

同一品牌不同系列卷烟烟气气溶胶的显微红外光谱研究

王健^{1,2}, 李超³, 王欣⁴, 葛少林^{1,2*}

(1.安徽省气溶胶解析调控及生物效应重点实验室, 安徽合肥 230088; 2.安徽中烟工业有限责任公司, 安徽合肥 230088; 3.安徽医科大学第二附属医院, 安徽合肥 230601; 4.安徽医科大学基础医学院, 安徽合肥 230031)

摘要 [目的] 用显微红外光谱测定同一品牌不同系列卷烟的烟气气溶胶, 建立快速区分模型。[方法] 利用显微红外光谱测定同一品牌不同系列卷烟的烟气气溶胶, 应用主成分分析(PCA)建立模型, 并与传统方法测定的烟气烟碱量、烟气水分、焦油量、一氧化碳量进行比较。[结果] 显微红外光谱分析结果显示, H7、H11、H12、B1、B13 和 B14 与其他样本距离较远, 与传统方法测定结果基本吻合。[结论] 显微红外光谱能快速区分同一品牌不同系列卷烟的烟气气溶胶, 为卷烟的品质鉴定提供了一种新方法。

关键词 烟气气溶胶; 显微红外光谱; 主成分分析

中图分类号 TS41⁺1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2024)24-0154-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2024.24.034

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Microinfrared Spectroscopy of Smoke Aerosols from Different Series Cigarettes of the Same Brand

WANG Jian^{1,2}, LI Chao³, WANG Xin⁴ et al (1. Anhui Provincial Key Laboratory of Aerosol Analysis, Regulation and Biological Effects, Hefei, Anhui 230088; 2. Anhui Zhongyan Industry Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088; 3. The Second Affiliated Hospital, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230601; 4. School of Basic Medicine, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230031)

Abstract [Objective] Based on FTIR microspectroscopy of the smoke aerosols of the same brand from different series of cigarettes, quick differentiation model was established. [Method] FTIR microspectroscopy was used to determine the smoke aerosols of different series of cigarettes from the same brand. A model was established by using principal component analysis (PCA). The nicotine content, moisture content, tar content, and carbon monoxide amount in the smoke were compared with the traditional methods. [Result] FTIR spectroscopy analysis results revealed that H7, H11, H12, B1, B13, and B14 were far away from other samples, which were consistent with the determined results by traditional methods. [Conclusion] FTIR microspectroscopy can quickly distinguish the smoke aerosols from different series of cigarettes of the same brand, which provided a new method for the quality identification of cigarettes.

Key words Smoke aerosol; FTIR microspectroscopy; Principal component analysis

卷烟中所含组分在燃烧过程中经过一系列复杂变化产生数千种化学成分, 其中部分挥发性较低的蒸汽通过凝结形成烟气的溶胶^[1-2]。烟气气溶胶的形成是各种动态的化学、物理、环境和生理现象共同作用的结果。在卷烟燃吸过程中, 主流烟气是不断变化的气溶胶体系, 是评价卷烟内在质量的主要指标。因此, 开展烟气气溶胶的检测分析尤为重要^[3]。

传统的烟气气溶胶检测方法是利用采样器或薄膜对气溶胶颗粒进行收集, 然后采用重力沉降、静电吸引、惯性碰撞、截留等方法将气溶胶颗粒按粒径大小从空气中分离出来。烟气气溶胶传统检测方法在收集气溶胶颗粒的过程中无法避免颗粒间的团聚、凝结、碰撞等现象, 导致烟气气溶胶颗粒大小和分布状态都有相应改变, 从而对测定结果准确性有一定的影响。为改善这一问题, 研究工作者利用特殊薄膜将电子显微镜应用于烟气气溶胶颗粒研究中或者将级联撞击器和离心机应用到烟气气溶胶颗粒的检测中。例如, 张晓凤等^[4]将大气采样器与光学显微镜、CCD 数码相机、光学通道、图像处理系统等组装成一套烟气气溶胶颗粒检测分析系统; 沈光林等^[5]利用电子低压撞击器结合气体混合稀释器及轴向稀释器组建了一套烟气气溶胶检测系统, 可测量粒径 0.007~9.970 μm 的烟气气溶胶颗粒。虽然上述检测系统及装置对烟气气溶胶颗粒的检测结果比较准确, 但是只能提供

