

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



В.Е. Куцакова, С.В. Фролов

ОСМОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ ПОСОЛ РЫБЫ И МЯСА

Учебно-методическое пособие



**Санкт-Петербург
2014**

УДК 514

Куцакова В.Е., Фролов С.В. Осмотические явления в пищевых продуктах. Посол рыбы и мяса.: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 41 с.

Рассказано об осмотических явлениях в пищевых продуктах, процессах, происходящих при посоле мяса и рыбы. Даны необходимые теоретические сведения, а также описан процесс проведения лабораторных работ по этим темам. Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов направлений бакалавриата 260100 очной и заочной форм обучения.

Рецензент: кандидат техн. наук, доц. П.И. Гунькова

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Института холода и биотехнологий**



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Куцакова В.Е., Фролов С.В., 2014

ЯВЛЕНИЯ ОСМОСА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Теоретические положения

Если раствор некоего вещества и чистый растворитель разделены перегородкой, проницаемой для частиц растворителя, но не проницаемой для частиц растворённого вещества (таковой является, например, цитоплазматическая мембрана клетки), то начнётся диффузия воды через полупроницаемую перегородку из чистого растворителя в раствор. Этот процесс называется осмосом. Он также будет иметь место, если перегородкой разделены растворы различной концентрации – растворитель пойдёт из раствора с меньшей концентрации (он называется гипотоническим) в раствор более высокой концентрации (гипертонический). И только в случае растворов одинаковой концентрации (изотонических) осмоса не будет.

В свою очередь, частицы растворённого вещества, бомбардирующие перегородку, будут создавать давление, называемое осмотическим. Если приложить к раствору внешнее давление, равное осмотическому, осмос прекратится, а если большее – растворитель пойдёт в обратную сторону из раствора в чистый растворитель. Это явление называется обратным осмосом и используется для концентрации соков.

Вант-Гофф показал, что осмотическое давление разбавленного раствора не электролита равно давлению, которое оказывало бы растворённое вещество, если бы оно было идеальным газом, который распределён по объёму раствора. Используя уравнение Клапейрона для идеального газа, получим для осмотического давления:

$$p = CRT. \quad (1)$$

Здесь p – осмотическое давление, Па; C – концентрация раствора, моль/м³; $R = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура, К. Так раствор концентрацией $C = 1$ моль/м³ создаёт при 0 °С осмотическое давление $p = 1 \text{ моль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \times 273 \text{ К} = 2270 \text{ Па} = 0,0227 \text{ атм} = 22,7 \text{ см водяного столба}$. Подсчитаем осмотическое давление, создаваемое 4 % раствором сахара в воде, то есть раствором 40 г сахара в 1 литре воды при температуре + 15 °С. Количество сахара в 1 м³ равно 40 кг. Молекулярная масса сахара $\mu = 0,342$ кг/моль, таким образом концентрация составляет

$C = 40 \text{ кг/м}^3 / 0,342 \text{ кг/моль} = 117 \text{ моль/м}^3$. Температура $+ 15 \text{ }^\circ\text{C}$ эквивалентна абсолютной температуре $T = 15 + 273 = 288 \text{ К}$. Подстановка в уравнение (1) даст нам осмотическое давление $p = 117 \text{ моль/м}^3 \times 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)} \cdot 288 \text{ К} = 2,8 \cdot 10^5 \text{ Па} = 2,8 \text{ атм}$.

Если частицы растворённого вещества диссоциируют на ионы необходимо в соотношении (1) умножить давление на изотонический коэффициент, или коэффициент Вант-Гоффа, равный отношению фактического количества частиц растворённого вещества (диссоциированных ионов и недиссоциированных молекул) к исходному, количеству молекул. В случае полной диссоциации этот коэффициент равен двум. Поскольку осмотическое давление не зависит от природы растворителя и растворённых частиц, в случае, когда раствор состоит из частиц различных типов (ионов, молекул, ассоциатов молекул, коллоидных частиц), в соотношении (1) необходимо подставлять суммарную концентрацию всех растворённых частиц.

Чем больше размер молекул растворённого вещества, тем меньшее их количество будет находиться в заданном объёме. Поэтому при данной весовой концентрации осмотическое давление, обратно пропорционально молекулярной массе, то есть оно относительно велико для растворов низкомолекулярных веществ и очень мало для растворов полимеров. Так, например, осмотическое давление вызываемое 4 % раствором поваренной соли (молекулярная масса $\mu = 0,058 \text{ кг/моль}$) будет составлять 16,5 атм – почти в шесть раз выше, чем у аналогичного раствора сахара.

В высококонцентрированном растворе осмотическое давление будет выше, чем определённое по формуле (1). Это объясняется тем, что молекулы растворённого вещества образуют вокруг себя сольватные, в частности гидратные, оболочки, в результате чего объём свободного растворителя уменьшится, повышая тем самым эффективную концентрацию раствора. В слабых растворах это несущественно, а в случае концентрированных весьма значительно.

Осмотические явления играют важную роль в жизнедеятельности живых организмов. Так как протоплазма живых клеток обладает ограниченной избирательной проницаемостью, то такие важные процессы, как поступление в клетку и выход из неё воды и различных растворённых веществ, во многом происходит благодаря осмосу.

Если живую клетку поместить в гипертонический раствор, то в результате разности осмотического давления раствора и клеточного

сока вода из клетки начнет переходить в окружающий ее раствор. Обезвоживаясь, клетки уменьшаются в объеме за счет сжигивания цитоплазматического мешочка, вследствие чего окружающая вакуоль цитоплазма отслаивается от клеточной оболочки. Такое явление называется плазмолизом. Пространство между сжавшимся цитоплазматическим мешочком и клеточной оболочкой заполняется вызвавшим плазмолиз раствором, который называется плазмолитиком.

Если живую клетку окружает вода или гипотонический раствор, то происходит поглощение жидкости и объем клетки увеличивается. Это явление называется плазмопсисом.

В животных организмах внутриклеточная жидкость обычно находится в состоянии изотонического равновесия с внеклеточной жидкостью, что является важным условием нормального функционирования клетки. Это равновесие обеспечивается регулируемым переходом осмотически активных веществ через цитоплазматическую мембрану внутрь клетки или из нее.

Для растительных организмов условием нормального функционирования клеток является, напротив, некоторое повышение осмотического давления клеточного сока над осмотическим давлением внеклеточной жидкости. Эта разность осмотических давлений вызывает всасывание клеткой воды, в результате чего клеточный сок, увеличиваясь в объеме, оказывает давление на цитоплазматическую мембрану и тем самым на оболочку клетки. В силу своей прочности оболочка клетки сопротивляется растяжению, вызываемому увеличением объема клеточного сока, и, в свою очередь, оказывает давление на содержимое клетки, которое называется тургорным давлением. В результате встречных давлений клеточного сока и тургорного клетка находится в состоянии внутреннего напряжения, носящего название тургора. Соотношение между тургорным и осмотическим давлением имеет очень большое значение в процессе водного обмена растительного организма. Сила, с которой клетки всасывают воду, пропорциональна разности между осмотическим и тургорным давлением. Тургор придает растениям характерную форму и прочность. С потерей воды и ее недостаточным поступлением связано падение тургора и увядание растительного организма.

Осмотические явления играют существенную роль в устойчивости растительных организмов к высушиванию и замораживанию. Высокое осмотическое давление засухоустойчивых растений повы-

шает их способность всасывать воду, что облегчает водоснабжение организма в условиях дефицита почвенной влаги. У морозоустойчивых растений повышение осмотического давления зимой происходит за счет накопления осмотически активных веществ и, в первую очередь, сахаров. В результате в протоплазме увеличивается количество осмотически связанной воды, которая наряду с адсорбционно-связанной водой имеет наибольшее физиологическое значение и замерзает лишь при достаточно низких температурах.

С явлением осмоса мы сталкиваемся во многих процессах пищевой технологии. Консервирующее действие таких веществ, как соль, сахар, связано с высоким осмотическим давлением их растворов, которое вызывает губительное обезвоживание микробной клетки.

Рассмотрим математическую модель обезвоживания ягоды в сахарном сиропе посредством осмотического давления. Пусть ягода, содержащая начальный объём $V_0(\text{м}^3)$ сока в котором растворено v (моль) сахаров, погружается в момент времени $\tau = 0$ в сироп, концентрация сахаров в котором $C_s > C_0 = v/V_0$ (моль/м³) больше, чем начальная концентрация их в ягоде C_0 . За счёт возникновения осмотического давления молекулы воды из ягоды будут мигрировать в сироп через цитоплазматическую мембрану, представляющую собой мембрану, проницаемую для молекул воды и непроницаемую для более крупных частиц, таких, как молекулы сахаров. Так будет продолжаться до тех пор, пока концентрация сахаров в соке ягоды $C(\tau)$ не уравнивается с концентрацией в сиропе C_s . Концентрацию сиропа можно считать постоянной, поскольку количество воды, диффундировавшей из ягоды, слишком незначительно. Имеем:

$$-dV = -d\left(\frac{v}{C}\right) = \frac{v}{C^2} dC = k(C_s - C)d\tau. \quad (2)$$

Знак минус поставлен из-за того, что объём жидкости в ягоде уменьшается. Коэффициент пропорциональности k (м⁶/(моль с)) зависит от проницаемости мембраны, а также содержит в себе RT из выражения (1). Выражение (2) представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, интегрирование которого даст нам следующее выражение (с учётом начального условия):

$$\ln\left(\frac{C(C_s - C_0)}{C_0(C_s - C)}\right) - \frac{C_s}{C} + \frac{C_s}{C_0} = \frac{kC_s^2}{v}\tau. \quad (3)$$

Осмотическое обезвоживание микробной клетки является и одним из проявлений консервирующего действия низких температур. В данном случае оно вызывается повышением концентрации окружающего клетку раствора в результате вымораживания части воды.

