



引用格式:姚二民,周利军,李晓,等.微波膨胀烟梗技术及其应用研究进展[J].轻工学报,2017,32(3):43-50.

中图分类号:TS43 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2017.3.008

文章编号:2096-1553(2017)03-0043-08

微波膨胀烟梗技术及其应用研究进展

Progress of technology and application for microwave expanded tobacco stem

姚二民¹,周利军¹,李晓¹,丁美宙²,景天¹,郑力文¹,江雪彬¹,
王海滨²

YAO Er-min¹,ZHOU Li-jun¹,LI Xiao¹,DING Mei-zhou²,JING Tian¹,
ZHENG Li-wen¹,JIANG Xue-bin¹,WANG Hai-bin²

1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001;

2. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心,河南 郑州 450000

1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. Technology Center, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China

关键词:

微波膨胀;梗丝质量;
卷烟降焦减害

Key words:

microwave expanded;
quality of cut stem;
reducing tar and harm
of tobacco

摘要:烟梗作为烟叶的重要组成部分,具有填充性高、燃烧性好等特点,经微波膨胀处理后,其理化性质、感官品质等有较大改善.基于对微波膨胀烟梗设备、影响因素、加工工艺在卷烟中的应用效果等方面的最新研究成果的综述,指出今后的研究应主要从以下几方面进行:1)优化微波膨胀烟梗关键加工工序工艺参数,建立其与梗丝质量指标的关系模型;2)利用生化与加香技术,提高梗丝感官品质;3)开发微波膨胀烟梗生物质材料方向研究;4)结合卷烟辅助材料,研究微波膨胀烟梗梗丝对卷烟降焦减害的影响;5)研发与工业应用相匹配的烟梗微波膨胀设备.

收稿日期:2016-08-01

基金项目:烟草行业烟草加工形态研究重点实验室资助项目(ZW2014034)

作者简介:姚二民(1961—),男,河南省襄城县人,郑州轻工业学院教授,主要研究方向为烟草工艺.

通信作者:李晓(1967—),女,河南省南阳市人,郑州轻工业学院教授,主要研究方向为烟草工艺.

Abstract: As an important part of tobacco leaf, tobacco stem has high filling value, well combustibility. Its physical and chemical property, sensory quality were improved after expanded by microwave. The paper made an overview of process of tobacco stem microwave expansion equipment influential factors, and application of processing technology in cigarette for microwave expanded stem, pointing out that the future research should be mainly from the following prospects: 1) optimizing the key processing parameters of microwave expanded stem and building models between parameters and quality index of cut stem; 2) using biochemical and flavoring technology to improve the sensory quality of cut stem; 3) developing the study of biomass material for microwave expanded stem; 4) combining with cigarette auxiliary materials, comprehensively analysing the effect of cut stem on reducing tar and harm of cigarette; 5) research and development and industrial applications to match the tobacco stem microwave expansion equipment.

0 引言

微波具有加热效率高、加热内容可选、加热过程易控等特点,目前被广泛应用于纸张、木材等的干燥,以及医学和食品工业中的杀菌等^[1-3].微波技术在烟草行业主要应用于烟草化学成分分析^[4-7]、烟草安全性处理^[8-9]、梗丝膨胀、烟草薄片加工、烟丝膨胀^[10-13]、防霉杀虫^[14-15]等方面.用微波处理烟梗的工艺最早由美国的 Z. B. Roger^[16]于1968年提出,并获得美国专利,但该工艺在微波处理过程中发生的焦糊难以控制.烟梗经微波膨胀处理后其理化性质、感官品质等有较大改变.本文对微波膨胀烟梗设备、影响因素、加工工艺、在卷烟中的应用等方面的研究进展进行综述,以期为提高烟梗利用率和梗丝加工质量提供理论依据.

1 微波膨胀烟梗的设备

目前,烟梗膨胀技术主要有两种,即汽爆技术和微波技术,前者对设备条件要求较高,而后者可以在极短时间内提高物料温度,在相同温度下加快反应速度,因而可以缩短加热时间,加快升温速度,有利于烟梗的膨胀.

