

文章编号: 0253-4339(2012)02-0068-05

doi: 10.3969/j.issn. 0253-4339. 2012. 02. 068

带汤汁熟食品真空预冷飞溅现象分析及防止研究

范磊¹ 李保国¹ 雷海斌² 苏树强²

(1 上海理工大学食品科学与工程研究所 上海 200093; 2 上海锦立保鲜科技有限公司 上海 201201)

摘要 真空预冷带汤汁熟食品时,会发生汤汁飞溅现象。为防止飞溅,选取番茄蛋汤作为研究对象,分别采用分段式降压法和回压法进行实验并与自动式降压法进行了对比,发现两种方法均可有效防止沸腾飞溅的发生,使失水率减少38%,但冷却时间也会相对延长。

关键词 食品包装与贮藏;真空预冷;带汤汁熟食品;飞溅;防止

中图分类号: TS205; TB79

文献标识码: A

Research on the Splash of Cooked Food with Soup during Vacuum Cooling Process

Fan lei¹ Li Baoguo¹ Lei Haibin² Su Shuqiang²

(1. Institute of Food Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China; 2. Shanghai General Cooling Technology Co., Ltd, Shanghai, 201201, China)

Abstract When vacuum cooling the cooked food with soup, there was the phenomenon of soup splashing. In this paper, the tomato egg soup boiling and splashing during vacuum cooling process were studied through an observation window opened in the container. Adopting the means of controlling the filling gas valve opening and closing, and using segmented depressurization method and back pressure method can effectively prevent the occurrence of the boiling splash. The water loss rate is decreased 38%, but the relative cooling time is extended.

Keywords Food package and preservation; Vacuum cooling; Cooked food with soup; Splash; Prevention

真空预冷技术的原理是将被冷却的产品放在真空冷却室内,通过真空泵抽去空气以造成一个低压环境,使产品内部的水分得以蒸发:由于蒸发吸热,导致产品本身的温度降低^[1-3]。真空预冷的优点是:冷却速率快,大大缩短了食品加工时间,因而提高了产量;经真空冷却后的高温加热的食品,形状变化小;食品的品质、质地大多优于风冷的产品;在真空冷却中,除了整车食品进出真空室外,没有外界空气进入。因此它比风冷方法更卫生,可使货架期增加^[4-7]。目前真空冷却已经被广泛应用到水果、蔬菜等的预冷过程中。在真空冷却的研究方面,人们已经对真空冷却的理论模型、真空冷却过程中的气体温度变化以及能耗匹配等问题进行了深入的研究,并取得了大量研究成果^[8-10]。

在真空条件下,液体的沸点会降低,所以在运用真空预冷技术对熟食品尤其是对含有汤汁的熟食品或液体食品进行降温时容易沸腾而发生飞溅现象,由于食品中固形物成分不易在预冷过程中丢失,因此食品的失重率近似等于食品的失水率。目

前对于带汤汁熟食品的真空预冷飞溅方面研究,国内外文献还未见报道。因此,如何控制带汤汁熟食品或液态食品真空预冷过程中的飞溅,是生产中急需解决的问题。在此以番茄蛋汤作为研究对象,研究了在真空预冷过程中发生飞溅现象的机理,期望将真空预冷防飞溅技术应用于带汤汁熟食品快速冷却,为相关公司或企业提供参考。

1 带汤汁熟食品真空预冷失水量计算依据

根据能量守恒定律,食品因温度下降所散发的热量应等于水分蒸发所吸收的热量^[1],表达式如下

$$\Delta m \gamma = c G \Delta T \quad (1)$$

式中: c —食品冷却前比热容, $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$; G —食品的质量, kg ; ΔT —食品真空冷却前后的温降, K ; γ —食品中水的汽化潜热, kJ/kg ; Δm —失水量, kg 。

食品的理论失水量表达式如下

$$\Delta m_t = c G \Delta T / \gamma \quad (2)$$

收稿日期: 2011年7月20日

则食品的理论失水率表达式为

$$v_t = \Delta m_t / m_t \quad (3)$$

式中： m_t —冷却前食品的总质量，kg； Δm_t —理论失水量，kg； v_t —理论失水率，%。

由于食品的比热容不同，并且食品比热容是一个与食品组分有密切关系的物性参数，对于含水量较高的食品材料，其比热容基本上可由含水量所确定。番茄蛋汤是一种含水量较高的食品，所以它的比热容我们可以根据公式(4)估算求得，表达式如下

$$C = 1.470 + 2.729w \quad (4)$$

式中： w —食品中的含水量，%。

一般番茄蛋汤的含水量在70%~80%，计算选取75%作为它的含水量，根据公式(1)~(3)，可算出番茄蛋汤的理论失水量与理论失水率理论失水率分别为0.038kg与9.5%。

