

蒸汽—微波协同膨胀设备研发与应用评价

R & D and application evaluation of tobacco steamer microwave synergistic expansion equipment

彭桂新¹ 李春光¹ 宋伟民¹ 车靖²

PENG Gui-xin¹ LI Chun-guang¹ SONG Wei-min¹ CHE Jing²

刘强¹ 张俊岭¹ 刘欢¹ 王海滨¹

LIU Qiang¹ ZHANG Jun-ling¹ LIU Huan¹ WANG Hai-bin¹

(1. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000; 2. 广东省金叶科技开发有限公司, 广东 汕头 515100)

(1. Technology Ceter, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China;
2. Guangdong Golden Leaf Technology Development Co., Ltd., Shantou, Guangdong 515100, China)

摘要:针对现有烟梗微波膨胀设备存在的缺陷和不足,研发了蒸汽—微波协同膨胀设备。该设备主要由物料传输系统、微波系统、蒸汽循环系统和加热腔体组成,采用蒸汽和微波复合加热能源,降低了获得高膨胀度所需的微波功率,既充分发挥了微波膨胀的质量优势,又有效防止了微波打火现象发生。与纯微波膨胀设备相比,烟梗膨胀度平均提高 57.8%,有效膨胀率平均提高 4.06%;制得梗丝的填充值平均提高 0.46 cm³/g,整丝率平均提高 2.03%,碎丝率平均降低 0.95%,感官质量明显提升。

关键词:烟梗;微波膨胀;蒸汽—微波协同膨胀

Abstract: Aiming at the defects and shortcomings of the present microwave expansion device for tobacco stem, we developed a steam microwave synergistic expansion equipment. The equipment was mainly composed of material transferring system, microwave system, steam circulation system and heating chamber, using steam and microwave as compound heating energy, and resulted in reducing the microwave power and obtaining high expansion degree. That gave full played to the quality advantages of microwave expansion, and effectively prevented the occurrence of microwave ignition phenomenon. Compared with pure microwave expansion equipment, the expansion degree for tobacco stem had an average increase of 57.8%; the effective expansion rate had an average increase of

4.06%; the full value for obtained stem wire had an average increase of 0.46 cm³/g; the whole wire rate had an average increase of 2.03% and broken silk rate had an average decrease of 0.95%. Sensory quality got a significant improvement.

Keywords: tobacco stems; microwave expansion; steam microwave synergistic expansion

在烟草加工方面,微波技术早期主要应用于梗丝干燥^[1]、烟丝膨胀^[2-5]及防霉杀虫^[6-7],用于烟梗处理的工艺提出较早^[8],但研究应用较晚,且用于研究的微波设备多是自制试验装置^[9-11],缺乏成熟设备。近几年,微波处理烟梗技术日趋成熟^[12],烟梗经微波膨胀处理后采用传统压切处理可以提高梗丝填充能力和成丝率^[13],采用新型复切工艺处理可以制得丝状形态梗丝^[14-15]。目前,生产应用的烟梗微波膨胀设备主要有纯微波^[16]和介质(石英砂)微波^[17]2种,均具有加热快速均匀、膨胀度高和感官质量好的优势,但在获得高膨胀度需要的高能量条件下会出现高频击穿、打火、烟梗焦糊等问题。因此,研发一蒸汽微波协同膨胀设备,可以充分发挥微波膨胀和蒸汽膨胀提高感官质量的优势^[18],同时解决现有微波膨胀设备存在的安全隐患和质量问题,为进一步提高烟梗膨胀质量和梗丝加工质量提供技术和设备。

1 设备研发与工业样机研制

1.1 设备结构与创新点

该蒸汽—微波协同膨胀系统主要由物料传输系统、微波系统、蒸汽循环系统和加热腔体组成(图 1)。各系统设计和选型分别为:

(1) 物料传输系统采用 6 轮系结构(图 2),包括皮带、主

基金项目:中国烟草总公司细支卷烟升级创新重大专项项目(编号:110201501013);烟草行业烟草加工形态研究重点实验室资助项目(编号:YN2016002)

作者简介:彭桂新,男,河南中烟工业有限责任公司技术中心高级工程师,研究生。

通信作者:刘强(1981—),男,河南中烟工业有限责任公司技术中心高级工程师,本科。E-mail:xyhailang@163.com

收稿日期:2018-07-06

动轮、从动轮和支撑架组成。其中皮带选用聚四氟乙烯玻璃纤维网带,该皮带在微波作用下耐高温^[19]、损耗低、抗拉强度高、无弹性变形及摩擦系数小;主动轮选用包胶轮,摩擦系数小;腔体内皮带支撑架选用低耗高纯度的陶瓷,腔体外皮带支撑架及从动轮都选用不锈钢材质。

(2) 微波系统主要由微波发生器、波源控制器和微波传输线3部分组成(图3)。其中微波发生器由波源控制器、高压电流、阴极电流、电磁体及电源、磁控管和激励腔体构成(图4),功能是将电能转换成微波能;波源控制器通过控制高压电源、阴极电源、电磁体及磁控管实现微波功率的实时调节;微波传输线包括激励腔、环形器、水负载、电动调配器波导和馈能天线,传输微波并保护微波发生系统。

(3) 蒸汽循环系统主要由蒸汽加热器、循环风机、排气风机和混合罐组成。其中蒸汽加热器选用电加热器,蒸汽加热温度可调可控;循环风机和排气风机选用高压高温风机,满足过热蒸汽的输送需求。

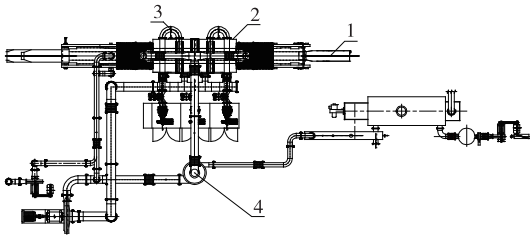


图1 蒸汽—微波协同膨胀设备系统图

Figure 1 The system diagram for steam microwave synergistic expansion equipment

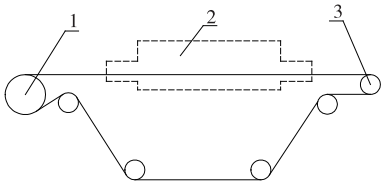


图2 物料传送系统结构示意图

Figure 2 The schematic diagram for material transferring system

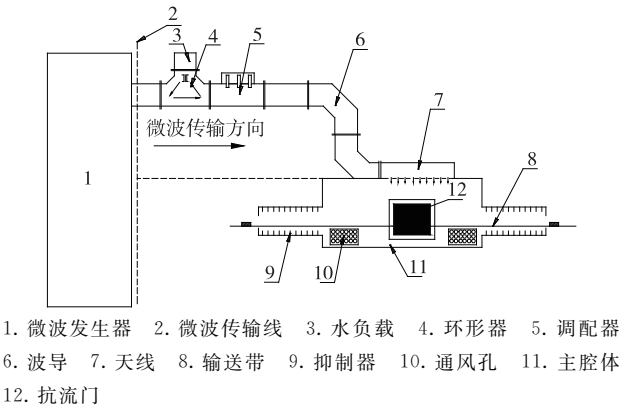


图3 微波系统结构示意图

Figure 3 The schematic diagram for microwave system

(4) 加热腔体主要由主腔体、抑制器和抗流观察门构成。其中主腔体采用内外腔形式(图5),能够使微波和过热蒸汽互不干扰、共同作用;微波漏能抑制器采用阵列式销钉抗流密封结构、上下双层密封(图6),既保证烟梗输送流畅,又保证微波泄漏符合国家标准;抗流观察门采用中空框式结构(图7),中间为双层屏蔽铜网及有机玻璃面板,四周框为阻抗变化抗流槽,门沿采用铜封条压紧加热腔,使加热腔完全密封。