2004年,冯春堂等^[17]设计了一种多波源多馈口微波膨胀烟梗装置,包括微波磁控管、驱动电源、加热箱体、进出料口上的抑制段等,该装置加热速度快,膨胀效果较好.2006年,汤马

斯·亨利·怀特^[18]利用高温蒸汽和文氏管的原理使烟梗膨胀,所制备的梗丝有较高的填充值.2011年,梁贵安等^[19]在研究84 kW微波烟梗膨胀生产试验装置控制系统时,采用微波对烟梗进行膨胀处理并进行了工业化试验.2012年,许琨敏等^[20]发明了一种滚筒式烟梗连续微波膨胀设备,但是该设备不能有效控制膨胀后烟梗中的水分,功率密度低且不均匀,膨胀效果差.

现有的微波膨胀设备波源比较单一、过程控制能力较差,影响烟梗的膨胀效果和后续加工质量,其改进方向应该是:在满足烟梗膨胀效果的同时,保证烟梗膨胀的均匀性.

2 微波膨胀烟梗的影响因素

烟梗经微波处理后,其理化性质发生较大变化,而膨胀率作为其膨胀特性的具体体现受许多因素的影响.

2.1 微波参数

高锐等^[21]研究微波膨胀对烟梗品质的改善作用,确定了烟梗微波膨胀的最佳条件:膨胀时间45 s,烟梗含水率20%,微波功率630 W.陈晶铃等^[22]通过对烟梗进行微波膨胀,确定了烟梗微波膨化的影响因素.结果表明,膨化效果最佳条件为烟梗含水率18%~21%,膨化时间约70~80 s,膨化烟梗无碳化现象.W. H. Zi等^[23]采用响应面法,优化微波膨胀烟梗制备生

物质材料. 结果表明:响应面法适合表征膨胀率与自变量之间的关系;优化参数为蒸汽压 0.35 MPa,微波功率 6 kW,搅拌频率 15 Hz,最大膨胀率 261.12%,所建模型相对误差为 3.45%. 李晓等^[24]研究了微波膨胀功率对烟梗质量的影响,对比分析了烟梗膨胀率、化学成分和微观结构的差异. 结果表明,当微波功率为 30~33 kW 时,膨胀烟梗综合质量较好.

2.2 烟梗原料

资文华等^[25]对云南典型烟区主栽品种烟的烟梗原料进行了微波膨胀特性测试,探讨了烟梗原料的膨胀特性差异. 结果表明,烟梗膨胀特性,在不同产地、品种、部位间表现出不同规律. 杨威等^[26]分析了微波膨胀处理对 3 个烤烟品种(K326,云烟 87,红大)烟梗化学成分、主要致香成分含量和显微结构的影响. 结果表明:微波处理使不同品种烟梗中的细胞壁物质、全纤维素、总糖、还原糖含量降低,主要致香成分含量增加,微观变化明显. 廖晓祥等^[27]研究了不同来源烟梗原料经相同微波膨胀工艺处理后的品质差异. 结果表明:不同产地烟梗经过微波膨胀所制得的梗丝常规化学成分、致香成分、主流烟气存在差异;不同年份烟梗经过微波膨胀所制得的梗丝,其感官品质差异不明显;不同产地、品种、部位烟梗所制得的样品其感官品质存在差异.

2.3 微波介质

烟梗具有致密的孔隙结构和完整的纤维气室,其强度和韧性均较高且含有极性水分子,具有强烈吸收微波的介电特性. 因此,可以通过高压和高热等技术对烟梗进行膨胀,进而获得膨胀率较高的烟梗.

周川等^[28-30]分别使用微波低损耗固体介质颗粒和气体作为热媒,制得膨胀烟梗产品. 马铁兵等^[31-32]设计了一种使用饱和蒸汽或过热蒸汽连续进行烟梗膨胀处理的设备,通过在线

膨胀设备于切丝前预先处理烟梗,避免了对筛分的短梗进行再切,减少了工序环节. 李军等^[33]将烟梗分别在氮气和空气中进行微波膨胀,对制得颗粒的质量进行了对比分析. 结果表明:两种处理方式对所制样品理化性质的影响不大,但对其挥发性致香成分的影响较大,氮气环境下所制得样品的绝大部分,挥发性致香成分含量和感官品质均高于空气环境.

