

НАБУХАНИЕ МУСКУЛЬНОЙ ТКАНИ РЫБЫ В РАСТВОРАХ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФИЛЕ

В. Х. Озолинг

THE SWELLING OF THE MUSCLE TISSUE OF FISH IN A SOLUTION OF NATRIUM CHLORATUM

By V. Ch. Osoling

В результате обработки филе растворами поваренной соли вес его изменяется, причем изменения веса не одинаковы для растворов различной концентрации и для различных сроков закрепления. Целью настоящей работы было установление закономерности изменения веса филе при закреплении. Для этого мы использовали куски филе одной и той же рыбы, вырезанные в виде кубиков определенного размера. Этим мы стремились достигнуть однородности материала в отношении его геометрических размеров и качества, что является крайне необходимым для исследований подобного рода. Однородности в смысле анатомическом мы, конечно, здесь не достигали, так как в одну и ту же серию опытов нами включались кубики, состоящие из различных групп мускулов.

После промеров и взвешивания с возможной в данных условиях точностью, кубики мускульной ткани погружались в растворы NaCl. Через определенные промежутки времени они вынимались из растворов, взвешивались вместе с пленкой из поверхностно-капиллярной жидкости, на них находившейся, обсушивались между листами фильтровальной бумаги и, наконец, снова взвешивались. Все эти операции производились непосредственно после удаления кубиков из жидкости, без всяких интервалов и с возможной быстротой.

Определение степени набухания методом взвешивания было выбрано нами потому, что другие методы, по нашему мнению, в данном случае являются менее подходящими, так как определение степени набухания объемным методом, помимо трудности его применения к мускульной ткани, имело бы следствием наличие значительных ошибок вследствие незначительности изменения объема мяса при его набухании (в среднем 2—6%). Неоднородные результаты были бы получены в части набухания золь и гелей и в том случае, если бы изучение процесса набухания производилось путем определения вязкости мускульной плазмы.

Прежде чем перейти к описанию отдельных опытов и их результатов, необходимо отметить, что при погружении кусков мускульной ткани в растворы NaCl происходит не одно только набухание; вместе с ним и параллельно ему идут и другие процессы, в большей или меньшей степени его вуалирующие. Последнее является причиной того, что весовой метод не является вполне точным.

В процессе обработки мускульной ткани раствором NaCl имеет место ее просаливание, сопровождающееся при высоких концентрациях раствора и продолжительной обработке увеличением веса.

Процесс набухания подчинен своим собственным законам. Это особенно наглядно видно из рис. 1, где одновременно нанесены кривая набухания и кривая просаливания филе охлажденного судака. Как видно, набухание имеет свой максимум при 5%-ном растворе NaCl, а просаливание достигает своего максимума при 20%-ном растворе NaCl, когда уже интенсивность процесса набухания в значительной степени понизилась.

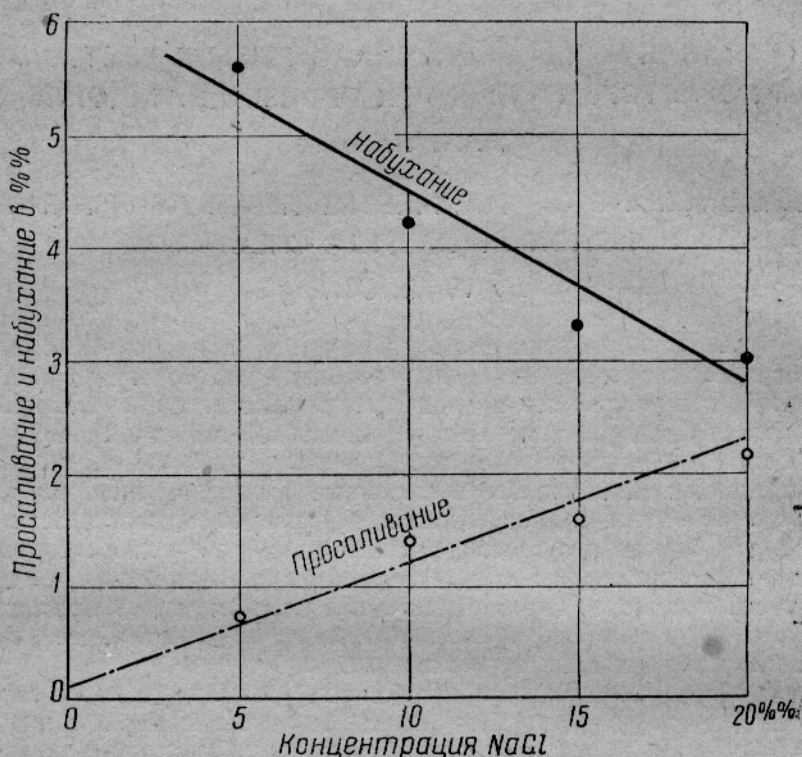


Рис. 1. Зависимость набухания и просаливания от концентрации NaCl в закрепительной жидкости.