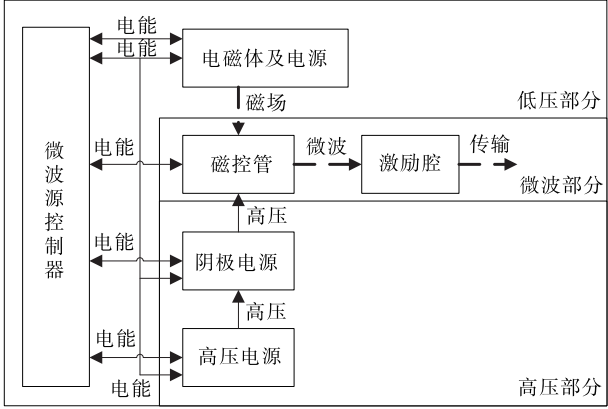


图4 微波发生器构成示意图

Figure 4 The schematic diagram for microwave generator

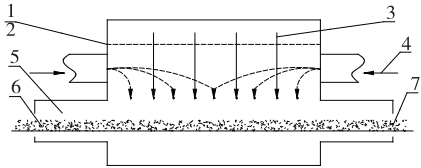


图5 加热腔体结构示意图

Figure 5 The schematic diagram for heating chamber

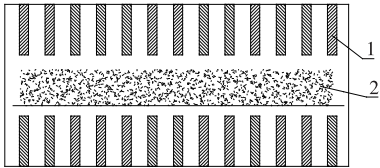


图6 微波漏能抑制器结构示意图

Figure 6 The schematic diagram for microwave leakage suppressors

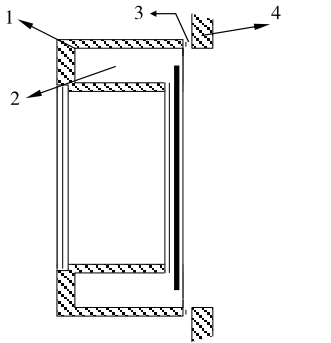


图7 抗流观察门结构示意图

Figure 7 The schematic diagram for anti-flow observation door

设备创新点:① 采用蒸汽和微波复合加热源,降低了获得高膨胀度所需的微波功率密度,解决了微波放电打火问题;② 加热腔体采用内外腔结构,能够使微波和过热蒸汽互不干扰、共同发挥作用;③ 进出料采用阵列式销钉抗流密封结构、上下双层密封,既保证了烟梗输送流畅,又有效降低了微波泄漏;④ 采用中空框式的观察门,密封性能良好,又利于检修和随时观察运行情况。

1.2 样机设计工艺计算

1.2.1 工艺计算依据 过热蒸汽—微波协同膨胀设备是在接近定压的情况下工作的。过程热量可根据热力学第一定律第一解析式得出:

$$q_p = u_2 - u_1 + p(v_2 - v_1) = h_2 - h_1。$$
 (1)

即工质在定压过程中吸入的热量等于焓增,或放出的热量等于焓降。

1.2.2 已知的设计条件和物理参数 每小时膨胀烟梗产量 $G_2=300\text{ kg}$;烟梗初始湿含量 $w_1=12\%$,终了湿含量 $w_2=4\%$,初始温度 $\theta_1=20\text{ }^{\circ}\text{C}$,出料温度 $\theta_2=99.63\text{ }^{\circ}\text{C}$,以微波辐射方式、过热蒸汽共同提供干燥用热,过热蒸汽还用来带走干燥过程产生的水蒸气。稳态工作时腔体操作压力 P 维持在 0.1 MPa ,进入腔体的过热蒸汽温度 $T_1=140\text{ }^{\circ}\text{C}$,从腔体流出的过热蒸汽温度 $T_2=135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其它相关热力参数经查表列于表 1~3。