2.4 制梗丝前处理条件

一般情况下,在烟梗膨胀之前需先对其进行回潮处理,使烟梗获得必要的水分以保持烟梗良好的均匀性和柔性,这直接关系着膨胀烟梗的质量. 卓卫民^[34]先对烟梗洗梗或浸梗,利用微波加热使烟梗外部的表面明水完全进入烟梗内部,然后将烟梗送入储梗设备储存. 赵云川等^[35]提出,通过原料准备、定量喂料、烟梗增温后再进行微波膨胀,能够满足专业化、大型化和连续化的微波膨胀烟梗加工需求. 满鸣等^[36]先将烟梗进行分级,再浸渍回潮,在真空条件下微波加热膨胀烟梗,并进一步在真空条件下采用两种以上连续的不同微波输出功率进行微波加热膨胀. 赵云川等^[37]首先将烟梗进行微波膨胀,然后采用风分设备剔除膨胀率较低、密度较高的烟梗,提高了梗丝填充值和密度均匀性,降低了卷烟烟气焦油释放量的批内波动,卷烟燃烧性较好.

2.5 陈化条件

对于微波膨胀烟梗,必须储存一段时间,使膨胀的组织结构达到稳定状态,再经人工补水回潮后,才能满足后续卷烟工艺需要. 然而,膨胀烟梗在储存过程中受外界环境的影响易导致膨胀效果变差,进而影响烟梗后续加工中的关键物理特性. 小川高志等^[38-39]在研究烟丝膨胀的过程中发现:膨胀烟丝在自然条件下陈化回潮 7 d 后填充值较高. 武怡等^[40]也提到膨胀烟梗冷却至 ≤ 25 °C 后,置于阴凉、通风的环境中

贮存1—3个月后,才能进行回潮后续加工.李军等^[41]研究了陈化时间对微波膨胀烟梗关键物理特性的影响.结果表明:随陈化时间的增加,膨胀烟梗体积呈现先降低,7 d后趋于稳定的趋势,陈化时间对其成品颗粒的填充值具有一定的影响,而对成品得率的变化影响较小.之后,李军等^[42]利用高压脉冲电场和将微波膨胀烟梗处理后分别陈化不同时间的方法,探讨了高压脉冲电场和陈化时间对微波膨胀烟梗萎缩的影响.结果表明:经高压脉冲电场处理的样品陈化8 d后,其含水率和萎缩率基本稳定.

从以上研究可以看出,微波处理后,膨胀烟梗的物理性质、显微结构、化学成分、感官品质均得到一定的改变和提升.但不同烟梗原料微波膨胀的系统性研究较为缺乏,而建立和完善不同原料的微波膨胀体系,将有助于提高烟梗的利用率.

3 微波膨胀烟梗加工工艺

微波膨胀烟梗的加工工艺主要是造粒和制丝.

3.1 造粒工艺

烟梗膨胀造粒技术是近年来在国外出现的烟草加工新技术,指的是以烟梗、细梗、梗签、梗块为原料,经膨胀、回潮、造粒、定型等一系列工艺处理后,最终形成不规则颗粒状烟梗材料的技术.对于微波膨胀烟梗,多将其加工制备成颗粒状或丝状,其加工方式和过程对其质量有一定影响.

资文华等^[43]研究了不同造粒方式对烟梗颗粒产品质量的影响.结果表明:不同造粒方式对生产过程的物料损耗率、生产能力、耗电量、合格颗粒得率和成品填充值的影响较大,但对产品的内在感官品质影响较小,且锤片式造粒方式较好.此外,正交试验结果表明,物料含水率16%左右、造粒次数2—3次比较合理^[44].杨

涛等^[45]采用3种不同工艺制备膨胀梗粒,结果表明:膨胀后烟梗结构中的片状、层状结构消失,长度变化不显著,宽度和厚度显著增加;总糖、还原糖含量明显减少,烟碱、总氮、氯和钾含量没有显著变化;部分挥发性成分(主要为呋喃类)的相对含量有显著变化.

