

一种新型连续式带式蒸汽米饭机

Study on a new type of continuous belt rice steamer

侯亚茹¹ 刘玉德¹ 刘永新²

HOU Ya-ru¹ LIU Yu-de¹ LIU Yong-xin²

(1.北京工商大学机械工程学院,北京 100048;2.军需装备研究所,北京 100010)

(1. School of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Quartermaster Research Institute, Beijing 100010, China)

摘要:提出一种新型连续式带式蒸汽米饭机整体结构方案,并对其工作原理进行介绍,然后通过试验和计算确定米饭蒸煮和清洗过程中的相关参数,同时说明蒸饭过程中传输带的运行速度、米饭软硬程度控制方法、喷水系统控制方法等问题。最后通过实验验证设计的可行性。结果表明,该米饭机具有结构简单,故障率小,维修点少,产量可调,清洗、蒸煮一体等优点,符合现代产品设计理念。

关键词:蒸汽米饭机;输送带;蒸煮;清洗;喷射

Abstract: A new prototype of continuous belt rice steamer was proposed. Firstly, an introduction of working principle was made, and then by experiments and calculations, the parameters for steaming and cleaning processes were obtained respectively. The problems were also illustrated, such as running speed in steaming, how to controlling of the rice softness, and the operation of the spray system. Experimental results showed that the newly presented rice steamer had numerous benefits, such as simplified structure, fewer breakdown proportion, less service requirements, adjustable output, integration of cooking and cleaning, etc, which make it fit the concept for modern product design.

Keywords: rice steamer, conveyor belt; cooking; cleaning; spray

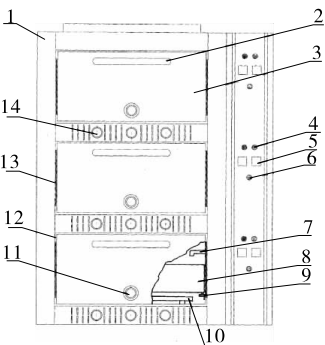
1 传统米饭机基本结构及不足

目前,市场上的米饭机有间歇式和连续式两种。北京益友设备有限公司^[1]和爱丰厨房设备(天津)有限公司^[2]生产的米饭机是其结构的典型代表。图 1 为间歇式米饭机的结构,图 2 为连续式米饭机的结构。

图 1 所示的立式米饭机经济实用,占地面积小,人工洗米,容器式计量,每锅加米 7.5~8.0 kg,米饭熟制分为大火炊

饭、小火炊饭、焖饭 3 个过程。大火 15 min,小火 10 min。整个过程完毕后自动停止加热,并伴随有警报声。每层可独立运行,模块化组合,避免了普通蒸箱无论蒸多少米饭都要整机启动的弊端,大大节约了能源。

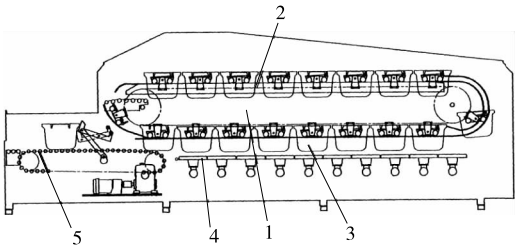
图 2 所示的连续式米饭机为立体双层炊饭结构。米饭锅中填充有浸泡过的大米,并自动配以一定比例的水,通过



1. 机体 2. 拉手 3. 封闭门 4. 电源指示灯 5. 火控按钮 6. 开关键 7. 自控补水管 8. 炊饭锅 9. 滑轨 10. 加热器 11. 观察窗 12. 蒸室 13. 支撑合页 14. 进气口