Процессы набухания ткани мы изучали в нейтральных растворах NaCl, приготовленных из химически чистого NaCl, следовательно, pH наших растворов можно принять равным, примерно, 7. Мы не стремились достигнуть предела набухания для кубиков филе и в большинстве опытов ограничивались продолжительностью набухания в 2, 20 и 60 мин., т. е. отрезками времени, приближающимися к продолжительности закрепления филе в производственных условиях.

Во всех случаях кубики филе имели величину $2 \times 2 \times 2$ см, полная поверхность их равнялась 24 см^2 .

Для проведения опытов были взяты следующие концентрации растворов NaCl: 1,2%-ный изотонический водный раствор NaCl (в соответствии с точкой замерзания судака), 5, 10, 15 и 25%-ные растворы.

На рис. 2 дается зависимость набухания мускульной ткани от концентрации NaCl в растворе при продолжительности закрепления филе в течение 2 мин.: кривая А дает процент привеса как вследствие набухания, так и присутствия на исследуемом объекте поверхностно-капиллярной жидкости, т. е. без предварительного обсушивания кубиков филе; кривая В построена по данным взвешивания кубиков

после обсушивания их. Как видно, обе кривые имеют один и тот же характер, если не принимать во внимание наличия довольно резкого максимума набухания при 10%-ном NaCl на кривой А. Пунктирная линия A_1 показывает вероятное направление кривой А, если бы мы в данном случае имели дело только с капиллярным натяжением раствора. Чем дольше продолжается процесс набухания, тем меньше становится этот дополнительный максимум.

В качественном отношении характер изменения кривой набухания в зависимости от концентрации NaCl в растворе очень мало зависит от времени набухания; резко меняется лишь количественная сторона процесса. Набухание в течение 2 мин. дает довольно плоский максимум при содержании NaCl в 5%, после этого кривая довольно быстро падает; для 15 и 25%-ного раствора NaCl набухание имеет даже отрицательный знак; здесь, повидимому, преобладающее влияние имеют процессы потери влаги белковых и других веществ из филе. Набухание в чистой воде несколько интенсивнее, чем в изотоничном растворе NaCl; минимум более резко выражен на кривой А.

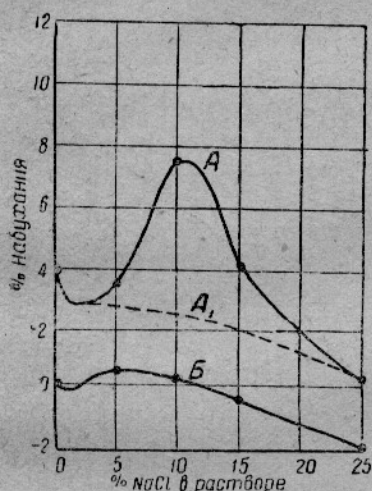


Рис. 2. Зависимость набухания мускульной ткани от концентрации раствора NaCl (продолжительность набухания 2 мин.).

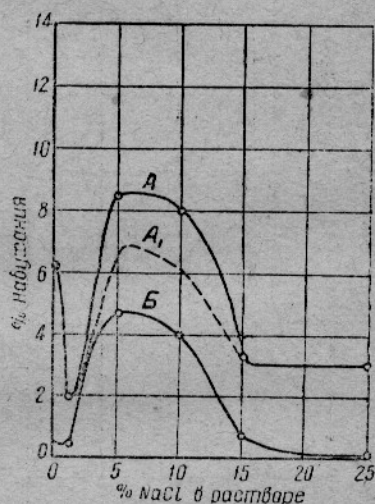


Рис. 3. Зависимость набухания мускульной ткани от концентрации раствора NaCl (продолжительность набухания 20 мин.).