3.2 制丝工艺

何炬等^[46]比较了采用微波膨胀烟梗方法制成的梗丝与常规方法制成的梗丝之间的差异.结果表明:微波膨胀烟梗方法可以改善吸味品质,增加烟香,与李涛等^[47-48]研究结论相似;此外,还可以提高填充值和成丝率,对协调叶组配方有明显效果.邹泉等^[49]通过均匀试验设计分析了二次切丝工艺参数对梗丝质量的影响.结果表明:整丝率、填充值与切片厚度、切丝宽度极显著正相关,碎丝率与切片厚度、切丝宽度为极显著负相关;切片厚度0.75~0.85 mm,切丝宽度0.30~0.35 mm时,微波膨胀梗丝的综合品质最优.董高峰等^[50]以某品牌卷烟的烟梗配方模块为对象,对微波膨胀烟梗制丝工艺的7种关键工艺进行均匀试验设计,建立了微波膨胀烟梗工艺参数的BP神经网络模型,对3个部位模块的工艺参数进行仿真、优化,最终挑选出不同部位烟梗的最佳工艺参数组合和不同部位烟梗的混配比例.邹泉等^[51-52]为提高微波膨胀烟梗所制梗丝的品质和纯净度,在切片与切丝之间设置风选工序,先将不合格样品分离出来,再进行切片,既降低了膨胀烟梗被切成梗片的消耗,又避免了剔除梗片设备的设置,且最终获得的膨胀梗丝纯净度较高.

由此可知,采用微波膨胀烟梗方法制成的梗丝与常规方法制成的梗丝相比,致香成分增加,吸味得到改善.但对于制丝关键加工工序的工艺参数和设备研究较少,且与主要工艺品质指标之间相关性分析的研究需要加强.

4 微波膨胀烟梗在卷烟中的应用

目前烟梗加工后应用于卷烟配方主要有3种方法,即传统的高温高湿形成丝状片状的材料^[53]、ESS梗屑膨胀技术^[54-55]、叶丝微波膨胀与干燥技术^[56]。3种方法制备的梗丝与颗粒均具有较高的填充性,但前两者的后续耐加工性和对烟梗固有杂气的去除效果不甚理想^[57-59]。近年来,卷烟企业为降低烟丝消耗和烟气焦油量,膨胀梗丝在卷烟配方中掺兑的占比越来越高。但由于膨胀梗丝存在颜色发白、燃吸时香气淡薄和杂气木质气较重、刺激性较大等缺陷,在一定程度上限制了其在卷烟中的用量^[60]。王慧等^[61]将微波膨胀烟梗制备成颗粒添加到卷烟中,顺利通过卷烟生产线。只是,随着颗粒在其中占比的增加,卷烟质量呈下降趋势:百支卷烟糖碱比和氮碱比逐渐升高,烟气化学成分含量降低。当其占比为6%~15%时,卷烟感官品质、吸食风格无明显变化;当其占比达20%时,感官品质和吸食风格均有一定变化。尧珍玉等^[62]将膨胀烟梗颗粒添加到卷烟滤嘴中,降低了卷烟焦油和卷烟主流烟气中的苯并[a]芘含量,提升了卷烟香气浓度,减少了刺激性。金哲等^[63]采用均匀设计研究不同梗丝、不同掺配比例对卷烟质量的影响,结果表明:适当增加颗粒状梗丝和丝状梗丝以替代片状梗丝,可在一定程度上提高卷烟综合品质。赵莉等^[64]采用蒸汽-微波协同膨胀技术制备复合膨胀烟梗,掺配不同量的梗丝进行感官评吸,结果表明:杂气较轻、干净程度和回味较好,当掺配比例为15%时感官评价最好。丁美宙等^[65]对微波膨胀条状梗丝的理化性质进行了检测分析。结果表明:随着微波膨胀条状梗丝掺配比例的增大,卷烟的单支质量降低,其他物理指标增加;卷烟烟气成分减小;烟支自由燃烧特性改善。相同掺配比例梗丝与对照样(掺配传统梗丝)相比,掺配