图 1 间歇式米饭机

Figure 1 Batch-type rice machine



1. 加热室 2. 直线型传送带 3. 蒸饭锅 4. 燃烧器 5. 无动力轨道

图 2 连续式米饭机

Figure 2 Continuous rice machine

作者简介:侯亚茹,女,北京工商大学在读硕士研究生。

通讯作者:刘玉德(1963—),男,北京工商大学教授,博士。

E-mail: Liu_yude@163.com

收稿日期:2016-03-25

无动力轨道输送到加热室进行蒸煮,在米饭机的最内端通过提升装置将米饭锅提升到第 2 层进行蒸煮,从而达到“左进左出,生进熟出”的过程。

该米饭机采用燃气式直接蒸煮的方式,燃气燃烧通过图 3所示燃烧器^[2]供热,燃烧器由若干个小燃烧器连接而成,体积庞大,重量重,该种米饭机每种型号的产量固定,最小型号产量为 70 kg/h,尺寸为 1 800 mm×770 mm×1 440 mm,最大型号产量为 560 kg/h,尺寸为 6 205 mm×1 000 mm×1 635 mm。可见提高产量,米饭机的尺寸应相应增加,实际上就是增大了燃烧器的体积,简言之,这种米饭机虽然实现了批量化生产,但是还是没有摆脱米饭原有的蒸煮模式,相当于在下面放了一个巨大的炉子,炉子越大,单位时间内所能蒸煮的米饭越多。这也使得燃气管道或者燃烧器堵塞的机率增大,设备需要经常维护,维修费用也相应提高。经调查,该米饭生产线产量为 150 kg/h 所消耗的天然气的 500 kg,而蒸汽发生器产量为 500 kg/h(经过理论计算足够生产 150 kg 大米使用)仅耗油 31 kg,可见该种蒸煮形式耗能也较大。

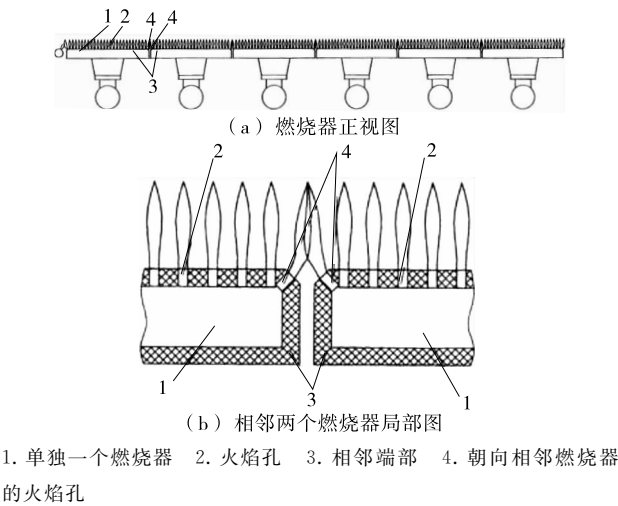


图 3 燃烧器
Figure 3 Burner

2 新型连续式带式蒸汽米饭机整体方案设计

立式米饭机虽然结构简单,耗能少,但是产量相对较小,对学校食堂和较大的餐厅来说,根本不能满足需求。卧式米饭机产量虽高,但是采用燃气燃烧通过燃烧器直接供热,燃烧器体积大,重量重,维修点多,故障多,从长期发展的眼光来看也不理想。本研究设计了一种新型连续式带式蒸汽米饭机,见图 4。

米饭机工作原理:该米饭机采用蒸汽供热,由变速电机提供动力。浸泡过的大米散落在米饭蒸煮传输带^[3-4]上,由传输带上侧设置的刮板将大米抹平,随着传输带的运转进入米饭机进行蒸煮,米饭机顶端内部设置自动补水喷头,在蒸煮过程中可以适时、适量地补水,使大米吸水充足。在传输带的下面安装高压清洗喷头,对蒸煮过的米饭传输带进行高压喷洗,真正实现一机多用。该设计不仅结构简单,故障率