粒径大小和浓度的相关信息, 无法给出化学成分的相关信息。

傅里叶变换红外光谱仪的出现使红外光谱的应用范围由化学领域扩展到生物医学领域。目前也有少量红外光谱应用于气溶胶研究的报道。张晶等^[6]应用红外光谱比较香烟整体烟气及气溶胶, 发现 1 230 cm^{-1} 处为酚类化合物 C-O 伸缩振动峰, 1 735 cm^{-1} 处为羧酸中羰基的伸缩振动峰, 烟气中 CO 与 CO₂ 特征吸收峰的强度远远高于其他峰, 而气溶胶中 CO 峰消失且 CO₂ 峰的强度也大大减弱, 提示红外光谱可用于研究香烟烟气的化学变化、组分挥发以及形态聚集等动态变化过程。上述研究表明, 红外光谱是一种研究烟气气溶胶的潜在有力工具。

显微红外光谱是红外光谱与显微镜的结合, 与普通红外光谱相比具有以下优点^[7-8]: ①样品取样少, 检测极限为 10 ng; ②样品制备简单, 测量过程对样品没有损伤, 可以保持样品原有的晶型和形态。因此, 显微红外光谱是研究气溶胶的有力工具^[9]。笔者以显微红外光谱为主要研究工具, 研究烟气气溶胶, 建立一套比较完善的实验方法学, 包括样品前处理方法、红外光谱参数、数据处理及建模等, 并在此基础上对安徽中烟工业有限责任公司主要产品普皖(包括 26 个批次)的烟气气溶胶进行分析, 从而为卷烟配方优化及批次质量判断等提供帮助。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样本与耗材。试验样本由安徽省气溶胶解析调控及生物效应重点实验室提供, 包括不同批次普皖香烟及相

基金项目 安徽中烟工业有限责任公司科技项目(2021308)。

作者简介 王健(1986—), 男, 安徽淮南人, 高级工程师, 博士, 从事卷烟烟气气溶胶研究。* 通信作者, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事卷烟烟丝和烟气气溶胶研究。

收稿日期 2024-01-08

应烟气的溶胶。其他耗材有 BaF₂ 窗片、EP 管(江苏宇力医疗器械有限公司)、一次性医用橡胶检查手套(南京友乐博科学仪器有限公司)、移液器吸头(Biosharp 公司)、无水乙醇(国药集团化学试剂有限公司)、去离子水(实验室制备)等。

1.1.2 仪器与设备。IFS77V 傅里叶变换红外光谱仪(德国 Bruker 公司)、Hyperion 2000 红外显微镜(德国 Bruker 公司)、DZF-6020 真空干燥箱(上海三发科学仪器有限公司)、JP-040ST 超声波清洗机(深圳市洁盟清洗设备有限公司)、SBK-RD-A04 全自动实验室超纯水机(东莞思佰康环保科技有限公司)、KDC-120HR 高速冷冻离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司)、D3024R 高速冷冻离心机(美国赛洛捷公司)、LabServ 移液枪(5~50 μL)(赛默飞世尔科技有限公司)、LabServ 移液枪(100~1 000 μL)(赛默飞世尔科技有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 烟气的溶胶剑桥滤片制备及化学成分测定。不同批次的香烟经全自动转盘式吸烟机(德国伯格瓦特公司)抽吸后(抽吸容量 17.5 mL/s,间隔 58 s),由 92 mm 剑桥滤片捕集,最后由气相色谱仪(安捷伦 7890A,美国)进行分析。吸烟机每个样品每轮 20 支,取 20 支平均值进行分析。其中,烟气的溶胶的一氧化碳量使用吸烟机测定;使用气相色谱仪测定卷烟总粒相物中烟气水分、烟气烟碱量及焦油量。统计

