

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ВОДЫ В СВЕЖИХ МЯГКИХ СЫРАХ

Сукманов В.А., д-р техн. наук, профессор, Скляренко Е.В., аспирант  
Донецкий национальный университет экономики и торговли имени М. Туган-Барановского,  
г. Донецк

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований активности воды в свежих мягких сырах, произведенных по традиционной технологии и с применением технологий высокого давления.*

*The paper presents results of experimental studies of water activity in fresh soft cheese produced by traditional technology and the use of high pressure technology.*

**Ключевые слова:** высокое давление, активность воды, свежий мягкий сыр.

Наибольшая процентная доля составляющих в свежих мягких сырах (СМС) приходится на воду. Технологические свойства, потребительские свойства и сроки хранения СМС во многом определяются свойствами содержащейся в них воды.

Интенсивность того или иного вида порчи пищевых продуктов определяется рядом внутренних и внешних факторов, и в том числе активностью воды. Активность воды ( $a_w$ ) - характеристика продукта, обусловленная химическим составом и его гигроскопическими свойствами, причем, чем прочнее связана влага с материалом, тем меньше величина  $a_w$ .

Показатель «активность воды» ( $a_w$ ) впервые предложил использовать W.J.Scott в 1952 г., который доказал, что существует зависимость между состоянием воды в продукте и ростом микроорганизмов в нем. На основании целого ряда исследований установлено, что показатель «активность воды» отражает степень активного участия воды в различных процессах, происходящих в пищевом продукте. В настоящее время экспериментальные данные позволяют заключить, что уровень активности воды оказывает влияние на интенсивность проходящих в продукте таких реакций, как окисление липидов, меланоидинообразование, активность ферментативных, микробиологических и других процессов [1].

В странах Европейского Союза с 1976 г. показатель «активности воды» вместе с показателями «влажность» и «концентрация ионов водорода» введены как обязательные параметры при оценке качества готовых пищевых продуктов, а в США определение активности воды включено в инструкцию по контролю качества пищевых продуктов, а также лекарственных средств и препаратов [1, 2].

Активность воды, обеспечивает более точную информацию по сравнению с общей влажностью, в отношении микробиологической, химической и ферментной стабильности скоропортящихся веществ, таких как продукты питания, в частности сыры.

В настоящее время уже достаточно полно изучены и определены для многих продуктов пороговые значения активности воды, за пределами которых замедляются или прекращаются процессы роста микроорганизмов. Так, для большинства бактерий предельное значение  $a_w$ , обеспечивающее их нормальное развитие, должно быть не ниже 0,90 – 0,99. Дрожжи и многие плесневые грибы хорошо развиваются даже в пределах  $a_w = 0,85 – 0,65$  [1].

Таким образом, контролируя функционально-технологические показатели в продукте и, в частности, показатель «активность воды», можно прогнозировать его способность к хранению, что позволит создать "карты стабильности" молочных продуктов, и определить оптимальные условия их хранения.

Наличие в пищевых продуктах тех или иных веществ, помимо чистой воды, приводит к изменению показателя «активность воды» в той или иной степени. Снижение  $a_w$ , обусловленное наличием сахарозы, глюкозы, фруктозы и поваренной соли, объясняется их способностью растворяться в водной фазе продукта, повышая тем самым осмотическую концентрацию. Содержание поваренной соли снижает показатель активности воды в наибольшей степени. Это обусловлено способностью хлорида натрия к электролитической диссоциации, что увеличивает эффективную концентрацию частиц в несколько раз [3].

Учитывая важность и большую информативность показателя активности воды целью нашей работы было проведение исследований по определению активности воды в СМС, произведенного по традиционной технологии и с применением технологии ВД.

Работы были проведены в лабораториях Марьинского молокозавода ОАО «Лактис», проблемной научно-исследовательской лаборатории «Использование высокого давления в пищевых технологиях» До-

нецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского и лабораториях Института продовольственных ресурсов Украинской аграрной академии наук.