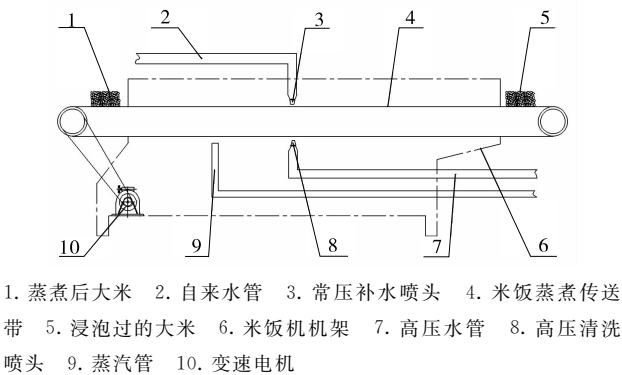


图 4 整体方案图
Figure 4 Design on overall plan

大大降低,还轻松实现产量可调,只要蒸汽产量供应满足,加大产量,只需要增加大米在传输带上的堆积厚度。

3 米饭机相关参数确定

3.1 蒸饭过程速度的控制

根据前期的研究,参照卧式米饭机的尺寸,拟定米饭机的设计尺寸 2 500 mm×1 000 mm×880 mm,米饭机产量为 150 kg/h,以方便后面相关参数的计算,如果改变尺寸和产量,计算方法不变。下面将对蒸煮传输带的相关参数进行计算:

$$Q = \rho w h v, \tag{1}$$

$$L = vt, \tag{2}$$

式中:

Q ——产量,kg/h;

ρ ——大米浸泡后的密度,此处忽略浸泡后的体积变化,取大米的平均密度, $\rho = 901 \text{ kg/m}^3$ ^[5];

w ——大米平铺宽度, $w = 0.8 \text{ m}$;

h ——大米在传动带上堆积厚度,m;

v ——米饭蒸煮速度,m/h;

L ——米饭机蒸煮有效长度, $L = 2.5 \text{ m}$;

t ——米饭蒸煮时间,h。

通过试验得知,在 0.13 MPa 压力下需要蒸煮 40 min,0.16 MPa 压力下需要蒸煮 35 min,0.26 MPa 压力下需要蒸煮 20 min,0.4 MPa 压力下需要蒸煮 18 min。

通过式(1)、(2),可以计算出传送带速度范围为 3.75~8.30 m/h,大米堆积厚度范围 0.025~0.055 m,也就是 25~55 mm。当然如果蒸汽供应充足,米饭的堆积厚度可以增加,产量也会相应增加,轻松实现产量可调。

3.2 蒸煮米饭软硬程度控制

影响米饭软硬程度的主要环节是大米的浸泡和蒸煮。浸泡有利于米饭蒸透。所以为了生产出优质米饭,在米饭机设计之前,对大米的浸泡温度、浸泡时间、蒸煮压力与蒸煮时间关系、蒸煮过程中添加水的量都做了试验,用户可根据试验结果编程,实现对以上因素的自动控制。

3.2.1 浸泡温度、浸泡时间确定 图 5 显示的是浸泡时间对大米吸水率的影响,采用控制变量法,温度为 20℃。由图 5 可知,0~10 min 时,吸水速度迅速增长;10~45 min 时,增长

速度缓慢;45 min 后,浸泡吸水率几乎不变,水分子进出达到平衡状态。为了节省时间,选择浸泡时间 10 min 较合适。图 6 显示的是浸泡温度对吸水率的影响,采用控制变量法,浸泡时间为 10 min。图 7 显示的是浸泡温度对蒸煮后米饭硬度(用 TMS-PILOT 型质构仪圆柱探头挤压米饭粒,致使米饭变形所需要的力表示)的影响,浸泡时间 10 min。结合图 6、7 的试验结果,浸泡温度定为 30℃。

