第7卷 无锡轻工业学院学报 Vol.7
第3期 JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY 1988 No.3

固液混装罐头食品固体中心冷点温度预测

高福成 陆振曦 黄福南* 杨方琪 张仲彬
（食工系） （机械系） （食工系）

摘 要

本文探索了固液混装罐头食品的传热特性。应用 CS—2 型温度信息处理机测定了固液混装罐头食品的固体和汤汁中心冷点温度值。编了计算机程序，计算传热过程的参数 j、f 值。建立一系列的固体和汤汁冷点处的传热方程和确立罐头食品的固液传热比方程，可预测固体中心温度值，百分误差在允许范围内。本文提出的方法是一种较理想的预测固体中心温度方法，可供制订合理杀菌工艺条件之用。

主题词：温度信息处理机；
传热比方程；杀菌工艺条件。

前 言

由于固液混装罐头食品传热机理的复杂性，目前无法采用单纯数学方法进行固体食品温度值的预测。国内外热电偶罐头中心温度测定仪的设计一般只适应于测定汤汁的温度，例如，使用最为广泛的丹麦 ellab TEC 罐头中心温度测定仪就是如此。虽然美国 Eck lund 热电偶可用于固体温度的测定，但尚有较大误差，特别是测定不大的固体食品更是如此。但借助实验测定传热的特性常数 j 、f 值，建立汤汁温度和固体食品温度之间的内在联系，应用本研究中所提出的方法，就可以解决固体食品温度的正确预测问题。

1 经验公式推导

经研究表明，固液混装罐头食品的传热规律是：固体食品冷点处的加热曲线是简单直线型的；汤汁的加热曲线是转折型的[3]（杀菌锅温升是瞬间的）。典型的加热曲线如图 1 所示。以下是经验方程的推导过程

固体食品冷点处的传热曲线方程为：

$$(T_1 - T_{固})/(T_1 - T_0) = j_{固}\, 10^{-t/f_{固}} \qquad (1)$$

本文 1988 年 4 月 5 日收到。
*轻工部食品发酵研究所

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

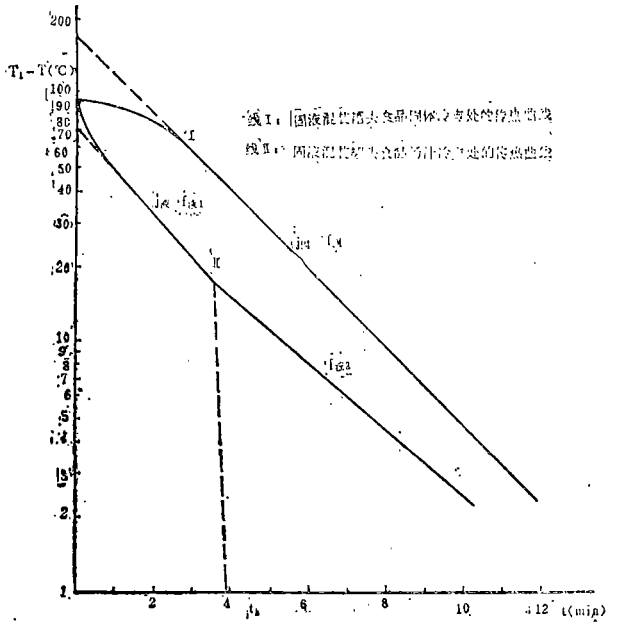

图1 固液混装罐头食品的加热曲线

汤汁冷点处的传热曲线方程为

$$(T_1-T_{汤})/(T_1-T_0)=j_{液}\,10^{-t/f_1} \qquad (2)$$

$$(T_1-T_{汤})/(T_1-T_h)=10^{-(t-t_h)f_2} \qquad (3)$$

方程式(3)左边分母、分子同除以$(T-T_0)$得：

$$(T_1-T_{汤})/(T_1-T_0)=[(T_1-T_h)/(T_1-T_0)]\,10^{-(t-t_h)/f_2} \qquad (4)$$

因为 $$(T_1-T_h)/(T_1-T_0)=j_{液}\,10^{-t_h/f_1}$$

故(4)成为 $$(T_1-T_{汤})/(T_1-T_0)=j_{液}\,10^{-t_h/f_1}\cdot 10^{-(t-t_h)/f_2} \qquad (5)$$

方程(1)除以方程(2)得转折点前段传热曲线的固液比方程：

$$(T_1-T_{固})/(T_1-T_{汤})=j_{固}/j_{液}\,10^{-(1/f_{固}-1/f_1)t}$$

设 $$RH=lg[(T_1-T_{固})/T_1-T_{汤})]$$

则 $$RH=lg\,(j_{固}/j_{液})+(1/f_1-1/f_{固})t \qquad (0\leqslant t<t_h) \qquad (6)$$

方程(1)除以方程(5)得转折点后段传热曲线的固液传热比方程：

$$(T_1-T_{固})/(T_1-T_{汤})=j_{固}\cdot 10^{-t/f_{固}}/j_{液}\cdot 10^{-t_h/f_1}\cdot 10^{-(t-t_h)/f_2}$$

设 $$RH=lg[(T_1-T_{固})/(T_1-T_{汤})],$$

则 $$RH=(1/f_2-1/f_{固})t+lg\,(j_{固}/j_{液})\,10^{-(1/f_1-1/f_2)t_h} \quad (t\geqslant t_h) \qquad (7)$$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上述方程(6)、(7)为所推导的经验公式。

如果我们把汤汁的转折型传热曲线近似看作为简单直线型的传热曲线，则经验公式可简化为

$$RH=(1/f_{液}-1/f_{固})t+lg(j_{固}/j_{液}) \quad (8)$$

由方程(6)、(7)、(8)可知，上述三个方程在半对数坐标纸上绘图均为直线。对于一定罐型、一定的固液混装罐头食品来说，j、f 值是一定的，就能利用上述经验公式由汤汁温度推算出固体食品冷点处的温度值。

2 试验材料及测试方法

我们采用马铃薯罐头作模拟实验，马铃薯的直径为2～3厘米，用水洗涤，预煮，然后按大小分级，用7114空罐装罐，固形物重为260克，加满含 NaCl1.0%的汤汁，热力排气 8～10 分钟，手摇封罐机封口，冷却，待传热实验用。