На пищевой продукт осмотические явления, происходящие в нем при замораживании, оказывают отрицательное влияние. Льдообразование, начинающееся обычно в жидкости, омывающей волокна и клетки ткани животного происхождения, приводит к увеличению концентрации растворенных в ней веществ. Вследствие возникшей разницы в осмотических давлениях межклеточной жидкости и клеточного сока возникает ток влаги из волокон и клеток к кристаллам льда. По мере развития процесса клетка обезвоживается, и концентрация растворенных в ней веществ повышается. При достаточно большой степени обезвоживания и концентрации возникают необратимые изменения белковых компонентов клетки денатурированного характера.

Свойство полупроницаемости цитоплазматических мембран клеток не следует понимать слишком упрощенно как наличие в мембране физически оформленных капиллярных каналов стабильного сечения. Полупроницаемость цитоплазматических мембран связана с их структурой, физико-химическими характеристиками, и с той ролью, которую они играют в физиологии. Цитоплазма состоит из белковых веществ и липоидов. Липоиды, являющиеся поверхностно-активными веществами, скапливаются в поверхностных слоях цитоплазматической мембраны, образуя строго ориентированные и плотно прилегающие, друг к другу моно- и бимолекулярные ряды. При этом в наружном верхнем слое, называемом плазмалеммой, молекулы липоидов обращены своим гидрофобным концом наружу. Получается мономолекулярный ряд, своего рода частокол выстроенных в строгом порядке и прилегающих друг к другу молекул, зазоры между которыми и являются теми микросечениями, через которые не могут пройти крупные молекулы.

Цель настоящей лабораторной работы состоит в определении осмотического давления в различной по природе и исходному состоянию растительной ткани с помощью криоскопического, рефрактометрического и плазмолитического методов.

Приборы и техника измерения

Непосредственное определение осмотического давления растворов производится с помощью приборов, называемых осмометрами. Основным рабочим элементом осмометра является осмотическая ячейка, в объемы которой, разделенные мембраной, проницаемой только для растворителя, наливают раствор и чистый растворитель. В объем ячейки, заполненный раствором, вводится измерительная трубка. В результате осмоса жидкость в трубке поднимается на определенную высоту. Гидростатическому давлению столба жидкости в измерительной трубке и будет соответствовать искомое осмотическое давление.

Другой путь определения осмотического давления заключается в измерении таких показателей раствора, которые определенным образом связаны с величиной осмотического давления. К этим показателям относятся прежде всего упругость водяного пара, понижение температуры замерзания и повышение температуры кипения раствора. Например, мы знаем, что для мономолекулярного раствора не электролита концентрацией $C = 10^3$ моль/м³ понижение температуры замерзания составляет 1,86 °С, а осмотическое давление (см. выше) – 2,27 МПа. Определив температуру замерзания исследуемого раствора, можно найти его осмотическое давление по уравнению:

$$p = \frac{2,27}{1,86} 10^6 (-t_{cr}) = 1,22 \cdot 10^6 (-t_{cr}), \quad (4)$$

где p – искомое осмотическое давление, Па; t_{cr} – температура замерзания испытуемого раствора, °С. Рассмотренный метод определения осмотического давления носит название криоскопического.

Сопоставляя приведенные методы, следует сказать, что применение осмометров наиболее целесообразно при определении осмотических давлений растворов высокомолекулярных соединений, в частности белков. Так, например, белковый раствор концентрации 1 моль/м³, дающий в осмометре высоту водяного столба 22,7 см, вызывает понижение температуры замерзания всего на 0,00186 °С. Если определить высоту водяного столба указанного порядка можно достаточно просто и с большой точностью, то измерение столь незначительной температурной разности является очень сложной задачей. Для растворов низкомолекулярных соединений, дающих значительное понижение темпе-

ратуры замерзания, наиболее приемлемым является криоскопический метод определения осмотического давления.

При определении рассмотренными методами осмотического давления биологических объектов измерения можно производить лишь с тканевой жидкостью, предварительно отделенной от объекта. Поэтому получаемые данными методами результаты являются средними для того тканевого комплекса, из которого был выделен сок.

В том случае, если требуется определить осмотическое давление отдельных клеток или небольших тканевых комплексов, прибегают к плазмолитическому или же к рефрактометрическому методам.

При плазмолитическом методе, помещая срезы ткани в ряд растворов плазмолитика возрастающей концентрации, с помощью микроскопа находят такой раствор, в котором отдельные клетки начинают переходить в состояние плазмолиза. Осмотическое давление этого раствора, определенное по уравнению (1), принимается равным осмотическому давлению клеточного сока.

При рефрактометрическом методе кусочки ткани также помещают в растворы плазмолитика возрастающей концентрации. По истечении определенного промежутка времени с помощью рефрактометра определяют концентрацию растворов и находят такой, концентрация которого не изменилась по сравнению с исходной. Осмотическое давление этого раствора, также определяемое по уравнению (1), будет соответствовать осмотическому давлению объекта.

Необходимые для работы приборы и материалы

1. Центрифуга
2. Холодильная установка для определения температуры замерзания
3. Термометр Бекмана
4. Пробирки для определения температуры замерзания (5 шт.)
5. Секундомер
6. Рефрактометр
7. Микроскоп
8. Весы технические под нагрузку до 200 г
9. Колба мерная на 500 мл
10. Колба мерная на 50 мл (10 шт.)
11. Пробирки в штативах (40 шт.)
12. Предметные и покровные стекла (по 10 шт.)

13. Стекланные палочки (3 шт)
14. Стакан мерный на 200 мл
15. Пипетка на 10 мл (2 шт.)
16. Ступка фарфоровая
17. Скальпель
18. Пинцет
19. Бритва опасная
20. Бумага фильтровальная
21. Сахароза (0,2 кг)
22. Исследуемый продукт (яблоки и картофель, хранившиеся при температуре +5 °С и – 2 °С, по 0,3 кг для каждого режима).

Проведение эксперимента и обработка опытных данных

1. Криоскопический метод

Яблоки или картофель (предварительно вымытые) нарезают на куски и измельчают в фарфоровой ступке. Измельченную массу переносят в центрифужные пробирки и центрифугируют в течение 10 минут. Отделившийся сок сливают в пробирки для определения температуры замерзания, которое производят по соответствующему методическому указанию. Осмотическое давление вычисляют по уравнению (4), подставляя в него полученные значения температуры замораживания.

2. Рефрактометрический метод

1. В мерной колбе на 500 мл приготавливается молярный раствор сахарозы (342,3 г сахарозы в литре раствора), который затем разливается в мерные колбы емкостью 50 мл по 5, 10, 15... и 50 мл. Дополняя колбы водой до 50 мл, получают растворы десяти различных концентраций (C_0) – 100; 200; 300;... и 1000 моль/м³.

2. Определив с помощью рефрактометра показатель преломления растворов (n_0), приготавливают четыре комплекта по 10 пробирок, в каждой из которых содержится по 10 мл раствора полученного ряда концентраций.

3. В пробирки закладывается нарезанная кусочками ткань исследуемых объектов (в каждую пробирку по 3–5 г ткани) и после 40 минут выдержки производится рефрактометрическое определение

показателя преломления растворов, в которых находилась ткань (n). Перед каждым определением призмы рефрактометра и стеклянная палочка, которой наносится раствор, промываются дистиллированной водой и осушаются фильтровальной бумагой. Тот раствор, показатель преломления которого не изменился по сравнению с исходным, является изотоничным по отношению к клеточному соку.

4. Искомое осмотическое давление вычисляют по уравнению (1), подставляя в качестве C известное значение концентрации найденного изотонического раствора сахарозы.

Запись экспериментальных данных ведется в протоколе, форма которого указана в таблице 1.

Таблица 1

Показатели преломления растворов сахара

N^0	C_0 , моль/м ³	n_0	n			
			Яблоко		Картофель	
			+ 5 °C	– 2 °C	+ 5 °C	– 2 °C

3. Плазмолитический метод

1. На предметные стекла наносятся стеклянной палочкой 2–4 капли приготовленных растворов сахарозы возрастающей концентрации. В растворы помещаются сделанные бритвой срезы эпидермиса яблока, которые затем накрываются предметным стеклом.

2. После 15 мин выдержки срезы просматриваются под микроскопом и определяется раствор, в котором начинается переход клеток в состояние плазмолиза.

3. Подставляя значение концентрации найденного изотонического раствора в уравнение (1), вычисляют искомое осмотическое давление.

Оформление работы

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- 1) основные теоретические предпосылки и цель работы;
- 2) протоколы с результатами проведенных измерений;
- 3) расчеты по определению величины осмотического давления;

4) выводы, в которых дается анализ установленной связи между свойствами объекта и величиной осмотического давления, а также возможных различий в значениях величины осмотического давления в зависимости от метода его определения.

Список литературы

1. **Библь Р.** Цитологические основы экологии растений. – М.: Мир, 1965. – 432 с.
2. **Флауменбаум Б.Л.** Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 268 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСОЛА РЫБЫ

Теоретические положения

Под посолом понимают обработку рыбы поваренной солью, часто в сочетании с веществами, улучшающими вкус. Для созревания рыбы при посоле её выдерживают в течение времени, достаточного для прохождения процессов, в результате которых продукт приобретает необходимые свойства. Важную роль в формировании вкуса и аромата соленой рыбы при созревании играют биохимические и физико-химические процессы. К первым относятся ферментативные, окислительные и микробиологические превращения белков, липидов и углеводов; скорость этих процессов зависит от активности мышечных и пищеварительных ферментов. К физико-химическим превращениям относятся: растворение белков в тузлуке с небольшим содержанием соли, а при высоких концентрациях соли – их денатурация, изменение структуры тканей.

