

试验用低温巴氏杀菌设备设计与性能测试*

刘文营 王飞 郭立华 黄丽燕 赵维高 卢晓明

(北京德青源农业科技股份有限公司, 北京 100081)

摘要: 设计了一套试验用低温巴氏杀菌设备, 阐述了设备的工作原理、主体结构和工作过程, 计算了设备的传热能力。依据蠕动泵规格参数, 设备最大流量为 230 mL/min, 最大处理能力为 13 800 mL/h。采用水为处理物料, 经传热能力计算可知设备满足物料的升温需要, 且可以实现在 4.5 s 内从 4℃ 到 52℃ 的升温, 以及 3 s 内 52℃ 到 20℃ 和 6 s 内 52℃ 到 10℃ 的降温。蛋清液杀菌试验表明, 在 55℃ 条件下, 2.5 min 可以实现菌体浓度降为 100 CFU/mL。性能试验显示: 设备传热能力较强, 具有较好的杀菌效果。

关键词: 低温 巴氏杀菌 传热 性能试验

中图分类号: S237; TS253.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)03-0158-03

Design and Performance Test of Low-temperature Pasteurization Equipment for Experiment

Liu Wenying Wang Fei Guo Lihua Huang Liyan Zhao Weigao Lu Xiaoming

(Beijing DQY Agriculture Technology Co., Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: In order to promote the application of low-temperature pasteurization in the heat thermosensitive materials, the equipment was designed. The design principle, its structural characteristics and processes were proposed, and the thermal power, heat transfer and flow resistance were analyzed. The maximum processing capacity was 13 800 mL/h with 230 mL/min of maximum flow velocity. Taking water as treatment material, the temperature of water can reach to 52℃ from 4℃ in 4.5 s, and reduce to 20℃ from 52℃ in 3 s or 10℃ in 6 s. And the bacterium concentration of liquid egg white could lessen to 100 CFU/mL in 2.5 min at 55℃. The performance test shows that the system possesses a good heat-transfer capability, and a high sterilizing effect. Results provide the technical basis for the design and manufacture of low-temperature pasteurization equipment.

Key words: Low-temperature Pasteurization Heat transfer Performance test

引言

相对于高温瞬时灭菌, 巴氏杀菌处理基本不会对蛋白质和维生素产生影响, 不会将非致病菌全部杀死, 一般会保留部分的酵母菌、乳酸菌和霉菌等。尽管经巴氏杀菌处理的物料保质期相对较短, 但是对热敏性物质来说却是良好的处理方式^[1-3]。

巴氏杀菌机的热交换器分为板式和管道式, 管道式热交换器又分为套管式和列管式。目前, 工业

上应用较多的是板式热交换器, 板式热交换器是液-液、液-气进行热交换的理想设备^[4-6]。对于耐热的物料(如牛奶等), 采用板式换热器可以实现其温度的快速提升, 但是对于蛋液等在低温下就易发生变性凝固的物料, 较大的温差容易导致蛋白变性, 则不宜使用板式换热器进行巴氏杀菌处理。板式换热器内突然增大的热交换面积、流通不通畅, 以及初期的加热不稳定, 会使蛋白变性凝固, 粘贴在器壁上, 液体流动速度锐减, 导致管道堵塞、传热效果变差, 且

后期清洗困难。而管道式热交换器是热极不稳定物料的理想热交换器,加上蠕动泵脉冲传输,会使物料流动时产生大量漩涡,引起流体质点的上下翻滚和激烈湍动,质点间的动量交换异常频繁,从而使物料受热均匀,避免了局部过度受热的现象,同时,液体的冲刷作用也使样品不因受热变性而在管壁附着^[6-7]。

本文选择脉冲式物料传输方式,对热交换器的尺寸进行改造,并对热交换器的传热能力和热杀菌效果进行分析。

1 热交换

1.1 热交换器

本设备选用管道式热交换器,如图1所示,其内、外径分别为 R_1 和 R_2 。管道式热交换器是巴氏杀菌设备的核心,由热交换装置、密封垫、接头和固定架等组成,其传热水平和效果是影响杀菌效果的关键。