2 实验装置

实验采用VCE-15型真空实验预冷机(上海锦立保鲜科技有限公司研制)如图1所示，主要由真空箱体、捕水器、真空系统和制冷系统等组成。

样品在真空箱内实现降温冷却，真空箱采用不锈钢，尺寸为：650 mm×680 mm×449 mm,在真空箱内设置有4只热电偶温度传感器和5只热敏电

阻温度传感器，以测量真空箱内温度和物料各点温度，真空箱内还安装有真空压力传感器，以测量真空度。另外，在真空箱内设有内置式捕水器，蒸发出来的水蒸汽经冷凝器冷凝后，真空箱内的空气由真空泵抽走。在真空箱上部装有充气电磁阀，可用于物料真空冷却后复压；安装渗气阀，用于控制真空箱内的真空度，防止真空度过低，对果蔬造成冷害。真空泵为旋片式真空泵，抽真空速率为20m³/h。该实验台采用微机自动控制，所有的温度、真空度等数据通过计算机自动采集。

3 实验方法

以番茄蛋汤为研究对象，将装有400g番茄蛋汤的保鲜盒放入真空室内的托盘上(保鲜盒尺寸为15cm×15cm×7cm)，在番茄蛋汤中插入热电偶，关闭密封门并紧锁，接通电源，通过触摸屏或计算机设定真空压力以及预冷终温，按“自动运行启动”选项，进入自动运行状态。首先制冷机启动，当冷阱温度下降至-6℃时，真空泵自动启动抽真空，开始预冷；制冷机在冷阱温度降至-17℃自动停止，在冷阱温度上升至-13℃又自动启动，以防止制冷机液击；真空泵在冷阱温度低于-6℃下启动，高于-6℃停止，防止水蒸气进入真空泵；当物料温度降至设定温度时，制冷机、真空泵停止，

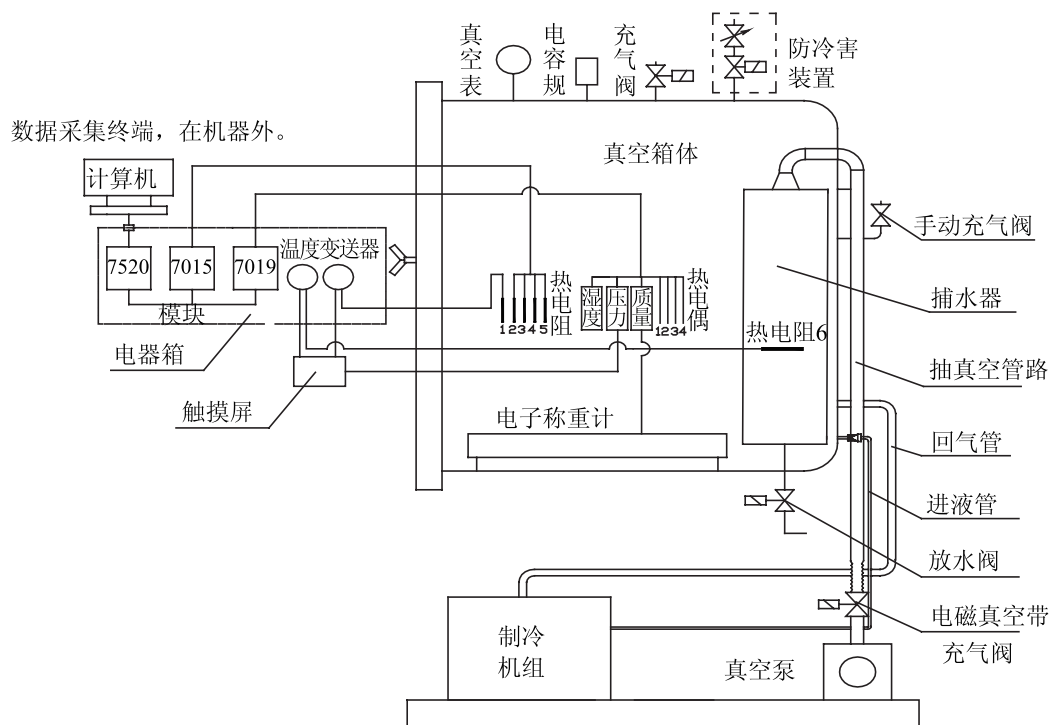


图1 真空预冷装置

Fig.1 Schematic diagram of the vacuum cooling equipment

渗气阀与充气阀打开,放水阀延时打开。整个实验过程的压力和温度参数由计算机自动采集记录,并可通过曲线显示出来,实验过程可通过观察窗进行拍摄。

4 结果与分析

4.1 飞溅过程研究

将72℃番茄蛋汤放入真空预冷室,预冷终温设为15℃,真空度终压设定为900~1500Pa,抽真空速率为20m³/h,参数设定好后,启动机器开始冷却,并通过数据采集系统,由计算机获得真空室压力、温度变化曲线。将这种降压预冷方法称为自动降压法,图2为自动降压预冷法温度、压力变化曲线。