Для 20-минутного набухания кубиков филе максимум также лежит при 5%-ной концентрации NaCl и расположен он значительно выше (рис. 3), чем при 2-минутном набухании. При 15 и 25%-ном NaCl набухание не приобретает отрицательного значения, а только приближается к нулю. Минимум в изотоническом растворе на кривой В выражен слабо, наоборот, на кривой А—очень резко. Это с очевидностью показывает, что в этой точке процессы набухания в значительной степени ослабевают по сравнению с набуханием в чистой воде. Вслед за минимумом для изотоничной концентрации NaCl наблюдается резкое повышение набухания вплоть до максимума при 5%. Это не исключает возможности, что истинный минимум набухания лежит при более высокой концентрации (ближе к 5%-ной NaCl), не вошедшей в шкалу испытываемых растворов, хотя такое предположение и мало вероятно.

При часовом набухании кубиков филе той же величины (рис. 4) максимум набухания при 5%-ном NaCl становится чрезвычайно рез-

ким, достигая значительной величины почти в 11%. Наряду с этим набухание при 15 и 25% попрежнему остается равным нулю. Время набухания играет большую роль только для 5%-ного раствора NaCl, при всех других концентрациях увеличение набухания во времени незначительно. Это видно из серии кривых на рис. 5 и 6, построенных на основании тех же цифровых данных, как и кривые рис. 2—4. Как и во всех предыдущих диаграммах, кривая *Б* характеризует изменение веса кубика ткани при его обсушивании, *А*—без него.

Для воды (рис. 5, верх) наблюдается слабое возрастание набухания при удлинении этого процесса с 2 до 60 мин. Совершенно другая картина наблюдается для 5%-ного раствора NaCl (рис. 5,

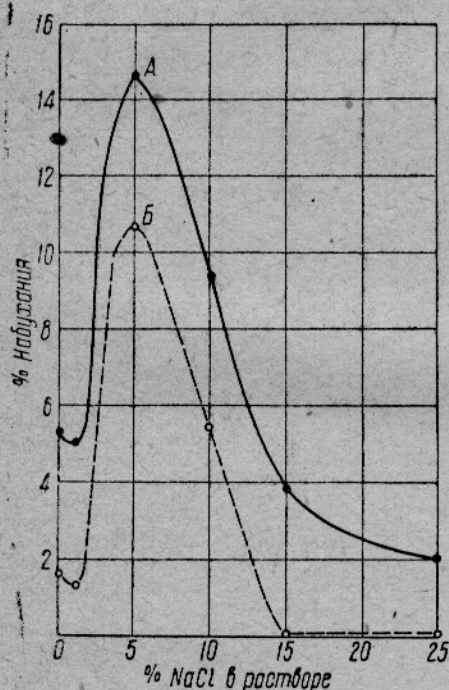


Рис 4. Зависимость набухания мускульной ткани от концентрации раствора NaCl (продолжительность набухания 60 мин.).

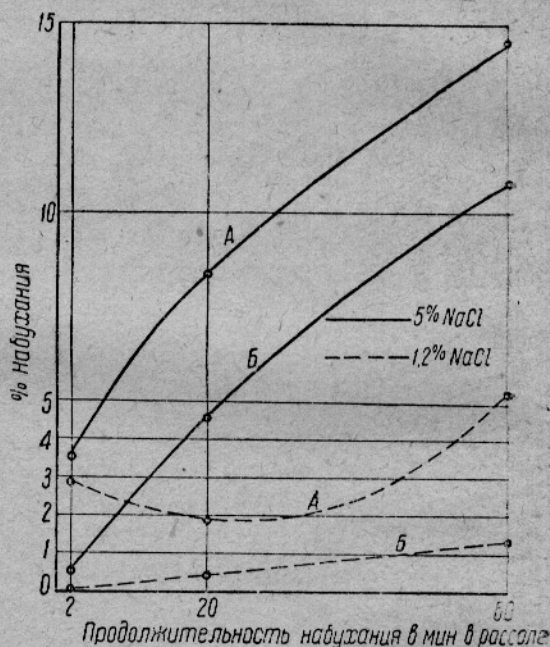


Рис. 5. Зависимость набухания мускульной ткани от продолжительности обработки.

низ): кривая набухания в пределах от 20 до 60 мин. имеет очень резко выраженную тенденцию к подъему, причем предел набухания для 60 мин. никак нельзя считать максимумом. Весьма вероятно, что к пределу набухания кривая должна подходить более полого, как это видно для 16%-ного раствора NaCl (рис. 6), где мы имеем значительное и в то же время недостаточно ясно выраженное увеличение интенсивности. При 15% имеет даже место некоторое уменьшение интенсивности набухания при 60 мин. Для 25% привес или отсутствует, или имеет даже отрицательное значение.