抽吸口数,计算单口焦油量。

1.2.2 显微红外光谱测试条件。将吸附烟气的溶胶的剑桥滤片剪成小块放入 10 mL 烧杯中,并加入 7.5 mL 无水乙醇浸没滤片;烧杯置于超声清洗机中,在功率 240 W、频率 40 kHz 下超声 6 min 后,取上清液并置于-20 ℃下储藏备用;显微红外光谱测试在国家同步辐射实验室红外谱学与显微成像光束线站应用 Bruker 傅立叶变换红外光谱仪结合 Bruker 红外显微镜(型号 Hyperion 2000)开展;测量前取出样品分别滴入 BaF₂ 窗片,自然烘干后进行显微红外光谱检测。红外显微镜参数如下:光谱分辨率 4 cm⁻¹;扫描范围为 4 000~800 cm⁻¹;扫描次数 256 次;狭缝大小为 200 μm×200 μm。每个样品测定 10 次,取平均值进行分析。

1.2.3 红外光谱数据处理。红外光谱图用 OPUS 5.5 软件处理,包括在一定范围剪切后依次进行基线校正与归一化处理;应用 OPUS 5.5 软件标注峰位并比较差异;应用 OPUS 5.5 软件获取峰位置和峰面积,计算峰面积比值;应用 Origin 6.0 软件对上述峰面积比值进行比较分析;应用 Quasar 1.0.1 软件对红外光谱进行主成分分析(PCA)与机器学习;应用 Unscrambler X 10.4 软件对红外光谱进行 PCA,以获得载荷因子图。

2 结果与分析

2.1 烟气的溶胶的烟气检测指标 不同批次新制皖烟的烟气检测指标见表 1。

表 1 不同批次新制皖烟的烟气检测指标
Table 1 Smoke detection indices of different batches of newly-made Anhui cigarettes

样品批次 Sample batches	总粒相物 Total particulate matter mg/支	烟气烟碱量 Nicotine content in smoke mg/支	烟气水分 Moisture content in smoke mg/支	焦油量 Tar amount mg/支	一氧化碳量 Amount of carbon monoxide mg/支	抽吸口数 Puff number Puff	单口焦油量 Tar amount per puff mg/puff
B1	14.78	1.06	2.16	11.56	11.01	7.15	1.62
B2	14.79	1.06	2.27	11.46	11.43	6.95	1.65
B3	14.78	1.08	2.24	11.46	11.13	6.85	1.67
B4	14.26	1.04	2.08	11.14	10.79	6.85	1.63
B5	14.75	1.08	2.22	11.45	11.35	6.75	1.70
B6	15.97	1.18	2.39	12.40	11.98	7.07	1.75
B7	14.96	1.16	2.05	11.75	11.65	6.90	1.70
B8	16.04	1.22	2.46	12.37	11.98	6.89	1.80
B9	14.88	1.13	2.15	11.60	11.18	6.75	1.72
B10	14.97	1.14	2.04	11.79	11.00	6.82	1.73
B11	14.68	1.15	1.93	11.59	10.90	7.22	1.61
B12	15.26	1.19	2.10	11.97	11.17	7.02	1.71
B13	14.23	1.14	1.85	11.24	9.86	7.23	1.55
B14	14.82	1.12	2.12	11.58	11.08	6.87	1.69
H1	15.48	1.15	2.14	12.19	11.86	6.97	1.75
H2	14.63	1.12	1.90	11.61	11.08	6.75	1.72
H3	14.70	1.13	2.02	11.55	11.07	6.70	1.72
H4	15.10	1.16	2.24	11.71	10.92	7.07	1.66
H5	14.75	1.14	1.90	11.70	10.89	6.93	1.69
H6	14.23	1.08	1.92	11.23	10.61	6.65	1.69
H7	14.95	1.09	2.09	11.77	11.38	6.77	1.74
H8	14.28	1.04	2.11	11.12	11.05	6.79	1.64
H9	14.09	1.03	2.04	11.02	11.17	6.77	1.63
H10	15.30	1.13	2.19	11.99	11.52	7.06	1.70
H11	14.09	1.08	2.17	10.84	10.29	6.71	1.62
H12	14.95	1.17	2.12	11.66	10.60	7.03	1.66