Свежий мягкий сыр - сыр, полученный вследствие свертывания сыропригодного сырья под действием закваски, сквашивающего препарата и произведен без стадии вызревания. Технологический процесс производства СМС состоит из следующих операций: приемка и подготовка сырья, очистка молока, нормализация молока, пастеризация молока, свертывание молока и обработка сгустка, посолка формование и самопрессование сыра и обсушка сыра.

Операция «пастеризация молока» относится к факторам, позволяющим влиять на качество мягких сыров. Повышение температуры пастеризации молока (выше 600 °С) вызывает необратимые изменения с отдельными его компонентами, приводит к существенным изменениям его составных частей и снижению пищевой ценности продукта. Из биохимических свойств наибольшие изменения претерпевает белковая фаза молока, в частности, денатурируют отдельных фракций сывороточных белков (альбумин,  $\beta$ -лактоглобулин, протеозо-пептоны, иммунные глобулины и др.) и казеина. В результате распада комплекса „кальций-магний-углерод-фосфор" на составные части (фосфат кальция, фосфат магния и углерод кальция) нарушается солевое равновесие системы, растворимые фосфорнокислые соли переходят в нерастворенное состояние и их полезность почти полностью пропадает. При термообработке молока разрушается значительное количество витаминов. Эти изменения приводят к ухудшению сычужной свертываемости молока и влияют на свойства сычужного сгустка [4].

В соответствии с ДСТУ 4395:2005 «Сири м'які. Загальні технічні умови» срок хранения СМС небольшой – 4 суток. В процессе хранения в продукте начинает развиваться посторонняя микрофлора, происходит процесс синерезиса, обусловленный низкой влагоудерживающей способностью молочного белка, изменяется консистенция.

Нами разработана технология СМС с применением ВД, отличительной особенностью которой является то, что сыр производится из непастеризованного молока и после стадии «самопрессования» его герметично упаковывают, продукт помещают в камеру установки ВД, заполненную дистиллированной водой, в которой создается высокое гидростатическое давление (от 100 до 1000 МПа), которое разрушает клетки патогенной микрофлоры, и в зависимости от величины давления, температуры и продолжительности процесса, может привести к изменениям в продукте на межмолекулярном уровне. В отличие от традиционной тепловой обработки, ВД равномерно воздействует на все участки и изостатически передается через промежуточную жидкость на продукт, при определенной продолжительности воздействия. Изостатическая обработка давлением обеспечивает однородные технологические условия независимо от размера, структуры и позиции внутри резервуара. Большим преимуществом такой обработки является и то, что продукты могут быть законсервированы в конечной упаковке, за счет чего удовлетворяются высокие гигиенические требования [5].

Исходя из целей и задач исследования обработка опытных образцов сыра ВД осуществлялась как на измерительном комплексе ВД I поколения, так и на измерительном комплексе II поколения в проблемной научно-исследовательской лаборатории «Использование высокого давления в пищевых технологиях», которые позволяют обрабатывать герметично упакованные образцы различных продуктов давлением до 1000 МПа при температуре от -400 °С до +900 °С. При этом измерительный комплекс позволяет в автоматическом режиме фиксировать изменения компрессионных показателей образцов (изменение плотности, относительного объема, модуля объемной упругости, термодинамический коэффициент сжимаемости), регистрировать оптические спектры плотности и др. [6]. Экспериментальные исследования на измерительном комплексе II поколения обеспечиваются специально разработанным программным обеспечением и полностью автоматизированы. Результаты исследований отражаются на экране монитора в виде графиков и таблиц и записываются в соответствующий файл базы данных.

Параметры процесса обработки ВД на стадии исследования следующие: давление: от 300 до 600 МПа, продолжительность обработки: от 5 × 601с, до 30 × 601с; температура процесса принята постоянной и равной температуре продукта в момент завершения его самопрессования: 18 ± 20С.

