

А.А.Соколов

В последнее время наметилась тенденция к повышению температуры греющей среды при стерилизации консервов с целью увеличения температурного напора для ускорения прогрета консервов до заданной температуры стерилизации. Очевидно, допустимость применения очень высоких температур греющей среды определяется возможностью быстрого выравнивания температурного поля продукта, исключая перегрев прилегающей к стенке части консервной тары. Это зависит, во-первых, от вида теплопереноса, преобладающего при нагреве консервов (конвекции или теплопроводности), а, во-вторых, от интенсивности перемешивания при нагреве, если оно не нарушает структуру продукта.

Для большинства мясных консервов характерен теплоперенос путем теплопроводности. К тому же во многих случаях интенсивное перемешивание среды нежелательно. Применение слишком высоких температур греющей среды вызывает чрезмерный перегрев внешнего слоя продукта.

Изменение температурного поля по времени зависит от размеров и формы нагреваемого объекта. Для консервов в мелкой таре градиент температурного поля выравнивается быстрее, но зато доля продукта, прилегающая к стенке тары и испытывающая перегрев, велика (20-25% общего объема продукта). В крупной таре эта доля меньше, но продолжительность перегрева больше. В обоих случаях, следовательно, возникает опасность нежелательных последствий перегрева внешнего слоя, если температура греющей среды излишне высока.

Влияние особенностей теплопереноса и размеров тары на перегрев части стерилизуемого продукта ставит вопрос о разработке метода, позволяющего судить о воздействии теплопереноса на качество продукта, с целью выбора режима стерилизации, при котором оно будет наименьшим.

Общим критерием качества пищевого продукта является его пищевая ценность, зависящая от содержащихся в нем белков, липидов, углеводов, витаминов и пр. и от органолептических характеристик продукта. Очевидно изменение биологической ценности этих составных частей при нагреве будет определяться степенью их гидротермического распада, и прежде всего, в той части продукта, которая испытывает наибольшее воздействие нагрева, т.е. в прилегающей к стенке тары.

Гидротермический распад составных частей продукта - химический процесс. Поэтому решение вопроса о методе определения влияния нагрева на степень их распада может быть осуществлено на основе законов

химической кинетики.

Одним из показателей изменения пищевой ценности мясных консервов может служить уровень гидролиза белковых веществ. Как было установлено экспериментально, гидролитический распад белков при нагреве происходит по типу реакций первого порядка. Скорость этого процесса выражается уравнением:

$$\frac{dc}{d\tau} = Kc \tag{1}$$

где  $c$  - концентрация, % белкового азота к общему азоту;  
 $\tau$  - время, мин;  
 $K$  - константа скорости.

Интегрирование этого уравнения в границах  $c_n$  (начальная концентрация) при  $\tau = 0$  и  $c$  для времени  $\tau$  приводит к выражению:

$$\lg \frac{c_n}{c} = \frac{K}{2,3} \cdot \tau \tag{2}$$

Зависимость константы скорости  $K$  от температуры для реакции как первого, так и второго порядка может быть найдена из уравнения Аррениуса:

$$K = A_0 \cdot 10^{-\frac{E}{2,3RT}} \tag{3}$$

где  $E$  - энергия активации реакции,  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ ;  
 $R$  - универсальная газовая постоянная,  $\text{дж/моль.град}$ ;  
 $T$  - термодинамическая температура,  $^{\circ}\text{К}$ ;  
 $A_0$  - постоянная.

Расчеты, произведенные на основе экспериментальных данных, дали величину  $E = 80000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ , т.е. близкую к тем, которые характерны для химических реакций. Температурный коэффициент реакции оказался равным 1,9.