В промышленности применяют три основных способа посола: сухой, мокрый и смешанный.

При сухом посоле рыбу обрабатывают сухой солью, и раствор соли образуется только за счет воды, извлекаемой из рыбы. Рыбу, целую или разделанную, обваливают в соли, затем укладывают в рыбопосольную емкость (чан) и дополнительно по рядам пересыпают солью. В начале процесса имеется кристаллическая соль и рыба, раствор соли отсутствует, по этому признаку такой посол и называется сухим.

Происходит выделение из рыбы воды (тканевых соков), растворение соли и сравнительно быстрое образование раствора, который называется естественным тузлуком. Вследствие растворения соли происходит охлаждение рыбы. Сухой посол имеет два существенных недостатка: резкое обезвоживание наружных слоев тканей рыбы и, как следствие, неравномерность просаливания; второй недостаток – трудность механизации процесса.

Мокрым, или тузлучным, называется способ посола рыбы в растворе соли (искусственном тузлуке). При этом способе рыба сразу попадает в раствор соли. Просаливание рыбы происходит быстро и равномерно, однако со временем наблюдается уменьшение первоначальной концентрации соли в тузлуке за счет извлекаемой из рыбы воды, что является основным недостатком тузлучного посола.

При смешанном посоле рыбу солят одновременно сухой солью и тузлуком, т.е. рыбу, обваленную в соли, загружают в ёмкость с тузлуком. Соль, находящаяся на поверхности рыбы, препятствует опреснению тузлука и сама, растворяясь за счет воды, выходящей из рыбы, образует дополнительное количество тузлука. В результате тузлук остаётся насыщенным (устраняется недостаток мокрого посола), и процесс посола начинается немедленно, без резкого обезвоживания наружных слоев рыбы, т.е. устраняется недостаток сухого посола.

Учитывая достоинства и недостатки способов, в промышленности сухой посол применяют для рыбы с содержанием жира не более 6 % (тресковые, нерестующие сельди), а также мелкой рыбы (хамса, тюлька). Жирные виды рыбы сухим способом не солят, так как образующегося тузлука недостаточно для быстрого просаливания внутренних слоев рыбы.

Мокрый посол распространен при производстве слабосоленой рыбы, предназначенной для сушки, копчения, вяления, при приготовлении паюсной икры осетровых, зернистой икры лососевых рыб.

Смешанный посол широко применяется для жирной рыбы.

В зависимости от температурных условий различают посол теплый, с охлаждением и с подмораживанием (холодный).

Теплый посол проводят при температуре воздуха не выше 15 °С, без применения льда; солят мелкую, быстро просаливающуюся рыбу, а крупную – только ранней весной и поздней осенью.

Посол с охлаждением проводят с применением любых способов искусственного понижения температуры воздуха или среды. При этом

широко используется охлаждение рыбы мелкодробленым льдом. Охлажденный посол широко применяется для сельдевых и лососевых рыб. Охлаждение задерживает автолиз мышечной ткани рыбы и предотвращает развитие окислительных и бактериальных процессов.

Посол с подмораживанием применяют для крупной жирной рыбы (белуга, осетр). Рыбу замораживают до температуры $-2... -4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем натирают солью и пересыпают льдом. Иногда в крупную рыбу холодный рассол вводят путем шприцевания.

В зависимости от продолжительности процесса различают равновесный (законченный) и прерванный (незаконченный) посол.

При равновесном посоле процесс продолжается до тех пор, пока концентрация соли мышечных соков не будет близка к концентрации соли во внешнем растворе.

При прерванном посоле продолжительность просаливания определяется заданной соленостью.

В зависимости от концентрации соли в тузлуке различают насыщенный и ненасыщенный посол. К насыщенному относят посол, при котором концентрация соли в тузлуке не ниже 20 %, к ненасыщенному – с концентрацией, не превышающей 20 %.

При производстве соленой рыбы пользуются двумя показателями, характеризующими содержание соли в рыбе: соленостью и концентрацией соли в мышечной ткани рыбы. Соленость – это содержание соли в мясе рыбы в процентах, она определяет вкус рыбы. Концентрация соли – это отношение количества соли к количеству раствора соли в мышечной ткани. Концентрация соли в соленой рыбе всегда превышает ее соленость и эта разница тем больше, чем меньше содержание в рыбе воды.

Показателем солености пользуются для характеристики готовой продукции или соленого полуфабриката; вторым показателем – для расчета расхода соли при посоле.

На скорость просаливания рыбы в значительной степени оказывает влияние температура, которая связана с солевой денатурацией белков. Установлено, что температурная поправка коэффициента просаливания составляет приблизительно 3 % на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зоне температур $0 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, немного увеличивается с повышением температуры и достигает 4 % в зоне температур $20 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это значит, что при $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ для достижения некоторой солености потребуется времени на 15 % меньше, чем при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сущность посола заключается в создании нужной концентрации соляного раствора в рыбе, причем от скорости создания этой концентрации, т.е. от скорости просаливания, зависит степень предохранения рыбы от порчи. Просаливание рыбы представляет собой диффузионный процесс, т.е. самопроизвольное выравнивание концентрации соли во всем объеме системы под влиянием теплового движения ионов и молекул. Этот процесс продолжается до полного выравнивания концентрации соли в рыбе и в тузлуке.

Диффузия соли и воды в рыбе усложняется неодинаковой проницаемостью тканей, которая изменяется под влиянием соли. Например, кожа, имеющая более плотную структуру, менее проницаема для соли и воды, чем мясо, жировые включения задерживают диффузионные перемещения соли и воды.

Просаливание связано с растворением кристаллической соли, т.е. с образованием около рыбы тузлука, и с диффузией соли и воды сквозь ткани рыбы. Скорость растворения соли значительно превышает скорость ее диффузии даже в чистой воде, поэтому просаливание зависит практически только от скорости диффузии соли и воды сквозь ткани рыбы. Скорость диффузии подчиняется закону Фика:

$$q = -D \text{grad} C, \quad (5)$$

где q – поток массы растворённого вещества, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; C – массовая концентрация растворённого вещества, $\text{кг}/\text{м}^3$; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; $\text{grad} C$ – градиент концентрации, т. е. повышение концентрации в направлении, противоположном диффузии (отсюда и знак минус). Для концентрированных растворов закон Фика усложняется взаимодействием ионов и молекул растворенных веществ.

Интенсивность проникновения хлористого натрия в животные ткани зависит от ряда технологических факторов – внешних относительно сырья: концентрация рассола, скорость его циркуляции, температура и др., и внутренних, присущих сырью: физиологическим состоянием рыбы, размеров и др.

На скорость посола влияет сопротивление самого продукта, оно обусловлено наличием в тканях множества полупроницаемых перегородок, задерживающих движение диффундирующих частичек. На проницаемость влияют физиологическое состояние, морфологическое строение и химический состав продукта, характер и глубина предварительной (перед посолом) обработки. Разрыхление структуры

мышц в результате автолиза и микробного разложения, потрошение, снятие чешуи и кожи ускоряют процесс просаливания. Жир задерживает проникновение соли в мясо, кроме того, жирная рыба содержит меньше воды, что затрудняет проникновение соли в ткани.

Движущей силой процесса посола является наличие разности концентраций соли в рассоле и продукте. Чем выше концентрация соли в рассоле, тем быстрее протекает процесс. Скорость проникновения и накапливания соли в продукте снижается в процессе посола вследствие уменьшения разности концентраций в системе рассол – продукт.

Процесс массообмена через стенки клетки сложен. Свойства оболочек клеток изменяются во времени вследствие биохимических превращений, происходящих в продукте, а также в результате влияния соли на физико-химическое состояние белков и степень связывания воды.

Под влиянием сильного электролита, каким является хлористый натрий, количество связанной воды изменяется – при слабых концентрациях соли оно несколько увеличивается, при больших – сильно уменьшается. Отнятие солью части воды изменяет состояние белков, приводит к денатурации белков, т.е. к потере растворимости солерастворимых белков, составляющих 75–80 % белков мышечной ткани. В начале процесса просаливания при небольших концентрациях соли в рыбе происходит растворение белков, а по достижении высоких концентраций соли – высаливание белков или потеря ими растворимости. Это обуславливает существенные изменения консистенции и вкуса соленой рыбы.

При посоле рыбы наблюдается эффект, отсутствующий при посоле мяса. Именно, если концентрация рассола не очень велика, то наблюдается диффузия влаги из рассола в рыбу и масса рыбы увеличивается. При высокой концентрации рассола наблюдается обратный процесс, и масса рыбы уменьшается. Более того, при некоторых значениях концентрации масса рыбы вначале увеличивается, а затем начинает уменьшаться.

Для объяснения этого явления допустим, что существуют два противоположно направленных осмотических давления. С одной стороны, из-за высокой концентрации поваренной соли в растворе имеется осмотическое давление, направленное из рыбы в раствор. С другой стороны, в соке рыбы содержатся другие растворённые вещества, отсутствующие в посолочном растворе. Это создаёт осмотическое давление, направленное из раствора в рыбу. Конкуренция этих двух сил и приводит к описанному выше явлению.