罐内温度采用无锡轻工业学院研制的CS—2型温度信息处理机测定[1]。采用 4 点巡回检测温度值，第一通道用于测定杀菌锅内的温度，第二、三通道用于测定固体冷点处和汤汁冷点处的温度值。传热实测在小型立式杀菌锅中进行，杀菌锅内的温度为 120.9℃。由于蒸汽储桶中储有大量 5～6千克/厘米^{2}的蒸汽，容量是试验用杀菌锅容量的几十倍，锅内温度在 1 分钟之内可达120.9℃，因而杀菌锅加热可认为是瞬间升温。

测试前为使罐内热分布均匀，应将试验罐摇动几次，测试时，测杀菌锅内温度的热电偶放在试验罐附近，以正确测定杀菌锅内的温度值，测冷点温度的热电偶位于罐内冷点附近。CS—2型温度信息处理机每隔半分钟自动打印一次温度，每次测试以罐内固体冷点处温度不再升高或升温极缓慢时为准，此时杀菌锅内温度值与罐内固体冷点处值相差2℃以内。

将测得的温度数据用计算机处理。为正确计算传热特性参数 j、f 值，我们编辑了 Fortran 语言程序，该程序能正确判断传热曲线是简单直线型还是转折型的，正确计算传热特性参数 $j_{固}$、$f_{固}$、$j_{液}$、$f_{液}$、$f_{液1}$、$f_{液2}$、t_h 等值。再由这些常数建立罐内固体和汤汁冷点处的传热曲线方程，最后推导出固液传热比方程。

采用与马铃薯罐头模拟实验相似的测试方法，测定了青刀豆、蘑菇、荸荠三种固液混装罐头食品的传热特性值，建立了固液传热比方程。

3 结果与分析

经计算机程序计算得 4 种罐头食品的传热特性值如表 1——表 4 所示。

为使测定的传热特性值具有一定的代表性，我们对 4 种罐头的传热特性数据进行了统计分析，证明 4 种固液混装罐头食品的传热特性 j、h 值均服从正态分布。测定的传热特性 j、h 值的偏离度，如表5、表6、表7、表8所示。

从表 5 可知，不同的罐头食品的传热特性值和它们的偏离度均不同，对于同一种罐头食品，液体的传热特性值偏离度要比固体的传热特性值偏离度大，这可能是由于液体在加热杀菌过程中升温太快的缘故。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 马铃薯罐头传热特性值

传热特性值						备注
$j_{固}$	$f_{固}$	$j_{液}$	$f_{液1}$	$f_{液2}$	t_h	
1.4012	8.2135	0.3517	9.0797			*代表汤汁的加热曲线为转折型的。统计计算时带"*"组的传热数据不包括在内。
1.4665	7.9963	0.2949	10.0087			
1.4764	7.9312	*0.3295	7.3931	10.8215	3.9325	
1.2009	7.7864	*0.2928	8.1239	11.3966	4.2184	
1.2896	7.6107	0.2415	7.8009			
1.4590	7.4914	0.3241	5.4800			
1.5109	5.8167	0.3490	5.2507			
1.4414	5.2496	0.3186	6.7807			
1.4036	7.3856	0.2973	6.7954			
1.5191	7.0841	0.3107	6.6836			
1.6019	6.8428	0.3659	6.6361			
1.5914	6.4917	0.3439	6.5189			
1.1806	7.7568	0.5986	9.0240			
		*0.3890	6.1710	9.9279	2.9273	
		0.2399	9.3186			
1.43	7.24	0.31	7.45			平均值

罐型：7114；装罐量：425g

表2 青刀豆罐头传热特性值

传热特性值				备注
$j_{固}$	$f_{固}$	$j_{液}$	$f_{液}$	
3.5453	0.9372	0.9294	3.5538	
3.5151	1.0714	0.9175	3.4051	
3.6207	1.0398	0.9335	3.5679	
3.2808	1.0653	0.8635	3.4401	
3.4273	1.1065	0.8575	3.3029	
3.5610	1.1311	0.8322	3.2688	
3.4373	1.1078	0.9016	3.6081	
3.4455	1.0955	0.8815	3.1192	
3.4402	1.0401	0.8793	3.1787	
3.1162	1.1289	0.8265	3.4461	
3.3113	1.1618	0.9158	3.5479	
3.4442	1.0993	0.9670	3.4572	
3.6967	1.1254	0.9922	3.2884	
3.4811	1.6830	0.8585	3.4364	
3.2861	1.1435			
3.5123	1.2305			
3.45	1.10	0.90	3.04	平均值

罐型：7114；装罐量：425g

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　蘑菇罐头传热特性值

传热特性值						备注
$j_{固}$	$f_{固}$	$j_{液}$	$f_{液1}$	$f_{液2}$	t_h	
1.5152	5.1014	0.4272	5.9381			*指汤汁的加热曲线为转折型。统计计算中，t_h 较小的几组包括在内，但 j 值除外。
1.6620	5.2917	*0.4787	4.7475	6.4800	2.9017	
1.6261	5.3657	0.3042	6.5958			
1.3059	5.0627	0.3345	6.4506			
1.2712	5.0960	0.5556	4.5763			
1.2582	4.1458	0.5282	4.6043			
1.3065	4.0116	0.3630	5.6988			
1.2296	5.1399	0.3908	5.1743			
1.1705	5.0922	0.5233	3.9586			
1.3273	3.6131	0.5956	3.8270			
1.3367	3.5323	0.5615	4.3452			
1.0847	3.8472	*0.6692	3.8663	5.6260	2.4484	
1.3326	4.5474	0.6604	4.2444			
1.5666	4.3926	*0.5824	4.3376	7.6022	3.3781	
1.4916	4.3439	0.4844	5.1314			
1.3469	4.3026	*0.5891	4.3679	6.6712	2.9007	
1.7179	4.4133	*0.5293	3.6352	5.3558	2.3776	
1.6111	4.3321	0.5065	4.5836			
1.5083	4.2869	0.5965	4.4127			
1.4859	4.0316	0.4972	4.7639			
1.4624	4.1165	0.5375	4.6496			
1.2701	4.4374	0.6280	4.4305			
1.3008	4.1873	0.6223	3.8303	5.4430	2.8516	
		0.5523	4.4375			
		0.4952	4.7599			
		0.5003	4.6556			
1.40	4.46	0.50	5.07			平均值