Как говорилось выше, в наших опытах с набуханием мы не имели целью изучение процессов набухания во всем их объеме, а стремились изучить этот процесс только в тех пределах, которые необходимы для понимания процесса обработки филе. Поэтому максимум продолжительности набухания нами и был взят 1 час. За

этот незначительный промежуток времени процесс набухания, конечно, не мог закончиться в таких сравнительно крупных объектах, как применяемые нами кубики филе размерами в $2 \times 2 \times 2$ см. Для достижения предела набухания (установившегося равновесия) для таких объектов потребуется, повидимому, значительно более суток; так, например, равновесие для зерен желатины в $\frac{1}{2}$ мм диаметром достигается по истечении примерно 2 час., а для пластинок шириной в 0,5 см и толщиной в 1 мм то же самое считается достигнутым после 24 час.¹⁾ Следовательно, вполне возможно, что кривая набухания ткани при установившемся состоянии будет значительно отличаться от приводимых нами кривых.

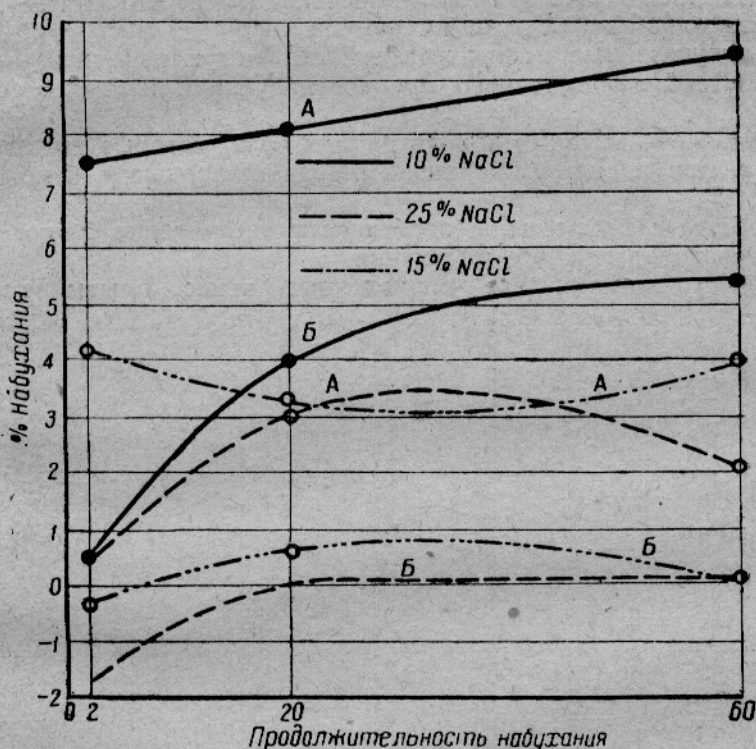


Рис. 6. Зависимость набухания мускульной ткани от продолжительности обработки.

Изучение процессов набухания ткани в соляных растворах чрезвычайно затрудняется течением параллельного процесса — растворения или пептизации белков. По данным В. В. Колчева, максимум растворимости глобулинов лежит между 8 и 15% содержания NaCl в растворе.

Следовательно, вполне возможно, что теоретический максимум набухания будет лежать при полном отсутствии явлений растворения при более высокой концентрации, чем 5%-ный NaCl. За наличие значительного по своему удельному весу процесса растворения говорит, по нашему мнению, то обстоятельство, что для 15 и 25%-ного растворов зависимость набухания от времени почти отсутствует. Трудно предположить, что при этих концентрациях процесс набухания вообще отсутствует. На первый взгляд может показаться, что громадная разность осмотических давлений в мускульной ткани и в растворе должна препятствовать набуханию, так как разность осмо-

¹⁾ В. Паули и Е. Валько, Электрохимия протеинов; Михаэлис и Рона, Практикум. Гизлеппром, Москва, 1933.

тических давлений существует уже при максимуме набухания (5%-ный NaCl). Если принять в среднем температуру замерзания судака в $-0,75^{\circ}$, то это соответствует, примерно, осмотическому давлению в 9 атм. При 5% (весовых) NaCl в растворе мы имеем уже осмотическое давление в 20,1 атм. Следовательно, существующий перепад в 11 атм не препятствует процессу набухания.