微波膨胀条状梗丝的烟支物理质量稍差,吸阻标准偏差较大;烟支抽吸口数较少,烟气成分含量均较低;烟支自由燃烧速率较快,热塌陷值较小,包灰性能较好;可显著改善卷烟口感特性。

由此可以看出,由掺配微波膨胀烟梗制得的梗丝,卷烟的安全性得到提高,但仅限于在中低档卷烟中的应用,如何在保证卷烟综合品质不变或者提高的前提下,增加梗丝在中高档卷烟中的掺配比例,将是今后的研究方向之一。

5 结论与展望

近年来,对于微波膨胀烟梗的研究多集中于制备工艺和膨胀特性方面,关于微波膨胀烟梗加工工艺和在卷烟中的应用方面的研究较少。因此,对于微波膨胀烟梗,今后的研究主要应从以下几个方面进行。

1)微波膨胀烟梗关键加工工序的系统性研究。分析各工序工艺参数对微波膨胀烟梗制得梗丝的外观、理化性质、微观结构等综合质量的影响,建立相关工艺参数与质量指标的关系模型,确定适宜的微波膨胀烟梗加工工艺参数。

2)微波膨胀烟梗制得梗丝的感官品质研究。通过生化处理和加香技术,提高梗丝的感官品质。

3)微波膨胀烟梗综合应用研究。可将其作为制备生物质的材料,经物理方法或生化方法提取有用物质,提高微波膨胀烟梗的利用价值。

4)同其他卷烟辅助材料结合,研究在卷烟应用中微波膨胀烟梗制得梗丝对卷烟理化性质、有害成分的影响,为卷烟减害降焦提供理论依据。

5)完善自身技术方法,研发生产与工业应用化相匹配的烟梗微波膨胀设备,满足生产需要。

总之,随着科技进步和研究的深入,微波膨胀烟梗技术将不断发展和完善。通过对微波膨

胀烟梗技术的深入研究,不仅可以提高烟梗利用率和梗丝加工品质,节约成本,缓解原料对高档卷烟品牌发展的制约,对卷烟减害降焦等也具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] LINT M, DURANCE T D, SCAMAN C H. Characterization of vacuum microwave, air and freeze-dried carrots [J]. Food Research International, 1998, 31(2):111.
- [2] DECAREAU R U. The microwave sterilization process [J]. Microwave World, 1994, 15(2):12.
- [3] PATERSON J L, CRAMSTON O M, LOH W H. Extending the storage life of chilling beef: microwave processing [J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1995, 30(2):97.
- [4] DAMM M, HOLZER M, RADSPIELER G, et al. Microwave-assisted high-throughput acid hydrolysis in silicon carbide microtiter platforms—A rapid and low volume sample preparation technique for total amino acid analysis in proteins and peptides [J]. Journal of Chromatography A, 2010(50):7826.
- [5] PENA T, PENSADO L, CASAIS C, et al. Optimization of a microwave-assisted extraction method for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons from fish samples [J]. Journal of Chromatography A, 2006(2):163.
- [6] SERBAN M, REYNOLDS R J. Analysis of protein amino acids in tobacco using microwave digestion of plant material [J]. Beitrage Zur Tabakforschung International, 2005, 21(8):451.
- [7] VANSUYT G, SOUCHE G, STRACZEK A, et al. Flux of protons released by wild type and ferritin over-expressor tobacco plants: effect of phosphorus and iron nutrition [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2003, 41(1):27.
- [8] WILLIAMS J R. Method of treating tobacco to reduce nitrosamine content and products produced thereby: US6311695 [P]. 2001-11-06.
- [9] WILLIAMS J R. Method of treating tobacco to reduce nitrosamine content and products produced thereby: US6338348 [P]. 2002-01-15.
- [10] NEWMAN C L, BEST F W. Tobacco expansion process utilizing microwave energy: US3828797 [P]. 1974-08-13.
- [11] 成清校, 任宏杰. 微波膨胀烟丝的微观形貌与理化指标 [J]. 机电产品开发与创新, 2015(1):111.
- [12] NEUMANN C L. Tobacco expansion process utilizing microwave energy: US3828797 [P]. 1974-08-13.
- [13] LASZLO T. Microwave expansion of tobacco: US3842846 [P]. 1974-10-22.
- [14] WALDEMAR W, REINHARD L. Method and apparatus for making tobacco shreds: US4799501 [P]. 1989-01-24.
- [15] LASCH M, HACKMACK, K, HOHM R, et al. Method of and apparatus for manipulating bales of condensed tobacco particles: US5139035 [P]. 1992-08-18.
- [16] ROGER Z De La B. Method of preventing the shrinkage of puffed tobacco and product obtained thereby: US3409027 [P]. 1968-11-05.
- [17] 冯春堂, 王佑铭, 施荣东, 等. 多波源多馈口微波膨胀烟梗装置: 2607033Y [P]. 2004-03-24.
- [18] 汤马斯·亨利·怀特. 一种制备烟梗膨胀的方法及所采用的设备: 1748586 [P]. 2006-03-22.