罐型：7114；装罐量：425 g

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 荸荠罐头传热特性值

传热特性值						备注
$j_{固}$	$f_{固}$	$j_{液}$	$f_{液1}$	$f_{液2}$	t_h	
1.4125	6.4714	*0.5484	4.4715	7.7574	2.3371	*指与表3说明相同。统计计算时，t_h较小的传热数据包括在内，并用$f_{液2}$代替$f_{液}$，$f_{液}$值不包括在内。
1.5235	6.3694	0.3302	7.7574			
1.2074	5.5624	0.3537	7.0876			
1.6069	5.7982	0.2356	6.0150			
1.4960	5.6446	0.4990	6.3358			
1.0920	6.9051	0.4886	6.1550			
1.1172	7.1790	0.4348	7.1200			
1.4492	5.4455	*0.5253	5.5208	7.8491	2.2826	
1.5162	6.6132	0.5031	6.5177			
1.5020	6.3364	0.3713	7.8016			
1.5653	6.2454	0.5046	6.6620			
1.6654	6.6933	0.3484	7.9550			
1.4303	7.0358	*0.5404	4.7292	7.9420	2.3327	
1.3492	6.3114	0.3401	7.9420			
1.2472	6.4775	0.4588	6.1819			
1.5369	5.9504	0.3850	7.0318			
1.5048	6.4823	*0.6963	4.4402	6.1674	2.8755	
1.4461	6.6622	0.4386	6.9578			
1.2775	5.6380	*0.6055	5.0389	7.6950	3.7338	
1.5359	5.3703	0.4324	5.2801			
		0.4187	6.8275			
		0.5174	7.3457			
		0.42	6.94			平均值

罐型：7114；装罐量：425 g

表5 罐头传热特性参数 j、f 值的偏离度

罐型及内容物	j		f		备注
	平均值	偏离度	平均值	偏离度	
7114罐型马铃薯内	1.43	±5.6%	7.24	±7.6%	取显著水平
7114罐型汤汁内	0.31	±9.7%	7.45	±13.4%	$\alpha=0.05$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（续表 5）

罐型及内容物	j		f		备　注
	平均值	偏离度	平均值	偏离度	
7114 罐型 青刀豆内	1.10	±2.7%	3.45	±2.3%	取显著水平
7114 罐型 汤汁内	0.90	±3.3%	3.40	±2.6%	α=0.05
7114 罐型 蘑菇内	1.40	±5.2%	4.46	±5.2%	
7114 罐型 汤汁内	0.50	±9.1%	5.07	±6.8%	
7114 罐型 荸荠内	1.43	±5.2%	6.26	±4.0%	
7114 罐型 汤汁内	0.42	±9.5%	6.94	±5.0%	

影响传热特性值的因素有二种：实验误差；罐与罐之间的传热特性的变异[7]。表 6—11 列出了不同尺寸的马铃薯、蘑菇、荸荠固形物大小的传热特性值和同尺寸的马铃薯、蘑菇、荸荠固形物的罐头食品经多次杀菌传热特性值的变化情况。

表 6　不同尺寸的马铃薯罐头的传热特性值

传热特性 \ 直径 (mm)	19	25	28
$j_{液}$	0.3241	0.2973	0.4596
$f_{液}$	5.4800	6.7954	7.4614
$j_{固}$	1.4414	1.4036	1.4812
$f_{固}$	5.2490	7.3856	7.7853

表 7　同一罐马铃薯罐头多次杀菌的传热特性值（直径 25.0mm）

传热特性 \ 杀菌次数	1	2	3
$j_{液}$	0.3107	0.2973	0.3186
$f_{液}$	6.6838	6.7954	6.7807
$j_{固}$	1.3895	1.4036	
$f_{固}$	7.3529	7.3856	

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表8 不同尺寸的蘑菇传热特性值

传热特性 \ 直径(mm)	$\phi_1=15.5$ $\phi_2=10.5$	$\phi_1=21.0$ $\phi_2=12.0$	$\phi_1=25.3$ $\phi_2=12.1$
$j_{固}$	1.3277	1.2701	1.2296
$f_{固}$	3.6131	4.4374	5.1399
$j_{液}$	0.5233	0.4952	0.3630
$f_{液}$	3.9586	4.7599	5.6988

表9 蘑菇罐头多次杀菌所测定的传热特性值

传热特性 \ 直径(mm)	$\phi_1=21.0$ $\phi_2=12.0$		$\phi_1=21.5$ $\phi_2=12.0$	
	1	2	1	2
$j_{固}$	1.2701	1.3088	1.7179	1.6111
$f_{固}$	4.4374	4.1873	4.4133	4.3321
$j_{液}$	0.4952	0.5003	0.4972	0.5375
$f_{液}$	4.7599	4.6556	4.7639	4.6495

表10 不同固形物尺寸的荸荠罐头的传热特性值

传热特性 \ 长短轴(mm)	$a=24.00$ $b=12.5$	$a=32.0$ $b=18.2$
$j_{固}$	1.6069	1.6654
$f_{固}$	5.7982	6.6933
$j_{液}$	0.4990	0.3484
$f_{液}$	6.3358	7.9550

表11 荸荠罐头多次杀菌所测定的传热特性值

传热特性 \ 长短轴(mm)	$a=24.0$ $b=12.5$		$a=32.0$ $b=18.2$	
	1	2	1	2
$j_{固}$	1.6069	1.4960	1.6654	1.4305
$f_{固}$	5.7983	5.6446	6.6933	7.0358
$j_{液}$	0.4990	0.4886	0.3484	0.3410
$f_{液}$	6.3358	6.1550	7.9550	7.9420

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由表6—11可看出，影响传热特性值的因素主要是罐头内容物成分变化，即罐与罐之间的传热特性变异。固形物尺寸的大小对传热特性f值有显著影响，而对于同样固形物尺寸的同一种罐头食品，多次杀菌和多罐实验对f值影响甚微，也就是说由实验工艺条件变异而引起的实验误差很小。

马铃薯、青刀豆、蘑菇、荸荠4种7114型罐固液混装的罐头食品典型的传热曲线如图2、图3、图4、图5所示。由图中可以看出，马铃薯、青刀豆、蘑菇、荸荠固体内的加热曲线是简单直线型的，而且线性关系很理想。汤汁内的加热曲线从理论上说，应该是转折型

