

Кинетика процесса посола мяса в растворах соли и белковых гидролизатов

Д-р техн. наук В.Е. КУЦАКОВА, А.С. ТЫНКАСОВ
СИБГУНиПТ

The paper is devoted to brine salting of meat. Diffusion and osmosis models of the salting process have been analyzed. As a result there have been proposed correlations for calculating the dependence of weight loss and brine strength as a function of time. The effect of protein hydrolysate on the kinetics of salting was shown to be negligible.

Посол мясного сырья является одной из основных и определяющих операций технологического процесса производства цельномышечных мясопродуктов, в ходе которой происходит формирование необходимых технологических и потребительских свойств изделий: вкуса, аромата, консистенции, цвета.

При посоле осуществляется процесс диффузии поваренной соли в продукт. Соль из раствора переносится посредством конвективного массопереноса к поверхности продукта. Затем диффузией передается от поверхностных слоев к внутренним. Это приводит к перераспределению соли и влаги в продукте.

Проникновение соли в мышечную ткань и перераспределение ее между тканью и рассолом происходят осмотически через мембранные системы, а также по системе макро- и микрокапилляров, пронизывающих ткань продукта.

В данной работе анализируется кинетика процесса посола мяса в растворах соли, а также влияние используемого при посоле гидролизата мясокостного остатка на осмотические явления при мокром посоле свинины. В этом случае градиент концентрации соли, как движущая сила процесса, значительно выше, чем в процессе шприцевания мяса.

При погружении образца мяса в рассол параллельно идут два процесса [1]: соль из рассола диффундирует в мясо, и содержащаяся в мясе вода за счет осмотического давления переходит в рассол.

Пусть $V_S(\tau)$ и $V_M(\tau)$ – объемы воды, содержащейся в рассоле и мясе соответственно, m^3 , как функции времени τ ; $N_S(\tau)$ и $N_M(\tau)$ – количества поваренной соли там же, моль. Сумма масс поваренной соли, содержащейся в мясе и рассоле, постоянна. Диффузионный поток пропорционален разности концентраций (моль/ m^3), определяемой соотношением

$$\Delta C = N_S(\tau)/V_S(\tau) - N_M(\tau)/V_M(\tau).$$

Количество воды, переместившееся из продукта в рассол, полагаем пропорциональным осмотическому давлению (Па):

$$p_{osm} = \Delta CRT,$$

где $R = 8,32$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура системы, К.

Математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$\frac{dN_S}{d\tau} = -\beta S \left(\frac{N_S}{V_S} - \frac{N - N_S}{V - V_S} \right);$$

$$\frac{dV_S}{d\tau} = \alpha RTS \left(\frac{N_S}{V_S} - \frac{N - N_S}{V - V_S} \right); \quad (1)$$

$$N_S(0) = N_0;$$

$$V_S(0) = V_0,$$

где β – коэффициент массоотдачи от рассола к мясу, м/с;

α – коэффициент пропорциональности между осмотическим давлением и потоком влаги от мяса к рассолу, $m^2 \cdot c / kg$;

S – площадь поверхности образца мяса, m^2 ;

N_0 и V_0 – начальные значения количества соли в рассоле и объема рассола соответственно,

$$N = N_S + N_M, \quad V = V_S + V_M.$$

Система уравнений (1) легко интегрируется:

$$\begin{aligned} S(\alpha NRT + \beta V)\tau = \\ = \frac{V_S^2 - V_0^2}{2} - (1-W)V(V_S - V_0) - \\ - (1-W)WV^2 \ln \left(\frac{VW - V_S}{VW - V_0} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

$$N_s = N_0 + \frac{\beta(V_0 - V_s)}{\alpha RT};$$

$$W = \frac{\alpha N_0 RT + \beta V_0}{\alpha NRT + \beta V}.$$

Легко заметить, что при $\tau \rightarrow +\infty$ предельные значения объема и количества соли $V_s \rightarrow WV$; $N_s \rightarrow NW$.

Предложенная модель достаточно груба, поскольку не учитывает диффузии соли внутри мяса и пр. Тем не менее ею можно пользоваться для описания процесса посола.