1.2.3 工艺计算公式

$$\begin{cases} Q=W(h''-h_{\theta 1})+G_2w_2(h'-h_{\theta 1})= \\ P_{MW}t+\frac{L}{v_{T1}}(h_{T1}-h_{T2}); \\ W=G_2\frac{1-w_2}{1-w_1}-G_2; \\ L=v_{T1}\frac{Q}{h_{T1}-h_{T2}}, \end{cases}$$
 (2)

表 1 过热蒸汽的热力参数

Table 1 Thermodynamic parameter of saturated steam

压力 $P/$ MPa	温度 $t/$ $^{\circ}\text{C}$	比容 $v/$ ($\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$)	焓 $h/$ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
0.1	140	1.889	2 756.2
0.1	135	1.865	2 746.2

表 2 饱和水的热力参数

Table 2 Thermodynamic parameter of saturated water

压力 $P/$ MPa	温度 $t/$ $^{\circ}\text{C}$	焓 $h'/$ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	焓 $h''/$ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	潜热 $r/$ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
0.1	99.63	417.52	2 675.14	2 257.62

表 3 不饱和水的热力参数

Table 3 Thermodynamic parameter of unsaturated water

压力 P/MPa	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	焓 $h/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$
0.1	20	83.96

式中:
 Q ——过程热消耗量, kJ ;
 W ——湿分蒸发量, kJ ;
 P_{MW} ——微波功率, kW ;
 L ——过热蒸汽循环量, m^3/h 。

1.2.4 工艺计算结果 将已知的设计条件和经查表获得的相关热力参数代入式(2)中,得到:湿烟梗量 $G_1=327\text{ kg/h}$;湿份蒸发量 $W=27\text{ kg/h}$;热消耗量 $Q=73\ 964.58\text{ kJ/h}$;循环风机最大风量 $L=13\ 972\text{ m}^3/\text{h}$;微波功率 20 kW 。

1.3 样机研制

根据设计和选型要求制造了工业试验样机(图 8),并在广东省金叶科技开发有限公司进行安装、调试和试验。

该试验机工作原理:烟梗由定量喂料系统输送到蒸汽—微波协同膨胀设备的进料皮带上,由进料皮带送入加热腔体,内腔喷入过热蒸汽、由外对烟梗加热,外腔馈入微波、由内对烟梗进行加热,实现能量传递的有效结合和相互补充,使烟梗内部水分子迅速吸收能量汽化成水蒸气、形成压力差,促使烟梗薄壁组织和细胞组织胀大^[20],进而促使烟梗体积增大。

- 该试验样机主要技术参数:
- ① 生产能力: 300 kg/h (来料含水率 $\leq 12.0\%$);
 - ② 微波总功率: 60 kW (微波频率 $915\text{ MHz}\pm 15\text{ MHz}$);
 - ③ 磁控管个数: 3 个;
 - ④ 蒸汽耗量: $<1.5\text{ t/h}$ (过热蒸汽);
 - ⑤ 循环风机风量: $>14\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ 。

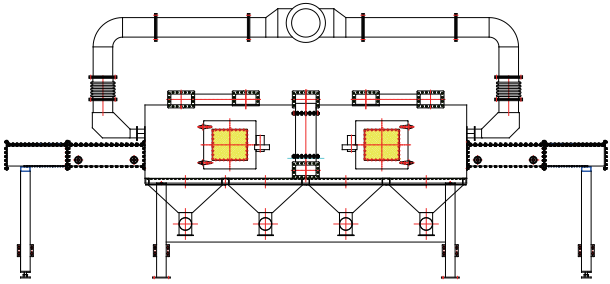


图 8 烟梗蒸汽—微波协同膨胀设备工业试验机示意图

Figure 8 Industrial testing machine for steam microwave synergistic expansion equipment