在烟气检测数据中,选择烟气烟碱量、烟气水分、焦油量、一氧化碳量进行主成分分析,以 PC1 为横坐标,以 PC2 为纵坐

标,结果发现 H11 和 B13 与其他批次样本距离较远,提示 H11 和 B13 与其他批次样本可能存在差异,如图 1 所示。

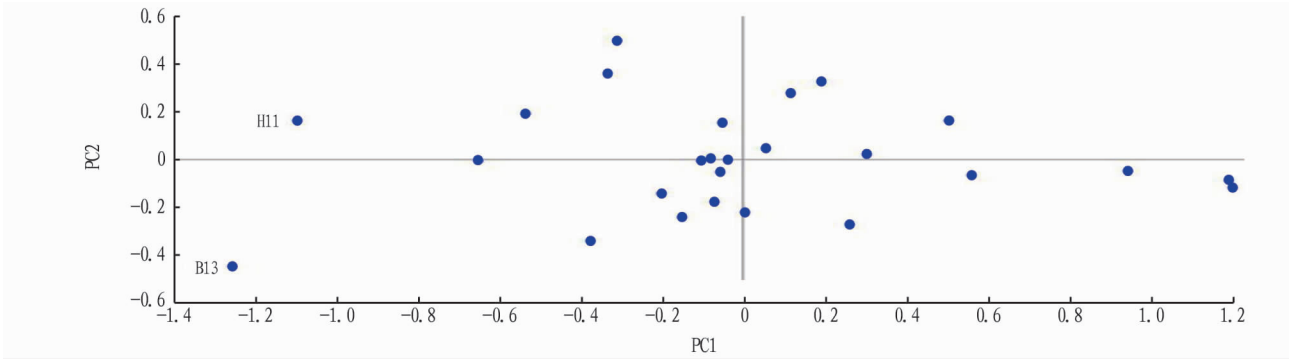


图1 烟气检测指标 PCA 散点图

Fig.1 PCA scatter plot of the smoke's detection indices

2.2 烟气气溶胶乙醇提取物的红外光谱分析 对新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物进行红外光谱分析,主要峰位及其归属见表2。26个系列新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物的红外光谱无明显差异(图2,3)。

表2 新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物的红外光谱主要吸收峰

Table 2 Main absorption peaks of the infrared spectrum of the ethanol extract from the smoke aerosols of the newly-made Anhui cigarettes

序号 No.	波数 Wave number// cm^{-1}	峰位归属 Peak attribution
1	3 324	O—H 伸缩振动峰
2	2 927	C—H 的反对成伸缩振动
3	2 851	CH_2 对称伸缩振动
4	1 732	C=O 伸缩振动
5	1 651	C=C 伸缩振动
6	1 558	N—H 变角振动及苯环骨架
7	1 515	N—H 变角振动及苯环骨架
8	1 455	C—H 弯曲振动
9	1 378	CH_3 弯曲振动
10	1 240	酯基或 O—乙 酰基
11	1 162	C—O 伸缩振动峰
12	1 097	α -吡喃糖的特征峰

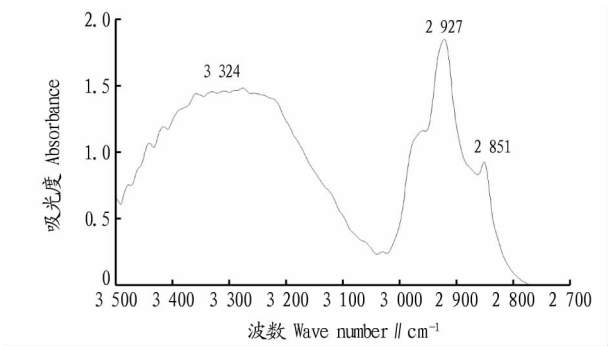


图2 新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物的平均红外光谱(波数 3 500~2 760 cm^{-1})

Fig.2 The average infrared spectra of the ethanol extract from the smoke aerosols of the newly-made Anhui cigarettes (wave number 3 500~2 760 cm^{-1})

2.3 峰面积比值 为了进一步分析不同批次新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物的红外光谱,选定相应峰并计算峰面积比