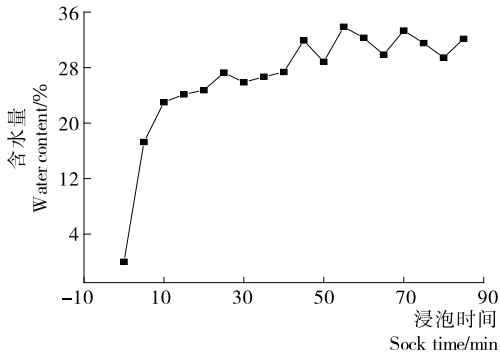


图 5 浸泡时间对含水量的影响

Figure 5 Soaking time impacts on water content

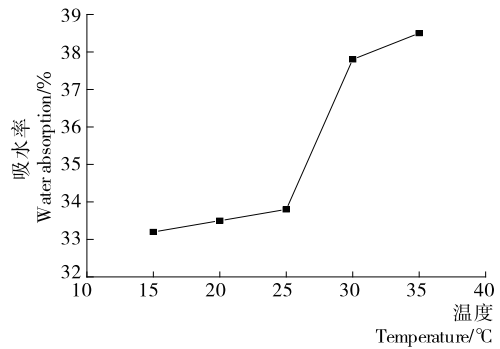


图 6 浸泡温度对吸水率的影响

Figure 6 Soaking temperature impacts on water absorption

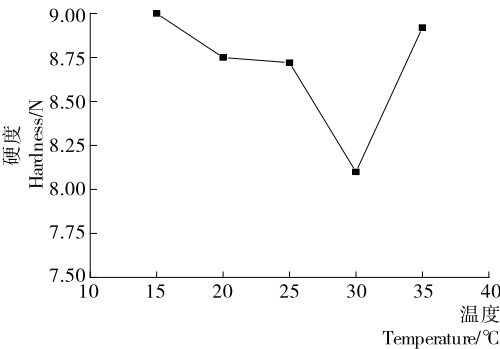


图 7 浸泡温度对大米硬度的影响

Figure 7 Soaking temperature impacts on hardness of rice

3.2.2 蒸煮压力、蒸煮时间、蒸煮过程中添加水量 通过试验得知,在 0.13 MPa 压力下需要蒸煮 40 min,0.16 MPa 压力下需要蒸煮 35 min,0.26 MPa 压力下需要蒸煮 20 min,0.4 MPa 压力下需要蒸煮 18 min。

本米饭机采用蒸汽供热,而蒸汽温度与绝对压力有一定的关系,见表 1。所以此蒸煮过程只对压力进行控制,温度则只进行监控,查看是否异常。

表 1 蒸汽温度与绝对压力对照表

Table 1 Contrast table on steam temperature and absolute pressure

压力/MPa	0.13	0.16	0.26	0.40
温度/℃	107.138	113.326	128.74	143.642

通过对用以上浸泡条件浸泡过的大米进行米水比(体积比)为 1.0 : 1.1,1.0 : 1.2,1.0 : 1.3,1.0 : 1.4 的试验,并依照 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》对味道、颜色、光泽、粒松软、粒完整、面光滑、无爆花、不黏牙、有嚼劲、味道甜 10 项内容进行打分(每项满分 10 分,总分 100),打分结果分别为 76,83,78,71。所以在蒸煮过程中需通过米饭机上面的补水喷头按照 1.0 : 1.2 的体积比进行补水。

3.3 射流清洗装置

笔者前期调研发现,许多米饭生产线都配备有洗锅机,而且大同小异,外形结构见图 8。采用优质不锈钢制造,搭配无动力轨道,使用过的米饭锅倒扣在轨道上,由于是“单向清洗”,为了保证清洗干净,需要安装多个角度的喷头,保证米饭锅上、下、左、右 4 个方向都能够清洗到。可以看出,该装备虽不复杂,但占地面积却比较大。本研究中米饭蒸煮传动装置采用的是传输带,所以只需要对传输带进行清洗,区别于图 8 中的米饭锅“单向清洗”,有以下优点:① 传输带不停转动,可以对传输带进行循环清洗;② 传输带只有一个清洗面,只需安装一个角度的喷头,从而减少了了喷头数量。在传输带下面安装喷头射流清洗巧妙地实现蒸煮——清洗一体,大大节省了空间,使整套设备简单化,真正实现一机多用。

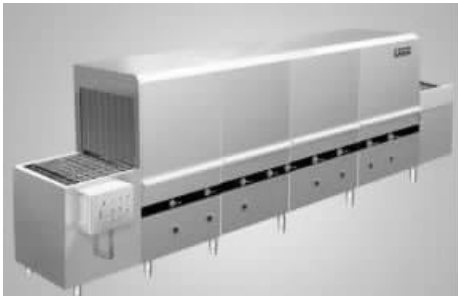


图 8 自动洗锅机

Figure 8 Automated washing pan machine

3.3.1 射流清洗过程中相关参数的计算 高压水射流技术是通过高压设备增压,使得水介质具有巨大的能量,当具有如此巨大的能量的水,经过细小的喷嘴喷出后,就会将此巨大的能量聚集成高速的水流。如此蕴含巨大能量的高速水流便可用于米饭传动带的清洗。水射流的结构图见图 9。对清洗而言,应选择射流基本段或消散段,有利于射流的扩散,提高清洗效率。

