

文章编号: 0253-4339(2011)03-0060-05

DOI编码: 10.3969/j.issn.0253-4339.2011.03.060

自然冷却与真空冷却对蛋糕货架期的影响

崔 诚 李保国 管 骁

(上海理工大学食品科学与工程研究所 上海 200093)

摘 要 为考察冷却方法对蛋糕货架期的影响,进行了自然冷却与真空冷却蛋糕的实验研究。比较了经两种方法冷却后,在不同贮藏温度条件(4℃、15℃、25℃、37℃)下,微生物随贮藏时间的变化规律。发现微生物数量随贮藏时间的延长而增加,微生物生长速率随贮藏温度的升高而增大。根据不同贮藏温度条件下蛋糕中微生物随时间的变化,拟合得到微生物生长的动力学初级模型。并运用Arrhenius方程分别建立了蛋糕真空冷却后贮藏过程中菌落总数、霉菌数量与贮藏温度、时间之间动力学二级模型。结合动力学模型,推导出了真空冷却蛋糕的货架期预测模型。研究结果表明,所建立的蛋糕货架期预测模型其预测误差小于12%,可用于预测蛋糕的货架期。

关键词 食品包装与贮藏;真空预冷;蛋糕;生长动力学模型;货架期预测

中图分类号: TS205; TB69

文献标识码: A

Effect of Natural Air Cooling and Vacuum Pre-cooling on Shelf Life of Cake

Cui Cheng Li Baoguo Guan Xiao

(Institute of Food Science and Technology, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract The influence of vacuum pre-cooling cake on the shelf life was analyzed and compared with natural air cooling. The changes of total number of bacteria and moulds in cakes during storage at different temperatures(4℃, 15℃, 25℃, 37℃) were analyzed. Results showed that the total microbial count of cake was increased with prolonged storage time, and there was an increase in microbial growth rate as storage temperature rose. Primary kinetic models were obtained by analyzing the changes of microbial count in cakes. Kinetic models were developed for total number of colonies and moulds as a function of storage time and temperature based on Arrhenius equation. Mathematic models for predicting the shelf life of cake were obtained based on the kinetic models. It shows that relative error between prediction by the model for the shelf life of cake and observed shelf life is less than 12%, which indicates that this model could be used for predicting the shelf life of cakes.

Keywords Package and preservation of food; Vacuum pre-cooling; Cake; Growth kinetics model; Shelf life prediction

焙烤食品在节日庆典的饮食中占有重要地位。如今,蛋糕及其它焙烤食品已发展为规模化生产,成为我国食品工业的重要组成部分。蛋糕虽然深受人们喜爱且需求逐年攀升,但其保藏较为困难,货架期较短。若处理不当,不仅会造成浪费,而且增加企业生产成本。

影响蛋糕货架期的主要因素是微生物侵染。目前延长其货架期的方法为控制焙烤后微生物的生长,采取的措施包括添加防腐剂、气调包装、氧气吸附剂技术等^[1]。随着人们对食品安全的重视,化学防腐剂已逐渐被其它技术取代。虽然采用气调包装与氧气吸附技术能部分抑制微生物的生长,但必须在食品冷却包装后才能起作用。

蛋糕在焙烤后需要经过冷却才能进行包装或出售,在冷却过程中微生物侵染已经开始。若能在冷却时降低微生物对蛋糕的侵染,则有利于后期保藏。国内外学者将真空冷却技术应用于果蔬、熟肉的冷却^[2-4]。由于真空冷却能使被冷却产品快速通过微生物繁殖温区(25℃~50℃),故可减少微生物的侵染、延长其货架期^[5]。实验将真空冷却技术应用于蛋糕的冷却,通过与自然冷却比较,分析其在延长蛋糕货架期上的优势。并以微生物为指标,建立蛋糕货架期预测模型。期望能将真空冷却技术应用于焙烤食品的快速冷却中,为提高产品品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验材料：鸡蛋(成都正大无公害鲜鸡蛋)、白砂糖(上海得众食品有限公司)、特制小麦粉(潍坊风筝面粉有限公司)、葵花籽油(上海良友海狮油脂实业有限公司)、泡打粉(桂林红星化工有限责任公司)

试验仪器：VCE-15型真空预冷实验机(上海锦立新能源科技有限公司)、PE8800多功能面包机(北京中兴柏翠电器有限公司)、BCD-189S冰箱(松下电器有限公司)、MJ-180B-II恒温培养箱(上海跃进医疗器械厂)、YXQ-LS-SII 型全自动立式电热压力蒸汽灭菌器(上海博迅实业有限公司医疗设备厂)、MP5002电子天平(上海精密仪器仪表有限公司)、S.SW-CJ-1C 净化工作台。