值,选择的峰面积及相应基线如表3所示。

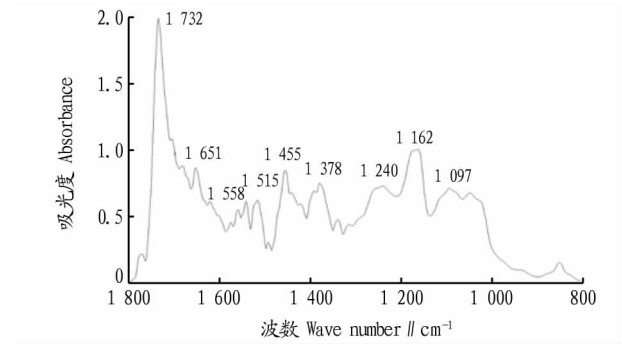


图3 新制皖烟烟气气溶胶乙醇提取物的红外光谱(波数 1 800~800 cm^{-1})

Fig.3 The average infrared spectra of the ethanol extract from the smoke aerosols of the newly-made Anhui cigarettes (wave number 1 800~800 cm^{-1})

表3 选择的峰面积及相应基线

Table 3 The selected peak area and the corresponding baseline

选择的峰面积 Selected peak area	基线波数 Baseline wave number cm^{-1}	选择的峰面积 Selected peak area	基线波数 Baseline wave number cm^{-1}
$A_{3\,324}$	3 500~3 088	$A_{1\,515}$	1 528~1 496
$A_{2\,927}$	2 947~2 880	$A_{1\,455}$	1 469~1 445
$A_{1\,732}$	1 745~1 709	$A_{1\,162}$	1 197~1 148
$A_{1\,651}$	1 662~1 634	$A_{1\,097}$	1 136~1 063
$A_{1\,558}$	1 566~1 553		

分别以峰面积比值为横坐标、纵坐标,建立不同批次新制皖烟的烟气气溶胶区分模型,部分结果见图4。从图4a可以看出,其中B2和B3与其他批次样本距离较远,提示B2和B3新制皖烟烟气气溶胶的成分与其他批次样本存在差异。从图4b可以看出,B2、B3、H6与其他批次样本距离较远,提示B2、B3和H6新制皖烟烟气气溶胶的成分与其他批次样本存在差异。从图4c可以看出,B2、H6与其他批次样本距离较远,提示B2和H6新制皖烟烟气气溶胶的成分与其他批次样本可能存在差异。

2.4 主成分分析 主成分分析(PCA)是考查多个变量相关性的统计方法,研究如何通过少数几个主成分来揭示多个变

量间的内部结构,采用降维的方法从原始变量中提取出少数几个主成分,使它们尽可能保留原始变量的信息且彼此互不相关。因此,PCA 将原来众多具有一定相关性的指标重新组合成一组新的互不相关的综合指标^[10]。应用 PCA 方法分析 1 530~800 cm⁻¹ 范围的红外光谱,以第一主成分(PC1)为横坐

标,以第二主成分(PC2)为纵坐标,绘制 PCA 散点图(图 5)。在 1 530~800 cm⁻¹ 范围内,H7、H11、H12、B1、B13 和 B14 与其他批次样本距离较远,提示 H7、H11、H12、B1、B13 和 B14 与其他批次样本可能存在差异,部分结果与烟气检测指标相一致。