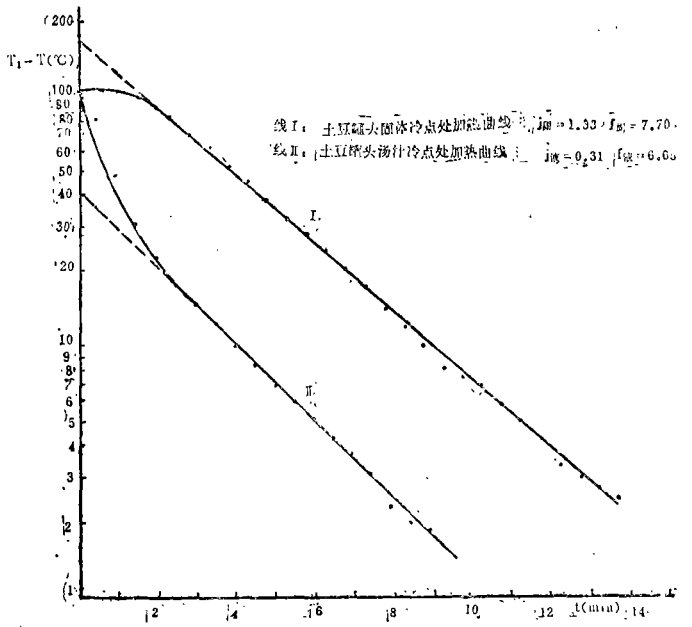

图2　马铃薯模拟实验固体和汤汁冷点处的加热曲线

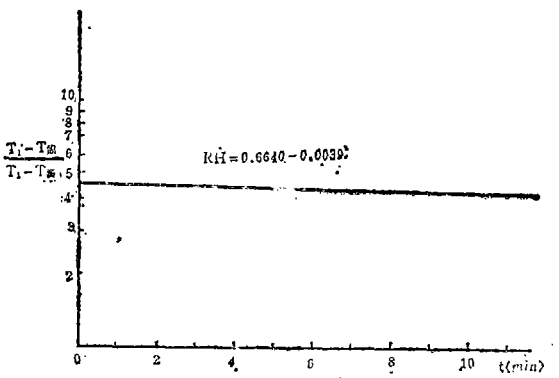

图3　青刀豆固体和汤汁冷点处的加热曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

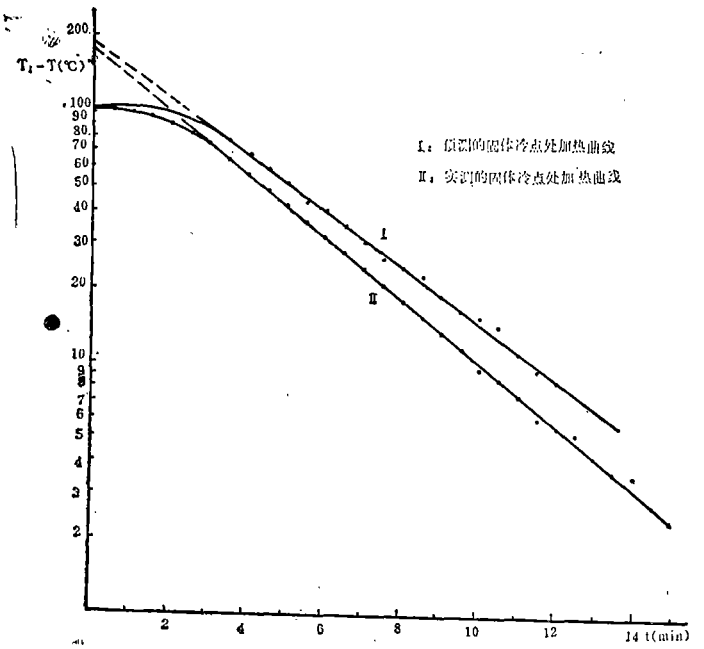

图4 蘑菇固体和汤汁冷点处的加热曲线

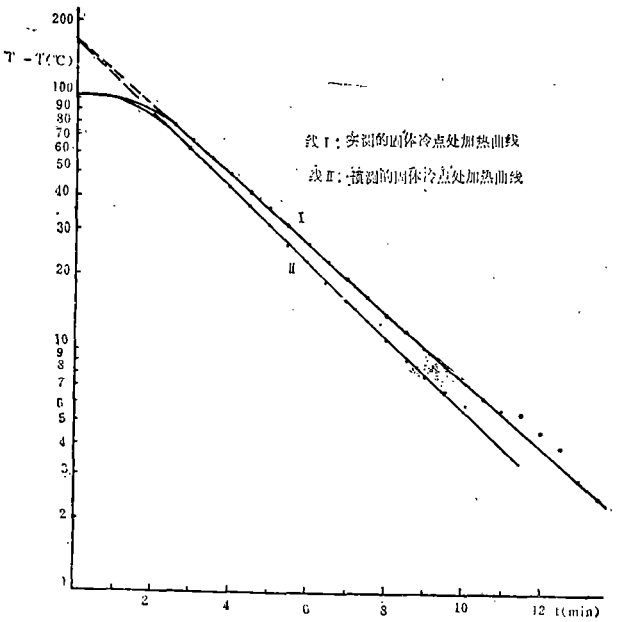

图5 荸荠固体和汤汁冷点处的加热曲线

的。在本实验中，将测试的温度数据进行计算机处理，从表1—4可以看出，大多数汤汁的加热曲线是简单直线型的，原因是汤汁在开始加热杀菌时升温极快，在转折点以前所测定的温度数据很少，因计算机程序的处理能力所限，在处理这些数据时，把开始杀菌的几个温度数据作为初始曲线部分处理。另外，由于加热初始阶段的食品温度较低，把汤汁冷点处的转折型加热曲线作为简单直线型处理对杀菌值计算影响甚小，可忽略不计。故可以把汤汁冷点处转

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

折型加热曲线作为简单直线处理，这样处理还可以简化问题的复杂性。如果采用手工处理这些传热数据，可以把汤汁内的加热曲线看成是转折型的，但处理量太大，同时计算出的传热特性 j 、f 值误差较大。

5 固液传热比方程的建立及固体冷点温度预测值误差的讨论

根据 7114 罐型的 4 种固液混装罐头的传热特性测试结果，可推导出固液传热比方程。

将马铃薯罐头的传热特性值 $j_{固}=1.43$，$f_{固}=7.24$，$j_{液}=0.31$，$f_{液}=7.45$代入固液传热比方程

$$RH=(1/f_{液}-1/f_{固})t+\lg j_{固}/j_{液}$$

可得

$$RH=0.6640-0.0039\,t \tag{9}$$

同理我们可以得出 7114 罐型的青刀豆、蘑菇、荸荠 3 种罐头的固液传热比方程。

青刀豆罐头：

$$RH=0.0872+0.0043\,t \tag{10}$$

蘑菇罐头：

$$RH=0.4472-0.0270\,t \tag{11}$$

荸荠罐头：

$$RH=0.5321-0.0157\,t \tag{12}$$

以杀菌时间 t 为横坐标，$(T_1-T_{固})/(T_1-T_{汤})$ 为纵坐标，固液传热比方程(9)、(10)、(11)、(12) 在半对数坐标纸上作图，得 4 种固液混装罐头的固液传热比曲线如图 6 、图 7 、图 8 、图 9 所示。