Для количественного описания процесса посола можно использовать следующее соотношение:

$$\Delta m = L_1(1 - e^{-k_1 t}) - CL_2(1 - e^{-k_2 t}), \quad (6)$$

где Δm – изменение массы рыбы на единицу площади поверхности, г/100 см²; C – концентрация соли в посолочном растворе, %; t – время, дни; L_1 , L_2 , k_1 и k_2 – некоторые константы, свои для каждого вида рыбы. Первое слагаемое – приток воды в рыбу за счёт имеющихся в соке рыбы растворённых веществ, второе – поток воды из рыбы за счёт поваренной соли в растворе. Мы учли, что зависимость от времени должна носить экспоненциальный характер, и что при $t = 0$ должно быть $\Delta m = 0$.

Приведём результаты 4 серий экспериментов по посолу трески и скумбрии с кожей и без кожи для 4 значений концентрации соли: 0, 14, 20 и 36 % – для трески и 3 значений концентрации соли: 14, 20 и 36 % – для скумбрии (при вымачивании скумбрии в чистой воде нежная ткань этой рыбы начинает разрушаться). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Посол трески и скумбрии при температуре + 12 °С

Вид рыбы	Концентрация рассола, %	Кожный покров, %	Площадь поверхности, см ²	Объём, см ³	Масса рыбы через 1–6 дней после начала процесса посола, г						
					0	1	2	3	4	5	6
Треска	0	100	846	1040	1300	1358	1376	1390	1394	1408	–
Треска	14	100	536	750	838	851	864	876	886	894	900
Треска	20	100	522	720	820	829	837	843	846	849	849
Треска	36	100	638	820	996	998	1000	1002	1004	1004	1004
Треска	0	0	704	875	1120	1190	1228	1246	1254	1260	–
Треска	14	0	473	574	718	748	768	782	788	790	792
Треска	20	0	403	428	514	526	534	544	546	542	538
Треска	36	0	388	450	486	478	472	466	460	453	446
Скумб.	14	100	547	549	602	618	631	639	647	654	656
Скумб.	20	100	483	473	532	543	554	564	568	570	571
Скумб.	36	100	438	375	480	476	473	470	468	466	464
Скумб.	14	0	499	500	546	554	560	564	566	568	570
Скумб.	20	0	435	369	478	484	487	485	481	479	479
Скумб.	36	0	326	280	395	390	387	384	380	377	376

Экспериментальные данные обрабатывались по методу наименьших квадратов и определялись константы из формулы (6): L_1 , L_2 , k_1 и k_2 . Значения констант приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения констант L_1 , L_2 , k_1 и k_2

Вид рыбы	Кожный покров	L_1	L_2	k_1	k_2
Скумбрия	0 %	15	0,85	0,28	0,17
Скумбрия	100 %	22	0,75	0,27	0,22
Треска	0 %	30	0,36	1,1	0,31
Треска	100 %	19	0,44	0,30	0,40

Графики зависимостей (1) вкпе с экспериментальными данными показаны на рисунках 1–4.

В рассол переходят белковые, экстрактивные и минеральные вещества, водорастворимые витамины. Количество веществ, переходящих в рассол, различно и зависит от условий посола.

Степень автолиза перед посолом оказывает определенное влияние на интенсивность накапливания соли в мышцах. Уплотнение мышечной ткани в период посмертного окоченения уменьшает ее проницаемость и, наоборот, при разрешении окоченения проницаемость ткани увеличивается.

Проницаемость размороженной мышечной ткани выше, чем охлажденной. Отличие размороженной рыбы от охлажденной тем меньше, чем ниже температура замораживания.