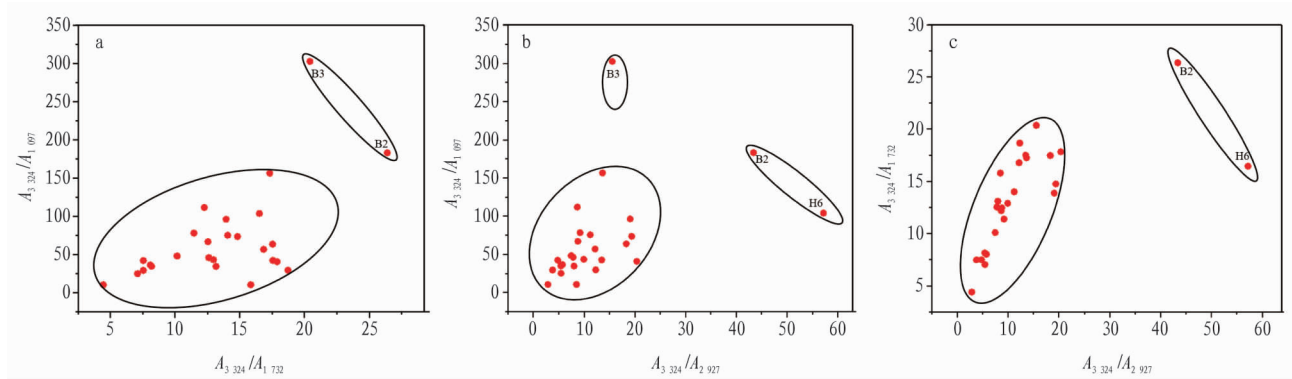


图 4 峰面积比值
Fig.4 Peak area ratio

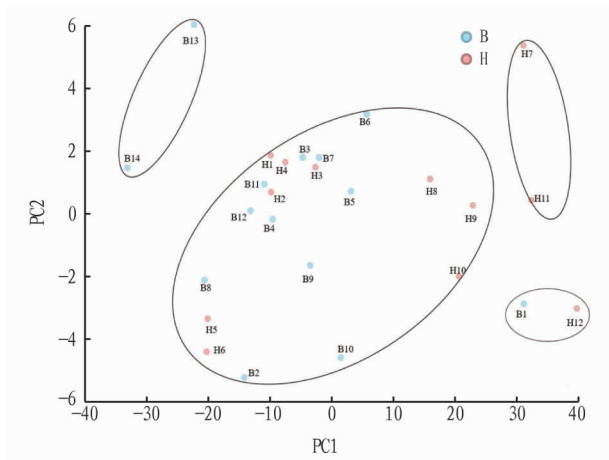


图 5 1 530~800 cm⁻¹ 区域红外光谱 PCA 散点图
Fig.5 PCA scatter plot of the infrared spectrum with the wave number of 1 530~800 cm⁻¹

3 结论

近年来,近红外光谱分析技术被广泛应用于烟草化学成分分析、烟气分析、烟叶分析等方面^[11-12]。然而,近红外光谱有以下缺点:①灵敏度差。一般要求检测的含量大于 1%。②建模难度大。诸多因素会对最终的分析结果产生直接影响,例如选择与制备定量样品、精确的化学分析、基础数据的准确性及合理的计量学方法等。中红外光谱是鉴定化合物及其结构的重要方法,具有扫描速度快、信噪比高、分辨率高与重现性好等优点,目前已经被广泛应用于地质矿物学、石油工业、毒品检验、化合物鉴定与分析、生物医学等领域的研究^[13-17]。然而,关于中红外光谱技术在烟草领域的应用报道较少。该研究通过中红外光谱分析新制皖烟烟气气溶胶,分别用峰面积比值和不同区域红外光谱试验结果进行建模,了解不同系列新制皖烟的差异。气溶胶化学成分复杂,而细微差异可能影响卷烟质量,从而进一步影响品吸效果。此次重点研究烟气烟碱量、烟气水分、焦油量及一氧化碳量。该研

究发现 1 530~800 cm⁻¹ 范围内红外光谱主成分分析与烟气气溶胶烟气指标吻合度较好,而部分红外光谱主要峰位归属有 N-H 变角振动及苯环骨架、C-H 弯曲振动、CH₃ 弯曲振动、酯基或 O-乙酰基及 C-O 伸缩振动峰等。以上结果提示显微红外光谱能敏感地发现同一品牌不同系列烟气气溶胶的差异。峰面积比值代表不同基团的含量比。该研究中以峰面积比值建立的区分模型与烟气指标吻合度稍差,这可能与样本量少有关,后续研究会加大样本量。该研究的创新点是利用中红外光谱研究同一品牌不同系列的卷烟,不同于以往文献中利用近红外光谱区分不同品牌的卷烟。同一品牌卷烟因配方完全一样,不同系列卷烟差异较小,通过显微红外光谱能敏感地发现其中的细小差异,提示显微红外光谱未来可用于卷烟品质的快速鉴定。该研究样本量少,后续将扩大样本量,建立数据库,加入卷烟品吸评价指标,同时使用机器学习,为卷烟的质量提供保证。

参考文献

[1] GIRALT A,ISKANDAR A R,MARTIN F,et al.Comparison of the biological impact of aerosol of e-vapor device with MESH® technology and cigarette smoke on human bronchial and alveolar cultures [J].Toxicol Lett, 2021,337:98-110.