В качестве контрольного образца использовали сыр «Здоровье», произведенный по традиционной технологии на Марьинском молокозаводе ОАО «Лактис» [5].

Активность воды в СМС определяли по ДСТУ ISO 21807 «Мікробіологія продуктів і тваринних кормів – Визначення активності води». Величину показателя активности воды измеряли при температуре 25±10С.

Определение активности воды в СМС нами было осуществлено с помощью портативного скоростного прибора модели AquaLab серии 3TE (США), обеспечивающего точность измерения ±0,003.

Принцип работы прибора AquaLab заключается в использовании метода зеркально охлаждаемого датчика точки росы для измерения активности воды образца, который находится в равновесии с воздушной прослойкой измерительной камеры, в которой находится зеркало и устройство, обнаруживающее кон-

денсацию на зеркале. В равновесном состоянии относительная влажность воздуха в камере имеет такое же значение, как активность воды образца. В приборе температура зеркала точно контролируется термоэлектрическим устройством Пельтье. Обнаружение точного значения, при котором появляется первая конденсация на зеркале, отмечается фотоэлементом. Пучок света направляется на зеркало и отражается в приемнике светового излучения (в фотоэлементе). Приемник распознает изменение в отражении при возникновении конденсации на зеркале. Затем термоэлемент, присоединенный к зеркалу, регистрирует температуру, при которой появилась конденсация, о чем свидетельствует световой и звуковой сигнал. На экране дисплея высвечивается последнее значение активности воды и температуры образца.

Значение  $a_w$  в общем случае определяется по формуле [7]:

$$a_w = P_w/P_0 = POB/100, \tag{1}$$

где  $P_w$  — давление водяного пара в системе пищевого продукта;

$P_0$  — давление пара чистой воды (при той же температуре);

$POB$  — относительная влажность в состоянии равновесия, при которой продукт не впитывает влагу и не теряет ее в атмосферу, %.

Так как величина  $a_w$  носит термодинамический характер, т. е. характеризует равновесное давление паров воды при определенной температуре, она может быть определена как равновесная относительная влажность, деленная на 100.

$$a_w = R_h / 100, \tag{2}$$

где  $R_h$  — равновесная относительная влажность, %.

Отношение парциальных давлений паров над продуктом и чистым растворителем входит в основную термодинамическую формулу количественного определения энергии связи влаги с материалом.

$$*F = L = RT \ln p / p_s = RT \ln a_w \tag{3}$$

где  $*F$  — уменьшение свободной энергии системы;

$L$  — работа отрыва 1 моля воды от материала (без изменения состава);

$R$  — газовая постоянная;

$T$  — абсолютная температура.

Результаты полученных значений активности воды СМС при различных режимах обработки ВД, а также значения активности воды исследуемых образцов до обработки ВД и контрольного образца, представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

**Таблица 1 – Значение активности воды СМС при различных режимах обработки ВД ( $M \pm m, n=5$ )**

Контрольный образец													0,965±0,004					
СМС до обработки ВД													0,970±0,003					
Параметры процесса обработки СМС ВД																		
Давление (P), МПа	300						450						600					
Время τ, 601с	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
Активность воды ( $a_w$ )	0,969±0,004	0,965±0,005	0,959±0,004	0,960±0,003	0,957±0,005	0,956±0,004	0,966±0,005	0,960±0,004	0,953±0,003	0,955±0,005	0,952±0,004	0,952±0,004	0,962±0,005	0,955±0,003	0,950±0,003	0,948±0,004	0,949±0,005	0,948±0,003

В результате анализа результатов экспериментальных исследований в программе FindGraph установлено, что наиболее целесообразно для математического описания использовать кусочно-линейные функции, графики которых приведены на рисунке 2. Полученные функции представлены зависимостью (4).