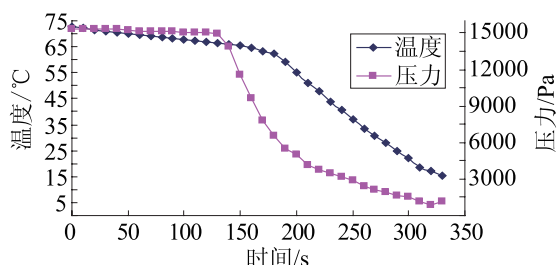


图2 自动降压预冷法温度、压力变化曲线

Fig. 2 Automatic pressure pre-cooling method of temperature and pressure curve

在对应的压力和温度变化条件下,通过真空室上的观测窗观察到番茄蛋汤真空冷却过程中沸腾飞溅现象,可分为飞溅前、飞溅期、飞溅后3个过程。

1) 飞溅前

刚开始机器处于制冷系统启动对冷阱降温时期,真空泵没有启动,真空室压力还处于大气压力。真空泵开始启动,但由于真空箱体内部压力还没有达到液体所对应的饱和蒸汽压力,所以没有沸腾发生,真空室内只是出现蒸汽,这是自然蒸发产生的,汤汁液体表面没有出现任何波动。图2中的0~130s即是处于此阶段,在这一阶段食品温度从72℃降至66℃;真空室压力从常压降至14955Pa。

2) 飞溅期

随着抽真空的继续,液面汤汁表面开始波动,此时真空室压力已经达到番茄蛋汤所对应的饱和蒸汽压力,并且汤汁表面压力低于汤汁内部压力,所以在汤汁表面最先产生沸腾现象,随后在汤汁内部开始沸腾,刚开始在汤汁中气泡较多气泡膨胀破裂产生的能量不足以使气泡所带的液体飞溅出保鲜盒。真空室压力的持续下降汤汁的沸腾程

度不断增强开始有汤汁飞溅出保鲜盒,随着汤汁液体内部气泡数量减少,沸腾间断发生,开始液体内部产生一些小气泡,小气泡不断聚集在一起形成大的气泡,当大气泡升至液面时破裂,产生较大的能量,导致有大量的液体飞溅而出。图2中所示的130~300s既是处于飞溅期阶段,在这一阶段食品温度从66℃降至21℃;真空室压力从14955 Pa降至1500 Pa,从实验曲线可以看出此阶段是食品温度变化最明显的时期。

3) 飞溅后

该过程如图2从300s到预冷结束,温度从21℃降至15℃,压力从1500 Pa降至900 Pa,此阶段虽然真空室压力已经达到汤汁所对应的饱和压力,但是汤汁并没有表现出沸腾现象,这是因为液体沸腾波动主要由气泡的扰动引起,在飞溅后期汤汁内部已经不含气体,没有气泡产生,所以不会出现沸腾和飞溅,但是汤汁液体的蒸发还在进行,所以食品的温度会不断降低,直至降到预冷终温。

4.2 分段式降压法对真空预冷飞溅的影响

分段式降压法是将真空室压力降低到出现沸腾现象对应的压力时,保持一段时间,直至不再出现沸腾现象;然后继续降低压力,到出现沸腾现象所对应的压力时,再次保持一段时间直至不再出现沸腾现象,重复此过程,直至食品温度达到预定的终温。分段式降压法通过控制气泡的大小,不让气泡破裂从而达到抑制飞溅的效果。图3所示为分段式降压法温度、压力变化曲线。