[2] TAYLOR M,SANTOPIETRO S,BAXTER A,et al.In vitro biological assessment of the stability of cigarette smoke aqueous aerosol extracts [J].BMC Res Notes,2020,13(1):1-6.

[3] 李阳阳,张辞海,彭黔荣,等.近红外光谱快速测定卷烟烟气中烟碱·焦油和一氧化碳释放量[J].安徽农业科学,2022,50(17):175-178.

[4] 张晓凤,戴亚,徐铭照,等.卷烟烟气气溶胶颗粒实时观测分析[J].中国烟草学报,2007,13(6):20-23.

[5] 沈光林,孔浩辉,李峰,等.卷烟主流烟气气溶胶分布研究[J].中国烟草学报,2009,15(5):14-19.

[6] 张晶,王良玉,张锡宏.FTIR 技术应用于香烟烟气的分析[J].光谱学与光谱分析,2008,28(4):821-824.

[7] 尾崎幸洋,岡田浩,张祖培.显微红外光谱技术在生物医学方面的应用[J].红外,1992(5):33-36.

[8] ZONG L,LI C,ZHONG Y,et al.FTIR microspectroscopic investigation of Lactobacillus paracasei apoptosis induced by cisplatin [J].Spectrochim Acta A,2021,252:1-6.

标体系。强村公司设立的目的是乡村振兴、共同富裕,有其政策性、社会性和事业性等特征,故而考核指标和体系也不能仅限于经济和产业价值的考虑,还应涉及生态、文化、组织等价值,构成一个完善的价值考核体系,旨在吸引更多类型的人才共襄乡村发展。

4 发展前景

综上所述,强村公司的发展,不仅在于“三农”本身,也在于政府宏观调控与支持,更在于市场机制的推动和科学技术的更迭。

4.1 从数量上看,成为“第三种”企业力量 截至2023年,浙江已成立2 278家强村公司,入股行政村达11 289个,2022年实现总利润达21.7亿元,村年均分配收益15.4万元。尽管近年来疫情对各类经济业态有较大影响,但浙江村级集体经济总收入仍同比增长7.5%,强村公司发挥了重要作用^[2]。随着强村公司数量和质量的逐年提升,强村公司作为农村集体经济的重要经营载体,势必成为继国有经济成分的国有企业、私有经济成分的民营企业之后,以集体经济成为为主的又一大企业类型,成为奔向“共同富裕”之路上的“第三种”企业力量。

4.2 从质量上看,注重“三规”的科学发展 作为“第三种”企业力量,强村公司不再是人们眼中的“小弱微”,而是“精专特”。规范化运行上要“精”、规模化经营上要“专”、规则化机制上要“特”,即以“三规”的标准,要求自身不断蜕变,日益朝着科学、可持续、绿色发展之路,不断探索出一条符合自身的壮大道路。在经营决策、财产权利、市场运行上持续公司化运营,与合作社经济加以区分;在发展绿色农业、生态养殖种植业和新能源产业等,以特色产业为底色,做到“一村一品”;持续探索“抱团取暖”的优良传统,探索联村集团化经营的路子,扩大和巩固共富果实。

4.3 从宏观上看,扩大内需的“市场细胞” 在新发展阶段,内需已经成为驱动国内经济大循环的主要动力。党的二十

大报告提出“把实施扩大内需战略同深化供给侧结构性改革有机结合起来,增强国内大循环内生动力和可靠性”。城乡消费和生活水平差距的城乡融合发展短板,使农村需求潜力得不到有效激发,导致内需驱动的城乡经济循环受到限制。因此,要打破限制,只有不断激发农村需求潜力。而强村公司的出现,旨在激发农村需求潜力,农村要发展,必须将城市消费链引入农村,使城乡在消费需求上形成互通互联,持续缩小城乡消费和生活水平差距,促进城乡融合发展。