2 应用效果评价

对试验样机与滚筒式微波膨胀设备(纯微波,许昌烟丝厂^[16])进行对比测试,膨胀后烟梗进行相同的回潮、2 次切丝和干燥处理,综合评价烟梗膨胀质量、梗丝加工质量和感官质量。

2.1 不同膨胀方式烟梗外观质量比较

2 种膨胀方式处理后烟梗外观对比图见图 9。从图 9 可以看出:采用蒸汽—微波协同膨胀方式处理的烟梗,表面光滑无褶皱,膨胀均匀性较好;采用纯微波膨胀方式(滚筒式)处理的烟梗,部分烟梗未完全膨开,表面凹凸不平,膨胀均匀性较差。



蒸汽—微波协同膨胀处理烟梗 滚筒微波膨胀处理烟梗

图 9 2 种膨胀方式膨胀后烟梗外观对比

Figure 9 The contrast in appearance of tobacco stem expanded by two different ways

2.2 不同膨胀方式烟梗膨胀质量比较

2 种膨胀方式 5 批次对比测试结果见表 4。对 2 种膨胀方式的各个指标分别进行统计学 *t* 检验处理。结果表明:2 种膨胀方式处理烟梗的膨胀度和有效膨胀率指标的双尾检验 *P* 值均 <0.01 ,说明 2 个指标均值相等的假设不成立,2 种膨胀方式的烟梗膨胀度和有效膨胀率存在极显著差异。从表 4 可以看出:蒸汽—微波协同膨胀方式与纯微波膨胀方式相比,烟梗的膨胀度平均提高 57.8%,有效膨胀率平均提高 4.06%,烟梗膨胀效果更好。

2.3 不同膨胀方式制得梗丝物理质量比较

对 2 种膨胀方式处理烟梗进行回潮、2 次切丝和干燥处理,干燥后梗丝物理指标对比见表 5。对 2 种膨胀方式制得

表 4 不同膨胀方式的烟梗膨胀质量对比

Table 4 The contrast in mass of tobacco stem expanded by two different ways

批次	蒸汽—微波膨胀		纯微波膨胀	
	膨胀度	有效膨胀率/%	膨胀度	有效膨胀率/%
1	3.24	99.50	2.05	95.20
2	3.26	99.20	2.08	95.00
3	3.22	99.00	2.02	95.20
4	3.28	99.60	2.10	95.60
5	3.26	99.40	2.06	95.40
平均	3.25	99.34	2.06	95.28

† 膨胀度指膨胀后烟梗相比原梗体积的倍数;有效膨胀率指完全膨胀烟梗数量与总数量的比值。

梗丝的各个指标分别进行统计学 *t* 检验处理,结果表明:2 种膨胀方式制得梗丝的填充值、整丝率和碎丝率指标的双尾检验 *P* 值均 <0.01 ,说明 3 个指标均值相等的假设不成立,2 种膨胀方式制得梗丝的烟填充值、整丝率和碎丝率均存在极显著差异。从表 5 可以看出:蒸汽—微波协同膨胀方式与纯微波膨胀方式相比,制得梗丝的填充值平均提高 0.46 cm^3/g ,整丝率平均提高 2.03%,碎丝率平均降低 0.95%,梗丝物理质量明显更优。

表 5 不同膨胀烟梗制得梗丝的物理质量检测结果

Table 5 Physical quality test results for tobacco stem wire produced by two different ways

批次	蒸汽—微波膨胀			纯微波膨胀		
	填充值/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	整丝率/%	碎丝率/%	填充值/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	整丝率/%	碎丝率/%
1	7.82	60.66	4.25	7.35	58.62	5.15
2	7.76	60.78	4.32	7.28	59.32	5.18
3	7.78	61.22	4.18	7.42	58.66	5.22
4	7.90	61.14	4.28	7.36	59.21	5.26
5	7.86	60.98	4.36	7.38	58.84	5.32
平均	7.82	60.96	4.28	7.36	58.93	5.23