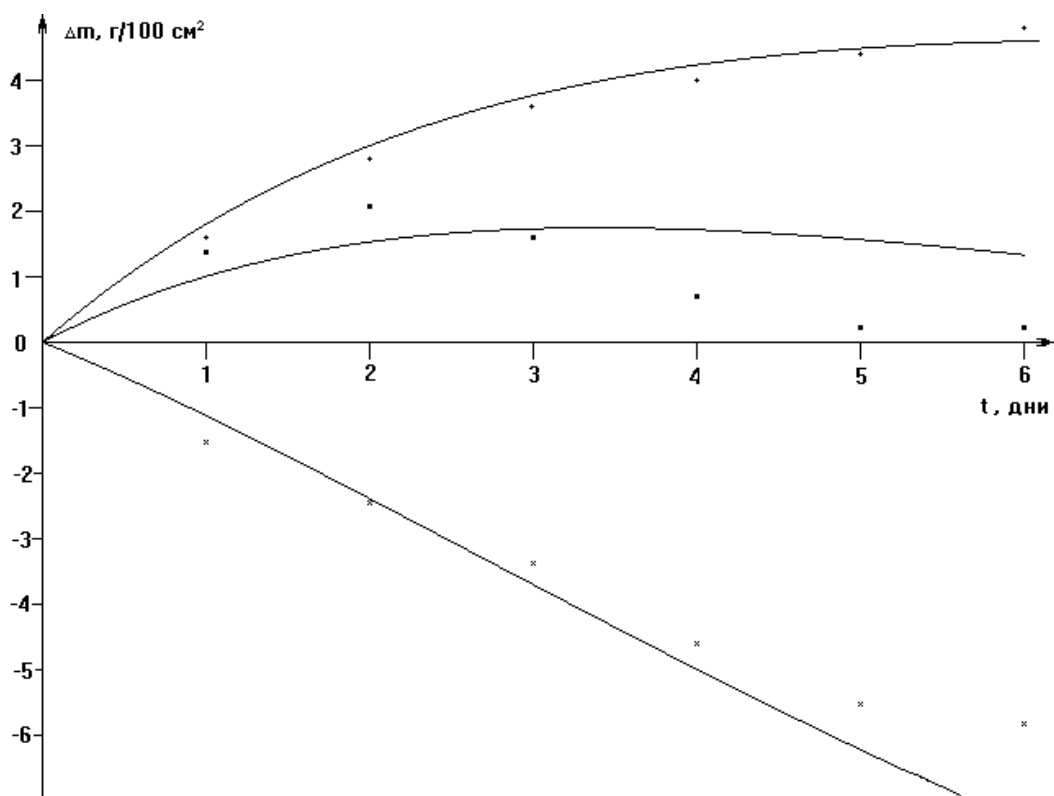


Рисунок 1. Скумбрия без кожи

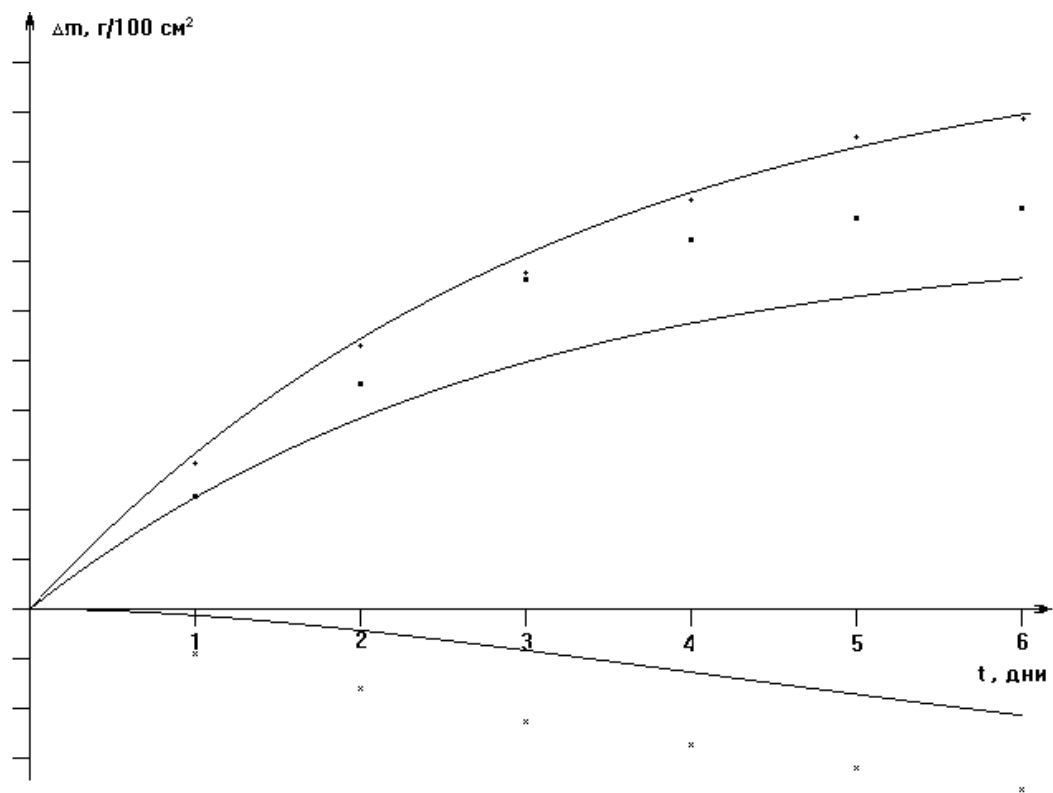


Рисунок 2. Скумбрия с кожей

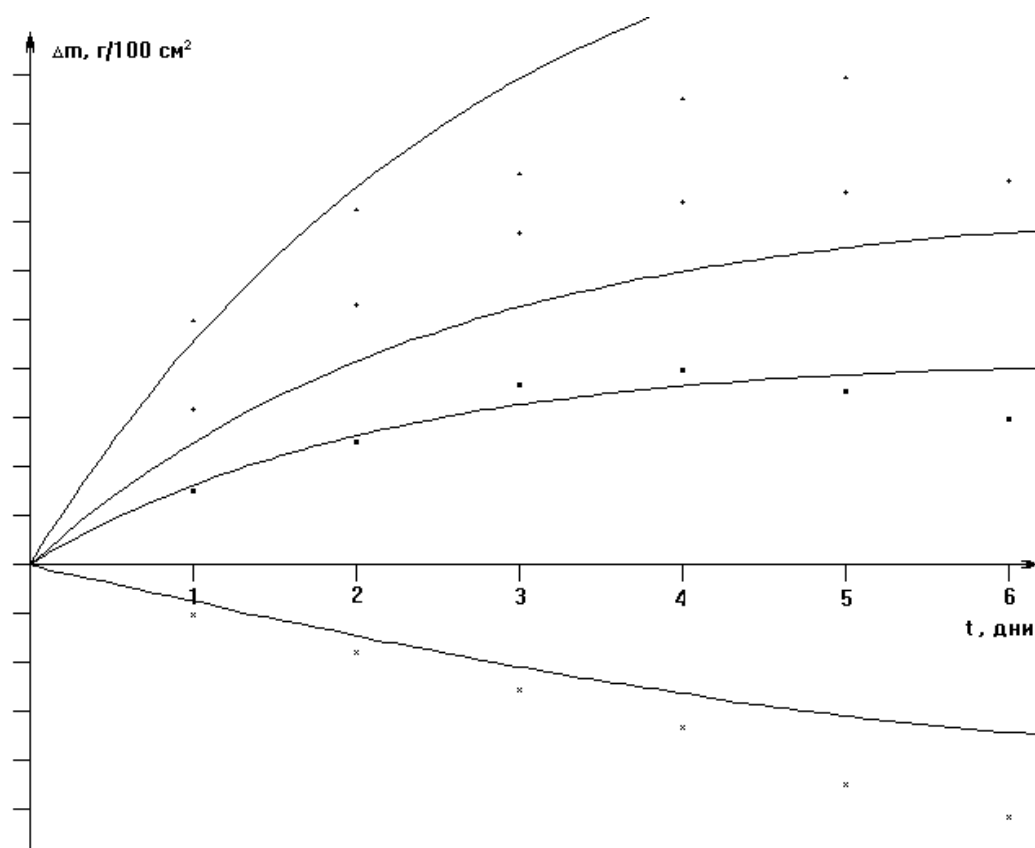


Рисунок 3. Треска без кожи

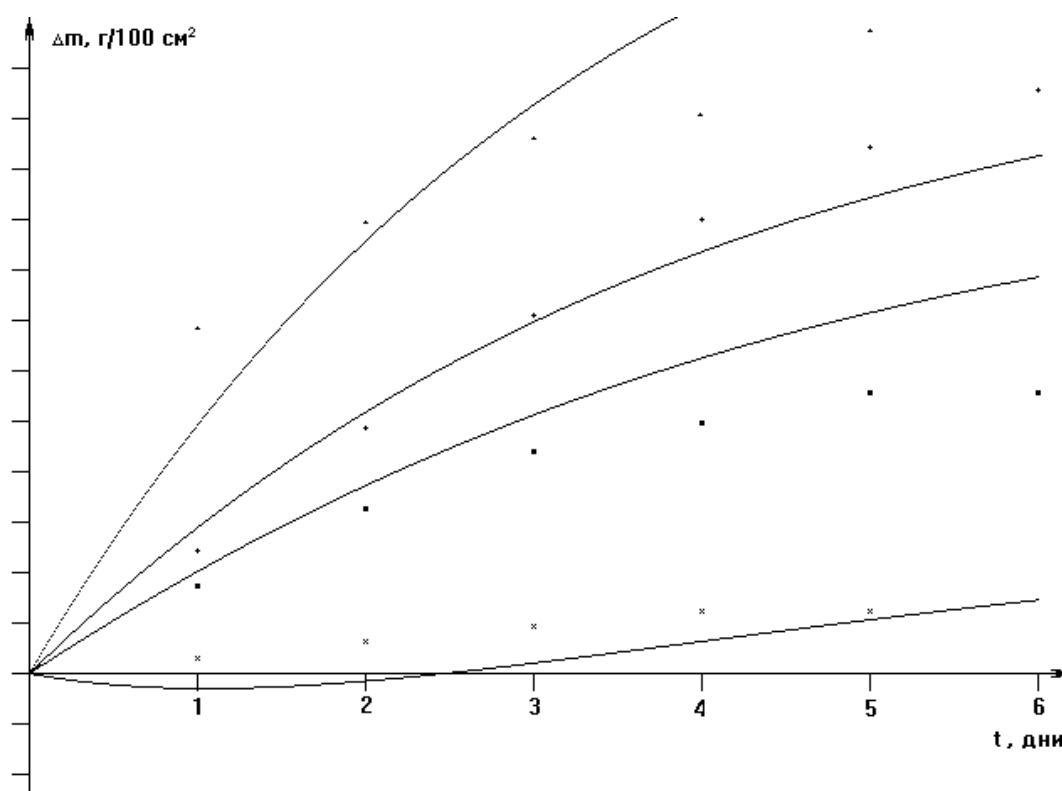


Рисунок 4. Треска с кожей

Цель лабораторной работы

Изучить основные способы посола рыбы, метод расчета массового баланса сухого посола.

Содержание работы

Лабораторная работа заключается в проведении посола и сравнительной оценке изменений в рыбе при посоле.

Работа выполняется фронтальным методом четырьмя группами студентов по 2–4 человека. Первая группа студентов проводит сухой посол. Вторая и третья группы – мокрый посол при комнатной температуре и при температуре 0 °С соответственно. Четвертая группа проводит смешанный посол.

Материалы

1. Рыба, целая или разделанная, длиной не менее 15 – 20 см, размороженная, по две на каждую группу студентов.
2. Поваренная соль тонкого помола.

Приборы и посуда, шт

Ультратермостат	4
Рефрактометр	4
Весы технические	1
Ареометр	4
Холодильник	1
Кристаллизатор	4
Стекло часовое	12
Стакан мерный	4
Палочка стеклянная	12
Нож	4
Шпатель	4

Порядок выполнения работы

Рыбу разделяют, очищают от чешуи, отделяют головы, плавники, в том числе хвостовые, удаляют внутренности, зачищают черную пленку, моют, обсушивают фильтровальной бумагой.

Из тушки рыбы вырезают три куса толщиной примерно 20 мм, каждый из которых взвешивают на часовом стекле и помещают в предварительно взвешенный кристаллизатор. Данные записывают в табл. 1.

Все группы определяют содержание сухих веществ в соке из каждого куса рыбы рефрактометрическим методом [4]. Данные записывают в таблицу 4.

Таблица 4

Характеристика рыбы до посола

№ опыта	Масса часового стекла, г	Масса стекла с рыбой, г	Масса рыбы, г	Содержание сухих веществ, %
1.				
2.				
3.				
Средняя				

Первая группа отвешивает на часовом стекле 15 г соли, обваливает в ней куски рыбы, помещает их в предварительно взвешенный кристаллизатор и пересыпает оставшейся солью. Выдерживает при комнатной температуре в течение 1 часа.

Вторая, третья и четвертая группы приготавливают тузлук в количестве 250 мл плотностью 1,18 – 1,20 г/см³. Концентрацию раствора, соответствующую этой плотности, определяют по таблице 5.

Таблица 5

**Концентрация и плотность раствора поваренной соли
в зависимости от температуры**

Концентрация, %	Плотность, г/см ³ , при температуре, °С	
	0	20
20	1,157	1,148
21	1,165	1,156
22	1,173	1,164
23	1,182	1,172
24	1,190	1,180
25	1,198	1,188
26	1,207	1,197

Плотность полученного тузлука проверяют с помощью ареометра.

Вторая группа взвешенную рыбу в кристаллизаторе заливает 250 мл тузлука и выдерживает в течение 1 часа при комнатной температуре.

Третья группа студентов взвешенную рыбу в кристаллизаторе заливает 250 мл тузлука, охлажденного до 0 °С, и выдерживает в холодильнике при 0 °С в течение 1 часа.

Четвертая группа студентов отвешивает на часовом стекле 15 г соли, обваливает в ней куски рыбы, помещает в кристаллизатор, пересыпает солью, заливает 250 мл тузлука и выдерживает при комнатной температуре в течение 1 часа.

По окончании посола дают стечь тузлуку. Студенты 1 и 4 групп, кроме того, от кусков рыбы стеклянной палочкой или шпателем отделяют кристаллы нерастворившейся соли, осторожно осушают фильтровальной бумагой и взвешивают каждый кусок на том же часовом стекле, на котором взвешивали рыбу до посола. Данные записывают в таблицу 6.

Таблица 6

Изменение массы рыбы при посоле

№ опыта	Масса рыбы до посола, г	Масса рыбы после посола, г	Изменение массы рыбы	
			г	%
1				
2				
3				
Среднее				

Студенты 2 и 3 групп определяют плотность тузлука с помощью ареометра и по таблице 5 – концентрацию соли в тузлуке. Данные изменения концентрации записывают в таблицу 7.

Таблица 7

Изменение концентрации тузлука (для мокрого посола)

№ опыта	Концентрация тузлука, %		Изменение концентрации, %	
	до посола, C_1	после посола, C_2	$C_1 - C_2$	$((C_1 - C_2) / C_1) \cdot 100 \%$
1				
2				
3				
Среднее				

Первая группа студентов определяет массовый баланс сухого посола. Взвешивает кристаллизатор с образовавшимся тузлуком и оставшейся солью. Находит массу тузлука в соли, затем сливает тузлук в предварительно взвешенный стакан и определяет массу тузлука. Полученные данные записывает в таблицу 8.

Таблица 8

Масса тузлука и соли (сухой посол), г

Кри- сталли- затор	Кристалли- затор с ры- бой	Ры- ба	Кристаллиза- тор с рыбой и солью	Тузлук и соль	Ста- кан	Стакан с тузлуком	Туз- лук	Соль

Все группы определяют содержание сухих веществ в соке рыбы рефрактометрическим методом [4]. Вычисляют изменения концентрации соли в рыбе при посоле. Полученные данные записывают в таблицу 9.