- [19] 梁贵安,彭金辉,苏四清,等. 84 kW 微波烟梗膨胀生产试验装置控制系统研究[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版),2011(8):110.
- [20] 许琨敏,彭金辉,苏四清,等. 一种滚筒式烟梗连续微波膨胀设备:102326858A[P]. 2012-01-25.
- [21] 高锐,黄志强,王松峰,等. 烟梗微波膨胀条件优化及其对烟梗化学成分和物理结构的影响[J]. 河南农业科学,2013,42(11):50.
- [22] 陈晶铃,陈明功,汪晓艳,等. 烟梗微波膨化基本规律的研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2008,28(3):61.
- [23] ZI W H, PENG J H, ZHANG X L, et al. Optimization of waste tobacco stem expansion by microwave radiation for biomass material using response surface methodology[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2013, 44(4):678.
- [24] 李晓,景天,姚二民,等. 微波膨胀功率对烟梗质量的研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):141.
- [25] 资文华,龙海明,陈琳,等. 云南典型烟区烟梗原料的微波膨胀特性差异[J]. 烟草科技,2013(7):8.
- [26] 杨威,张强,董高强. 微波膨胀对烟梗品质及显微结构的影响[J]. 江西农业科学,2014,6(3):69.
- [27] 廖晓祥,赵云川,陈冉,等. 不同微波膨胀烟梗的化学感官特性研究[J]. 化学研究与应用,2015,27(3):292.
- [28] 周川,刘朝辉,刘毅,等. 烟梗的预处理工艺:1518906A[P]. 2004-08-11.
- [29] 周川,刘朝辉,刘毅,等. 一种采用气体热煤的微波膨胀烟梗的方法:102613687A[P]. 2012-08-01.
- [30] 李军,徐济仓,杨伟祖,等. 一种烟梗预处理的方法及设备:101214086[P]. 2008-07-09.
- [31] 马铁兵,杜爱祥. 烟梗在线膨胀设备及使用该设备的烟梗处理方法:1973699A[P]. 2007-06-06.
- [32] 马铁兵,王永金,陈良元,等. 以低压蒸汽为介质的烟梗膨胀方法和设备:101773290A[P]. 2010-07-14.
- [33] 李军,李吉昌,资文华,等. 工艺环境介质氛围对微波膨胀烟梗及制品品质的影响研究[J]. 中国烟草学报,2010,16(3):28.
- [34] 卓卫民. 一种烟梗的回潮方法及生产线:200610041231[P]. 2007-02-21.
- [35] 赵云川,牟定荣,王毅,等. 一种微波膨胀烟梗的处理方法:102726826A[P]. 2010-10-20.
- [36] 满鸣,何常青,杨继志,等. 一种烟梗膨胀的方法:101862023[P]. 2012-10-17.
- [37] 赵云川,邹泉,牟定荣,等. 一种去除微波膨胀烟梗中高密度烟梗的方法及设备:103230091A[P]. 2013-08-07.
- [38] 小川高志,佐久间雅,仲村正已,等. 膨胀烟草的方法:1061896A[P]:1992-06-17.
- [39] 邱纪青,傅淑英. 国内外烟草膨胀技术与设备研究进展[J]. 烟草科技,1999(6):13.
- [40] 武怡,曾晓鹰,者为,等. 一种新型卷烟滤嘴用过滤材料及其制备方法:101103845A[P]. 2008-01-16.
- [41] 李军,资文华,宋莲英,等. 陈化时间对微波膨胀烟梗加工过程物理特性的影响[J]. 烟草科技,2010(11):15.
- [42] 李军,陈婉,资文华,等. 高压脉冲电场处理对微波膨胀烟梗萎缩的影响[J]. 中国烟草学报,2011,17(1):45.
- [43] 资文华,刘坚,王保兴,等. 不同造粒方式对梗颗粒产品质量的影响[J]. 中国烟草学报,2011,17(3):23.
- [44] 资文华,刘坚,李军,等. 造粒方式及物料含水率对烟梗颗粒质量的影响[J]. 烟草科技,2011(5):11.
- [45] 杨涛,李敏,李姗姗,等. 微波膨胀过程中烟梗