中国较普遍的水射流压力等级划分:低压 0.5~20 MPa,中压 20~70 MPa,高压 140~400 MPa,超高压 400 MPa 以上,在清洗行业中,高压水射流清洗常用的压力为 2~35 MPa,

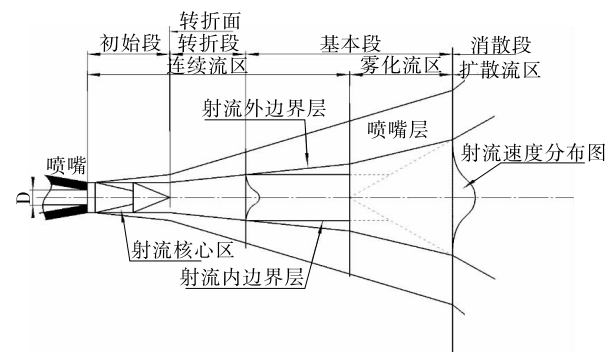


图9 水射流结构图

Figure 9 Structure on water jetting

水流量为20~100 L/min,所消耗的功率为3~15 kW^[6]。在实际应用中10 MPa以下的压力通常用于民用清洗保洁、汽车清洗和日常各种清洗除尘等等。本研究是针对米饭蒸煮后钢丝网带上粘结的米饭进行清洗,由于钢丝网带本身比较光滑,而且刚蒸煮过的米饭的粘结力较小,所以采用压力为8 MPa。

现对水射流动力学相关参数进行计算:

(1)射流流速计算:对连续射流,在喷嘴出口截面内外两点间应用伯努利方程(忽略两点之间的高度差),可得出^[7-8]:

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}, \tag{3}$$

式中:

P_1 、 P_2 ——喷嘴内外静压力,MPa;

v_1 、 v_2 ——喷嘴内外流体平均速度,m/s;

在两点间应用连续方程可得:

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2, \tag{4}$$

如果喷嘴流道为圆管形结构,即 $A = \pi d^2/4$ (d 为流体直径),并假设 $\rho_1 = \rho_2$,由式(3)、(4)可得:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right]}}, \tag{5}$$

式中:

d_1 、 d_2 ——喷嘴口截面内外两点流体直径。

对于工程应用的水射流,由于 $P_1 \geq P_2$, $\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \leq 1$,同时 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ 代入式(5)中,得出射流流速简化表达式:

$$v = 44.77 \sqrt{P}, \tag{6}$$

式中:

v ——射流速度,m/s;

P ——射流压力,MPa。

射流压力取8 Pa,经计算 $v = 126.43 \text{ m/s}$ 。

(2)射流流量计算:一般低压喷头直径大于2 mm,高压

喷头直径为1~2 mm,超高压喷嘴直径小于1 mm,最小可达到0.1 mm^[7-8]。本研究选择直径为3 mm。

已知射流速度,可由 $q = v \cdot A$ 计算出射流流量,即射流流量等于射流出口速度乘喷嘴出口面积,即:

$$q = 2.1d^2 \sqrt{P}, \tag{7}$$

式中:

q ——射流理论流量,L/min;

d ——喷嘴出口直径,mm。

喷嘴出口直径取3 mm,射流压力取8 Pa,经计算 $q = 53.46 \text{ L/min}$ 。

(3)冲击力计算:当水射流到传动带的表面时,速度的大小和方向都会发生改变,忽略这些因素,计算传送带表面的冲击力^[7-8]:

$$F = \rho q v (1 - \cos \beta), \tag{8}$$

式中:

ρ ——水射流的密度, kg/m^3 ;

q ——水射流的体积流量, m^3/s ;

v ——水射流的射流速度,m/s;