Таблица 9

Изменение концентрации соли в рыбе при посоле

№ опыта	Содержание сухих веществ в рыбе до посола A , %	Содержание сухих веществ в рыбе после посола B , %	Изменение concentra- ции соли в рыбе, $B - A$, %

Первая группа студентов определяет массовый баланс сухого посола.

Баланс посола. Масса соленой рыбы, выраженная, в процентах к массе свежей рыбы, называется выходом готовой продукции, а разницу в массе между свежей и соленой рыбой, выраженную в процентах к массе свежей рыбы, называют утечкой или потерями при посоле и определяют по формуле

$$P = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100.$$

Уменьшение массы рыбы при посоле определяют по формуле

$$P_1 = G_1 - G_2,$$

где P – потери (утечка) рыбы, %; P_1 – уменьшение массы рыбы при посоле, г; G_1 – масса свежей рыбы, г; G_2 – масса соленой рыбы, г.

Массу соли в тузлуке находят по формуле

$$g_3 = ag_4.$$

Количество соли, проникшее в ткани рыбы, определяют по формуле

$$g = G_c - [(g_1 - g_2) + g_3],$$

где G_c – масса соли, взятой для посола рыбы, г; g_1 – масса нерастворившейся (жировой) соли, г; g_2 – масса примесей в жировой соли, г;

g_3 – масса соли в тузлуке, г; a – коэффициент концентрации тузлука (определяют по табл. 8); g_4 – масса тузлука, г.

При выполнении лабораторной работы значением g_2 можно пренебречь.

Количество воды, переместившейся из тканей рыбы, определяют по формуле

$$W_1 = W_0 c k,$$

где W_1 – количество воды, переместившейся из тканей рыбы, %; W_0 – содержание воды в рыбе до посола, %; c – концентрация соли, %, k – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности k колеблется в узких пределах и в среднем его принимают равным $0,0153 \pm 0,0003$.

Массу насыщенного тузлука, которая может образоваться при посоле за счет воды, извлекаемой из рыбы, определяют по формуле

$$g_4 = W_1 \left[1 + \frac{30 + h_1}{100} \gamma \right],$$

где h_1 – количество воды в соли, г; γ – плотность поваренной соли, г/см³.

При выполнении лабораторной работы значением h_1 можно пренебречь,

Массовый баланс определяют по формуле

$$G_1 + G_c = G_2 + g_1 + g_4.$$

По окончании просаливания масса рыбы может увеличиться и достигнуть не только начальной массы, но и превысить ее. Такое изменение массы характерно для слабо- и среднесоленых рыб. Концентрация соли в тканевом соке не превышает 18–20 %. Полученные данные, характеризующие массовый баланс посола, записывают в таблицу 10, растворимость NaCl в воде – в таблицу 11.

Таблица 10

Массовый баланс сухого посола

Продукт, загруженный в кристаллизатор, г			Продукт, выгруженный из кристаллизатора, г		
Всего	В том числе		Всего	В том числе	
	рыбы	соли		рыбы	соли

При правильной и точной организации посола и взвешивания сумма масс рыбы и соли левой и правой частей таблицы должна быть одинаковой. Однако такое условие выполнить невозможно, поэтому всегда имеются расхождения. Допустимый предел погрешности $\pm 5 \%$.

Таблица 11

Растворимость NaCl в воде

$t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
Плотность, г/см ³	Концентрация, %	Коэффициент a	Плотность, г/см ³	Концентрация, %	Коэффициент a
1,0078	1	0,001	1,0351	5	0,050
1,0785	10	0,100	1,1002	14	0,140
1,1156	15	0,150	1,1493	20	0,200
1,1577	20	0,260	1,1978	26	0,260

Обработка результатов работы

Обработка результатов лабораторной работы заключается в сопоставлении и анализе опытных данных, полученных всеми группами студентов. Составляют следующую обобщенную таблицу 12.

Таблица 12

Влияние способа посола на изменения в рыбе и тузлуке

Способ посола	Изменение массы рыбы (из табл. 3), %	Изменение концентрации соли в рыбе (из табл. 6), %	Изменение концентрации тузлука (из табл. 4), %
Сухой			
Мокрый при $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$			
Мокрый при $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$			
Смешанный			

Органолептический анализ соленой рыбы

Органолептический анализ соленой рыбы проводят все группы студентов совместно. Определяют следующие показатели внешнего вида и качества на разрезе куска рыбы:

1. Внешний вид: структура (однородная, рыхлая, мажущаяся).

2. Цвет: на поверхности и на свежем поперечном разрезе, отклонения от естественного цвета, оттенки, специфические для данного вида продукта,

3. Запах (аромат): степень выраженности запаха соленой рыбопродукции, наличие посторонних запахов.

4. Вкус определяется опробованием тонких ломтиков, вырезанных из средней части куска: по степени выраженности соленого рыбного вкуса; степень солености – слабосоленая, среднесоленая, крепосоленая.

5. Консистенция определяется приложением усилий – легким надавливанием шпателем, разрезанием. Она подразделяется: на упругую, плотную, твердую, эластичную, жесткую, сочную, сухую, мягкую, нежную, ослабевшую, дряблую, расслаивающуюся, крошливую, слоистую, волокнистую, мажущую, рассыпчатую.

Данные органолептического анализа записывают в таблицу 13.

Таблица 13

Органолептическая оценка соленой рыбы

Способ посола	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус	Консистенция
Сухой					
Мокрый при 0 °С					
Мокрый при 20 °С					
Смешанный					

Проводится сравнительный анализ полученных данных.

Выводы

По результатам работы всех четырех групп и органолептической оценке делают вывод о влиянии способа посола на изменение массы рыбы и концентрации соли в рыбе и в тузлуке. Анализируют результаты массового баланса сухого посола.

Оформление работы

1. Краткие теоретические положения.
2. Цель работы.
3. Изложение порядка проведения работы.
4. Опытные данные и их объяснение.
5. Выводы.

Список литературы

1. **Кизеветтер И.В., Макарова Т.Н., Зайцев В.П.** Технология обработки водного сырья. – М.: Пищевая промышленность, 1976, – 696 с.
2. **Леванидов И.П., Ионас Г.П., Слуцкая Т.Н.** Технология соленых, копченых и вяленых рыбных продуктов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 160 с.
3. **Сикорский З.** Технология продуктов морского происхождения. – М.: Пищевая промышленность, 1974,- 520 с.
4. **Скоморовская И.Р., Уварова Н.А., Запромётова О.С.** Методики анализа пищевых продуктов: Метод. указания к работам № 1–4 по курсу "Общая технология пищевых продуктов". – Л.: ЛТИХП, 1988. – 16 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСОЛА МЯСА

Один из способов консервирования мяса – посол. При посоле мясо обрабатывается поваренной солью, как правило, с добавлением селитры или нитрита натрия, а также сахара. В процессе посола мясо приобретает розовую окраску, сохраняющуюся при варке, приятные вкус и запах, более плотную консистенцию и устойчивость при хранении.

Консервирующее действие поваренной соли заключается в подавлении жизнедеятельности бактерий вследствие повышения осмотического давления при растворении соли в мясном соке. Рост большинства бактерий прекращается в 10 % растворе соли. Особенно чувствительны к повышению осмотического давления гнилостные бактерии.

Чем крепче рассол и чем выше его температура, тем быстрее идет процесс просаливания. Несмотря на то, что по мере накопления соли стойкость мяса повышается, и развитие бактерий замедляется, следует помнить, что сохранить мясо от порчи посолом можно только при определенной температуре. С повышением температуры мяса или окружающей среды выше +4 °С возможно быстрое развитие бактерий, которое приводит к порче мяса. Понижение температуры ниже + 2 °С замедляет процесс посола мяса, вследствие чего возможно недостаточное и неравномерное просаливание. Поэтому солить мясо нужно при температуре от + 2 до + 4 °С.

Селитра, применяемая при посоле мяса, — источник образования нитрита. Взаимодействие нитрита с красящим белком мяса — миоглобином обеспечивает сохранение розовой окраски мяса, устойчивой при варке. При повышении температуры посола нитриты могут восстанавливаться до газообразного азота. Продукт теряет окраску, и мышечная ткань становится дряблой, а в колбасных изделиях наблюдается пористость.

Глюкоза при повышении температуры рассола может способствовать развитию брожения в нем. Вместе с тем необходимо отметить, что мясопродукты, посоленные без сахара, обладают более жестким вкусом, так что применение сахара способствует улучшению вкуса мяса.

В практике различают несколько методов посола:

- мокрый посол, основанный на консервировании мясопродуктов непосредственно в рассоле;
- сухой посол, при котором мясопродукты засаливают сухой посолочной смесью;
- смешанный посол, представляющий собой сочетание сухого и мокрого посолов;
- внутримышечный посол, при котором мясопродукты засаливают введением рассола в мышцы через сосудистую систему.

При мокром посоле продуктов перераспределение соли и воды складывается из трех одновременно протекающих процессов:

1. Перераспределения соли и воды между рассолом и продуктом.
2. Перераспределения соли и воды в рассоле.
3. Перераспределения соли и воды внутри продукта.

Все три процесса перераспределения соли и воды происходят диффузионно-осмотическим путем. При диффузии вдоль мышечных волокон средняя скорость проникновения соли в мясо выше, чем при диффузии поперек волокон.

Одновременно с перераспределением соли между рассолом и продуктом начинается и перераспределение воды.

