

空心食品的传热与冻结时间的探讨

天津商学院制冷工程系 高祖镜

摘要:

本文以空心食品为例,讨论了其传热计算的方法,并引出了体积传热系数的新概念。在实例计算中和实测结果误差仅在0.1%左右,可以指导生产,改变了以往采用手册中所推荐笼统的、综合性的、而偏离实际冻结时间非常大的参数。

食品贮藏是根据食品的种类,性质和贮藏

表 1

食 品	温度 $^{\circ}\text{C}$	冷分配设备	温度 $^{\circ}\text{C}$		冻加工时间	备 注
			进货	出货		
禽类, 兔	-23~30	冻结装置	30/25	-15	40/80	分子为铁盒装, 分母为纸盒装

从表 1 中分析鸡、鸭、鹅、兔大小不一样或冻结条件不同时, 冻加工时间不可能一样, 因此表中这些数据没有确切反映出食品的形状、大小, 厚度等因素, 而是一个笼统的、综合性的参考数据。在实际使用中已经证明表中的冻加工时间偏离实际时间很大。

在国外对家禽等空心食品的冻结时间是靠实测得来的。图 1 为冻结时间与禽体重量的关系。实验条件: 冻结室空气温度 -38°C , 空气速度 $4\sim 6\text{m/s}$, 禽体初温 7°C , 终温(中心温度)

期的不同来决定的, 对于禽类、鱼、肉等要求长期贮藏就必须在 $-30\sim -50^{\circ}\text{C}$ 的低温环境下进行冻结处理。

目前国内对板状, 圆柱状或球状食品的冻结时间计算, 一般使用普郎克方程, 但是遇到空心食品, 如去掉内脏的禽类(鸡、鸭、鹅)及家畜(兔、羊)等, 就无法进行计算。通常借助手册中所推荐的数值, 如表 1 所示。

-20°C (在纸箱中装有用聚乙烯袋装的 12 只家禽, 膛内放有用纸包的禽杂)。如果冻结条件变了就需要另做试验, 因此冻结时间决不是简单的与禽体的重量关系。现以家禽为实例, 讨论空心食品冻结时间的计算。

家禽胴体可以近似地看成空心的、厚度均匀的椭球体, 其长短轴分别为 a 和 b 。为便于计算, 把它再模拟成空心球体, 如图 2 所示, 图中 d_w , d_n , r_w , r_n 分别为空心球体外、内直径和半径, S 为厚度。其当量直径为

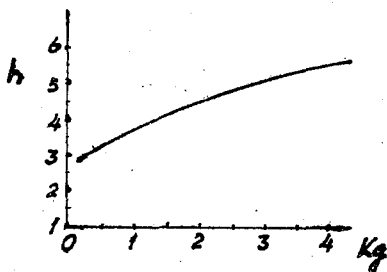


图 1

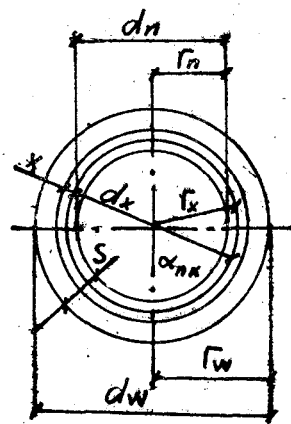


图 2

$$d_d = \frac{2ab}{a+b} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

空心胴体冻加工时间用下式计算

$$dT = \frac{dQ'_x}{Q_x} \quad (2)$$

食品冻结 d_x 厚度时需要的热量

$$\begin{aligned} dQ'_x &= -\gamma_{sh} \cdot \xi_{shs} \cdot 4\pi r_x^2 \cdot dr_x \\ &= -\xi_{sh,r} \cdot F_x \cdot dr_x \quad (3) \end{aligned}$$

式中: γ_{sh} ——食品的容重 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

ξ_{sh} ——食品的单位放热量 $[\text{kJ}/\text{kg}]$

$\xi_{sh,r}$ ——食品单位容积放热量 $[\text{kJ}/\text{m}^3]$

胴体有外包装时的热流量

$$\begin{aligned} Q_x &= \frac{4\pi r_w^2 (t_{nk} - t_k)}{\frac{r_w^2}{r_x^2} \cdot \frac{1}{\alpha_{nk}} + \frac{r_w}{r_x} \cdot \frac{r_w - r_x}{\lambda_{sh}} + \frac{S_B}{\lambda_B} + \frac{1}{\alpha_k}} \\ &= k_x \cdot F_w \cdot \theta_{sh,p} \quad [\text{W}] \quad (4) \end{aligned}$$

