支持,加强清洁能源运行调度,做好清洁能源保障工作。同时,要持续做好散煤治理,加大煤炭产销用环节监管力度,从源头着手控制污染。

### 3.3 食用菌制棒生产过程管理不够规范,需要精细化标准化

食用菌制棒灭菌时利用热蒸汽对培养料进行加热,并在一定温度下保持一定时间,从而达到杀灭不利于食用菌生长的微生物的目的。在实际生产中,菇农普遍采用可移动常压蒸汽发生炉为通入式灭菌,这种方式由于灭菌时是塑膜包裹,没有仓容的限制,再加上许多菇农为图省事,任意加大灭

菌数量、拉长灭菌时间,使料棒灭菌超量超时,这种不规范的灭菌行为,易造成燃料浪费,增加大气污染物排放<sup>[20]</sup>。此外,为了确保食用菌制棒企业生产设备和废气治理设施稳定可靠运行,要求必须加强企业的环境管理,要求企业生产管理人员按照设备设施管理办法和操作规程运行维护。食用菌制棒灭菌生产需要精细化标准化的过程管理来提高灭菌行为的规范性,这就需要相关部门及行业协会加强技术研讨交流,加大清洁生产技术培训,同时加强相关标准的制定,为食用菌产业控排减排、清洁化生产提供技术保障。

## 4 结 语

河南省在推进食用菌产业制棒生产“双改”方面开展了大量积极有效的工作,虽然取得了一定的成效,但同时面临着食用菌生产者大气污染防治意识淡薄、清洁能源保障工作做得不够、生产过程管理不够规范等问题。针对上述问题,提出要强化宣传引导、加快推进集中制棒分散出菇模式;制定相关支持政策、从源头着手控制污染;提高生产行为的规范性、加大清洁生产技术培训等对策建议,以期完善河南省乃至全国食用菌产业制棒清洁化生产体系提供技术支持。

### 参考文献

- [1] 翁晓星,陆丹丹,郑涛,等. 食用菌菌包生产现状与发展趋势[J]. 农业工程,2020,10(6): 14-17.
- [2] 叶丽红,何可,王瑜洁,等. 食用菌产业推动农村三产融合发展的现状分析[J]. 食药菌,2021,29(2): 89-95.
- [3] 人民日报社. 获得全国脱贫攻坚楷模荣誉称号后,“蘑菇院士”这样说[EB/OL]. (2021-02-26) [2022-06-07]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1692750249509371559&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 李存玲,李拴曹,董自庭,等. 陕西省柞水县黑木耳产业发展现状及对策[J]. 南方农机,2021,52(2): 11-12.
- [5] 张辉,闻亚美,党帅,等. 河南省食用菌产业地位及发展策略[J]. 中国蔬菜,2019(10): 9-13.
- [6] 河南省生态环境厅. 全省食用菌企业双改工作推进视频会议召开[EB/OL]. (2021-10-01) [2021-10-03]. <https://www.henan.gov.cn/2021/10-03/2322843.html>.
- [7] 中国食用菌商务网. 河南省食用菌产业发展的三大特点、四大问题、建议与十大重点工程[EB/OL]. (2021-03-30). [2022-06-07]. <http://zixun.mushroommarket.net/202103/30/196111.html>.
- [8] 徐寿海. 高压灭菌器在设施食用菌生产中的应用[J]. 农业工程技术,2017,37(16): 27-29.
- [9] ZHANG Z, WANG W, CHENG M, et al. The contribution of residential coal combustion to PM<sub>2.5</sub> pollution over China's Beijing-Tianjin-Hebei region in winter[J]. Atmospheric Environment,2020,40(2): 573-581.

- [10] 姚倩,沈丽冉,张春林,等.不同燃料类型锅炉羰基化合物的排放特征[J].中国环境科学,2021,52(2): 11-12.
- [11] 李玉,尚晓冬,宋春艳,等.香菇菌棒传统生产模式与工厂化生产模式的比较[J].食药菌,2017,25(2): 138-140.
- [12] GONG X, WANG Z, DENG S, et al. Impact of the temperature, pressure, and particle size on tar composition from pyrolysis of three ranks of Chinese coals[J]. Energy & Fuels, 2014, 28(8): 4942-4948.
- [13] XU J Y, ZHUO J K, ZHU Y, et al. Analysis of volatile organic pyrolysis products of bituminous and anthracite coals with single-photon ionization time-of-flight mass spectrometry and gas chromatography/mass spectrometry[J]. Energy & Fuels, 2017, 31(1): 730-737.
- [14] 邵帅,曹有为,李欣,等.燃生物质锅炉与燃传统化石燃料锅炉的经济性对比分析[J].林业机械与木工设备,2022,50(1): 68-70.
- [15] 范伶,曹钦,顾涛,等.小型燃煤锅炉与燃油(气)锅炉的环境影响及运行费用比较分析[J].干旱环境监测,2004,18(1): 64-66.
- [16] 谢建松,杨占国,李军五,等.粮食干燥热源现状及展望[J].现代食品,2018(8): 176-178.
- [17] 刘明,张红红,徐江,等.韶关市食用菌产业现状及发展建议[J].中国食用菌,2017,36(4): 80-82.
- [18] 苗青青,姜楠,张瑞芹,等.中原城市群典型城市秋冬季大气PM<sub>2.5</sub>污染特征及溯源[J].环境科学,2021,42(1): 19-29.
- [19] 吴勇,胡琳琳,李运泉,等.生物质和天然气燃料特性及在锅炉燃烧过程中对比分析[J].中国特种设备安全,2020,36(9): 6-10.
- [20] 何颖.食用菌栽培袋灭菌的规范意见[J].食药菌,2011,19(2): 49-50.