1.2 试验方法

1.2.1 蛋糕的制作

将鸡蛋2个、葵花籽油50mL、面粉70g、砂糖50g、泡打粉2g加入碗内搅拌均匀后放入蛋糕机内烘烤35min，烘烤颜色选择浅。

1.2.2 试验设计

将自然冷却(室温25℃)、真空冷却的蛋糕用保鲜膜包好后分别置于4℃、15℃、25℃、37℃环境中保存。每天检测其中菌落总数、霉菌及大肠菌群的数量，每次检测取3个平行样品。若检测到的微生物数量超过国标GB 7099-2003《糕点、面包卫生标准》中的要求，则该样品不再检测。

1.2.3 检测方法

按照国标GB 4789.2-2010《食品微生物学检验：菌落总数测定》、GB 4789.15-2010《食品微生物

学检验：霉菌和酵母计数》、GB 4789.3—2010《食品微生物学检验：大肠菌群计数》规定的方法进行严格操作，检测样品中的菌落总数。

1.2.4 数据处理

数据回归拟合与误差分析使用Excel软件。

2 结果与讨论

2.1 自然冷却与真空冷却对蛋糕中微生物的影响

真空冷却(冷却压力1800Pa，冷却终温24℃)的蛋糕在不同温度下贮藏时，其微生物数量随时间变化见表1。由表1可知：在37℃贮藏条件下，蛋糕中的菌落总数与霉菌数量均在第三天就已超过上限值；随着贮藏温度降低，蛋糕中微生物生长速率下降，这说明低温环境对微生物的生长有一定抑制作用。在蛋糕样品中未检测出大肠菌群，这是因为蛋糕中大肠菌群的引入主要是烘烤后环境(空气)和人员的污染^[6]；实验中将蛋糕在真空条件下冷却且使用器具均采用蒸汽灭菌、酒精消毒，所以样品未受到大肠菌群的侵染。根据国标GB 7099-2003《糕点、面包卫生标准》对热加工糕点、面包的微生物指标要求，实验中采用菌落总数为1500cfu/g、霉菌计数为100cfu/g作为指标上限。当蛋糕中微生物指标超过该值时，认为蛋糕已经变质，不具备食用安全性。

表2是自然冷却的蛋糕在不同贮藏温度条件下微生物随时间的变化情况。由表2可以看出：自然冷却蛋糕的菌落总数、霉菌数量的初始值都远高于真空冷却的蛋糕，这说明真空预冷可有效抑制蛋糕在冷却过程中微生物的繁殖；在37℃、25℃、15℃、4℃条件下贮藏时，自然冷却蛋糕的霉菌数

表1 真空冷却的蛋糕在不同贮藏温度下微生物随时间的变化

Tab.1 Change of total number of bacteria and moulds in cakes during storage at different temperatures

贮藏时间/d	菌落总数/(cfu/g)				霉菌计数/(cfu/g)			
	4℃	15℃	25℃	37℃	4℃	15℃	25℃	37℃
0	8.6×10	8.6×10	8.6×10	8.6×10	1.9×10	1.9×10	1.9×10	1.9×10
1	1.3×10 ²	1.5×10 ²	1.9×10 ²	3.7×10 ²	2.4×10	2.7×10	3.1×10	4.0×10
2	2.2×10 ²	2.9×10 ²	4.2×10 ²	1.4×10 ³	3.0×10	3.6×10	4.8×10	9.2×10
3	3.5×10 ²	5.6×10 ²	9.5×10 ²	3.2×10 ³	4.1×10	6.1×10	8.7×10	2.3×10 ²
4	5.3×10 ²	8.8×10 ²	1.6×10 ³	*	6.4×10	9.2×10	1.3×10 ²	*
5	8.7×10 ²	1.3×10 ³	*	*	8.2×10	1.3×10 ²	*	*
6	1.4×10 ³	2.4×10 ³	*	*	9.9×10		*	*
7	2.5×10 ³		*	*	1.5×10 ²		*	*

注：*表示未测定

表2 自然冷却的蛋糕在不同贮藏温度下微生物随时间的变化

Tab.2 Change of total number of bacteria and moulds in cakes during storage at different temperatures