Судя по полученным нами кривым, присутствие в нейтральном растворе поваренной соли в общем благоприятствует набуханию, причем особенно в этом отношении выделяются концентрации в 5 и 10%. Значительная разница осмотических давлений не может задерживать процесса набухания, а поэтому почти полное или полное отсутствие последнего при значительных концентрациях NaCl можно объяснить одной из следующих причин.

1. Вышеуказанные концентрации NaCl могут изменить природу поверхностной ткани, отчего процесс набухания изменяет свой характер.

2. При очень высоких концентрациях соли, которые имеют место, например, при посоле рыбы, ткань всегда теряет влагу, а не набухает.

3. Побочные процессы, в особенности растворение белков, совершенно искажают картину набухания.

Как было сказано, все приведенные выше опыты с набуха-

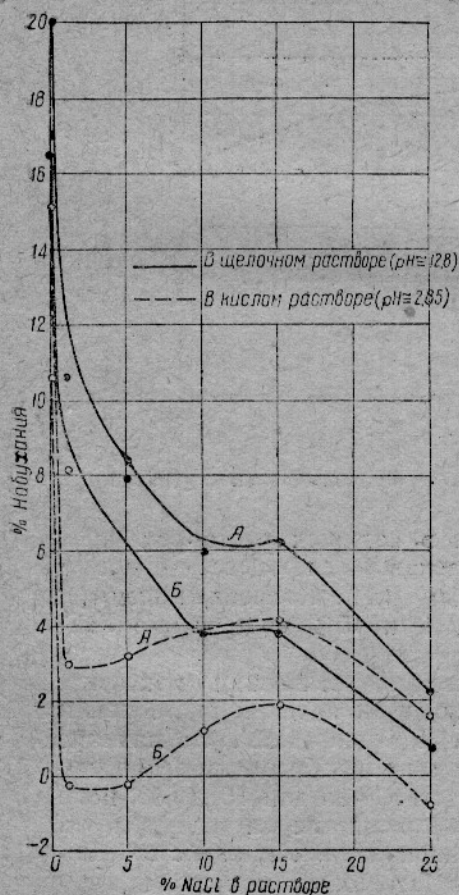


Рис. 7. Зависимость набухания мускульной ткани от концентрации NaCl.

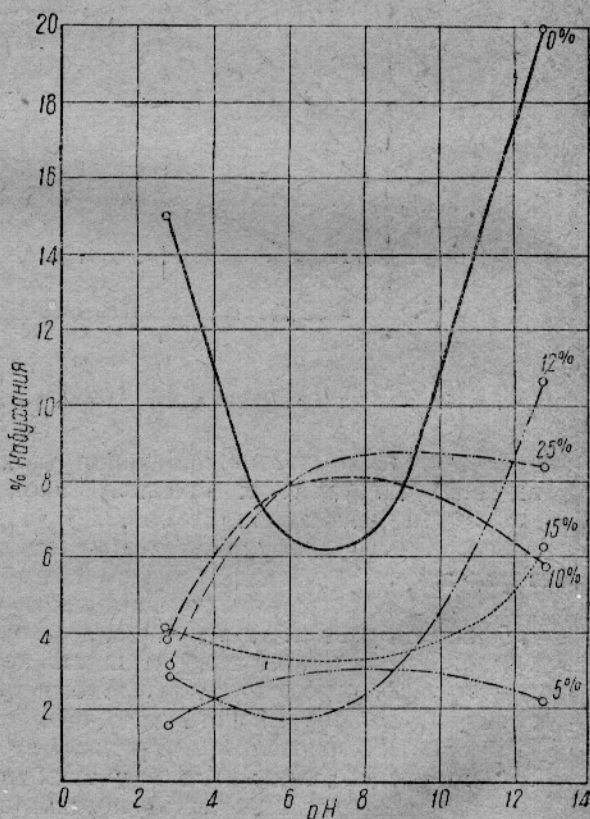


Рис. 8. Зависимость набухания от pH раствора при различной концентрации NaCl (с поверхностной влажностью).

нием были проведены в нейтральной среде. Чтобы выяснить закономерность набухания в кислой и щелочной среде, мы провели ряд специальных опытов. В первой серии опытов нами был взят $\frac{1}{10}$ N раствор уксусной кислоты, во второй — $\frac{1}{10}$ N раствор едкого натрия. Последняя серия опытов для нас была особенно интересна, так как раствор с аналогичным pH применяется Тейлором для закрепления филе, причем для уменьшения набухания он применяет кроме едкого натрия 10%-ный раствор NaCl.

Вся методика определения набухания, а также шкала концентраций NaCl нами была оставлена та же, что и при предыдущих опытах.