Нами были проведены две серии экспериментов по посолу свинины сорта михайловская мокрым способом с двумя различными начальными концентрациями соли в рассоле — 14 и 20 %. Параметры экспериментов приведены в табл. 1. Куски свинины обрабатывали в течение 5 сут, каждые сутки вынимали из рассола, обсушивали фильтровальной бумагой и взвешивали. Таким образом определяли количество влаги, перешедшее в рассол из свинины (табл. 2).

Влажность свинины полагалась равной 75 %, начальным содержанием NaCl в свинине пренебрегаем.

Полученные результаты описывали теоретической зависимостью (2) для потери массы свинины:

$$\Delta M = \rho[V_s(\tau) - V_0],$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды.

Неизвестные величины α и β определяли путем обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Результаты отображены в табл. 3 и на рис. 1.

Экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на теоретические кривые, что свидетель-

Таблица 1
Параметры экспериментов по посолу свинины

Серия опытов	Концентрация рассола, %	Объем рассола, л	Масса свинины, г	Площадь поверхности, см ²	Температура, °С
1	14	1,5	1465	900	+ 4
2	20	1,6	1390	870	+ 4

Таблица 2
Результаты экспериментов по посолу свинины

Время, сут	0	1	2	3	4	5
Масса свинины №1, г	1465	1348	1289	1265	1248	1235
Масса свинины №2, г	1390	1244	1188	1154	1140	ИЗО

Таблица 3
Результаты обработки экспериментальных данных

Номер серии	1	2
α , (м ² ·с)/кг	$3,36 \cdot 10^{-13}$	$3,21 \cdot 10^{-13}$
β , м/с	$3,94 \cdot 10^{-7}$	$4,32 \cdot 10^{-7}$
$\beta V / (\alpha RT)$	3,65	2,77

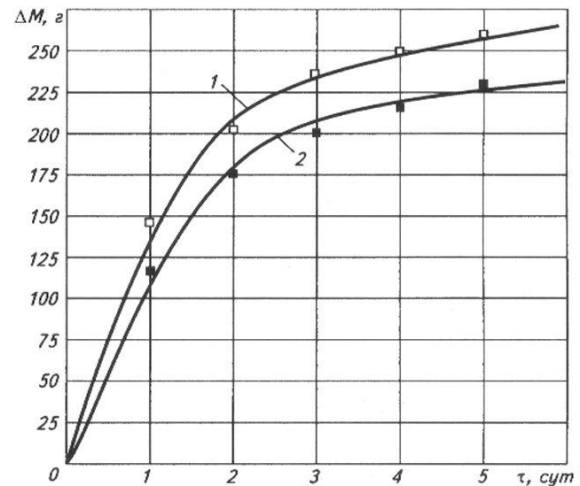


Рис. 1. Потеря массы образца свинины при мокром посоле:

сплошная линия — теоретические данные, рассчитанные по (2); точки — экспериментальные данные; 1 — концентрация соли в рассоле 20%; 2 — 14%

ствует о применимости предложенной упрощенной модели для описания процесса посола. Полученные средние значения констант α и β для двух серий экспериментов совпадают в пределах 10 %, что также подтверждает разумность предложенной модели. Безразмерный параметр $\beta V / (\alpha RT)$, приведенный в табл. 3, показывает относительный вклад процессов диффузии и осмоса в процесс просаливания. Видно, что вклад диффузии в 2,5 — 3,5 раза больше (то есть при отсутствии осмоса процесс замедлился бы на 20 — 25 %).

Далее было проведено три серии экспериментов с внесением гидролизатов мясокостного остатка [2] в концентрации 1, 2, 3 % в рассол, содержащий 14 % соли. Параметры экспериментов приведены в табл. 4. Образцы свинины на протяжении 5 сут с интервалом в сутки извлекали из рассола, обсушивали фильтровальной бумагой и взвешивали (табл. 5).

Полученные результаты также хорошо описыва-

Таблица 4
 Параметры экспериментов по посолу свинины с использованием гидролизата

Серия опытов	Концентрация гидролизата в рассоле, %	Масса свинины, г	Объем рассола, л	Площадь поверхности, см ²	Температура, °С
1	1	1385	1,5	875	+4
2	2	1430	1,5	890	+4
3	3	1510	1,5	930	+4

Таблица 5
 Результаты экспериментов по посолу свинины с использованием гидролизата

Время, сут	0	1	2	3	4	5
Масса свинины №1, г	1385	1273	1217	1195	1180	1167
Масса свинины №2, г	1430	1315	1260	1234	1220	1205
Масса свинины №3, г	1510	1390	1328	1300	1284	1269

ются теоретической зависимостью (2). Расчетные и экспериментальные данные представлены на рис. 2.

