

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРТЫВАНИЯ МОЛОКА ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ  
НАЦИОНАЛЬНОГО МЯГКОГО СЫРА**

**ҰЛТТЫҚ ЖҰМСАҚ ІРІМШІК ЖАСАУ БАРЫСЫНДАҒЫ СҮТТІҢ ҰЮ ПРОЦЕСІН  
ТАЛДАУ**

**INVESTIGATION OF MILK CLOTTING FOR THE PREPARATION OF NATIONAL SOFT  
CHEESE**

*М.К. АЛИМАРДАНОВА<sup>1</sup>, Т.К. КУЛАЗЖАНОВ<sup>1</sup>, А. АСЕТ<sup>2</sup>, Й. ШТЕТИНА<sup>3</sup>, Н. ЖЕКСЕНБАЙ<sup>1</sup>  
М.Қ. АЛИМАРДАНОВА<sup>1</sup>, Т.Қ. ҚҰЛАЗЖАНОВ<sup>1</sup>, А. ӘСЕТ<sup>2</sup>, Й. ШТЕТИНА<sup>3</sup>, Н. ЖЕКСЕНБАЙ<sup>1</sup>  
M.K. ALIMARDANOVA<sup>1</sup>, T.K. KULAZHANOV<sup>1</sup>, A. ASET<sup>2</sup>, J. STETINA<sup>3</sup>, N. ZHEXENBAY<sup>1</sup>*

*(<sup>1</sup>Алматынський технологический университет, г. Алматы  
<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный университет, г.Алматы  
<sup>3</sup>Химико-технологический институт, г. Прага)*

*(<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы қ.  
<sup>2</sup>Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы қ.  
<sup>3</sup>Химия технологиялық институты, Прага қ.)*

*(<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, <sup>2</sup>Kazakh National Agrarian University, Almaty  
<sup>3</sup>Institute of Chemical Technology, Prague)*

E-mail: nurshash1@mail.ru

*В статье рассмотрены результаты реологических исследований гелеобразования при свертывании молока сычужным ферментом. Сравнили методы времени свертывания Берридж с реологическим методом для определения активности фермента. Освещены методы и технологии, применяемые для решения данной задачи. Установлено, что метод реологического исследования свертывания молока легок и точен в применении при соблюдении параметров анализа.*

*Мақалада сүттің ұйытқыш фермент арқылы ұю барысындағы реологиялық талдаулардың нәтижелері көрсетілген. Сүттің ұю уақытын анықтайтын Берридж әдісін реологиялық әдісімен салыстырдық. Қазіргі әдістер және осы мәселенің шешімі үшін қолданылатын технологиялар көрсетілген. Реологиялық әдісімен сүттің ұюын зерттеу оңай және дәл екеніне көз жеткіздік.*

*The article describes the results of rheological study researches gelling milk rennet coagulation. Method of milk clotting time Berridge was compared to rheological method. Article shows the actual methods and technologies applied to resolve this aim. Established that the method of rheological studies of coagulation of milk is easy and precise in the application subject to the parameters of the analysis.*

**Ключевые слова:** реология, ротационный вискозиметр, сычужный фермент, общая молокосвертывающая активность, национальный мягкий сыр, козье молоко.

**Негізгі сөздер:** реология, ротационды вискозиметр, ұйытқыш фермент, жалпы сүт ұйыту белсенділік, ұлттық жұмсақ сыр, ешкі сүті.

**Key words:** rheology, rotational viscometer, rennet, milk-total activity, the national soft cheese, goat's milk.

**Введение**

Свертывание молока сычужным ферментом играет главную роль в процессе приготовления национального мягкого сыра,

поскольку существенно влияет на качество и выход сыра. Сычужный фермент, используемый в производстве сыра, принадлежит к той же группе, что и аспарагиновая протеиназа [1,2].

В течение последних трех десятилетий на рынке постоянно растет ассортимент сычужных ферментов. Зачастую молокосвертывающую активность сычужного фермента приходится определять только по его этикетке, которая снижается в процессе хранения фермента. Поэтому возникает необходимость выявления общей молокосвертывающей активности сычужного фермента.

Существует ряд методов для определения активности сычужного фермента. В 1997 году Международная молочная федерация (IDF) разработала стандарт IDF 157A: 1997 «Молоко. Определение общей молокосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента» или как его называют REMCAT – «relative milk-clotting activity test». Этот стандарт недавно был пересмотрен (IDF стандарт 157: 2007/ISO 11815), вносились изменения в условия испытаний, которые влияют на активность фермента. Разработаны подобные методы, такие как, Стандарт IDF 176: 2002 «Молоко и молочные продукты. Микробные коагулянты. Определение общей активности по свертыванию молока» для ферментов микробиологического происхождения и стандарт IDF 199: 2006 «Мо-

локо и молочные продукты. Сычужные ферменты ягнят и козлят. Определение общей молокосвертывающей активности». Во всех стандартах применяется метод измерения свертывания молока путем визуального определения по времени свертывания Берридж (Berridge). Время свертывания Берридж определяется по времени появления хлопьев молока на стенке вращающейся пробирки. Этот метод несколько субъективен, так как он опирается на визуальное наблюдение человека, что значительно влияет на точность этого наблюдения [2]. Результат выдается  $IMCU \cdot ml^{-1}$  (IMCU - International milk-clotting unit).