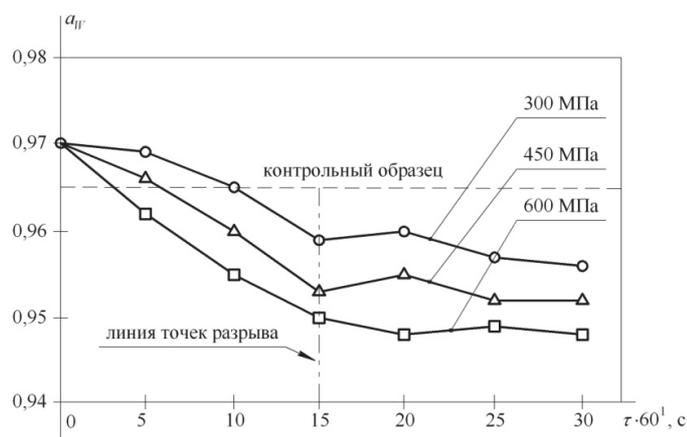


Рис. 1 – Результаты экспериментальных исследований активности воды

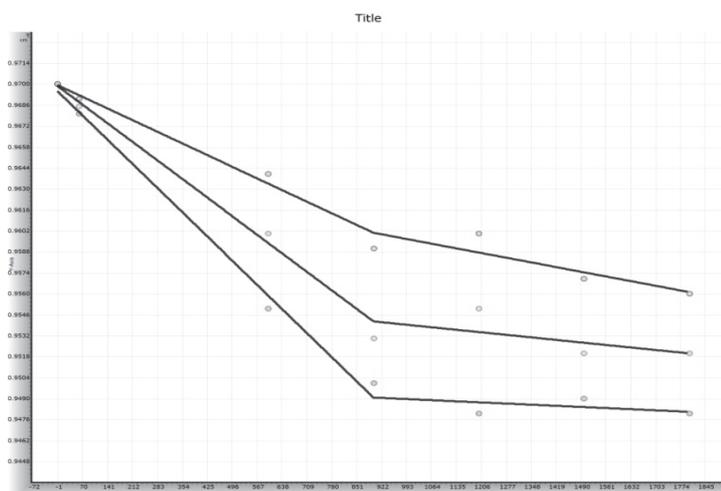


Рис. 2 – Графические зависимости изменения активности воды СМС, описанные кусочно-линейными функциями

$$y = a + c \times (x-b) \text{ when } x < b, \\ y = a + d \times (x-b) \text{ when } x > b \quad (4)$$

Значения коэффициентов представленных зависимостей и результаты статистического анализа функций представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты математической обработки зависимости  $a_w = f(P, \tau)$

Давление (P), МПа	R2	F-statistics	Fit standard error	Точка разрыва	Значения коэффициентов			
					a	b	c	d
300	0,982	55,1909	0,001	900	0,9601	900	-1,096e-005	-4,402e-006
450	0,986	74,5798	0,001	900	0,9542	900	-1,747e-005	-2,375e-006
600	0,995	195,7247	0,0009	900	0,9491	900	-2,274e-005	-1,058-006

В связи с тем, что для производства сыра по разработанной технологии с применением ВД мы использовали непастеризованное молоко, активность воды в опытных образцах до его обработки ВД составила 0,970, в отличие от контрольного образца, активность воды у которого - 0,965.

Анализ результатов исследований и их математическое описание позволили констатировать следующее. Обработка СМС ВД приводит к снижению значения активности воды. Причем, чем выше приложенное давление, тем интенсивнее снижается активность воды. В первые 15×601с процесса обработки СМС ВД (до точки разрыва функций) снижение значения активности воды происходит более интенсивно.

Так при применяемом давлении 300 МПа и времени обработки 30×601с, активность воды понизилась с 0,970 до 0,956, что составило 1,44 %. При 450 МПа и времени обработки 30×601с, активность воды по-

низилась с 0,970 до 0,952, что составило 1,85 %. При 600 МПа и времени 30×601с, активность воды снизилась с 0,970 до 0,948, что составило 2,27 %.