为检验上述 4 种罐头的固液传热比方程预测固体冷点温度值的有效性，从每种罐头食品

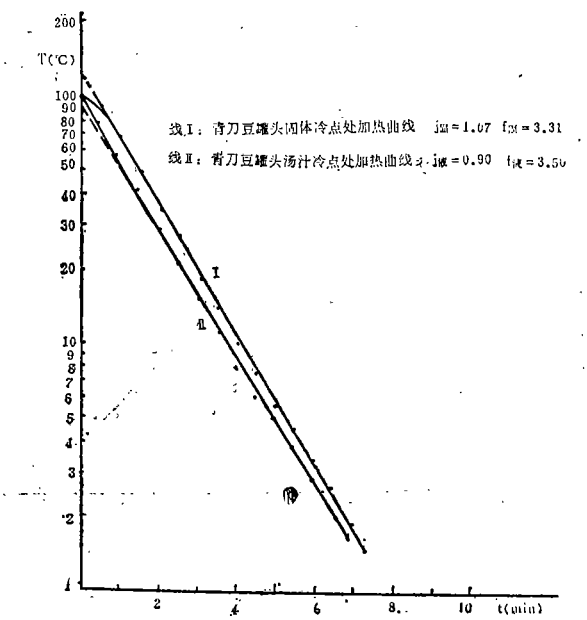

图 6　马铃薯罐头固液传热比曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

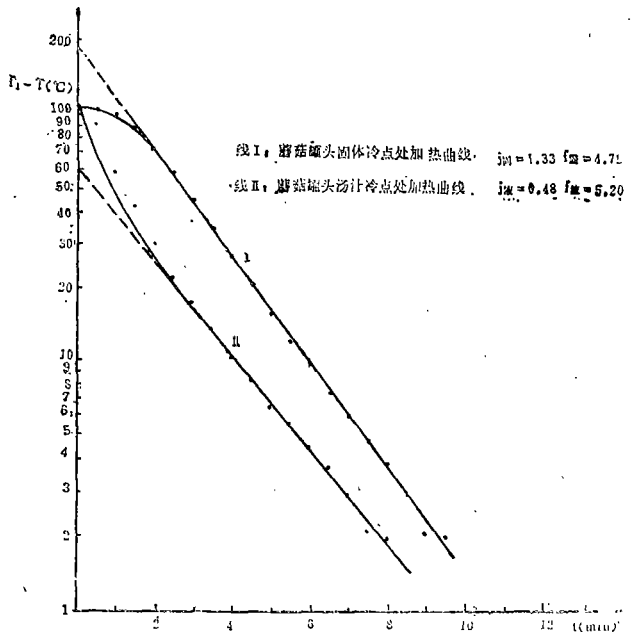

图7 青刀豆罐头固液传热比曲线

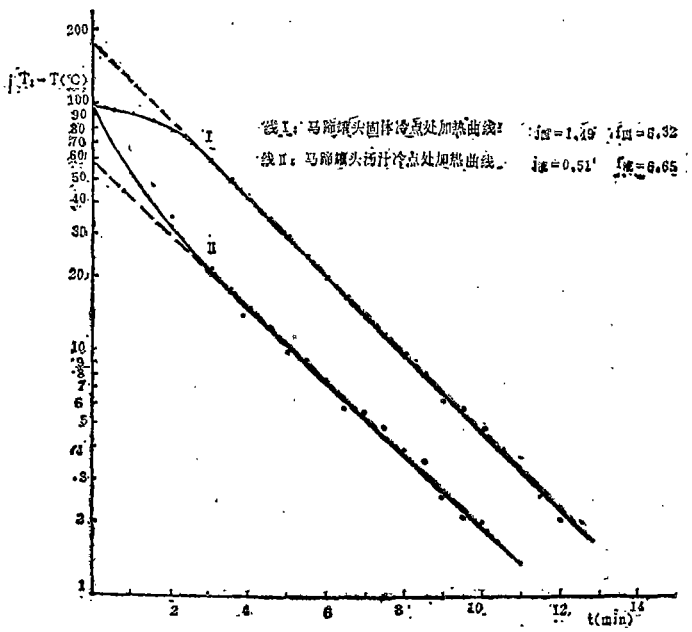

图8 蘑菇罐头固液传热比曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

测得的多组传热数据中各取二组有代表性的传热数据，根据实际中所测定的汤汁温度值，应用固液传热比方程来预测固体中心温度值。然后将这些预测值与实测的固体温度值相比较，求出预测固体中心温度值的百分误差，从而验证固液传热比方程用于预测固体中心温度的有效性。这二组传热数据的取法为：取 $\Delta f_{min固}=f_{min固}-\bar{f}_{固}$ 为一组，$\Delta f_{max固}=f_{max固}-\bar{f}_{固}$ 为另一组。这样取的目的是：采用这二组传热数据来计算预测固体中心温度值的百分误差较大(相对于其它组的传热数据而言)，如果采用上述选定的二组传热数据来计算固体中心温度值的预测百分误差在允许范围内，那么说明我们所建立的固液传热比方程能够有效地应用于固体冷点温度值的预测。