式中: t_{nk}, t_k ——空心球体内、外的空气温度 $[\text{°C}]$ α_{nk}, α_k ——球体内、外表面的空气放热系数 $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{k}]$

λ_{sh} ——食品的导热系数 $[\text{W}/\text{m} \cdot \text{k}]$

S_B ——包装材料厚度 $[\text{m}]$

λ_B ——包装材料的导热系数 $[\text{W}/\text{m} \cdot \text{k}]$

F_w ——球体外表面面积 $[\text{m}^2]$

$\theta_{sh,p}$ ——食品与空气之间的平均温差 $[\text{°C}]$

根据上述公式来计算空心胴体的冻加工时间为

$$\begin{aligned} T &= \frac{\xi_{shr} (r_w - r_n) \cdot R_{sh,p}}{\theta_{sh,p}} = \frac{\gamma_{sh} \cdot \xi_{sh} \cdot \frac{r_w - r_n}{k_{sh,p}}}{t_{sh,p} - t_{kp}} \\ &= \frac{\gamma_{sh} \cdot \xi_{sh} \cdot \frac{r_w - r_n}{k_{sh,p}}}{t_{sh,p} - t_{kp}} \quad (5) \end{aligned}$$

式中: $t_{sh,p}$ ——食品平均温度 $[\text{°C}]$

$k_{sh,p}$ ——冻结食品的平均传热系数 $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{k}]$

t_{kp} ——空气平均温度 $[\text{°C}]$

1 m^3 冷却器的体积,当流体同它的温度差为1 °C 时,每秒钟能传递的热量为 β ——单位空气冷却器的体积,放热系数,单位是 $[\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{k}]$,

$$\beta_L = k_L \cdot \frac{F_L}{V_L} = k_L \cdot f_L \quad [\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{k}] \quad (6)$$

式中: k_L ——空气冷却器的传热系数 $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{k}]$

F_L ——空气冷却器的传热面积 $[\text{m}^2]$

V_L ——空气冷却器的体积 $[\text{m}^3]$

f_L ——空气冷却器所占单位空间的传热面积 $[\text{m}^2/\text{m}^3]$

1 m^3 食品容积,当流体同它温差为1 °C 时,每秒钟能传递的热量为 β_{sh} ——单位食品体积放热系数:

$$\beta_{sh} = k_{sh,p} \cdot \frac{F_{sh}}{V_{sh}} = k_{sh,p} \cdot f_{sh} \quad [\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{k}] \quad (7)$$

式中: $k_{sh,p}$ ——食品的传热系数 $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{k}]$

F_{sh} ——食品的传热面积 $[\text{m}^2]$

V_{sh} ——食品所占的空间体积 $[\text{m}^3]$

f_{sh} ——食品所占空间的传热面积 $[\text{m}^2/\text{m}^3]$

空气和空气冷却器之间的热流量

$$Q_L = \beta_L \cdot V_L \cdot \theta_{L,p} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

式中: $\theta_{L,p}$ ——空气和空气冷却器之间的平均温差 $[\text{°C}]$

空气和食品之间的热流量

$$Q_{sh} = \beta_{sh} \cdot V_{sh} \cdot \theta_{sh,t} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

$$\theta_{sh,t} = t_{sh,p} - t_{kp} \quad [\text{°C}] \quad (10)$$

考虑空气、冷却器、食品之间的热流量应为

$$\begin{aligned} t_{sh,p} - t_{zh} &= Q \left(\frac{1}{\beta_L \cdot V_L} + \frac{1}{\beta_{sh} \cdot V_{sh}} \right) \\ \text{即 } Q_{sh} &= \frac{1}{\frac{1}{\beta_{sh}} + \frac{1}{\beta_L} \cdot \frac{V_{sh}}{V_L}} \cdot V_{sh} \cdot (t_{sh,p} - t_{zh}) \\ & \quad [\text{W}] \quad (11) \end{aligned}$$

当考虑风机温升对食品影响时

$$Q_{sh} = K_{sh,t} \cdot V_{sh} \cdot \theta_{sh} \quad [\text{W}] \quad (12)$$

式中: θ_{sh} ——是制冷剂和食品之间的平均温差 $[\text{K}]$ 。 $k_{sh,t}$ 表示1 m^3 的食品当流体同它的温差为1 °C 时每秒钟所传递的热量

食品冻加工时间

$$T = \frac{G_{sh}(i_{sh1} - i_{sh2})}{K_{sh,t} \cdot V_{sh} \cdot \theta_{sh}} \quad [h] \quad (13)$$

式中: h_{sh1}, h_{sh2} —食品进出冻结间的焓值 [kJ/kg], 可根据食品进出冻结间的温度 t_{sh1}, t_{sh2} 在图 3 中查得

