

УДК 543.3:544.35

**С. С. Ветохин**, кандидат физико-математических наук,  
доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);

**И. В. Подорожня**, магистр технических наук, аспирант (БГТУ);

**И. В. Ненартович**, главный специалист управления метрологии (Госстандарт)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ВОДЫ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Методом точки росы на охлаждаемом зеркале выполнен анализ активности воды в молочных продуктах. Исследованы образцы молока питьевого пастеризованного, ультрапастеризованного, стерилизованного и топленого, кефира, биокефира, ряженки, простокваши, продукта «Здоровье» и биоогурта серийной продукции наиболее крупных белорусских производителей. Измерения проводились с использованием анализатора Roremeter RM-10. Дан анализ применяемых в данном приборе для измерения активности воды в жидких средах инертных наполнителей, в том числе порошков целлита. Установлено заметное влияние на активность воды закваски, используемой для получения кисломолочных продуктов. Показано незначительное влияние на активность воды стабилизаторов на основе картофельного, кукурузного и тапиокового крахмалов.

The analysis of water activity in some dairy products with the method of dew point on the cooled mirror was fulfilled. The samples of pasteurized milk, ultra-high-pasteurized milk, sterilized milk, baked milk, kefir, biokefir, fermented baked milk, sour milk, product "Health" and bioyoghurt from well-known Belarusian producers were investigated. An analyzer Roremeter RM-10 was used. The analyses of inert fillers like cellit powder, which are used when liquid samples, is given. The significant influence of used bulk starter cultures on water activity is determined. In versa nonsignificant influence on water activity of stabilizers like potato, corn and tapioca starches is shown.

**Введение.** Термин «активность воды» (англ. *water activity* –  $A_w$ ) был введен в 1952 г. О. Скоттом для учета соотношения свободной и связанной влаги в пищевом продукте.

Данный термин характеризует состояние воды в сложной матрице, ее причастность к химическим и биологическим изменениям (таким как гидролитические химические реакции и рост микроорганизмов). Это один из критериев, по которым можно судить об устойчивости пищевого продукта при хранении, поскольку скорость развития микроорганизмов существенно зависит от степени ассоциации воды с неводным компонентом.

**Основная часть.** Активность воды определяется как отношение парциального давления водяного пара над поверхностью продукта к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре [1, 2].

Численно активность воды в том или ином пищевом продукте равна относительной влажности среды, находящейся в этом продукте в равновесном состоянии. С физико-химической точки зрения активность воды характеризует способность воды к улетучиванию из раствора относительно способности к улетучиванию чистой воды при одной и той же температуре [3].

В этой связи активность воды можно определить как отношение

$$A_w = \frac{f}{f_0} = \frac{P}{P_0}, \quad (1)$$

где  $f$  – фугитивность водяного пара над продуктом;  $f_0$  – фугитивность водяного пара над чистой

водой;  $P$  – парциальное давление водяного пара над продуктом;  $P_0$  – парциальное давление насыщенного пара над чистой водой [1–3].

По уровню активности воды выделяют продукты с высокой влажностью ( $A_w = 1,0–0,9$ ), продукты с промежуточной влажностью ( $A_w = 0,9–0,6$ ) и продукты с низкой влажностью ( $A_w = 0,6–0,0$ ) [2]. Данный показатель нормируется в США, России, Беларуси и Украине. В странах Евросоюза определение параметра «активность воды» является обязательным при экспертизе ряда продуктов наряду с показателями «влажность» и «концентрация водородных ионов» [4]. В области технологии молочных продуктов параметр «активность воды» рассматривается как основной фактор при производстве молочных консервов [4, 5, 6].

Однако данных по активности воды питьевого молока и кисломолочных продуктов в отечественной и зарубежной литературе недостаточно. Поэтому целью данной работы было определение параметра «активность воды» в них, а также влияния на данный параметр стабилизаторов на основе различных крахмалов.

Картофельный крахмал получают из клубней растения картофеля *Solanum tuberosum L.* Размеры зерен колеблются от 15 до 100 мкм. Для производства наиболее ценны крупные зерна: они легче подвергаются обработке и дают крахмал более высокого качества.

В пищевой промышленности картофельный крахмал используют при выработке фруктово-ягодных киселей, для загущения супов, соусов, подливок, в производстве некоторых видов

колбасных изделий, сосисок и сарделек, для стабилизации некоторых видов кондитерских кремов, изготовления клеящих веществ, выработке искусственного саго.