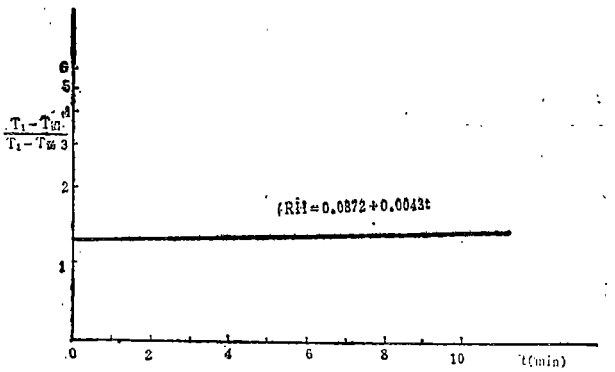

图 9　荸荠罐头固液传热比曲线

用 4 种罐头的固液传热比方程预测固体冷点温度值的百分误差如表 12—15 所示，可知预测的百分误差在允许的误差范围之内。

表 12　预测马铃薯罐头固体冷点温度值的百分误差

t (min)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测百分误差(%)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测百分误差(%)
3.0					106.7	52.1	57.1	9.6
3.5	103.4	56.0	42.7	24.8	108.7	62.2	66.4	6.8
4.0	105.4	64.5	51.9	19.5	111.1	70.6	77.3	9.5
4.5	107.5	71.7	61.5	14.2	112.6	78.2	84.1	7.5
5.0	109.4	78.7	70.2	10.8	114.1	84.2	91.3	8.4
5.5	111.2	84.2	78.3	7.0	115.1	89.7	95.4	6.4
6.0	111.6	89.3	80.2	10.1	115.7	94.7	97.8	3.3
6.5	113.0	93.3	86.5	7.3	116.6	98.6	102.2	3.7
7.0	114.0	97.4	91.0	6.6	117.8	101.6	104.0	2.4
7.5	115.0	100.4	95.9	4.5	118.6	104.6	107.5	2.8
8.0	115.5	103.6	97.7	5.7	118.8	107.3	111.0	2.5
8.5	115.8	105.6	98.5	6.7	118.9	109.0	112.4	3.1
9.0	116.6	107.5	102.6	4.6	119.0	110.6	112.8	2.0
9.5	117.0	109.3	104.4	4.5	119.1	111.5	113.3	1.6
10.0	117.1	111.2	104.9	5.7	119.2	113.0	113.8	0.7
10.5	117.5	112.0	106.6	4.8				
11.0	118.3	113.3	110.0	2.9				
11.5	118.7	114.8	111.7	2.7				

注：$T_{液}$、$T_{固}$是实测的液体和固体温度值，$T_{预测}$是预测的固体温度值

$RH=0.6640-0.0039$，取 $\Delta f_{min固}=f_{min固}-7.24$ 为一组，$\Delta f_{max固}=f_{max固}-7.45$ 为另一组

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表13 预测青刀豆罐头固体冷点温度值的百分误差

t (min)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度值百分误差(%)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度值百分误差(%)
1.0	46.9	30.1	29.5	2.0				
1.5	70.9	54.7	58.8	7.5	64.1	48.8	50.3	3.1
2.0	87.2	75.1	78.9	5.1	80.1	69.0	70.0	1.5
2.5	98.2	90.0	92.5	2.8	92.4	84.5	85.2	0.8
3.0	105.0	99.7	100.9	1.2	99.9	94.6	94.5	0.1
3.5	109.7	106.6	106.7	0.1	105.6	101.8	101.6	0.2
4.0	112.8	110.6	110.6	0.0	109.3	106.9	106.1	0.7
4.5	115.0	113.4	113.4	0.0	112.4	110.8	110.0	0.7
5.0	116.3	115.3	115.0	0.3	114.4	112.9	112.6	0.3
5.5	117.8	116.9	116.9	0.0	115.5	114.8	113.9	0.8
6.0	118.9	118.2	118.3	0.1	116.9	115.8	115.7	0.1
6.5	119.2	118.9	118.7	0.2	117.1	116.9	115.9	0.9
7.0	119.4	119.2	118.9	0.3	118.4	117.8	117.6	0.2
7.5					118.9	118.1	118.3	0.2

注：($\Delta f_{min固}=f_{min固}-3.40$ 为一组，$\Delta f_{max固}=f_{max固}-3.40$ 为另一组)
$RH=0.0872+0.0043t$

表14 预测蘑菇罐头固体冷点温度值的百分误差

t (min)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度百分误差(%)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度百分误差(%)
2.5	102.0	81.4	68.8	15.5	98.1	64.4	58.0	9.9
3.0	107.2	92.9	83.0	10.7	103.2	77.0	72.3	6.1
3.5	110.9	101.1	93.5	7.5	107.2	87.2	8.34	4.4
4.0	113.5	106.7	100.7	5.6	110.2	95.4	91.7	3.9
4.5	115.1	110.8	105.1	5.1	111.8	101.2	96.1	5.0
5.0	116.0	113.1	107.6	4.9	113.3	106.0	100.3	5.4
5.5	117.0	115.1	110.3	4.2	114.4	109.0	103.3	5.2
6.0	118.3	116.3	113.9	2.1	115.2	113.3	105.1	5.6
6.5	118.9	117.3	115.5	1.5	115.5	111.2	106.4	6.0
7.0					116.6	115.2	109.4	5.0
7.5					117.0	115.7	110.5	4.5
8.0					117.6	116.9	112.1	4.1
8.5					118.7	118.0	115.1	2.5
9.0					118.8	118.7	115.3	2.9
9.5					118.9	118.9	115.6	2.8

注：$RH=0.4472-0.0270t$
(取 $\Delta f_{min固}=f_{min固}-4.46$ 为一组，$\Delta f_{max固}=f_{max固}-4.46$ 为另一组)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 15　预测荸荠罐头固体冷点温度值的百分误差

t (min)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度百分误差(%)	$T_{液}$(℃)	$T_{固}$(℃)	$T_{预测}$(℃)	预测温度百分误差(%)
2.0					95.2	40.9	39.5	3.4
2.5	99.2	53.4	53.4	0.0	100.1	49.5	56.2	13.5
3.0	103.9	65.4	67.0	2.4	103.7	58.8	68.4	16.3
3.5	107.5	76.4	80.7	5.6	106.8	67.1	78.6	17.1
4.0	110.6	85.6	90.6	5.8	108.5	75.0	84.3	12.4
4.5	112.4	92.6	96.3	4.0	110.5	81.5	90.8	11.4
5.0	114.4	98.7	102.4	3.7	111.4	87.6	93.9	7.2
5.5	115.3	103.7	105.3	2.1	113.0	92.4	98.9	7.0
6.0	116.8	106.8	109.7	2.7	114.2	97.1	102.5	5.6
6.5	117.0	108.6	110.4	1.7	115.1	100.9	105.3	4.4
7.0	117.9	111.2	113.0	1.6	115.2	103.7	105.8	2.0
7.5	118.0	111.8	113.4	1.4	115.9	106.5	107.9	1.3
8.0	118.4	113.3	114.5	1.1	116.8	108.2	110.4	2.2
8.5	118.9	114.7	115.9	1.0	117.3	110.7	111.9	1.1
9.0	119.0	115.2	116.2	0.9	118.1	111.8	114.0	2.0
9.5	119.0	115.4	116.3	0.8	118.7	113.3	115.5	1.9
10.0					118.9	114.9	116.2	1.1
10.5					118.9	115.2	116.2	0.9