β ——水射流冲击零件表面的角度,单位度。

如图10所示,当 $\beta = 90^\circ$,水射流压力 $F = \rho q v$;当 $\beta = 180^\circ$ 时, $F = 2\rho q v$ 。本试验选择角度为 120° ,则:

$$F = 998 \times 0.89 \times 10^{-3} \times 141.58 \times 1.5 = 188.6 \text{ N}$$

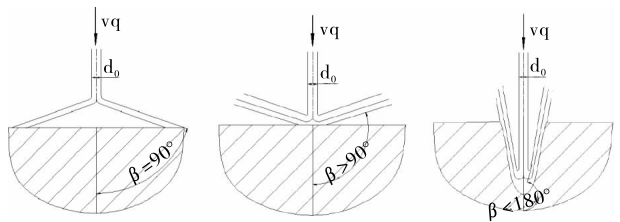


图10 水射流冲击传动带表面反射的形成

Figure 10 Conveyor belt surface impacted water jetting and the reflection formation of water jetting

3.3.2 喷射系统运行方式 在米饭机传输带下面两边交叉设置高压喷头,米饭蒸煮完毕,通过控制系统将传输带带速调高,进而打开高压水控制开关对传输带进行清洗,清洗完毕,关闭高压水开关。射流喷射示意图见图11。

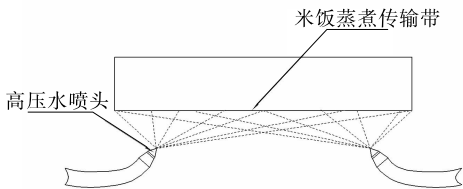


图11 清洗射流喷射示意图

Figure 11 Schematic diagram on cleaning jetting

表2 感官评价打分表

Table 2 Score on sensory evaluation ($n = 171$)

味道香	颜色白	光泽好	粒松软	粒完整	面光滑	无爆花	不黏牙	有嚼劲	味道甜	总分
9.00±0.91	8.00±1.23	9.00±1.45	8.00±0.87	9.00±0.52	9.00±0.76	9.00±0.88	9.00±1.22	9.00±1.14	8.00±1.05	87

3 结论

为了进一步揭示白藜芦醇类似物分子结构与 NF-κB 活性之间的关系,在前人的研究基础上,通过量化取代基和取代位置的方法研究了其构效关系,结果表明:—OH 对白藜芦醇类似物抗癌活性的贡献最大,—Naphthyl 对抗癌活性的贡献次之;各取代位置中,3 位取代的抗癌活性贡献最大。结合线性回归,得到了统计意义明显的定量构效关系模型,为下一步设计合成新型高效的白藜芦醇类似物分子提供了指导。

参考文献

[1] 魏萌, 王水兴, 陆豫. 虎杖中的白藜芦醇分离、提取及 HPLC 检测的研究[J]. 食品科技, 2006, 31(8): 118-121.

[2] AHMADI M K, PFEIFER B A. Recent progress in therapeutic natural product biosynthesis using Escherichia coli[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2016, 42: 7-12.

[3] 韩雪莲. 白藜芦醇及其衍生物和类似物抗肿瘤研究进展[J]. 化工进展, 2014, 33(6): 1 526-1 532.

[4] ZHANG Hong-xia, DUAN Guo-li, WANG Chang-nan, et al. Protective effect of resveratrol against endotoxemia-induced lung injury involves the reduction of oxidative/nitrative stress[J]. Pulmonary Pharmacology & Therapeutics, 2014, 27 (2): 150-155.

[5] 陈靓, 王明凤, 关艳, 等. 冰片对反式白藜芦醇药动力学的影响研究[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2015, 37(4): 316-321.

[6] 丁刘刚, 晏日安, 黄雪松, 等. 功能性食品配料白藜芦醇的合成方法[J]. 现代食品科技, 2007, 23(3): 83-85.

[7] 陈红英, 冀雅静, 吴丹, 等. 白藜芦醇对于小鼠败血症休克的保护作用及其作用机制的研究[J]. 中国药理学通报, 2015, 31 (9): 1 216-1 221.

[8] 李燕玲, 王文敏. 白藜芦醇抗氧化作用在神经保护中的研究进展[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2010, 37(2): 154-157.