- 及其制备的颗粒的物理化学变化[J]. 烟草科技, 2008(2):33.
- [46] 何炬, 刘维涓, 师建全, 等. 微波膨胀烟梗质量研究[J]. 烟草科技, 2006(2):9.
- [47] 李涛, 杨伟祖, 许琨敏, 等. 烟梗梗丝加工方法: 201110132050. 1 [P]. 2011-09-14.
- [48] 李红武, 张强, 孙力, 等. 微波膨胀对烟梗致香物质的影响分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(24):207.
- [49] 邹泉, 廖晓祥, 赵云川, 等. 微波膨胀烟梗二次切丝工艺参数研究[J]. 烟草科技, 2015(11):59.
- [50] 董高峰, 殷沛沛, 和智君, 等. 微波膨胀梗制丝关键工艺参数的优化[J]. 中国农学通报, 2014(30):302.
- [51] 邹泉, 赵云川, 牟定荣, 等. 提高微波膨胀烟梗所制梗丝质量和得率的方法及设备: 103315380A [P]. 2013-09-25.
- [52] 王毅, 邹泉, 赵云川, 等. 一种提高微波膨胀所制梗丝纯净度的方法及设备: 103238923A [P]. 2013-08-14.
- [53] 李晓, 纪晓楠, 姚二民, 等. 不同地区烟梗吸湿性能对加工分组的影响[J]. 烟草科技, 2014(6):5.
- [54] 薄云川, 岳田利, 毛多斌, 等. 粒状梗丝膨胀的应用技术研究[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(12):200.
- [55] 易文波, 朱效群, 吴文强, 等. 颗粒状梗丝在卷烟中的可用性[J]. 烟草科技, 2008(2):13.
- [56] 孔臻, 席年生, 刘朝贤, 等. 微波法叶丝干燥研究[J]. 烟草科技, 2003(11):14.
- [57] 邱纪青, 傅淑英, 郑新章, 等. 国内外烟草膨胀技术与设备研究进展[J]. 烟草科技, 1999(6):3.
- [58] 陈良元. 卷烟生产工艺技术[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2002.
- [59] 蒋德友, 孙志勇, 陈章玉, 等. 高温高湿法梗丝膨胀技术综述[J]. 烟草科学研究, 2005(2):38.
- [60] 陈良元, 王鹏, 杨清. 制梗丝加料位点试验[J]. 烟草科技, 2003(3):9.
- [61] 王慧, 曾晓鹰, 杨涛, 等. 微波膨胀烟梗制粒颗粒应用于卷烟的效果评价[J]. 烟草科技, 2008(10):5.
- [62] 尧珍玉, 马涛, 温东奇, 等. 微波膨胀烟梗颗粒在卷烟滤嘴中的应用[J]. 应用化工, 2010, 39(9):1432.
- [63] 金哲, 朴永革, 黄树, 等. 3种梗丝不同掺配比例对卷烟质量的影响[J]. 烟草科技, 2012(12):5.
- [64] 赵莉, 车靖, 王海滨. 复合膨胀烟梗及其制备的梗丝在卷烟中的应用[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(30):10640.
- [65] 丁美宙, 熊安言, 王海滨, 等. 微波膨胀条状梗丝应用效果评价[J]. 烟草科技, 2015(2):79.