贮藏时间/d	菌落总数/(cfu/g)				霉菌计数/(cfu/g)			
	4℃	15℃	25℃	37℃	4℃	15℃	25℃	37℃
0	3.2×10^2	3.2×10^2	3.2×10^2	3.2×10^2	3.2×10	3.2×10	3.2×10	3.2×10
1	4.8×10^2	6.1×10^2	7.3×10^2	2.4×10^3	4.4×10	5.0×10	6.1×10	1.5×10^2
2	8.7×10^2	1.2×10^3	1.7×10^3	*	7.0×10	1.0×10^2	1.2×10^2	*
3	1.5×10^3	1.9×10^3	*	*	1.1×10^2		*	*
4	2.7×10^3		*	*	*		*	*

注：*表示未测定

表3 不同贮藏温度条件下微生物的生长速率

Tab.3 Microbial growth rate of cake at different storage temperatures

贮藏温度/℃	菌落总数				霉菌			
	4	15	25	37	4	15	25	37
k/d^{-1}	0.4691	0.5655	0.7621	1.2778	0.2857	0.3828	0.4867	0.8129
R^2	0.998	0.993	0.994	0.982	0.990	0.993	0.997	0.997

量分别在第1、2、3、4天时就已超过国家标准，到达货架期终点。与表1对比：真空冷却的蛋糕在37℃、25℃、15℃、4℃条件下贮藏时，其货架期分别约为2、3、4、6天。可以得出结论：真空预冷处理有利于蛋糕的后期贮藏，延长其货架期。通过对比分析，真空预冷能够延长蛋糕货架期的原因是：真空预冷在密闭的空间里将样品冷却，可有效避免环境对产品的污染；真空冷却速度快，避开了蛋糕降温过程中在25℃~50℃所产生的细菌繁殖。为了给生产和销售设定合理产品贮藏温度，进一步对真空预冷蛋糕的货架期预测模型进行分析研究。

2.2 蛋糕中微生物生长速率的Arrhenius方程

食品品质的变化(物理、化学和微生物变化)可以从动力学角度进行分析^[7]，国内外已有一些研究证明动力学模型能够较好的反应此类变化^[8-10]。本实验中各恒定贮藏温度条件下样品菌落总数、霉菌数量变化与贮藏时间的关系可简化为一级反应：

$$N = N_0 \exp(kt) \quad (1)$$

其对数形式为：

$$\ln N = \ln N_0 + kt \quad (2)$$

式中： N_0 为初始时刻的微生物数量，cfu/g； N 为 t 时刻的微生物数量，cfu/g； k 为微生物生长速率， d^{-1} ； t 为贮藏时间，d。

以表1中数据，利用Excel软件按照式(1)，对各温度条件下微生物数量随贮藏时间变化的数据进行回归拟合，得到不同贮藏温度下蛋糕中微生物的

生长速率 k 及对应的非线性回归相关系数 R^2 如表3。

由表3可知，各贮藏温度条件下 k 值的拟合相关系数 R^2 在0.982~0.998之间，能较好的反映微生物的生长情况。在4℃~37℃贮藏时，微生物延迟期短，快速进入对数生长期，所以生长速率 k 值的拟合度较高。

Arrhenius方程常用来描述一级反应中反应速率的温度依赖性^[11]，蛋糕中微生物生长速率与贮藏温度之间满足方程(3)：

$$k = k_0 \exp(-Ea / RT) \quad (3)$$

对数形式：

$$\ln k = -Ea / RT + \ln k_0 \quad (4)$$

式中： k 为微生物生长速率， d^{-1} ； k_0 为表观速率因子， d^{-1} ； Ea 为表观活化能，J/mol； R 为摩尔气体常量，J/(mol·K)； T 为绝对温度，K。

从式(4)可以看出 $\ln k$ 与 $1/T$ 为线性关系，表观活化能 Ea 由直线的斜率决定。以表3数据用Excel按照式(4)拟合各指标下 $\ln k$ 与 $1/T$ 的线性关系，得到图1、图2及其对应拟合方程(5)、方程(6)，相关系数分别为 $R=0.96$ (菌落总数)、 $R=0.97$ (霉菌)：