На рис. 7 даны кривые набухания кубиков ткани в кислой и щелочной среде. Сразу бросается в глаза резкое отличие этих кривых от аналогичных кривых для нейтральной среды.

Там мы имели максимум набухания при 5%-м растворе NaCl; здесь этот максимум лежит в кислом и щелочном растворах, лишенных NaCl.

В кислой среде даже добавление минимального количества соли (изотоничный раствор) приводит к падению интенсивности набухания; для обсушенного кусочка оно имеет даже отрицательное значение. При дальнейшем увеличении концентрации соли набухание опять возрастает, но незначительно, при 15% достигается пологий максимум, после которого кривая снова падает.

В щелочной среде мы не имеем такого резкого скачка от среды, не содержащей соли, к изотоничному раствору. Кривая все же падает с большим уклоном, причем между 10 и 15% NaCl наблюдается некоторый перегиб, при котором падение набухания задерживается. Несмотря на дальнейшее падение набухания, оно даже при 25%-ном NaCl не достигает нулевого значения.

Таким методом нами было изучено набухание ткани судака (дефростированного) как в зависимости от различных концентраций поваренной соли, так и в зависимости от различных значений pH. Весь полученный при этом материал собран нами в следующие группы кривых (рис. 7, 8, 9 и 10).

На рис. 8 дано изменение веса кубиков филе из ткани судака (вместе с капиллярно поверхностной влагой) в зависимости от pH для растворов с различной концентрацией NaCl (от 0 до 25% NaCl).

На рис. 9 дана та же зависимость, но только для кусочков филе

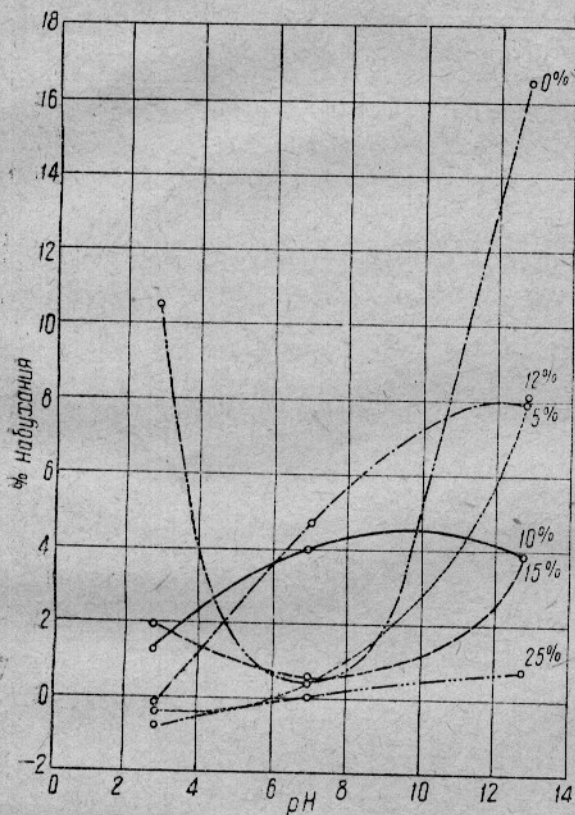


Рис. 9. Зависимость набухания от pH раствора при различной концентрации NaCl (без поверхностной влаги).

после обсушивания, т. е. только для процесса набухания. Сразу же при этом бросается в глаза резкая разница между кривой для 0% NaCl и всеми другими кривыми. Для первой имеется некоторый минимум в нейтральной точке и резкое увеличение набухания как в кислой, так и в щелочной средах. Для всех кривых с некоторым содержанием соли минимума в нейтральной точке не имеется, но есть некоторое увеличение набухания при переходе из кислой зоны к щелочной. Некоторая вогнутость и выпуклость отдельных кривых в известной степени обуславливается ошибками отдельных опытов. Если взять для какой-либо величины концентраций NaCl среднее значение из ряда серий опытов, то получалось, например, как это видно на рис. 10 (для 0 и 15% NaCl), кривая с резким минимумом для 0% и приближающаяся к прямой для 15% NaCl.