Кукурузный (маисовый) крахмал получают из зерен растения кукурузы *Zea mays L.* Зерна крахмала имеют неправильную форму и значительный разброс по размерам, который принимают в среднем равным 15 мкм по наибольшей оси. Обычно в товарном сухом крахмале очень мало мелких зерен (размером около 5 мкм); размер крупных зерен достигает 25–26 мкм.

Маисовый крахмал применяют в производстве соусов, начинок для пирогов, пудингов. Его используют как добавку при выпечке булочных и кондитерских изделий, консервном производстве [7, 8].

Тапиоковый крахмал получают из клубней растений *Manihot utilissima L.* и *Manihot palmate L.* Зерна его мягче и рыхлее по структуре, чем у кукурузного крахмала, а их размер колеблется от 5 до 35 мкм (в среднем – 20 мкм).

Тапиоковый крахмал имеет мягкий вкус и обеспечивает прозрачность клейстеров, типичную для клубневых крахмалов. В пищевой промышленности его используют в виде частично клейстеризованных комков или химически модифицированных продуктов. В первом случае – во фруктовых начинках, а также для загущения кремовых и фруктовых пудингов. Во втором случае тапиоковый крахмал, модифицированный химическими методами, находят применение при изготовлении продуктов детского питания, крахмальных смесей для салатных приправ и для изменения свойств муки, используемой в производстве мороженого [7].

Поскольку крахмал интенсивно связывает влагу, предполагалось его сильное влияние на активность воды в молочных продуктах. Интерес исследования этой добавки представлял также потому, что крахмал может использоваться в качестве фальсифицирующей добавки.

В настоящее время имеется лишь ограниченное число производителей приборов для измерения активности воды в пищевых продуктах и иных материалах. По сравнению с классическими методами определения связанной влаги их отличает высокое быстродействие, легкость в использовании, приемлемая для практических применений точность.

Одним из наиболее распространенных в Беларуси анализаторов активности воды является прибор Roremeter RM-10, принцип действия которого основан на измерения точки росы на охлаждаемом зеркале. Данный прибор можно отнести к экспресс-анализаторам, которые выполняют измерения со скоростью до 10 проб/ч, а за счет высокой степени автоматизации делают

процесс легким, что не требует высококвалифицированного персонала.

Экспресс-метод определения активности воды с помощью прибора Roremeter RM-10 не позволяет проводить измерения непосредственно в жидких образцах, которые необходимо помещать в инертную матрицу, представляющую собой хорошо поглощающую воду среду. Изготовитель рекомендует в качестве такой среды пористый порошок целлита.

На данный момент известны следующие виды целлита:

1) Целлит-КХМС (63% Co, 27% Cr, 5% Mo), используемый как для бюгельных, так и для металлокерамических протезов;

2) Целлит-Н (НХМЦ) (62% Ni, 24% Cr, 10% Mo), применяемый в стоматологической металлокерамике;

3) Целлит-К (69% Co, 23% Cr, 5% Mo), применяемый в стоматологической металлокерамике;

4) Целлит-Б (65% Co, 28% Cr, 5% Mo), предназначенный для отливки бюгельных зубных протезов.

Кобальт не окисляется на воздухе и в воде; устойчив к действию органических кислот и обладает достаточно хорошей пластичностью, что придает сплаву твердость, улучшая, таким образом, механические качества сплава. Хром вводится в сплав для придания ему твердости и повышения антикоррозийной стойкости за счет образования пассивирующей пленки на поверхности сплава. Никель повышает пластичность, вязкость, ковкость, улучшая тем самым технологические свойства сплава; уменьшает усадку. Молибден имеет большое значение для повышения прочности сплава за счет придания ему мелкозернистости. В химический состав сплава целлита также входят С, Si, V и Nb [9].

Производство данного сплава является энергоемким процессом, что обуславливает его высокую стоимость. В этой связи нами предприняты усилия по его замене на более дешевые и доступные материалы. Ранее нами уже была показана [10, 11] возможность применения для исследования высоковлажных продуктов различных тканевых и бумажных наполнителей. В частности, весьма удобной матрицей оказалась измельченная фильтровальная бумага, которая применялась нами и в настоящей работе.

Объектом исследования были выбраны питьевое молоко разного способа термической обработки и кисломолочные продукты без сахара и фруктовых наполнителей, которые сами способны связывать воду, что приводит к искажению результатов измерений. Образцы готовой продукции наиболее крупных белорус-

ских производителей закупались в различной потребительской таре в розничной торговой сети г. Минска.