$$\ln k = -2513.2 / T + 8.2769 \quad (5)$$

$$\ln k = -2662.5 / T + 8.3102 \quad (6)$$

则样品中细菌、霉菌生长速率的Arrhenius方程为：

$$k = \exp(-2513.2 / T + 8.2769) \quad (7)$$

$$k = \exp(-2662.5 / T + 8.3102) \quad (8)$$

由上式可知，给定贮藏温度 T (在一定温度范

围)就可以预测该温度下样品中微生物生长速率 k 。

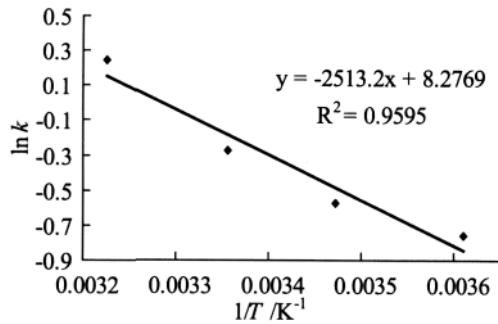


图1 蛋糕菌落总数变化的Arrhenius曲线

Fig.1 Arrhenius curve for total number of bacteria in cakes

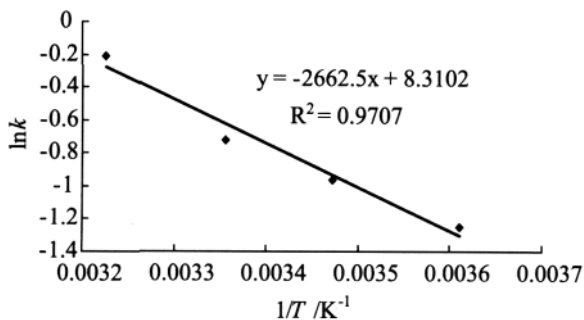


图2 蛋糕霉菌数量变化的Arrhenius曲线

Fig.2 Arrhenius curve for total number of moulds in cakes

2.3 蛋糕的货架期预测模型

由式(2)变形,可以得到某一恒定贮藏温度条

件下蛋糕的货架期公式(9):

$$\ln(N_f / N_0) = k\phi \quad (9)$$

式中: N_f 为蛋糕货架期终点时的微生物总数, cfu/g; ϕ 为恒定温度条件下蛋糕的货架期, d。

式(9)与式(3)联立,得到公式:

$$\phi = \ln(N_f / N_0) / [k_0 \exp(-Ea / RT)] \quad (10)$$

式中: $\ln(N_f / N_0)$ 、 k_0 、 Ea/R 为恒定值,所以蛋糕货架期 ϕ 是 $1/T$ 的单值函数,并且与其成指数关系,对式(10)两边取对数后可变形为:

$$\ln \phi = b / T + c \quad (11)$$

式中: b 、 c 为特征参数, $b = Ea / R$, $c = -\ln k_0 + \ln [\ln(N_f / N_0)]$ 。实验中, N_f 取国标规定的菌落总数上限1500cfu/g、霉菌计数上限100cfu/g, N_0 为样品初始菌落数86cfu/g、霉菌数19cfu/g, k_0 、 Ea/R 可分别由式(7)、式(8)求得,计算得出菌落总数及霉菌数量的 b 、 c 值分别为2513.2、-7.2265和2662.5、-7.8029。代入式(11)得:

$$\ln \phi = 2513.2 / T - 7.2265 \quad (12)$$

$$\ln \phi = 2662.5 / T - 7.8029 \quad (13)$$

利用式(12)、式(13)可预测各实验温度条件下蛋糕的货架期 $\phi_{\text{测}}$,与表3各温度条件下 k 值直接以式(9)计算的样品货架期 ϕ_0 进行对比和分析,列于表4中。

表4 各实验温度条件下蛋糕货架期预测值与直接计算值的对比分析

Tab.4 Comparison between predicted and actual values of shelf life of cake at different temperatures

贮藏温度/℃	菌落总数				霉菌			
	4	15	25	37	4	15	25	37
ϕ_0	6.09	5.05	3.75	2.24	5.81	4.34	3.41	2.04
$\phi_{\text{测}}$	6.34	4.48	3.35	2.41	6.10	4.23	3.10	2.20
相对误差/%	4.11	-11.3	-10.7	7.59	4.99	-2.53	-9.09	7.84

注: 相对误差 = $[(\phi_{\text{测}} - \phi_0) / \phi_0] \times 100\%$

通过实验获得样品货架期真值较难,这需要每小时检测一次,工作量十分繁琐。因表3中 k 值拟合度均较高,故认为以其直接计算得到的 ϕ_0 极近似于真值。由表4可以看出:蛋糕在不同温度下贮藏时,货架期的预测值与直接计算值相对误差均在12%以内,所以 $\phi_{\text{测}}$ 能够较好的反映样品的货架期。以霉菌数量计算的货架期均低于以菌落总数计算的货架期,这说明蛋糕中霉菌的数量较容易超标,所以蛋糕的实际货架期应以霉菌计算的货架期为准,即应用式(13)计算蛋糕的货架期。