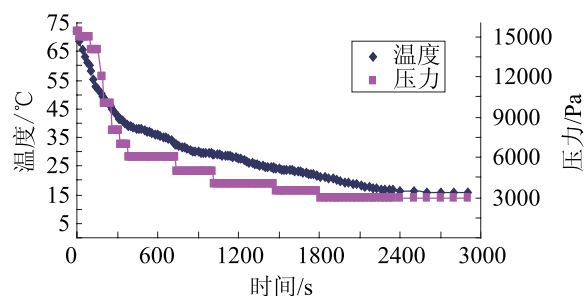


图3 分段式降压法温度、压力变化曲线

Fig. 3 Segmented depressurization temperature and pressure curve

由于真空室压力降低到15kPa、14kPa、12kPa、10kPa、8kPa、7kPa、6kPa、5kPa、4kPa、3.5kPa、3kPa时均出现沸腾现象,之所以食品会在不同的压力下出现沸腾现象是因为食品在整个过程中一直处于降温过程,不同的时间有不同的食品温度也就有不同的饱和蒸汽压,而沸腾能够使温度变化的明显一些,所以才产生了在不同的压力下拥有

了沸腾现象。在以上不同压力下，真空室保持时间分别为：75s, 60s, 10s, 50s, 50s, 55s, 350s, 265s, 445s, 305s和1090s。在图3中可以看到真空室压力呈阶梯式变化，并且在不同的压力梯度有不同的保持时间，当真空室压力在15kPa至7kPa时，保持的时间较短，这是因为在此压力段时食品中气泡不易聚集，热量散失的很快，食品温度可以降低的很快，但是当真空室压力低于7kPa时由于沸腾出现的气泡不易破裂，导致食品内部的热量不易散失，食品温度下降较慢，所以在不同的压力下需要保持时间较长。

4.3 回压法对真空预冷飞溅的影响

回压法是在真空室抽真空过程中，当汤汁出现沸腾现象时，利用充气阀进行回压，以破坏气泡的形成，然后重新抽真空，当汤汁再次出现沸腾时再次充气，由于每一次沸腾都会使热量快速的散失出去，所以依照此过程进行降温，直至食品温度达到预定的终温，回压法的原理就是运用突然地回压来破坏即将形成的气泡，从而达到抑制飞溅的目的，运用回压法进行真空预冷时的温度、压力变化曲线如图4。

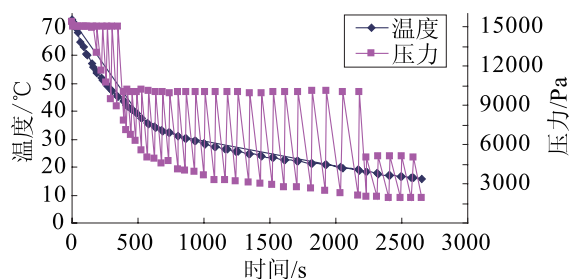


图4 回压法温度、压力变化曲线

Fig.4 Back-pressure method temperature and pressure curve

由图4压力变化曲线所知：真空室压力在8~15kPa范围内，任一压力出现汤汁沸腾现象时，立刻进行充气回压至15kPa；真空室压力在2~8kPa范围内，任一真空室压力出现汤汁沸腾现象时，立刻进行充气回压至10kPa；真空室压力在0.9~2kPa范围内，任一压力出现汤汁沸腾现象时，立刻进行充气回压至5kPa。从实验所得数据可知：真空室压力处于14910Pa、13042.5Pa、11667.5Pa、10740Pa、9422.5Pa、8885Pa时均出现沸腾现象所以当真空室降至以上压力时快速回压至15kPa；真空室压力处于7842.5Pa、7085Pa、6697.5Pa、6267.5Pa、5525Pa、5000Pa、4937.5Pa、4572.5Pa、4682.5Pa、4095Pa、4007.5Pa、3932.5Pa、3632.5Pa、

3272.5Pa、3262.5Pa、3207Pa、3085Pa、2995Pa、2925Pa、2705Pa、2692.5Pa、2612.5Pa、2442.5Pa、2245Pa、2130Pa时出现沸腾现象所以快速回压至10kPa；真空室压力处于1993Pa、1977.5Pa、1940Pa、1937.5Pa、1930Pa时出现沸腾现象，所以回压至5kPa，从数据可知随着不断的回压，出现沸腾现象所对应的压力在不断下降，这是因为每次回压都会破坏一些气泡的形成，而未被破坏的气泡会在更低的压力下才能够形成，这是因为食品的温度在不断的变化着，随着气泡的不断减少食品的温度也在不断降低直至食品温度达到预定的终温。由于飞溅会造成食品水分损失，表1列出了不同预冷方法对防飞溅的效果。

表1 不同方法失水率及预冷时间

Tab.1 Weight loss and different methods of water loss and pre-cooling schedule

	初重/g	末重/g	失水/g	失水率/%	预冷时间/min
自动降压法	400	212	188	47	5.5
分段降压法	400	361	39	9.8	48.3
回压法	400	361	39	9.8	44.2