В первый период посола осмос, т.е. просачивание воды сквозь оболочки мышечной ткани в раствор с более высокой концентрацией, преобладает над диффузией соли в мясо. Вследствие этого происходит уменьшение массы сырья. Степень обезвоживания тем больше, чем выше концентрация рассола, и достигает наибольшего значения

при обычных условиях посола для мясопродуктов приблизительно на 5–7 суток в зависимости от их массы. После этого начинается обводнение продукта, обусловленное нарастанием в нем концентрации соли. Максимальное количество воды поглощается мясом, когда массовая доля соли в нем достигает 4–5 % (примерно на 10 сутки посола). Равновесное состояние наступает в сроки, лежащие далеко за пределами тех, которые установлены принятой технологией посола.

При посоле сухой солью вначале образуется рассол на поверхности за счет влаги самих продуктов. С этого момента между продуктом и рассолом возникает обменная диффузия, аналогичная той, которая имеет место при мокром посоле. Быстрее всего образуется рассол на поверхности мышечной ткани, медленнее – на поверхности жировой, еще медленнее – на внешней поверхности шкуры.

Если продукт длительное время находится в соприкосновении с сухой солью, он практически теряет всю осмотическую и капиллярную влагу.

Рассмотрим математическую модель процесса посола. Как было сказано выше, при погружении образца мяса в рассол параллельно идут два процесса: 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, м^3 , как функция времени τ , $N_s(\tau)$ и $N_m(\tau)$ – количества поваренной соли там же, моль. Суммы $V = V_s(\tau) + V_m(\tau)$ и $N = N_s(\tau) + N_m(\tau)$ очевидно постоянны. Диффузионный поток пропорционален разности концентраций $\Delta C = N_s(\tau)/V_s(\tau) - N_m(\tau)/V_m(\tau)$, моль/ м^3 , а количество воды, потерянной продуктом полагаем пропорциональной осмотическому давлению $P_{osm} = \Delta CRT$, Па, где $R = 8,32 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура системы, К (см. формулу (1)). Математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$\frac{dN_s}{d\tau} = -\beta S \left(\frac{N_s}{V_s} - \frac{N - N_s}{V - V_s} \right); \quad \frac{dV_s}{d\tau} = \alpha RTS \left(\frac{N_s}{V_s} - \frac{N - N_s}{V - V_s} \right); \quad (7)$$

$$N_s(0) = N_0; \quad V_s(0) = V_0.$$

Здесь β – коэффициент массоотдачи от рассола к мясу, $\text{м}/\text{с}$; α – коэффициент пропорциональности между осмотическим давлением и потоком воды от мяса к рассолу, $\text{м}^2 \cdot \text{с}/\text{кг}$; S – площадь поверхности мяса,

м²; N_0 и V_0 – начальные значения количества соли в рассоле и объема рассола соответственно.

Проинтегрируем систему уравнений (7):

$$S(\alpha NRT + \beta V)\tau = \frac{V_s^2 - V_0^2}{2} - (1-W)V(V_s - V_0) - (1-W)WV^2 \ln\left(\frac{VW - V_s}{VW - V_0}\right); \quad N_s = N_0 + \frac{\beta(V_0 - V_s)}{\alpha RT}; \quad W = \frac{\alpha N_0 RT + \beta V_0}{\alpha NRT + \beta V}. \quad (8)$$

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. Приведём результаты двух экспериментов по посолу свинины сорта Михайловская мокрым способом с двумя различными начальными концентрациями соли – 14 и 20 %. Параметры экспериментов приведены в таблице 14. Куски свинины в течение 5 суток каждые сутки вынимались из рассола, обсушивались фильтровальной бумагой и взвешивались. Таким образом, определялось количество влаги, перешедшее в рассол из свинины. Результаты приведены в таблице 15.

Таблица 14

Параметры экспериментов по посолу свинины

№	Концентрация рассола, %	Объем рассола, л	Масса свинины, г	Площадь поверхности, см ²	Температура, °C
1	14	1,5	1465	900	+ 4
2	20	1,6	1390	870	+ 4

Таблица 15

Результаты экспериментов по посолу свинины

Время, сутки	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	1130

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

Полученные экспериментальные результаты описывались теоретической зависимостью (2). Неизвестные величины α и β подбирались по методу наименьших квадратов. Результаты отображены в таблице 16 и на графиках 5 и 6.

Таблица 16

Результаты обработки экспериментальных данных

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

Обсудим полученные результаты. Экспериментальные точки хорошо ложатся на теоретические кривые, что свидетельствует о применимости нашей упрощенной модели для описания процесса посола. Полученные значения констант α и β для двух экспериментов совпадают в пределах 10%, что также свидетельствует о разумности предложенной модели. Безразмерный параметр $\beta V/(\alpha RT)$, приведенный в таблице 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%).

В процессе посола в рассол переходят белковые экстрактивные минеральные вещества, водорастворимые витамины, количество которых зависит от условий посола, крепости и количества рассола, длительности процесса. Несмотря на это, пищевая ценность соленых продуктов не снижается, а даже несколько повышается, в связи с увеличением содержания сухих веществ, кроме того, продукт становится более нежным, вкусным и усваивается лучше, чем несоленый.

Химические изменения в мышечной ткани при посоле обусловлены преимущественно активностью ферментов. В результате действия тканевых ферментов и ферментов, выделяемых микроорганизмами, некоторые белки мяса подвергаются гидролитическому распаду. Глубокие изменения претерпевают экстрактивные вещества мяса. Благодаря этим изменениям солёный продукт приобретает более мягкую консистенцию и специфические запах и вкус, которые, в том числе, зависят от вида мяса. Особенно ярко выражено изменение запаха и вкуса при посоле свинины, приобретающей свойства так называемой ветчинности.

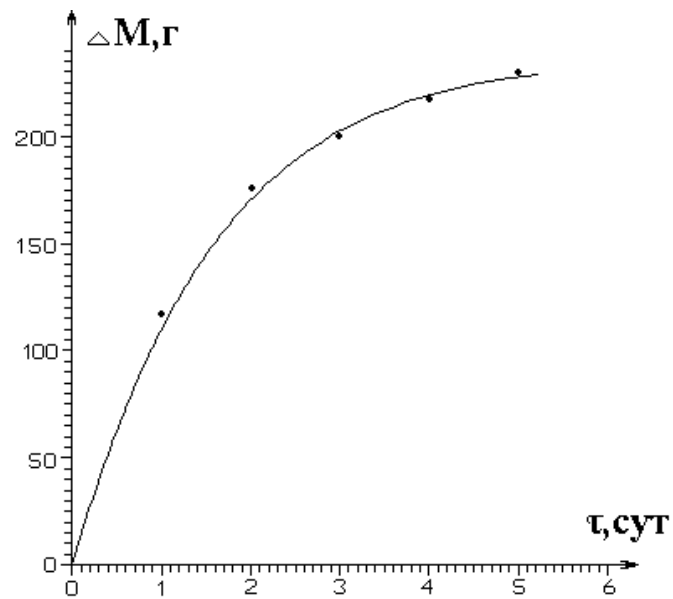


Рис. 5. Потеря массы куска свинины при посоле 14 % рассолом.
Сплошная кривая – теоретические данные, рассчитанные по формуле (2),
точки – экспериментальные данные

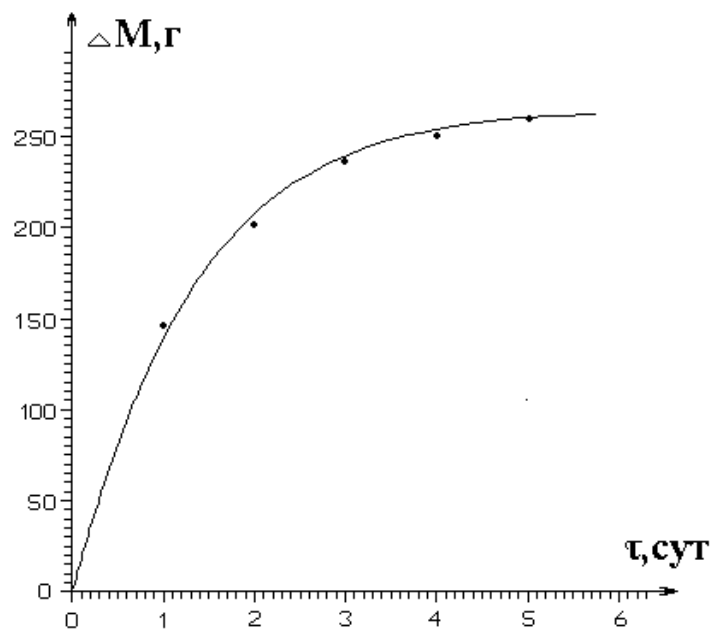


Рис. 6. Потеря массы куска свинины при посоле 20 % рассолом.
Сплошная кривая – теоретические данные, рассчитанные по формуле (2),
точки – экспериментальные данные

Хлористый натрий не обладает бактерицидным действием. Консервирующее действие поваренной соли объясняется следующим. Если применяют высокие концентрации соли (при посоле сухой солью или насыщенным раствором), вследствие осмоса происходит переход воды из бактериальной клетки в окружающую среду. Протоплазма бактерии, теряя воду, сжимается и отстает от стенок клетки бактерии – происходит плазмолиз. В плазмолизированную клетку пища не поступает. Клетка теряет способность к размножению и переходит в состояние анабиоза.

При посоле мясопродуктов применяют насыщенные растворы поваренной соли (содержание 2,5–6 %), консервирующее действие которых невелико. Консервирующий эффект усиливается сочетанием посола с другими способами консервирования – охлаждением, копчением, сушкой.