3 结论

以菌落总数、霉菌数量为品质指标,通过与自然冷却做比较,得出真空预冷处理的蛋糕在货架期上有明显优势。根据实验数据拟合出不同贮藏温度条件下蛋糕中微生物的生长速率 k ;通过Arrhenius方程模拟贮藏温度 T 与微生物生长速率 k 之间的关系;建立了贮藏温度 T 与该温度条件下蛋糕货架期模型。利用该模型进行预测,可为生产厂家提供不同贮藏温度条件下真空预冷蛋糕的货架期,为合理设定蛋糕的贮藏条件提供参考。

真空预冷的蛋糕比自然冷却蛋糕的货架期提高了近一倍。目前市售蛋糕的货架期通常为: 1、4季度5天, 2、3季度3天。但是从这些蛋糕或面包的外包装上可以看到, 其中都添加了丙酸钙等食品添加剂。丙酸盐是常用的一种食品防腐剂, 在国标规定的范围内添加能有效延长食品的保质期^[12]。实验中制作的蛋糕未添加任何防腐剂, 通过采用真空预冷的方法已达到与市售添加防腐剂的蛋糕同样的货架期。因此真空预冷是一种绿色、延长焙烤食品货架期的方法, 可以应用于焙烤食品的快速冷却。

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] 冯敏, 张保顺, 黄明, 等. 焙烤食品货架期的影响因素和延长措施[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(3): 49-51. (Feng Min, Zhang Baoshun, Huang Ming, et al. Influence factors and extending measures to the shelf life of baking foods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2005, 13(3): 49-51.)
- [2] 金听祥, 朱鸿梅, 李改莲, 等. 真空冷却技术的研究进展[J]. 食品科学, 2005, 26(6): 276-280. (Jin Tingxiang, Zhu Hongmei, Li Gailian, et al. Review on research development of vacuum cooling[J]. Food Science, 2005, 26(6): 276-280.)
- [3] Sun D W, Wang L J. Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods[J]. International Journal of Refrigeration, 2000, 23: 508-516.
- [4] 刘升, 武田吉弘, 崛茂树. 不同的冷却方法和冷藏对小白菜(油菜)品质的影响[J]. 制冷学报, 2007, 3: 50-53. (Liu Sheng, Yoshihiro Takeda, Sigeki Hori. Effect of different cooling method and cold storing on quality of pakchoi[J]. Journal of Refrigeration, 2007, 3: 50-53.)
- [5] 王雪芹, 陈儿同, 林美英, 等. 苘蒿真空冷却的实验研究[J]. 制冷学报, 2005, 1: 11-13. (Wang Xueqin, Chen Ertong, Lin Meiyong, et al. Study on the vacuum cooling of crown daisy[J]. Journal of Refrigeration, 2005, 1: 11-13.)
- [6] 白凤翎, 马春颖, 刘岩, 等. 食品中微生物卫生标准相关性研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 139-142. (Bai Fengling, Ma Chunying, Liu Yan, et al. Research on correlativity of the microbiological hygiene standards of foodstuffs[J]. Food Science, 2006, 27(11): 139-142.)
- [7] Martinus A J S, Van B. Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review[J]. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2008, 7: 144-158.
- [8] 宋晨, 刘宝林, 王欣, 等. 冷冻羊肉剩余货架期预测模型研究[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 279-282. (Song Chen, Liu Baolin, Wang Xin, et al. Modeling of remaining shelf-life prediction of frozen lamb[J]. Food Science, 2010, 31(6): 279-282.)
- [9] Zanon B, Pagliarini E, Galli A, et al. Shelf-life prediction of fresh blood orange juice[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70: 512-517.
- [10] Corradini M G, Peleg M. Shelf-life estimation from accelerated storage data[J]. Trends in Food Science and Technology, 2007, 18: 37-47.
- [11] Sherlock M, Labuza T P. Consumer perceptions of consumer time-temperature indicators for use on refrigerated dairy foods[J]. Journal of Dairy Science, 1992, 75(11): 3167-3176.
- [12] 尤新. 焙烤食品和食品添加剂[J]. 粮食加工, 2009, 34(6): 11-13. (You Xin. Bakery food and food additive[J]. Grain Processing, 2009, 34(6): 11-13.)

作者简介

崔诚, 男(1985-), 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, 15026956100, cuicheng0123@163.com。研究方向: 食品贮藏保鲜技术。

About the author

Cui Cheng (1985-), male, master graduate student, Institute of Food Science and Technology, University of Shanghai for Science and Technology, 516#, Jungong Street, Shanghai, China, 200093, 15026956100, E-mail: cuicheng0123@163.com. Research fields: technology of food's storage and fresh keeping.