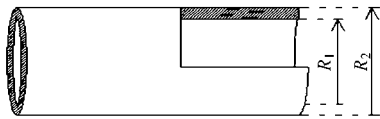


图1 管道式热交换器
Fig.1 Tube heat exchanger

根据傅里叶(Fourier)定律,单位时间内传导的热量与温度梯度及导热面积成正比,即

$$dQ = -\lambda dA \frac{\partial t}{\partial n}$$

或
$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$$

所以单位体积液体的热交换量

$$\Delta q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \frac{2}{r}$$

式中 Q ——单位时间内传导的热量, W

A ——导热面积, m^2

λ ——热导率, $W/(m \cdot K)$

$-\frac{\partial t}{\partial n}$ ——温度梯度, K/m

r ——传热管道半径

因此,传热管内径越小,热交换效率越高。目前,试验用管道式热交换器的管道内径均较大,内径越大,单位体积液体的热交换就越小;管径较大容易导致温度控制不稳定且会耗费大量样品进行恒温处理,在一定程度上限制了杀菌设备使用。本设备的设计,使用管道式热交换器,热交换器内径为2.3 mm,外径3.0 mm,管壁厚0.35 mm,热交换器外为循环流动热水,保证了与热交换器接触的水温恒定,极大提高了热交换效率,提高了设备的传热能力。

1.2 传热能力计算

杀菌设备处理能力为13 800 mL/h,假定物料为水,体积为13 800 mL,初始温度为4℃,加热水箱的功率为1.6 kW(LAUDA, E120T, 德国)。在理想状态下(即排除加热水箱自身的热量散失),加热水箱的功率全部用来进行物料的升温,此情况下可使水升高的温度满足

$$T_x = \frac{E}{C_p m} + T_0$$

式中 E ——热水系统运行需要的能量, kJ

C_p ——水的定压热容,取4.18 kJ/(kg·K)

m ——水的质量, kg

T_0 ——初始温度,取4℃

T_x ——物料被加热后的最终温度,℃

代入数据得: $T_x = 281.4^\circ\text{C} > 100^\circ\text{C}$,即热水箱能够为巴氏杀菌需要提供足量的热量。

冷却水箱内为冰水混合物,温度保持在1℃左右。

2 巴氏杀菌设备设计

2.1 巴氏杀菌设备的结构

如图2所示,巴氏杀菌机成套设备由管道式热交换器、蠕动泵、持温管、降温管、降温冰水箱和无菌灌装台等结构组成,其中最主要部分是管道式热交换器。

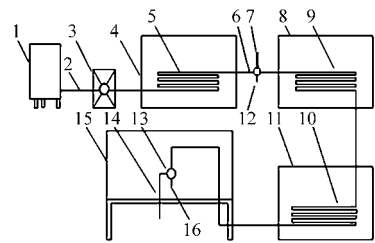


图2 巴氏杀菌设备基本结构图

Fig.2 Basic construction of pasteurization equipment

1.原料罐 2.输送管道 3.蠕动泵 4.加热水箱 5.管道式热交换器(升温) 6.三通阀 7.温度测试仪 8.持温水箱 9.持温管 10.管道式热交换器(降温) 11.降温冰水箱 12.料液输出口 13.灌装头 14.料液输出口 15.无菌灌装台 16.灌装管道

管道式热交换器包括升温 and 降温两部分,为了快速升降温,本设备均采用内径为2.3 mm的不锈钢管,持温管采用半径6 mm的硅胶管,硅胶管可以耐受-60~200℃的温度,满足试验的需要。

2.2 巴氏杀菌设备的工作过程

开始操作前30 min,开启加热水箱和持温水箱,设定温度,温度达到设定温度后,调降温水箱冰水,使温度为1℃左右,并保留部分冰块以保持水温恒定。

将预处理后的物料首先泵入原料罐,原料经蠕动泵进入到加热水箱内,经管道式热交换器(升温)

快速升温;升温后的物料进入三通阀,用温度测试仪进行温度检测,若未达到预想温度,物料经过料液输出口排出,达到预定温度后,通入到持温水箱持温管内进行恒温;恒温时间结束后,物料进入降温冰水箱,在管道式热交换器(降温)内进行降温;降温后物料随管道进入到无菌灌装台,物料灌装时,经无菌灌装管道灌装,不进行灌装时经料液输出口排出灌装台。