Анализ приведенных графиков показывает, что между кривыми имеется некая зависимость, при одном и том же времени обработки, но различных давлениях (разница в 150 МПа) среднее понижение показателя «активность воды» на каждые 5×601с составляет 0,004 или 0,41 %.

Анализ априорной информации [1,2,7] и полученные результаты позволяют выдвинуть предположение, что уменьшение активности воды в процессе обработки ВД обусловлено выходом влаги из сырной массы и переходом в более энергоемкие связи с сухим веществом – из свободной в связанную.

Дальнейшие исследования в данном направлении будут направлены на изучение взаимосвязи активности воды с микробиологическими исследованиями образцов СМС в процессе его хранения.

### Литература

1. Gustavo V. Barbosa-Cánovas. Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications / Barbosa-Cánovas, Gustavo V., Fontana, Anthony J., Jr., Schmidt, Shelly J., Labuza, Theodore P. – 2007. – 434 с.
2. Рогов, И.А. Значение показателя «активность воды» в оценке сельскохозяйственного сырья: Обзорная информация / И.А. Рогов, У.Ч. Чоманов, А.М. Бражников и др. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1987. – 44 с. Фролов, Г.А. Теоретические основы растворения сухих молочных продуктов в воде / Г.А. Фролов, А.Г. Галстян, А.Н. Петров // Молочная промышленность. – 2008. - №1. – С.84-85.
3. Горбатова, К. К. Биохимия молока и молочных продуктов / К. К. Горбатова. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ГИОРД, 2003. – 302с.
4. Сукманов В.А., Скляренко Е.В. Высокое давление как метод увеличения сроков хранения свежих мягких сыров и повышения их потребительских свойств / В.А. Сукманов, Е.В. Скляренко // Продукты & ингредиенты. – 2012. - № 1(87). – С.28-31.
5. Сукманов В.О., Соколов С.А., Головінов В.П., Декань О.О., Сабіров О.В. Розробка автоматизованого експериментального комплексу для обробки продуктів високим тиском. “Обладнання та технології харчових виробництв”: Темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О.О.Шубін. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2006. – Вип. 14. – 274с. (С.65-71).
6. Пищевая химия. Под ред. Нечаева А. П., — Санкт-Петербург: ГИОРД, 2003

УДК 615.012.014

## ЕКСТРАГУВАННЯ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Дячок В.В., д-р. техн. наук, професор, Мальований М.С., д-р. техн. наук, професор  
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

*Доведено адекватність математичної моделі процесу екстрагування твердих тіл клітинної будови (рослинна сировина) враховуючи її анатомічну будову, а саме наявність клітинного та міжклітинного середовища. Експериментально підтверджено механізм екстрагування внутрішньоклітинної речовини в процесі перебігу екстракційного процесу. Підтверджено порядок коефіцієнту дифузії через клітинну оболонку  $D_c$  та в міжклітинному середовищі  $D_m$ .*

*Adequacy of mathematical model of the extraction process of cellular structure solid bodies (plant material) was proved with taking into account its anatomical structure, a namely presence of cellular and intercellular environment. Experimental verification of the mechanism of extracting of intracellular substances in during extraction process flow was made. An order is confirmed diffusion coefficients through cellular membrane  $D_c$  and in intercellular environment  $D_m$  were determined.*

**Ключові слова:** екстрагування, клітинна речовина, міжклітинний простір, дифузія.

Продовжуючи тему екстрагування із твердих тіл клітинної будови [1, 2] важливо довести адекватність розробленої моделі [1] не лише на об'єктах в яких цільова речовина знаходиться в об'ємі клітини [2] а і на таких, в яких цільова речовина знаходиться в міжклітинному середовищі.

Як зазначалося раніше, особливістю твердих тіл органічного походження, в найбільш загальному вигляді є те, що вони мають клітинну будову, а відтак їх внутрішня структура включає два середовища: клітинне і міжклітинне. Біологічно-активна речовини (умовно названа цільовою речовиною), може міститися як в клітині, так і в міжклітинному просторі. Власне вона і є об'єктом екстрагування.