Подставляя значение  $K$  из уравнения (3) в уравнение (2), получим:

$$\lg \frac{c_n}{c} = \frac{A_0}{2,3} \cdot \tau \cdot 10^{-\frac{E}{2,3RT}} \tag{4}$$

Пользоваться для расчетов уравнением (4) в таком виде затруднительно. Как показал анализ экспериментальных данных, для температур в границах 100-135 $^{\circ}\text{C}$  оно может быть упрощено:

$$\lg \frac{C_H}{C} = A \cdot 10^{B \Delta t} \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $\Delta t$  — разность между фактической температурой и  $100^\circ\text{C}$ ,  
 $A$  и  $B$  — постоянные;  $A = 0,0028$ ,  $B = 0,9273$

В качестве исходных данных для расчетов следует принимать кривую прогрева периферийного слоя консервов, для которого характерно преобладание нагрева путем теплопроводности. Приближенный расчет величины  $\lg \frac{C_H}{C}$  для всей кривой может быть выполнен путем суммирования ее элементарных значений для принятого при измерении промежутка времени:

$$\lg \frac{C_H}{C} = A \int_{\tau_1}^{\tau_n} 10^{B \Delta t} d\tau = A \Delta \tau (10^{B \Delta t_1} + 10^{B \Delta t_2} + \dots + 10^{B \Delta t_n}), \quad (6)$$

где  $\Delta \tau$  — промежуток времени, через который производят замер температуры (3–5 мин.);

$t_1, t_2, t_n$  — средние значения температур для соответствующих промежутков времени,  $^\circ\text{C}$

Расчет по этому уравнению дает расхождение с экспериментальными данными около 5%. При необходимости из уравнения (6) путем несложных расчетов можно определить глубину распада вещества, т.е. величину  $C$ , если известна величина  $C_H$ .

Подход к решению вопроса о выборе оптимального режима стерилизации может быть значительно упрощен, если иметь в виду тот факт, что потери любого вещества, выбранного в качестве показателя пищевой ценности консервов, являются результатом его химических изменений, которые могут быть оценены на основе законов химической кинетики. Независимо от того, следует ли процесс распада уравнению реакций первого или второго порядка, его зависимость от температуры обусловлена величиной коэффициента скорости как функции температуры. Это позволяет заменить представление об уровне распада вещества представлением о значении тех условий, т.е. о численных значениях температуры и времени нагрева, которые отвечают данному уровню распада. Справедливость этого положения нетрудно уяснить из анализа уравнения (4). Это уравнение может быть преобразовано:

$$\left( \frac{2,3}{A} \lg \frac{C_H}{C} \right) \frac{2,3R}{E} = \tau \cdot 10^{-\frac{1}{T}} \quad (7)$$

Левая часть уравнения (7) будет характеризовать глубину распада вещества, выбранного в качестве показателя изменения пищевой ценности, правая - только условий нагрева, которые могут быть условно интерпретированы как "жесткость нагрева".

Очевидно, если в двух (или более) сравниваемых случаях:  

$$\left(\frac{2,3}{A} \lg \frac{C_H}{C_I}\right) \frac{2,3R}{E} > \left(\frac{2,3}{A} \lg \frac{C_H}{C_2}\right) \frac{2,3R}{E},$$

или, что одно и то же:

$$\lg \frac{C_H}{C_I} > \lg \frac{C_H}{C_2},$$

то и:

$$\tau_1 \cdot 10^{-\frac{1}{T_1}} > \tau_2 \cdot 10^{-\frac{1}{T_2}}$$

Иначе говоря, сравнения степени химического распада вещества может быть заменено сравнением "жесткости" нагрева:

$$H = \tau \cdot 10^{-\frac{1}{T}} \tag{8}$$

Применительно к практическим условиям нагрева, величина H может быть определена аналогично определению глубины распада:

$$H = \int_{\tau_1}^{\tau_2} 10^{-\frac{1}{T}} d\tau = \left(10^{-\frac{1}{T_1}} + 10^{-\frac{1}{T_2}} + \dots + 10^{-\frac{1}{T_n}}\right) \Delta\tau, \tag{9}$$

где  $\Delta\tau$  - промежуток времени, через который производят измерение, мин;

T - среднее значение температуры для этого промежутка времени, °К

Из уравнения (9) следует, что оптимальный режим стерилизации консервов зависит от теплофизических свойств стерилизуемого продукта и размеров тары, поскольку именно эти факторы обуславливают температурное поле консервов и его изменение по времени.