Развитие большинства гнилостных микроорганизмов подавляется при концентрации рассола 10–15 %.

Ввиду широкого применения посола в пищевой технологии важно уметь опытным путем определить конечный эффект диффузии и оценить значение отдельных факторов, определяющих интенсивность процесса.

Движущей силой обменной диффузии между рассолом и тканями является разность концентраций соли. Это дает основание полагать, что кинетика этого процесса в общем виде может быть описана уравнениями, принятыми для описания диффузионных процессов.

Основным законом диффузии является закон Фика, согласно которому количество вещества, проходящего при диффузии через единицу площади в единицу времени, пропорционально градиенту концентрации. Из закона Фика следует, что скорость диффузии прямо пропорциональна концентрации рассола, температуре процесса и обратно пропорциональна вязкости. Если при повышении температуры вязкость рассола уменьшается, то влияние температуры на скорость диффузии еще заметно увеличивается. Однако при повышении температуры одновременно с ускорением диффузии интенсифицируются жизнедеятельность микроорганизмов, гидролитические и иные процессы, снижающие качество и пищевую ценность продуктов. Поэтому при выборе температурного режима посола нужно учитывать одновременно влияние двух противоположных факторов:

а) чем выше температура, тем быстрее проникает соль в продукт и больше ее консервирующее действие;

б) чем выше температура, тем интенсивнее проходят процессы, которые при глубоком развитии могут вызвать порчу продукта.

Учитывая последнее обстоятельство, посол обычно ведут при температуре $+2 - +4$ °С. Интенсивность проникновения соли в продукт возрастает при перемешивании рассола, воздействии на него вибрации. Особенно эффективным фактором является уменьшение пути переноса соли, что достигается шприцеванием рассола в толщу продукта или его введением в кровеносную систему.

Целью работы является определение интенсивности проникновения соли в мясо при посоле его в 20 %-ом растворе NaCl при температурах: 0, $+20$ и $+40$ °С и анализе применения общих закономерностей процессов переноса к диффузионному проникновению соли в мясо.

Приборы и материалы, необходимые для работы

Химические стаканы вместимостью 200 см^3	19 шт.
Весы технические.....	3 шт.
Колбы Эрленмейера для фильтрования вместимостью 200 см^3	18 шт.
Колбы Эрленмейера для титрования вместимостью 100 см^3	18 шт.
Воронки для фильтрования вытяжки.....	18 шт.
Фильтровальная бумага	—
Пипетка на 10 мл.....	3 шт.
Мерный цилиндр вместимостью 1 л	3 шт.
Стакан вместимостью 800 см^3	3 шт.
Стакан вместимостью 1000 см^3	3 шт.
Часовые стекла для взвешивания	6 шт.
Установка для титрования.....	3 шт.
Ланцет или нож	3 шт.
Пинцет	3 шт.
Фарфоровые ступки с пестиками	21 шт.
Термостат с температурой $+40$ °С	1 шт.
Исследуемый продукт – мясо	900 г
Холодильник с температурой 0 °С	1 шт.
Соль пищевая	400 г

Порядок выполнения работы, записи и обработки полученных данных

Приготавливают 2 литра 20 %-го раствора NaCl и профильтровывают его. Полученный раствор разливают по 600 мл в стаканы вме-

стимостью 800 мл каждый и помещают: один в холодильник с 0 °С, другой в термостат с температурой + 40 °С, третий оставляют на столе при комнатной температуре.

Мясо очищают от пленки и жира и вырезают из него поперек волокон на 21 кусочек толщины 5–7 мм массой 15–20 г каждый. Каждый кусочек взвешивают на часовом стекле на технических весах с точностью до 0,01 г и его массу записывают в протокол.

В восемнадцать предварительно пронумерованных стаканов вместимостью 200 мл наливают по 100 мл раствора NaCl (в стаканы 1–6 – раствор при 0 °С, в стаканы 7–12 – раствор при комнатной температуре, в стаканы 13–18 – раствор при + 40 °С).

В каждый стакан опускают по одному взвешенному кусочку мяса и оставляют при соответствующих температурах.

Для всех вариантов опыта записывают время погружения.

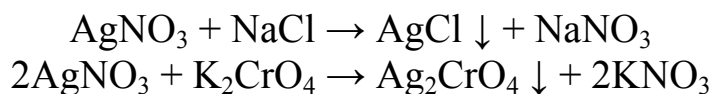
Через каждые полчаса из очередного стакана с раствором пинцетом извлекают кусочек мяса и дважды погружают в дистиллированную воду, взятую из отдельного стакана в количестве 50 мл, чтобы смыть рассол с поверхности, и в каждом кусочке отдельно определяют содержание соли.

После помещения всех кусочков мяса в раствор производят определение количества NaCl в контрольном образце (без посола).

Определение соли в мясе производят одинаково во всех кусочках мяса. В фарфоровую ступку помещают исследуемый кусочек мяса, разрезают в ступке на более мелкие кусочки, но так, чтобы при этом не было потерь, затем тщательно растирают пестиком, после чего приливают 10 мл дистиллированной воды, снова осторожно растирают и перемешивают, чтобы экстракция соли была достаточно полной. Содержимое ступки оставляют экстрагироваться на 20 мин, а затем переносят его на фильтр и профильтровывают. Если экстракт получается слишком густым, можно добавить в ступку еще 10 мл дистиллированной воды, и это количество воды необходимо обязательно учесть при расчете.

В чистую колбу отбирают пипеткой 2 мл фильтрата, прибавляют 8 – 10 капель индикатора хромовокислого калия и 10 мл воды и титруют децинормальным раствором азотнокислого серебра до появления кирпичной окраски. В результате реакции азотнокислого серебра с хлористым натрием образующееся хлористое серебро выпадает в осадок в виде белых хлопьев. После того как весь хлористый

натрий вступил в реакцию, избыток азотнокислого серебра вступает в реакцию с хромовокислым калием. Образующееся соединение Ag_2CrO_4 имеет кирпичную окраску:



Титрование считается законченным, когда появившаяся кирпично-красная окраска Ag_2CrO_4 не исчезает в течение 0,5 мин. Полученные результаты заносят в таблицу 17.

Таблица 17

Результаты титрования

Образец	Навеска мяса, г	Количество раствора AgNO_3 , мл	V_1 , мл	V_2 , мл	G, %	ΔG , %	$\ln \Delta G$
1							
2							
и т. д.							

Содержание соли в образцах в % вычисляют по формуле:

$$G = \frac{0,00585KnV_1}{aV_2} 100 \%,$$

где n – количество 0,1 н. раствора AgNO_3 , пошедшего на титрование, мл; K – поправочный коэффициент к титру AgNO_3 ; a – навеска мяса, г; V_2 – количество вытяжки, взятой для титрования (2 мл); 0,00565 – титр 0,1 н. раствора AgNO_3 , выраженный по NaCl ; V_2 – общий объем жидкости, взятой для извлечения соли из мяса равен 10 мл.

Процессы переноса, в том числе и диффузионный процесс, описывают уравнением вида:

$$\Delta G = Ce^{b\tau},$$

которое при логарифмировании приобретает вид

$$\ln \Delta G = b\tau + C,$$

и в частном случае посола мяса будет: ΔG – приращение относительного количества соли в мясе, полученное в результате диффузии, %; τ – время диффузии, с; b и C – постоянные величины.

Графическое изображение уравнения в координатах дает прямую. Тогда b – тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс, вычисляемый по двум точкам прямой:

$$b = \frac{\ln \Delta G_2 - \ln \Delta G_1}{\tau_2 - \tau_1},$$

C – ордината при $\tau = 0$. Наклон прямой в полулогарифмических координатах связан со скоростью диффузионного процесса. Чем быстрее протекает диффузия, тем больше постоянная b . Результаты работы следует изобразить в полулогарифмических координатах и найти численные значения постоянных. На основании теоретических и экспериментальных данных проводится анализ и делаются выводы о зависимости скорости диффузии от температуры среды и продолжительности процесса.

Оформление работы

Отчет о лабораторной работе должен включать:

1. Цель работы и краткие теоретические предпосылки.
2. Описание методики эксперимента.
3. Протокол полученных данных.
4. Анализ данных и выводы.

Список литературы

Соколов А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов. М.: Пищевая промышленность, 1965. – 490 с.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития **на 2009–2018 годы**. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним из ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

В институте обучается более 6500 студентов и аспирантов. Коллектив преподавателей и сотрудников составляет около 900 человек, из них 82 доктора наук, профессора; реализуется более 40 образовательных программ.

Действуют 6 факультетов:

- холодильной техники;
- пищевой инженерии и автоматизации;
- пищевых технологий;
- криогенной техники и кондиционирования;

- экономики и экологического менеджмента;
- заочного обучения.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение; машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

В институте создан информационно-технологический комплекс, включающий в себя технопарк, инжиниринговый центр, проектно-конструкторское бюро, центр компетенции «Холодильщик», научно-образовательную лабораторию инновационных технологий. На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются журнал «Вестник Международной академии холода» и электронные научные журналы «Холодильная техника и кондиционирование», «Процессы и аппараты пищевых производств», «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по 11 специальностям.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

www.ihbt.edu.ru
www.gunipt.edu.ru

Куцакова Валентина Еремеевна,
Фролов Сергей Владимирович

ОСМОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ ПОСОЛ МЯСА И РЫБЫ

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка
Д.Е. Мышковский

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

*Печатается
в авторской редакции*

Подписано в печать 15.09.2014. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 2,56. Печ. л. 2,75. Уч.-изд. л. 2,5
Тираж 100 экз. Заказ № С 60

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Санкт-Петербургский национальный исследова-
тельный университет
информационных технологий,
механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