2.4 不同膨胀方式制得梗丝感官质量比较

对 2 种膨胀方式制得梗丝采用标度检验法(最大标度为 3)进行感官质量评价,结果见表 6。由表 6 可知:蒸汽—微波协同膨胀方式与纯微波膨胀方式相比,制得梗丝的香气量、杂气、刺激性和余味等指标略有提高,感官质量明显提升。

3 结论

(1) 该设备采用蒸汽和微波复合加热能源,降低了获得高膨胀质量所需的微波功率,既充分发挥了微波膨胀的质量

表 6 不同膨胀烟梗制得梗丝的感官质量对比

Table 6 The contrast in sensory quality of tobacco stem wire produced by two different ways

样品	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味
蒸汽—微波	2.2	2.3	2.5	2.4	2.5
纯微波	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2

优势,又有效地防止了微波打火现象发生。

(2) 该设备加热腔体采用内外腔结构,使微波和过热蒸汽互不干扰、共同发挥作用;进出料端采用上下双层阵列式销钉抗流密封结构,既保证了烟梗输送流畅,又有效降低了微波泄漏。

(3) 与纯微波膨胀(滚筒式)方式相比,烟梗膨胀度平均提高 57.8%,有效膨胀率平均提高 4.06%;制得梗丝填充值平均提高 0.46 cm^3/g ,整丝率平均提高 2.03%,碎丝率平均降低 0.95%,感官质量明显提升。

(4) 该设备对目前烟梗微波膨胀复切成丝技术^[14-15]存在的切丝造碎大、整丝率偏低和碎丝偏率高等问题有明显改善,具有很好的推广应用前景。

参考文献

[1] 杨伟祖,李雪梅,邱晔,等.微波烘烤对烤烟梗丝填充力及内在化学成分的影响[J].中国烟草学报,1997,3(4):1-6.

(下转第 145 页)

aromaticus[J]. Food Chemistry, 2006, 97(1): 109-114.

[19] 李佩, 戴涛涛, 程超, 等. 发酵对南酸枣饮料抗氧化性的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 54-59.

[20] BENINCASA C, MUCCILLI S, AMENTA M, et al. Phenolic trend and hygienic quality of green table olives fermented with *Lactobacillus plantarum*, starter culture[J]. Food Chemistry, 2015, 186: 271-276.

[21] WOUTERS D, BERNAERT N, ANNO N, et al. Application' and validation of autochthonous lactic acid bacteria starter cultures for controlled leek fermentations and their influence on the antioxidant properties of leek[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 165(2): 121-133.

[22] WU She-ching, SU Yi-shun, CHENG Huang-yu. Antioxidant properties of *Lactobacillus*-fermented and non-fermented *Grap-topetalum paraguayense* E. Walther at different stages of maturity[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 804-809.

[23] LANDETE J M, CURIEL J A, RODRÍGUEZ H, et al. Aryl glycosidases from *Lactobacillus plantarum*, increase antioxidant activity of phenolic compounds [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7(1): 322-329.

[24] KWAU E, MA Y, TCHABO W, et al. Effect of fermentation parameters and their optimization on the phytochemical properties of lactic-acid-fermented mulberry juice[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(3): 1 462-1 473.

[25] BISAKOWSKI B, ATWAL A S, GARDNER N, et al. Effect of lactic acid fermentation of onions (*Allium cepa*) on the composition of flavonol glucosides[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 42(7): 783-789.

[26] DUEÑAS M, FERNÁNDEZ D, HERNÁNDEZ T, et al. Bio-active phenolic compounds of cowpeas (*Vigna sinensis* L.). Modifications by fermentation with natural microflora and with *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2005, 85(2): 297-304.

[27] LANDETE J M, CURIEL J A, RODRÍGUEZ H, et al. Aryl glycosidases from *Lactobacillus plantarum*, increase antioxidant activity of phenolic compounds [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7(1): 322-329.