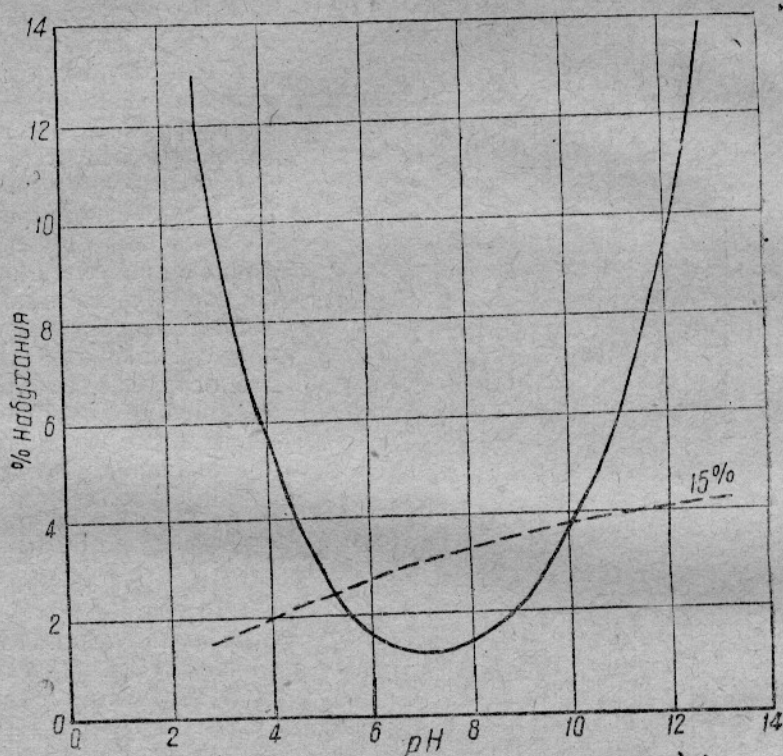


Рис. 10. Зависимость набухания от pH раствора при концентрациях NaCl 0 и 15% (без поверхностной влаги).

Влияние солей сказывается с большей резкостью в кислой и щелочной средах, чем в нейтральной; в кислой и щелочной средах они сильно тормозят набухание, в нейтральной, при известных концентрациях, значительно ему способствуют.

Кроме изучения влияния различных внешних сред на набухание филе судака, нами был также частично затронут вопрос о влиянии размеров набухающего объекта на этот процесс. Главную роль при этом играет, конечно, не масса набухающего тела, а его удельная поверхность. Точно измерить поверхность куска филе довольно затруднительно, поэтому по оси абсцисс на рис. 11 мы нанесли его вес, т. е. величину, от которой функционально зависит объем куска филе, а при одинаковой форме филе и его поверхность.

Как видно из рис. 11, некоторые куски филе довольно сильно отличались друг от друга по весу: крайние значения почти вдвое.

некоторые промежуточные очень незначительно. Числовые значения процесса набухания были нанесены на сеть координат, в результате чего получилась прямая со значительным наклоном, что говорит о том, что процесс набухания находится в большой зависимости от удельной поверхности куска филе. Из этого вытекает практический вывод: нельзя куски филе различного размера обрабатывать раствором NaCl в течение одного и того же периода времени. При этом может получиться не только неодинаковое просаливание филе, но также и его неравномерное набухание.

Из нескольких десятков цифр, полученных при изучении набухания целых кусков филе из судака, нами выведены средние значения набухания в зависимости от концентрации пова-

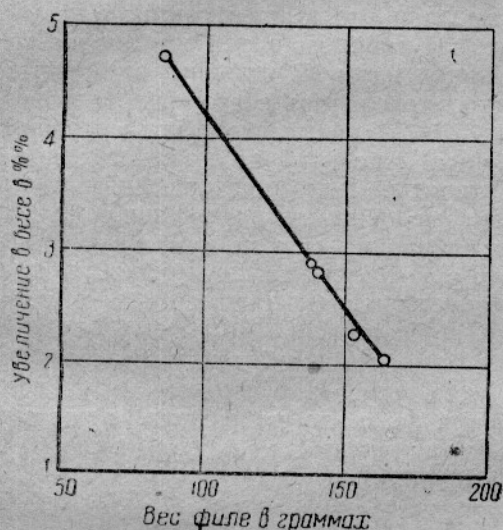


Рис. 11. Увеличение веса филе при его закреплении в зависимости от веса куска.