注：$RH = 0.5321 - 0.0157\,t$

（取 $\Delta f_{min固} = f_{min固} - 6.26$ 为一组，$\Delta f_{max固} = f_{max固} - 6.26$ 为另一组）

为更简单起见、直观地反映固体冷点温度值预测精确程度，以杀菌时间为横坐标，分别以固体冷点温度实测值和预测值为纵坐标在半对数坐标纸上作图，实测的固体冷点处加热曲线和预测的固体冷点处加热曲线如图10—14所示。从图中可知，由预测的固体冷点处温度值所绘制的固体冷点处加热曲线，在实测固体冷点处加热曲线左右一定范围内波动，这种波动主

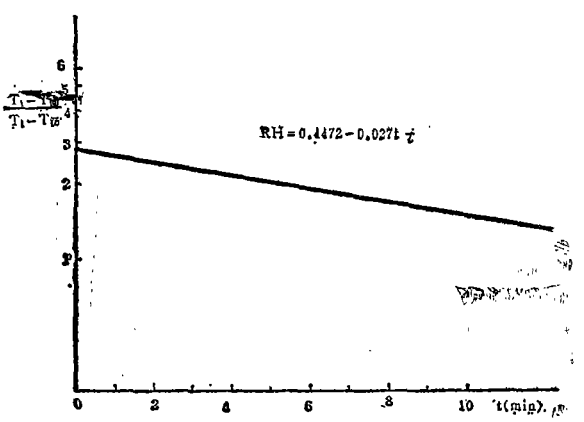

图 10　马铃薯罐头预测和实测的固体冷点处加热曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

要是由于固体的传热速率的不同造成的，即传热特性值偏离度大小决定了预测固体冷点温度值的精确程度。因4种罐头食品的传热特性偏离度不很大，故这种波动在工程上是允许的。对于青刀豆来说，预测的百分误差极小。为更好检测固液传热比方程预测固体冷点处温度的精确程度，还验证了蘑菇、荸荠二种罐头的传热特性值在正常偏离范围内时预测固体冷点温度值的误差。结果表明预测的百分误差比上述用二组极端传热数据验证的百分误差小得多。

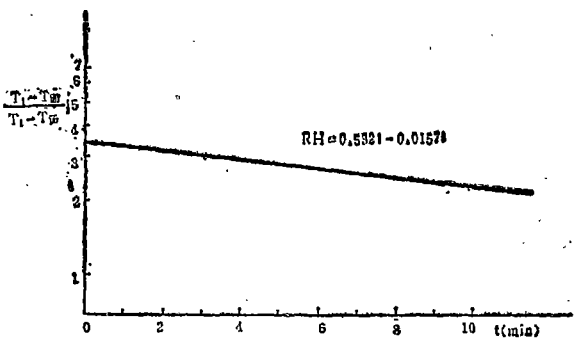

图11 马铃薯罐头预测和实测的固体冷点处加热曲线

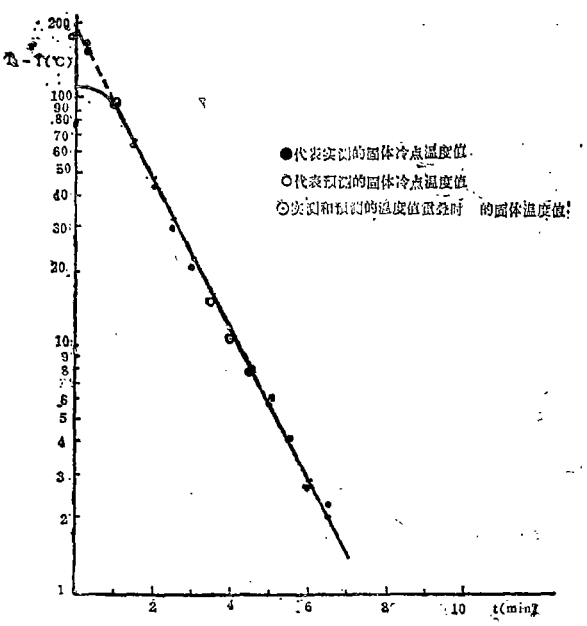

图12 青刀豆罐头预测和实测的固体冷点处加热曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

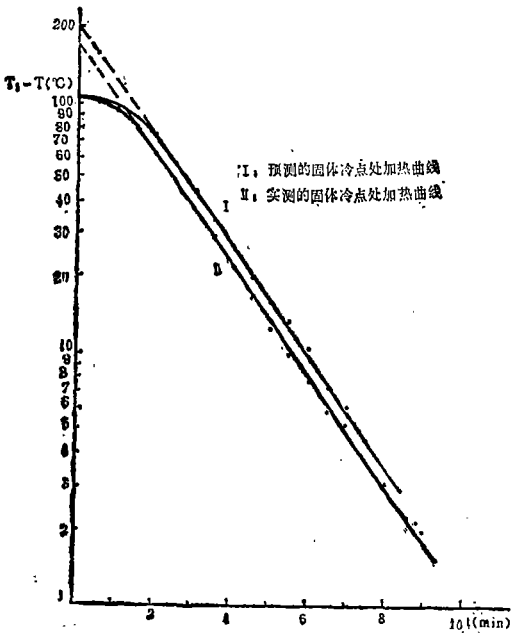

图 13　蘑菇罐头预测和实测的固体冷点处加热曲线

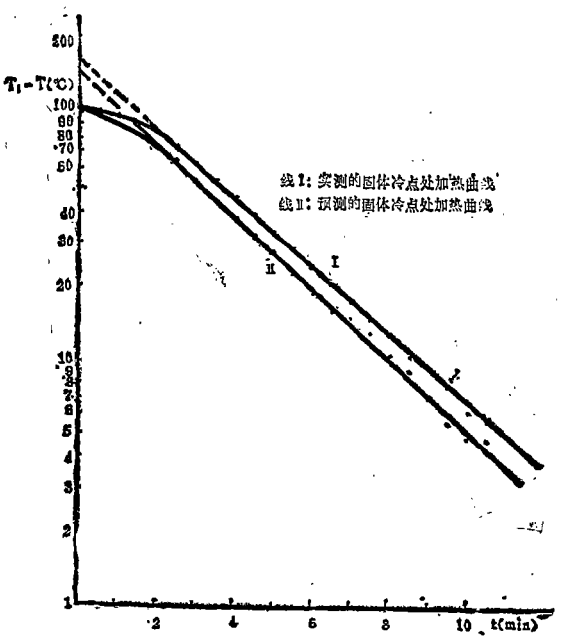

图 14　荸荠罐头预测和实测的固体冷点处的加热曲线

结　　论

本文正确测定了马铃薯罐头的固体和汤汁的传热特性参数 j、f 值。在此基础上，测定了 7114 罐型青刀豆、蘑菇、荸荠罐头的固体和汤汁的传热特性参数 j、f 值。验证了 4 种