试验结束后,先用水冲洗管道 10 min,后用 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液快速冲洗管道,再用水冲洗管道 5 min,后用 0.1 mol/L 的盐酸快速冲洗管道,最后用水冲洗,直至用 pH 试纸检测流出液体为中性。

3 试验验证

3.1 巴氏杀菌机的升降温试验

经过多次试验,发现温度相差为 3℃ 以内时,传热效果较差,会使试验误差增大。基于以上结果,采用高于目标温度 3℃ 水浴加热。试验中,设定加热水箱的温度为 55℃,调节蠕动泵的流速,当物料温度达到 52℃ 时,转移到持温管。

本试验装置采用水浴加热,以水作为试验物料进行试验设备效果的检测,结果如图 3 所示。冰水混合物的温度为 1℃ 左右,物料初始温度为 4℃,加热到 52℃ 时,时间点为 4.5 s,4.5 s 到 22.5 s 进行恒温,然后冷却,冷却时温度降为 20℃ 左右时时间点为 25.5 s,降为 10℃ 左右时时间点为 31.5 s。

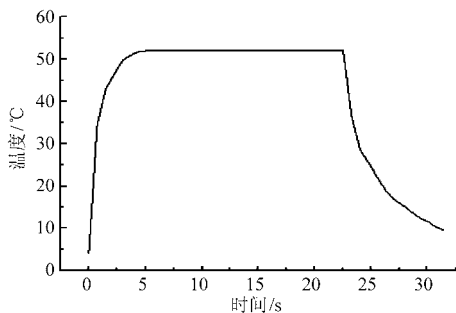


图3 巴氏杀菌设备的升降温试验曲线

Fig.3 Heating and cooling experiments of pasteurization equipment

3.2 巴氏杀菌机的应用验证

为了验证巴氏杀菌设备的效果,本试验采用污染了微生物的蛋清液进行杀菌试验,设定水温为 58℃,物料温度到 55℃ 为目标温度,检测杀菌前后以及随着杀菌时间延长的微生物杀灭效果^[8]。

如图 4 所示,试验所用蛋清液初始微生物数量为 8 700 CFU/mL,达到预定温度后,分别恒温 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 min,然后进行微生物培养,经过 48 h 培养发现,恒温 2.5 min 以后,微生物数量减少到 100 CFU/mL 以下,杀菌效果明显。

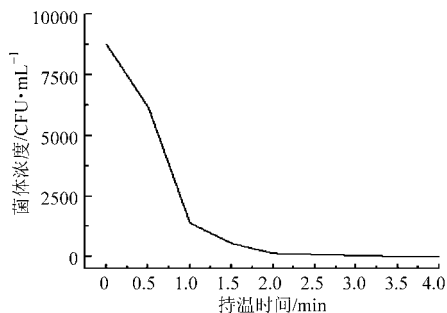


图4 蛋液中菌体浓度变化曲线

Fig.4 Microbial sterilization curves by pasteurization

Milzutani 等^[9]在对蛋清液进行杀菌时,得到的杀菌条件为 56℃、3.5 min 或 54℃、10 min。USDA^[10]所推荐的蛋清液杀菌条件为 55.6℃、3.1 min。相比较,本设备得到的杀菌条件为 55℃、2.5 min,所需要的处理时间明显较短,杀菌效果显著。这是由于本试验装置采用的细孔径加热器,加上蠕动泵脉冲传输,使得蛋液均匀迅速的升温,从而达到了较好的杀菌效果。

4 注意事项

- (1) 设备使用前应确定加热水箱和持温水箱是否达到工作所需的水位。
- (2) 使用前应检查管道是否通畅,是否有管道弯曲,是否有杂质造成的堵塞。
- (3) 当物料含有颗粒较大物质时,应先过滤,或者在物料管底部放置滤网。
- (4) 设备应在合适的工作温度范围内操作,杀菌操作开始必须预先进行预试验,寻找合适的流速。
- (5) 设备加热水箱温度设置大于杀菌温度 3℃ 时为宜。
- (6) 设备使用后,应按照水—碱—水—酸—水的步骤,进行彻底的清洗。