[28] KWAU E, MA Y, TCHABO W, et al. Effect of fermentation parameters and their optimization on the phytochemical properties of lactic-acid-fermented mulberry juice[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(3): 1 462-1 473.

[29] REZA H, KHATEREH K, SYAVASH H. Study of the effect of surfactants on extraction and determination of polyphenolic compounds and antioxidant capacity of fruits extracts[J]. Plos One, 2013, 8(3): e57 353.

[30] 付磊. ‘凤丹’牡丹花色素组成成分及抗氧化能力分析[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2015: 17-19.

[31] LAGO-VANZELA E S, PROCÓPIO D P, FONTES E A F, et al. Aging of red wines made from hybrid grape cv. BRS Violeta: Effects of accelerated aging conditions on phenolic composition, color and antioxidant activity[J]. Food Research International, 2015, 56(2): 182-189.

[32] ZHOU Lin-yuan, WANG Yuan-yuan, HU Xiao-song, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(3): 321-327.

[33] KEDARE S B, SINGH R P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay[J]. Journal of Food Science & Technology, 2011, 48(4): 412-422.

[34] PÉREZGREGORIO M R, REGUEIRO J, ALONSOGONZÁLEZ E, et al. Influence of alcoholic fermentation process on antioxidant activity and phenolic levels from mulberries (*Morus nigra* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44 (8): 1 793-1 801.

(上接第 118 页)

[2] NEWMAN C L, BEST F W. Tobacco expansion process utilizing microwave energy: US, 3828797[P]. 1974-08-13.

[3] KOERBER A G Company. Microwave in the tobacco industry[J]. Tob. Rept., 1988(9): 30.

[4] NEUMANN C L. Tobacco expansion process utilizing microwave energy: US, 3828797[P]. 1974-08-13.

[5] LASZLO T. Microwave expansion of tobacco: US, 3842846[P]. 1974-10-22.

[6] WALDEMAR W, REINHARD L. Method and apparatus for making tobacco shreds: US, 4799501[P]. 1989-01-24.

[7] LASCH M, HACKMACK K, HOHM R, et al. Method of and apparatus for manipulating bales of condensed tobacco particles: US, 5139035[P]. 1992-08-18.

[8] ROGER Z De La B. Method of preventing the shrinkage of puffed tobacco and product obtained thereby: US, 3409027[P]. 1968-11-05.

[9] 冯春堂, 王佑铭, 施荣东, 等. 多波源多馈口微波膨胀烟梗装置: 中国, 2607033Y[P]. 2004-03-24.

[10] 怀特. 一种制备烟梗膨胀的方法及所采用的设备: 中国, 1748586[P]. 2006-03-22.

[11] 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): 110-113.

[12] 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(5): 43-50.

[13] 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): 9-12.

[14] 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): 59-64.

[15] 李晓, 周利军, 李全胜, 等. 烟梗形变工艺对微波膨胀梗制得梗丝综合质量的影响[J]. 南方农业学报, 2016(6): 715-720.

[16] 李晓, 景天, 姚二民, 等. 微波膨胀功率对烟梗质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017(3): 141-144.

[17] 赵云川, 邹泉, 廖晓祥, 等. 微波膨胀梗丝加工工艺的选择与优化[J]. 烟草科技, 2016(12): 60-70.

[18] 杨继福, 黄兰, 卢幼祥, 等. 高压蒸梗对中性香味成分和感官质量的影响[J]. 广州化工, 2011(17): 53-56.

[19] 王超, 王齐华, 王廷梅, 等. 聚苯酯/玻璃纤维改性 PTFE 密封材料的热力学性能[J]. 润滑与密封, 2017(8): 1-5.

[20] 杨威, 张强, 董高峰, 等. 微波膨胀对烟梗品质及显微结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2014(3): 69-72.