从表1可以看出，自动降压法进行预冷时虽然预冷时间很短，但是由于产生沸腾飞溅失水严重；分段降压法和回压法都可有效控制真空预冷飞溅，使食品失水量接近于理论失水量，但采用这两种方法预冷时间较长，对于汤汁食品的真空冷却，采用分段降压法和回压法是可行的。

5 结论

随着真空预冷技术应用范围的不断扩大，熟食品尤其是液态和带汤汁食品真空预冷飞溅问题将会越来越突出。这里采用番茄蛋汤作为研究对象，观察到带汤汁熟食品真空预冷飞溅可以分为三个过程，每个过程有不同的表现形式，采用分段式降压法和回压法可以有效的抑制飞溅，从而减少带汤汁熟食品的失水，使它的失水率接近于理论失水率9.5%。

本文受上海市重点学科建设(S30503)，上海市教委科研创新重点项目(09ZZ159)，上海市联盟计划项目资助。(The project was supported by Shanghai Leading Academic Discipline Project(No.S30503), Key Project of Shanghai Education Commission on Research Innovation(No.09ZZ159) and Shanghai union plans.)

参考文献

- [1] Lijun Wang, Dawen Sun. Modelling vacuum cooling process of cooked meat part 1: analysis of vacuum cooling system[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2002, 25: 854-861.
- [2] 徐文强, 陈儿同, 徐彬凯. 液体真空冷却过程中失水及浓度变化问题研究[J]. *制冷学报*, 2011, 32(1): 38-42. (Xu Wenqiang, Chen Ertong, Xu Binkai. Study on Water Loss and Concentration Change of Liquid in Vacuum Cooling Process[J]. *Journal of Refrigeration*, 2011, 32(1): 38-42.)
- [3] Da-wen Sun, Li-jun Wang. Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2000, 23: 508-516.
- [4] 王海鸥, 姜松. 真空冷却技术及其在食品工业的研究和应用[J]. *制冷*, 2004, 23(1): 33-36. (Wang Haiou, Jiang Song. Vacuum Cooling Technology and Its Research and Application Status in Food Industry[J]. *Refrigeration*, 2004, 23(1): 33-36.)
- [5] Karl Mc Donald, Da-wen Sun. Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 48: 195-202.
- [6] Karl Mc Donald, Da-wen Sun. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review [J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 45(2): 55-65.
- [7] 黄琛, 蒋士龙, 李云飞. 鱼香肉丝真空冷却工艺研究[J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2007, 25(6): 590-594. (Huang Chen, Jiang Shilong, Li Yunfei. Study on Vacuum Cooling of Yuxiangrousi[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2007, 25(6): 590-594.)
- [8] 邓东泉, 孙恒, 肖尤明, 等. 真空预冷技术的现状和发展前景[J]. *食品工业科技*, 2002, 23(7): 73-75. 75. (Deng Dongquan, Sun Heng, Xiao Youming, et al. The Status and Development Prospects of Vacuum Cooling [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2002, 23(7): 73-75.)
- [9] 严雷, 刘斌, 邹同华. 真空预冷中捕水器与真空泵的优化匹配研究[J]. *制冷学报*, 2006, 27(1): 49-52. (Yan Lei, Liu Bin, Zou Tonghua. Study on Optimization Matching of Catcher and Vacuum pump in Vacuum cooling[J]. *Journal of Refrigeration*, 2006, 27(1): 49-52.)
- [10] 周冰, 陈儿同, 徐波, 等. 真空冷却中的气体温度变化特性研究[J]. *制冷学报*, 2006, 27(6): 18-21. (Zhou Bing, Chen Ertong, Xu Bo, et al. Study on Air Temperature of Vacuum Cooling[J]. *Journal of Refrigeration*, 2006, 27(6): 18-21.)
- [11] 陈儿同, 王艳, 徐彬凯, 等. 真空冷却中失水率问题研究[J]. *上海理工大学学报*, 2009, 31(1): 95-98. (Chen Ertong, Wang Yan, Xu Binkai, et al. Study on the water loss rate in the process of vacuum cooling[J]. *University of Shanghai for Science and Technology*, 2009, 31(1): 95-98)

作者简介

范磊, 男(1984—), 硕士研究生, 上海市杨浦区军工路516号, 上海理工大学食品科学与工程研究所, 200093, 18917212315, E-mail: fanxiaoleilei@163.com。研究方向: 食品贮藏保鲜技术。

About the author

Fan Lei (1984—), male, master graduate student, Institute of Food Science and Technology, University of Shanghai for Science and Technology, 516#, Jungong Road, Shanghai, China, 200093, 18917212315, E-mail: fanxiaoleilei@163.com. Research fields: technology of food's storage and fresh keeping.