(上接第 109 页)

4 大米蒸煮中试

在北京工商大学食堂进行中试,并随机抽取 200 位同学,依据 GB/T 15682—2008 对米饭食用品质进行评分,结果见表 2,各项打分采用平均值加标准差表示,除去 29 份不合格的打分,有效打分 171 份。

由表 2 可知,设计的蒸汽米饭机蒸煮的米饭在色香味等方面均有较高的评价,感官评价总分 87 分,结果较满意。

5 结论

本研究针对目前市售米饭机的不足,设计了一种新型的蒸汽米饭机,该机米饭蒸煮传动采用钢丝网带不仅满足了前期对米饭机提出的结构简单,故障率小,维修点少,产量可调等要求,而且还通过在米饭蒸煮传输带下面安装高压水喷头,巧妙地实现了米饭自动生产蒸煮、清洗一体的功能,真正实现一机多用。

[9] 张贵娟, 杨涛, 罗非君, 等. 白藜芦醇的提取与检测方法研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 234-237.

[10] 刘嫔, 欧阳梦云, 王燕, 等. 刺葡萄酒渣中白藜芦醇的超声辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 160-164.

[11] JEONG S H, HANH T M, KIM H K, et al. HS-1793, a recently developed resveratrol analogue protects rat heart against hypoxia/reoxygenation injury via attenuating mitochondrial damage[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2013, 23(14): 4 225-4 229.

[12] JOHN S E S, JENSEN K C, KANG S S, et al. Design, synthesis, biological and structural evaluation of functionalized resveratrol analogues as inhibitors of quinone reductase 2 inhibitors for chemoprevention of cancer [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2013, 21(19): 6 022-6 037.

[13] 高鸿杰, 吴靓, 蒋国飞, 等. 白藜芦醇类似物及其合成研究进展[J]. 化工生产与技术, 2014, 21(5): 33-37.

[14] 程云辉, 曾知音, 郭建伟, 等. 抗氧化肽的酶法制备及其构效关系的研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 174-180.

[15] 安啸, 陆珏婕, 杜琪珍. 香菇多糖结构分析和构效关系研究进展[J]. 食品与机械, 2007, 23(6): 122-125.

[16] HOLMESMCNARY M, BALDWIN A S. Chemopreventive properties of trans-resveratrol are associated with inhibition of activation of the IκB kinase[J]. Cancer Research, 2000, 60(3): 3 477-3 483.

[17] KANG S S, CUENDET M, ENDRINGER D C, et al. Synthesis and biological evaluation of a library of resveratrol analogues as inhibitors of COX-1, COX-2 and NF-κB[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2009, 17(3): 1 044-1 054.

[18] 常勇慧, 文宏伟. 白藜芦醇化合物抗直肠癌定量构效关系[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(24): 6 129-6 131.

[19] 吕丽爽, HO Chi-Tang, 汤坚. 二苯乙烯苷和白藜芦醇抗氧化构效关系研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 57-58.

参考文献

[1] 范林啸. 立式米饭机: 中国, 201520148043.4[P]. 2011-04-27.

[2] 中根卓也. 一种燃烧器具及连续自动米饭机: 中国, 03110700.1 [P]. 2004-10-27.

[3] 陈斌, 刘成梅, 顾林. 食品加工机械与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 12-14.

[4] BALTA Berna, SONMEZ Fazil O, CENGIZ Abdulkadir. Experimental identification of the torque losses in V-ribbed belt drives using the response surface method[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2015, 229(8): 1 070-1082.

[5] 陆伟培. 关于测量大米的密度的实验[J]. 物理通报, 2001(2): 24-25.

[6] 辛承梁, 张齐庄. 高压水射流技术在清洗行业中的应用[J]. 化学清洗, 1998(2): 23-26.

[7] 廖华林, 李根生, 李敬彬, 等. 径向水平钻孔直旋混合射流喷嘴流场特性分析[J]. 煤炭学报, 2012(11): 1 895-1 900.

[8] 刘建瑞, 文海罡, 高振军, 等. 射流喷嘴几何参数对灌溉泵自吸性能的影响[J]. 农业工程学报, 2012(24): 47-54.