5 结束语

本杀菌设备对热交换核心部件管道式热交换器进行了改造,减小了加热器的管道口径,采用蠕动泵进行脉冲式物料传输、循环水加热、冰水降温和无菌灌装。

采用水作为试验物料进行升降温试验,结果显示物料由初始温度 4℃ 加热到 52℃ 时,用时 4.5 s,恒温结束后降温,降到 20℃ 左右时用时 3 s,降到 10℃ 左右时用时 6 s,设备具有良好的传热效率,升降温迅速。且管道口径小,物料损耗相对较少。

在本试验条件下,选用热敏性的蛋清液进行试验,结果显示在 55℃、2.5 min 条件下,微生物菌体浓度减少到 100 CFU/mL,具有良好的杀菌效果。

(下转第 185 页)

- Computer and Computing Technologies in Agriculture III. Boston: Springer, 2010, 317: 449 ~ 454.
- 6 杨方. 植物音频促长装置的研究与设计[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2004.
Yang Fang. Research and design of promotion growth of plant audio frequency [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 7 姜仕仁, 向小东. 基于动物鸣声和音乐混合的声频促长器的开发[J]. 浙江科技学院学报, 2011, 23(4): 271 ~ 275.
Jiang Shiren, Xiang Xiaodong. Growth-boost equipment based on animal voice and music: development and application [J]. Transactions of Zhejiang University of Science and Technology, 2011, 23(4): 271 ~ 275. (in Chinese)
- 8 Yang Fan, Bao Zhiyi, Zhu Zhujun, et al. The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum [J]. Journal of Environment Health, 2010, 72(8): 8 ~ 15.
- 9 Daesung Kima, Kihyun Kima, Semyung Wang, et al. Maximization of the directivity ratio with the desired audible gain level for broadband design of near field loudspeaker arrays [J]. Journal of Sound and Vibration, 2011, 330(23): 5 517 ~ 5 529.
- 10 贾继德, 陈剑, 王军. 车内噪声分析与控制研究[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 204 ~ 208.
Jia Jide, Chen Jian, Wang Jun. Analysis and control of the interior noise in passenger car [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 204 ~ 208. (in Chinese)
- 11 李建平, 魏宝刚. 松子开闭声学特性的试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 84 ~ 86.
Li Jianping, Wei Baogang. Experimental study on acoustical characteristics of pine nut with open and closed shells [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 84 ~ 86. (in Chinese)
- 12 惠力, 杨英, 周扬, 等. 自适应滤波在声学测波仪数据处理中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2009, 17(4): 26 ~ 30.
Hui Li, Yang Ying, Zhou Yang, et al. Application of adaptive filter in the data processing of acoustics wave gauge [J]. Meteorological Hydrological and Marine Instruments, 2009, 17(4): 26 ~ 30. (in Chinese)
- 13 Pandey A. Adaptive gain processing with offending frequency suppression for digital hearing aids [J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2012, 20(3): 1 043 ~ 1 055.
-

(上接第 160 页)

参 考 文 献

- 1 Smelt J P P M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(4): 152 ~ 158.
- 2 Zoeren-Grobden D V, Schrijver J, Berg H V D, et al. Human milk vitamin content after pasteurisation, storage, or tube feeding[J]. Archives of Disease in Childhood, 1987, 62(2): 161 ~ 165.
- 3 Pathomrungsyounggul P, Lewis M J, Grandison A S. Effects of calcium-chelating agents and pasteurisation on certain properties of calcium-fortified soy milk[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 808 ~ 814.
- 4 柏劲松, 雒亚洲, 刘成玉. 巴氏杀菌机的结构及应用[J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(3): 76 ~ 77.
Bai Jinsong, Luo Yazhou, Liu Chengyu. The structure and application of pasteur sterilization machine [J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2010, 23(3): 76 ~ 77. (in Chinese)
- 5 殷涌光. 食品机械与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- 6 赵思明. 食品工程原理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- 7 张洪流. 化工原理[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2006.
- 8 GB/T 4789. 2—2010 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定[S].
GB/T 4789. 2—2010 National food safety standard Food microbiological examination: aerobic plate count[S]. (in Chinese)
- 9 Milzutani K, Chen Y, Yamashita H, et al. Thermostabilization of ovotransferrin by anions for pasteurization of liquid egg white[J]. Biosci. Biotechnol. Biochem., 2006, 70(8): 1 839 ~ 1 845.
- 10 USDA/ARS. Egg pasteurization manual (ARS 74-48)[M]. Albany, CA: USDA/ARS, 1969.