空气平均温度

$$t_{kp} = t_{sh,p} - \frac{Q_{sh}}{\beta_{sh} \cdot V_{sh}} = t_{sh,p} - \frac{K_{th,t}}{\beta_{sh}} \cdot \theta_{sh} \quad [^{\circ}C] \quad (14)$$

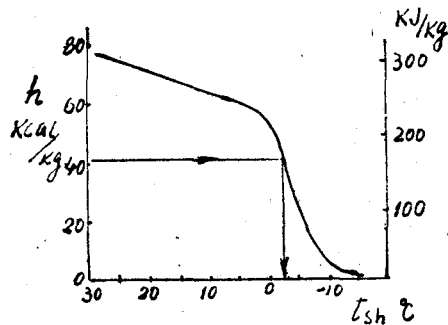


图 3

例

图 4 是冻鸡的冻结间, 鸡经初加工后 (去毛, 内脏, 头和爪), 每只重 1 kg 放入聚乙烯塑料袋中, 再码放在金属网框内, 每框 12 只鸡, 网框尺寸 $600 \times 400 \times 155$ mm, 冻结间高度可放 12 层网框。(在冻结间内安装着 6 台翅片式空气冷却器, 每台外形尺寸为 $1000 \times 1200 \times 1200$ mm, 它由铝黄铜肋管组成。管外径 16 mm, 壁厚 2 mm, 管距 60 mm, 翅片距 18 mm, 翅片厚 5 mm, 空气循环量为 $220 \text{ m}^3/\text{min}$, 压力损失 $\Delta P = 22$ mm 水柱) 在这样的条件下计算鸡的冻结时间与西欧国家实测结果相比, 几乎相等。

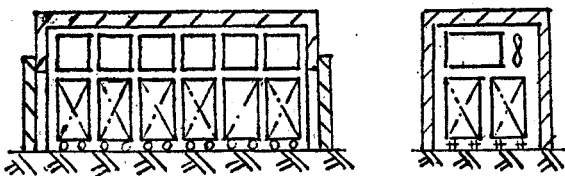


图 4

冻结间冻结量

$$G_{sh} = \text{车数} \times \text{层数} \times \text{每车每层框数} \times \text{每层鸡数} \times \text{鸡重} = 12 \times 12 \times 4 \times 12 \times 1 =$$

$$6912 \quad [kg]$$

鸡所占空间的总容积

$$V_{sh} = \text{车数} \times \text{层数} \times \text{每层框数} \times \text{每框体积} = 12 \times 12 \times 4 \times (0.6 \times 0.4 \times 0.155) = 21.5 [m^3]$$

以 1 kg 重的鸡, 其表面积为 0.068 m^2 来计算, 由于鸡在框中相互接触以及鸡和口袋间空隙使传热面积减少 26% 左右。

鸡的总有效传热面积

$$F = 6912 \times 0.068 \times (1 - 26\%) = 345.6 [m^2]$$

鸡的外形为空心椭球体, 它的纵向剖面长短轴, $a = 24$ mm, $b = 12$ mm, 鸡肉平均厚度 $s = 30$ mm。那么鸡的空心球体当量直径

$$d_d = \frac{2 \times 0.24 \times 0.12}{0.24 + 0.12} = 0.16 [m]$$

其内径为

$$d_n = 0.16 - 2 \times 0.03 = 0.1 [m]$$

空气测放热系数, 在最佳风速 4.2 m/s 将

$$\alpha_k = 29 [w/m^2 \cdot k]$$

鸡内部放热系数 $\alpha_w = 58 [w/m^2 \cdot k]$

鸡的平均传热系数

$$k_{sh,p} = 1/R_{sh,p} = 16.39 [w/m^2 \cdot k]$$

鸡的容积放热系数

$$\beta_{sh} = 16.39 \times \frac{345.6}{21.5} = 215.24 [w/m^3 \cdot k]$$

再考虑空气冷却器:

空气冷却器传热系数 $k_r = 13.4 [w/m^2 \cdot k]$

空气冷却器传热面积 $= 1068 [m^2]$

空气冷却器总有效容积 $= 8.64 [m^3]$

空气冷却器体积放热系数

$$\beta_r = 13.4 \times \frac{1068}{8.64} = 1656.39 [w/m^3 \cdot k]$$

鸡在冻结过程中的平均温度

根据表 1 进出温度分别为 $30^{\circ}C$ 和 $-15^{\circ}C$, 从图 3 可查得其对应焓值为 $330 [kJ/kg]$ 和 $13 [kJ/kg]$