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

罐头的传热特性值均服从正态分布，计算了传热特性值的偏离度，青刀豆、蘑菇、荸荠三种罐头食品的传热特性值偏离度在10%以内。因此应用本论文所测定的传热特性值制订杀菌工艺条件，可采用较小的安全系数。

成功地将计算机应用于传热特性j、f值的计算中，由此推导出了3种罐头的固液传热比方程。

青刀豆罐头：$RH=0.0872+0.0043t$

蘑菇罐头：$RH=0.4472-0.027\cdot t$

荸荠罐头：$RH=0.5321-0.0157\cdot t$

本论文验证了上述固液传热比方程的应用范围及预测固体冷点温度值的精确程度，成功地找到了正确预测固体冷点温度切实可行的方法。讨论了影响传热特性值的诸因素，得出了罐与罐之间的传热特性变异对传热特性值的变化有显著影响，而实验误差的影响甚微。

致 谢

在实验过程中，得到了食品工程教研组全体老师，特别是俞国锐老师，杨寿清老师的帮助。轻工业部食品发酵工业科学研究所为本实验提供了各种方便条件，自动化系的孙星海老师和徐茂成老师对本实验曾给予大力支持，在此谨致谢意。

参 考 文 献

[1] 唐永炎.CS—2型温度信息处理机的研制.无锡轻工业学院学报，No.3，1985

[2] 唐永炎.CC—83型测温探头的研制.无锡轻工业学院学报，No.3,1986

[3] 黄福南.固液混装罐头食品的传热规律.食品与发酵工业，No.4，1986

[4] 黄福南.Ball公式法与热过程计算.食品与发酵工业，1985

[5] 黄福南.电子计算机在热过程计算过程中的应用. 轻工业部食品发酵工业科学研究所 资料汇编 1986

[6] 轻工业部食品发酵工业科学研究所. 蘑菇罐头高温短时间杀菌条件确立技术报告. 1986

[7] 轻工业部食品发酵工业科学研究所.清水竹笋罐头杀菌工艺条件制订工艺测试部分. 1984

[8] 费荣昌.概率统计.山东科学技术出版社，1985

[9] 费荣昌.实验数据处理.无锡轻工业学院讲义，1983

[10] 天津、无锡轻工业学院.食品工艺学(上册).轻工业出版社，1983

[11] 无锡、天津轻工业学院.食品微生物学.轻工业出版社，1982

[12] 天津大学.化工原理.(下册)

[13] 无锡轻工业学院等.罐藏食品热力杀菌控制、酸化和容器封口评定.

[14] Mauric R, Berry Jr and Joe G.Bradshaw.1982
Heat penetration for sliced mushrooms in brine processed in still and agitating retorts with comparisions to spore count reduction.J.Food Sci. 47; 1698

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[15] Hayakawa, Kan-ichi.1971.Estimating food tempera tures during various processing or handling treatments. J.Food Sci.36: 978

[16] N.K.Ienz and D.B.Iund.1971.The lethality-fourier number method: experimental verification of a modelfor calculating temperature profiles and lethality in conduction-heating canned food. J.Food Sci.42(4): 989

[17] Hicks.E.W.1961.Uncertainties in canning process calculations.Food Res.22: 473

[18] David H.Hernoon.1971.Population distribution of heat rise curves as a significant variable in heat sterilization prccess calculations.J.Food Sci.36: 299

[19] Maurice R.Borry.Jr.and Roger W.Dickerson.Jr.1981. Heating characteristics of whole kernel corn processed in a steritort.J.Food Sci.46,889

[20] Trudi Smith and Marvin A.Tung.1982. Comparision of formula methods for calculating thermal process lethality.J.Food.Sci.47: 626

[21] Thowasohlsson, 1980. Optimal sterilization temperatures for sensory puality in cylindrical coutainers.J.Food Sci.45: 1517

[22] Stephen H.Sprinak and Robcrt C.Wiley 1982. Comparisions of the genearal and Ball formula methods for retort pouch process calculations.J.Food Sci.47: 880

[23] Hayakawa.Kan-ichi.1970. Experimental formulas for accurate estimation of transient temerature of food and their application to thermal process evaluation.Food Technol. 24: 1407

[24] Ball.C.O. and Olson.F.C.W.1957. Sterilization in Food Technology.

[25] Mcgraw-Hill.New York.J.Hiddink.1975. Natural convection heating of liquids with reference to sterilization of canned food.

符　号　说　明

$f_{固}$　固体食品中心冷点加热曲线的 f 值

$f_{液}$　汤汁加热曲线为简单直线型时的 f 值

$f_{液1}$　汤汁加热曲线转折点前段曲线的 f 值

$f_{液2}$　汤汁加热曲线转折点后段曲线的 f 值

j　$j=(T_1-T_A)/(T_1-T_o)$，滞后因子

$j_{固}$　固体食品的滞后因子

$j_{液}$　汤汁的滞后因子

RH　$\lg[(T_1-T_{固})/(T_1-T_{汤})]$

T　温度(℃)

$T_{固}$　固体食品冷点温度(℃)

$T_{液}$　汤汁冷点温度(℃)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

T_0 食品初温℃

t 时间(分钟)

t_h 汤汁传热曲线转折处所对应的杀菌时间(分钟)

α 显著水平

Estimating The Central Temperatures in Solid of Canned Food Mixed with Solid and Liquid

Gao Fucheng Lu Zhnxi Huang Funan et al

Abstract

Thermal characteristics of canned food mixed with solid and liquid have been discussed. The central temperatures in solid and liquid of canned food are measured by type CS-2 temperature information processor. A computer program has been developed for calculating thermal parameters j and f values which are used to describe thermal process. Therefore, a group of heating curve equations of solid and liquid of canned food are established. Reduced equation of both solid and liquid equations are also established. So are central temperatures in solid can be estimated by these equations. Percent error of estimated values of the central temperatures in solid is smaller. So a better method about estimating the central temperatures in solid has been developed in this paper. A proper thermal schedule can be established in the canned food factories.

Subjectwords: Temperature information processor. Reduced equation. Thermal schedule.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net