Результаты проведенных исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Средние значения показателя «активность воды» молочных продуктов

Продукт	$A_w$
Пастеризованное молоко	$0,994 \pm 0,008$
Ультрапастеризованное молоко	$0,986 \pm 0,008$
Стерилизованное молоко	$0,973 \pm 0,011$
Топленое молоко	$0,988 \pm 0,002$
Ряженка	$0,981 \pm 0,009$
Простокваша	$0,996 \pm 0,014$
Биокефир	$0,988 \pm 0,012$
Кефир	$0,987 \pm 0,010$
Продукт бифидокисломолочный «Здоровье»	$0,999 \pm 0,001$
Йогурт с бифидобактериями	$0,987 \pm 0,016$

Проведенные исследования показали, что активность воды в пастеризованном молоке имеет примерно такой же уровень, как и в сыром (от 0,990 до 0,995). С увеличением температуры тепловой обработки активность воды несколько падает, что, возможно, связано с незначительным уменьшением количества свободной влаги из-за испарения.

Было также установлено, что в целом активность воды кисломолочных продуктов ниже, чем в питьевом молоке. Исключение составили простокваша и продукт бифидокисломолочный «Здоровье», для которых значение активности воды близки к показателям сырого молока, что подтверждается и другими исследованиями [12].

Очевидно, гетероферментативной микрофлорой в результате смешанного брожения (молочнокислого и спиртового) продуцируется больше побочных продуктов, в результате чего изменяется соотношение свободной и связанной влаги. Так, при смешанном брожении образуется до 50% молочной кислоты, а остальные продукты брожения представлены преимущественно этиловым спиртом, углекислым газом и летучими кислотами. В простокваше, производимой с использованием закваски на чистых культурах лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков, и в продукте «Здоровье», для получения которого применяют чистые культуры термофильного стрептококка, ацидофильной палочки и бифидобактерий, в результате молочнокислого брожения из молочного сахара образуется до 90% молочной кислоты и лишь 10% побочных продуктов (летучие кислоты, диацетил, ацетоин и др.) [5].

Большее содержание молочной кислоты должно было привести к снижению значений параметра активности воды, однако повышенное содержание в йогурте сухих веществ, а также применение различных стабилизаторов (крахмал, желатин, гуаровая камедь) в значительной мере нивелирует этот эффект [6, 12, 13]. Ряженка и топленое молоко, технология получения которых предполагает длительную термообработку, также демонстрируют повышенную способность к связыванию воды, вероятно, за счет термоденатурированных белков.

Изучение влияния на значение активности воды стабилизаторов выполнялось нами на примере крахмалов, из которых приготавливались молочные растворы (клейстеры) различной концентрации.

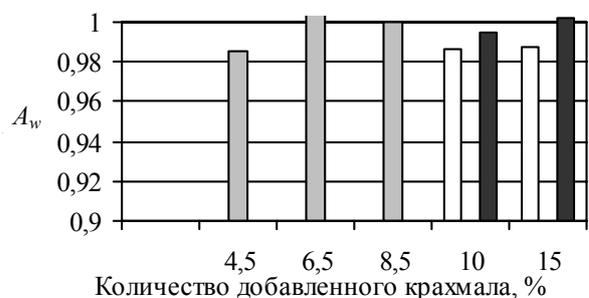
Исходное значение активности воды для различных видов крахмала представлены в табл. 2. При этом их влажность соответствовала состоянию товарных продуктов.

Таблица 2  
Значения показателя «активность воды» разных видов крахмала

Вид крахмала	$A_w$
Кукурузный крахмал	$0,456 \pm 0,007$
Тапиоковый крахмал	$0,425 \pm 0,004$
Картофельный крахмал	$0,578 \pm 0,006$

Для более вязких растворов тапиокового крахмала изучались его клейстеры с концентрациями 4,5, 6,5 и 8,5%. Кукурузный и картофельный крахмалы гелеобразные структуры образовывали при более высоких концентрациях, поэтому в исследовании использовались 10- и 15%-ные растворы.

Зависимость активности воды молока пастеризованного (3,2% жирности) от концентрации крахмала представлены на рисунке.



□ Картофельный крахмал    ■ Тапиоковый крахмал  
■ Кукурузный крахмал

Активность воды молока пастеризованного с добавкой крахмала

Из приведенных на рисунке данных видно, что, несмотря на интенсивное связывание воды, крахмалы даже в высоких концентрациях существенного влияния на «активность воды» не оказывают.