鸡的平均焓值

$$h_{sh,p} = \frac{1}{2}(330 + 13) = 171.5 [kJ/kg]$$

查图 3 得 $t_{sh,p} = -3^{\circ}C$

空气比热 $C_k = 279 \times 10^{-3} [w \cdot h/kg \cdot K]$

选制冷剂蒸发温度 $t_{zh} = -40^{\circ}\text{C}$

制冷剂与食品之间的平均温差:

$$\theta_{sh} = 36.44(^{\circ}\text{C})$$

食品体积传热系数

$$K_{sh,t} = 162.54[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

食品负荷

$$Q_{sh} = 162.54 \times 21.5 \times 36.44 = 127.34[\text{kW}]$$

鸡的冻结时间

$$T = \frac{6912(330-13)}{21.5 \times 162.54 \times 36.44} \times \frac{1000}{3600} = 4.8[\text{h}]$$

空气平均温度

$$t_{k,p} = -3 - \frac{162.54}{215.24} \times 36.44 = -30.5(^{\circ}\text{C})$$

结论

1. 冻结时间的计算结果和东欧, 西欧国家的实测数据相比见表2, 在温降 1°C 时所需要的时间几乎相等, 因此可用于工程。

2. 实测结果只反映重量和冻结时间的关系, 而从空心食品冻结时间的计算通式可以看到冻结时间不仅和食品重量, 而且和食品进出冻结间的温差, 制冷介质与被冻结食品的温差以及食品体积传热系数(即食品种类, 形状, 大小及它的热物理性能等……)有关。

3. 正因为计算通式揭露了冻结时间的实质, 所以可计算在任何冻结条件下的冻结时间, 不受实测条件限制。

4. 冻结时间的合理确定可以节约能源、水

表2

单位	入库温度 [$^{\circ}\text{C}$]	鸡体中心温度 [$^{\circ}\text{C}$]	库温 [$^{\circ}\text{C}$]	风速 [m/s]	冻结时间 [h]	温降 1°C 时 需要时间 [$\text{h}/^{\circ}\text{C}$]	备注
上海禽蛋厂		-16	-28		16~18		冻结时间的差别是由于风速及风速不均匀以及码垛方式不同引起的
		-16	-28		3		
西欧	7	-20	-35	3~6	3.4	0.0809	纸箱内放有12只塑料袋装鸡
东欧	15	-15	-28	4	3.5	0.081	
本文计算	30	-15	-30.5	4.2	4.8	0.0793	金属网框内放有12只塑料袋装鸡

和运转费用, 同时可发挥现有设备的潜力。

参考文献

- 1, 冷藏库设计 湖北工业建筑设计院 中国建筑工业出版社
- 2, 食品冷冻工艺学 冯志哲等五人编著 上海科技出版社
- 3, 家禽快速冻结装置试验小结 上海市禽蛋公司禽蛋厂“冷藏”技术资料1976商业部设计院情报组。
- 4, Potravinarská a chladicí technika 1-1970
- 5, Průmyslová chladicí Zariadení
- 6, Dvorák—Cervenka

鸡胚蛋营养效用研究

北京营养源研究所 周洵 吴成舜 张燕禹 刘彦
天津轻工学院 高彦祥

摘要

本研究从化学分析和动物实验角度对鸡胚蛋和鸡蛋的营养成分及营养效用进行了分析比较。发现鸡胚蛋与鸡蛋比氨基酸含量和组成有所改变, 脂肪含量下降, 必需脂肪酸和无机盐增加, 并具有VE和牛磺酸含量高的特点。动物实验表明11*鸡胚蛋蛋白质吸收利用优于鸡蛋, 有明显促进雄性动物(大鼠和小鼠)生长的作用。19*鸡胚蛋钙和磷利用率明显高于鸡蛋, 并具有增加食欲和消化液分泌的功效。鸡胚蛋增加动物血清甘油三酯作用明显低于鸡蛋。鸡胚蛋可使动物血小板升高, 并有使动物血粘度增加的倾向。鸡胚蛋对动物Hb、RBC、WBC、血胆固醇、GPT和尿素氮

含量, 对动物抗疲劳、耐缺氧能力和自主活动度等的影响与鸡蛋无明显差异。鸡胚蛋是一种有益于生长和防老抗衰的营养食品。

鸡胚蛋(俗称毛蛋)是受精卵经孵化而成的鸡蛋。它是一种流传于民间的营养滋补品, 具有补气之功效, 常吃可使面色红润、食欲增加、身体强壮、延缓衰老⁽¹⁾。目前在我国南方及东南亚一带有许多人食用。为进一步开发利用这一食疗资源提供依据, 我们从现代营养学角度经化学分析、生物学实验及临床观察, 对鸡胚蛋的营养价值进行了评价。