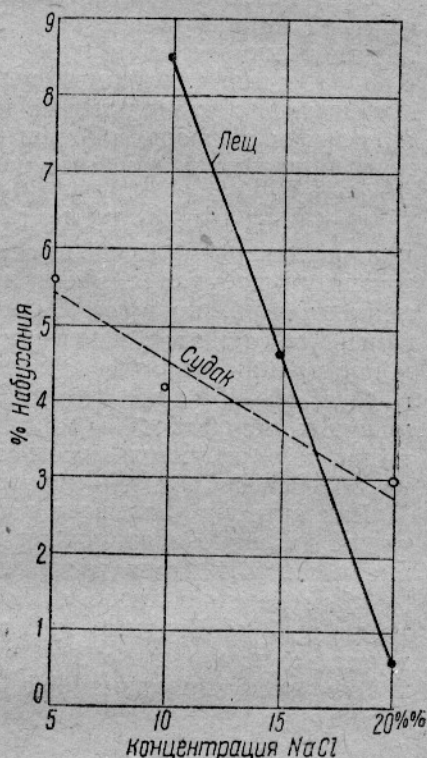


Рис. 12. Зависимость набухания филе судака и леща от концентрации NaCl в растворе.

ренной соли во внешней среде от 5 до 20%. В основном закономерность набухания та же, что и для кубиков: максимум лежит при 5%, при повышении концентрации идет падение набухания. При сравнении этой кривой (рис. 12) с кривыми набухания кубиков филе необходимо иметь в виду, что цельные куски филе не обсушивались между листами фильтровальной бумаги, и, следовательно, в привесе большую роль играет капиллярное натяжение жидкости (это ясно из сравнения с кривыми набухания кубиков без обсушивания); необходимо при этом принять во внимание, что большие куски филе имеют меньшую удельную поверхность, чем маленькие кусочки, а поэтому и влияние истинного набухания при оптимальных концентрациях NaCl (5—10%) еще не смогло сказаться в полной мере во время набухания в течение 5 мин.

Вышеуказанное подтверждается кривой набухания филе леща (рис. 12), проведенного при тех же условиях. Сразу бросается в глаза большая крутизна кривой, ясно показывающая интенсивность набухания при оптимальных концентрациях. Это различие между филе леща и судака в основном объясняется очень большой удельной поверхностью леща: филе мелких экземпляров леща очень тонко,

вместе с тем оно имеет очень развитую поверхность. Кроме того возможно, что сама ткань леща более склонна к набуханию, чем ткань судака.

Несмотря на то, что процесс набухания играет весьма значительную роль как в жизненных процессах растений и животных, так и в технике, до сих пор еще нет ни одной общепринятой теории, объясняющей этот процесс во всех деталях.

В отношении рН определенно установлено большое влияние этого фактора на набухание. Для белковых систем минимум набухания лежит обыкновенно в изоэлектрической точке так же, как это наблюдается и для стойкости этих систем, осмотического давления и пр. Максимум набухания лежит как в кислой среде, так и в щелочной при таком значении рН, когда практически все молекулы амфолита ионизированы; дальнейшее изменение рН приводит к ослаблению набухания.

Судя по данным Г. Ф. Бромлей о гистологических изменениях при посоле рыбы в зависимости от различных концентраций тузлука, максимум набухания ткани лежит, примерно, в тех же пределах концентраций, которые были найдены нами. В отличие от данных нашей работы этот максимум несколько сдвинут в сторону большей концентрации, причем вместо 5—10% указывается концентрация NaCl в 10—15%; из данных Бромлея ясно, что за короткий промежуток обработки (5 мин.) набухают только поверхностные слои ткани, что подтверждает как факт медленности набухания, так и то обстоятельство, что максимум набухания еще не достигнут.

Ряд авторов указывает в своих работах на те же трудности, которые частично вуалировали результаты наших опытов — растворение части объекта в процессе его набухания.

Для более полного освещения вопроса о набухании мускульной ткани рыб необходимо провести опыты с доведением набухания ткани до установившегося состояния, т. е. до максимума, с учетом потерь от растворения белков при различных концентрациях NaCl в растворе.

SUMMARY

The aim of this present work was to determine the laws of the swelling of the fillet during the fixing process. The investigations were made on objects (pieces of fillet), similar in size and quality. The degree of swelling was determined by the weighing method, the easiest and at the same time sufficiently exact, although somewhat obscured by some other process. As regards to quality the process of swelling depends only to a small degree upon the time, only the quantitative side of the process changes.

In a sour medium an addition of a minimum quantity of salt (isotonic solution) causes a fall in the intensiveness of the swelling; this addition of salt has even a negative character for the dried piece of fillet. In an alkali medium a sharp fall of the swelling is not observed, when passing over from a saltless medium to an isotonic solution; a somewhat slowing down of the process of swelling is noticed when using solutions of ten to fifteen per cent.