Крахмалы являются высокомолекулярными соединениями и находятся в молоке не в истинном растворе, а в коллоидном состоянии. При этом ожидаемое снижение активности воды должно быть обусловлено адсорбцией влаги крахмалами с образованием гелевых структур [12, 14] типа клейстеров. Однако гелеобразование в средах с высоким исходным содержанием влаги, как показали наши исследования, не оказывает существенного влияния на интенсивность испарения воды с поверхности образца, что связано с низкой энергией связи воды в такой структуре.

Очевидно, в этих условиях происхождение крахмала не может оказать заметного влияния на активность воды в продукте.

**Заключение.** В результате проведенных в данной работе исследований обнаружено, что активность воды термически обработанного питьевого молока практически не отличается от активности воды в сыром цельном молоке. При этом с увеличением температуры тепловой обработки активность воды несколько уменьшается вследствие испарения влаги из продукта. В этой связи можно предположить, что термообработка молочных продуктов не оказывает влияния на их устойчивость к микроорганизмам, лишь уменьшая их концентрацию и изменяя состав флоры.

Гетероферментативная микрофлора закваски при смешанном брожении понижает активность воды в молочных продуктах из-за появления большего количества побочных продуктов брожения. В меньшей степени влияния на «активность воды» оказывает молочнокислое брожение под действием гооферментативной молочнокислой микрофлоры.

Повышенное содержание сухих веществ в йогуртах оказывает большее влияние на значение активности воды, чем их стабилизационная система.

Стабилизаторы структуры на основе крахмалов различного происхождения не оказывают заметного влияния на активность воды в молочных продуктах при концентрациях вплоть до 15%.

### Литература

1. Рогов, И. А. Химия пищи / И. А. Рогов, Л. В. Антипова, Н. И. Дунченко. – М.: КолосС, 2007. – С. 717–729.

2. Пищевая химия / А. П. Нечаев [и др.]; под общ. ред. А. П. Нечаева. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – С. 480–491.

3. Чекулаева, Л. В. Технология продуктов консервирования молока и молочного сырья / Л. В. Чекулаева, К. К. Полянский, Л. В. Голубева. – М.: ДеЛи принт, 2002. – С. 6–14.

4. Цуканов, М. Ф. Технологические аспекты показателя «активность воды» и его роль в обеспечении качества продукции общественного питания / М. Ф. Цуканов, А. Б. Черноморец // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 1. – С. 58–63.

5. Твердохлеб, Г. В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб, Р. И. Раманаскас. – М.: ДеЛи принт, 2006. – С. 229–265.

6. Тихомирова, Н. А. Зависимость показателя активности воды молочных продуктов от их состава / Н. А. Тихомирова, С. И. Рогов, М. М. Чураков // Вестник Международной академии холода. – 2005. – Вып. 4. – С. 36–38.

7. Ловкис, З. В. Технология крахмала и крахмалопродуктов / З. В. Ловкис, В. В. Литвяк, Н. Н. Петюшев. – Минск: Асобны, 2007. – С. 40–46.

8. Технология крахмала и крахмалопродуктов / Н. Н. Трегубов [и др.]; под ред. Н. Н. Трегубова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – С. 16–302.

9. Ортопедическая стоматология. Протезирование съемными пластиночными и бюгельными протезами: учеб. пособие / под ред. С. А. Наумовича. – Минск: БГМУ, 2009. – С. 112–198.

10. Изучение влияния условий измерений на величину активности воды / С. С. Ветохин [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 248–251.

11. Изучение активности воды в жирных молочных продуктах (заключ.): отчет о НИР / Белорус. гос. технол. ун-т; рук. С. С. Ветохин. – Минск, 2010. – 69 с. – № ГР 20091078.

12. Влияние пищевых добавок на показатель активности воды кисломолочных продуктов, ферментированных с участием пропионовокислых бактерий / И. А. Рогов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 11. – С. 42–47.

13. Продукты молочные. Йогурты. Общие технические условия: СТБ 1552-2005 (ГОСТ Р 51331-99). – Введ. 01.01.06. – Минск: Госстандарт, 2005. – 50 с.

14. Активность воды в водных гелях пищевых гидроколлоидов / А. И. Жаринов [и др.] // Мясная индустрия. – 2009. – № 12. – С. 27–29.

Поступила 19.03.2012