4.4 从产业上看,具有“未来元素”的企业 未来产业将集中在人工智能、大数据和云计算、新能源、生物医药和文化等五大展业,而农业农村的发展,离不开这未来五大产业的支撑。强村公司的经营领域主要集中在“农业、健康、文旅”三大未来板块。在不久的将来,人工智能、大数据和云计算以及新能源将作为智慧农业的主要技术支撑;生物制药的原材料种植和加工将作为医疗健康产业链的上游产业;“金山银山”的农文旅将成为乡村生态文明建设的核心命题。这些未来产业元素将成为强村公司不断壮大,打造“强村公司2.0”版本的核心技术组件。

参考文献

- [1] 杜正顺,张惠兰,吴文杰.关于优化强村公司管理模式思考:基于长兴县强村公司管理实践[J].新农村,2022(8):13-14.
- [2] 李庆海,朱海洋.强村“三板斧”:浙江壮大村级集体经济的基层实践[N].农民日报,2023-06-12(001).
- [3] 叶佳裕.临安——一个村的光明之路[N].杭州日报,2023-07-26(09).
- [4] 许国刚.发展强村公司 促进乡村共富[N].仙桃日报,2023-06-21(02).
- [5] 吴玉平.强村应先“强己”:对浙江丽水强村公司发展现状的调研和建议[J].农村经营管理,2023(1):26-28.
- [6] 陈扬波,卢慧苏.关于缙云强村公司的运作与思考[J].新农村,2023(4):10-11.
- [7] 周爱飞,杨晓丽,叶芳,等.山区县域强村公司:从消薄消困到共创共富的重要力量[J].浙江经济,2022(3):56-57.
- [8] 徐德姬.强村公司助力集体“消薄”[J].农村财务会计,2022(3):21-22.
- [9] 吴玉平,龙凤丹.丽水市村级集体经济发展问题研究[J].中国农业会计,2023,33(13):115-117.
- [10] 王通林.“四拳”组合强村富民打造共同富裕示范区建设标志性成果[J].政策瞭望,2022(2):13-14.
- [11] 普拉莫德·库尔卡尼,保罗·A.巴伦,克劳斯·维勒克.气溶胶测量原理、技术及应用[M].白志鹏,韩金保,张灿,等译.北京:化学工业出版社,2020.
- [12] 蒋程,韩冰,吕健刚,等.基于主成分分析算法的医院麻醉药品监控模式探讨[J].中国临床药理学杂志,2015,24(6):367-371.
- [13] 李豪豪,李威,赵世民,等.近红外光谱分析技术在烟草领域的研究进展及应用[J].安徽农业科学,2014,42(29):10318-10321.
- [14] 申钦鹏,张涛,刘春波,等.近红外光谱定量分析技术在烟草和烟气化学成分分析中的研究进展[J].广东农业科学,2015,42(4):77-85.
- [15] HENRY D G, WATSON J S, JOHN C M. Assessing and calibrating the ATR-FTIR approach as a carbonate rock characterization tool[J]. Sediment. Geol., 2017, 347:36-52.
- [16] YANG M X, CAO Z D, ZHANG Y, et al. Deciphering the biodegradation of petroleum hydrocarbons using FTIR spectroscopy: Application to a contaminated site[J]. Water Sci Technol, 2019, 80(7):1315-1325.
- [17] WILLIAMS S F, STOKES R, TANG P L, et al. Detection & identification of hazardous narcotics and new psychoactive substances using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) [J]. Anal Methods, 2023, 15(26):3225-3232.
- [18] 夏朝红,戴奇,房韦,等.几种多糖的红外光谱研究[J].武汉理工大学学报,2007,29(1):45-47.
- [19] 樊海燕,刘江英,陈贵林.红外光谱结合有效成分分析在锁阳多糖提取分离中的应用[J].光谱学与光谱分析,2018,38(S1):75-76.

(上接第157页)