Из графика видно, что значения потерь свинины при различных концентрациях гидролизата в рассоле мало отличаются между собой. Поэтому можно сказать, что гидролизат в данном диапазоне концентраций не оказывает видимого влияния на осмотические процессы при посоле свинины.

Кроме того, в этой работе анализировали изменения концентрации поваренной соли. Начальная

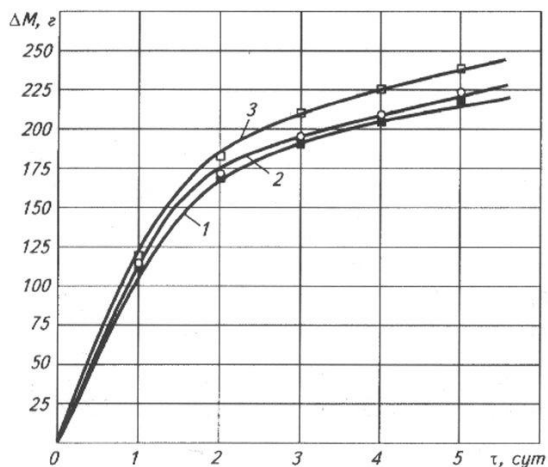


Рис. 2. Потеря массы куска свинины при посоле с использованием гидролизата: сплошная кривая — теоретические данные, рассчитанные по (2), точки — экспериментальные данные; 1 — 1 % гидролизата; 2 — 2 %; 3 — 3 %

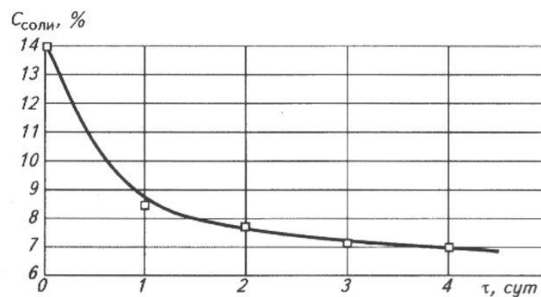


Рис. 3. Изменение концентрации поваренной соли в рассоле при посоле свинины: сплошная кривая — теоретические данные, рассчитанные по (2), точки — экспериментальные данные

концентрация соли в рассоле — 14 %. В ходе эксперимента каждые сутки отбирали пробы рассола и определяли концентрацию соли. Результаты приведены ниже.

Время, сут	0	1	2	3	4
C _{соли} , %	14	8,5	7,7	7,3	7

Полученные экспериментальные данные описываются теоретической зависимостью

$$C_{\text{соли}} = (N_s \mu_{\text{соли}}) / (V_s \rho),$$

где N_s и V_s рассчитаны по соотношениям (2); молекулярная масса соли $\mu_{\text{соли}} = 0,0585$ кг/моль.

Результаты отображены на рис. 3. Концентрация соли в мясе может быть рассчитана по соотношению

$$C_{\text{мяса}} = (N_M \mu_{\text{соли}}) / M_{\text{мяса}}.$$

Полученные данные свидетельствуют, что наиболее интенсивно процесс просаливания и проникновения соли в продукт проходит в первые сутки, а затем в течение последующих 3 — 4 сут выравниваются концентрации соли в рассоле и продукте.

Таким образом, предложенная физическая модель процесса просаливания мяса является достаточно адекватной и позволяет рассчитывать концентрацию соли и потерю массы просаливаемого продукта в любой момент времени. Также можно констатировать, что внесение гидролизата мясокостного остатка в посолочную смесь практически не влияет на динамику процесса посола.

Список литературы

1. Лори Р.А. Наука о мясе. — М.: Пищевая промышленность, 1973.
2. Патент 2284116 РФ. Композиция для посола мяса с использованием гидролизата мясокостного остатка / В.Е. Куцакова и др. Оpubл. 27.09.2006, бюл. № 27.