Также существует метод Сокслета в (SU), который выражается в виде объема молока, свертываемого одной единицей объема сычужного фермента в течение 40 мин при 35°C, широко используется для характеристики прочности раствора сычужного фермента [3]. Этот результат выражается как отношение (например, 1: 5000, т.е. 1 гр сычужного фермента коагулируют 5000 мл молока). Преобразование единицы Сокслета (SU) и Международной молокосвертывающей единицы (IMCU) приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Приблизительное преобразование различных единиц активности и миллиграммах для сычужного фермента [по 4].

| Фермент         | Единица Сокслета (SU) | IMCU |
|-----------------|-----------------------|------|
| 1 мг химозина   | 1:24,400              | 291  |
| 1 мг пепсина    | 1:85                  | 81   |
| 1 IMCU химозина | 1:85                  |      |
| 1 IMCU пепсина  | 1:5,500               |      |

Теория ротационной вискозиметрии опирается на гипотезы сплошности и непрерывности; скорость жидкости на стенке неподвижного цилиндра равна нулю; равенство окружной скорости и скорости стенки вращающегося цилиндра; жидкость считается изотропной; движение должно быть установившееся, т.е. характерные параметры зависят только от координат рассматриваемой точки, но не зависят от времени; режим движения в коаксиальном зазоре должен быть ламинарным, турбулизация потока не допускается. Ротационные вискозиметры по методу проведения испытаний разделяют на две группы: первая - для испытания материалов с постоянной скоростью деформации;

вторая - для испытания материалов с постоянным напряжением сдвига. Для приборов первой группы крутящий момент определяется по углу закручивания упругой нити, на которой подвешен внутренний вращающийся цилиндр (рис. 1). У приборов второй группы ротор установлен в шарикоподшипниках и его вращение обеспечивается падающими грузами. При расчете крутящего момента из общей силы, создаваемой массой падающих грузов, вычитается сила трения. Конструкция и эксплуатация вискозиметров второй группы проще, поэтому они получили более широкое применение для измерения структурно-механических характеристик вязко-пластичных материалов [5].

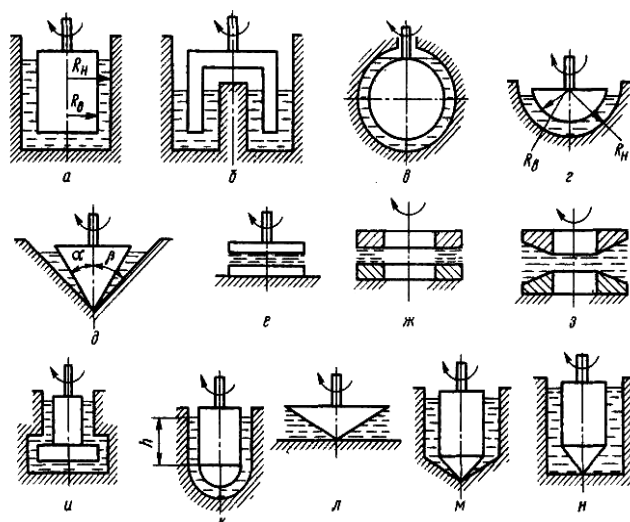


Рисунок 1 - Формы измерительных органов ротационных вискозиметров

**Цель данного исследования** – сравнение метода времени свертывания Берридж (IDF стандарт 157: 2007) с реологическим методом для определения активности фермента.

**Материал и методика исследования**

Объектом исследования служили молоко козье, коровье и смесь этих видов молока. Исследование процесса свертывания молока при приготовлении национального мягкого сыра заключается в том, что наблюдаем

изменение консистенции молока на ротационном вискозиметре. Он предназначен для определения сдвиговых свойств пищевых продуктов в широком диапазоне, в частности для измерения вязкости и предельного напряжения сдвига для средне- и высоковязких продуктов.

Образец молока был исследован на ротационном вискозиметре (модель Kinexus; Malvern Instruments Limited, UK).



Рисунок 2 - Ротационный вискозиметр (модель Kinexus; Malvern Instruments Limited, UK).

Реометр был снабжен концентрическим цилиндром, состоящим из чашки (диаметр 32 мм) и вращающего ротора диаметром 29,5 мм и длиной 44,25 мм (рис. 2). Около 17,5 мл молока было переведено в чашу реометра, выдерживали 5 минут при постоянной температуре 32°C перед каждым анализом. Потом ротор был

снижен автоматически сразу после добавления сычужного фермента. Чашу закрыли. Устойчивый стресс развертки в диапазоне от 0,1 до 100 Па (рис. 3) был применен к образцу, чтобы получить кривую потока в диапазоне скорости сдвига от 0,1 до 100 с<sup>-1</sup>.

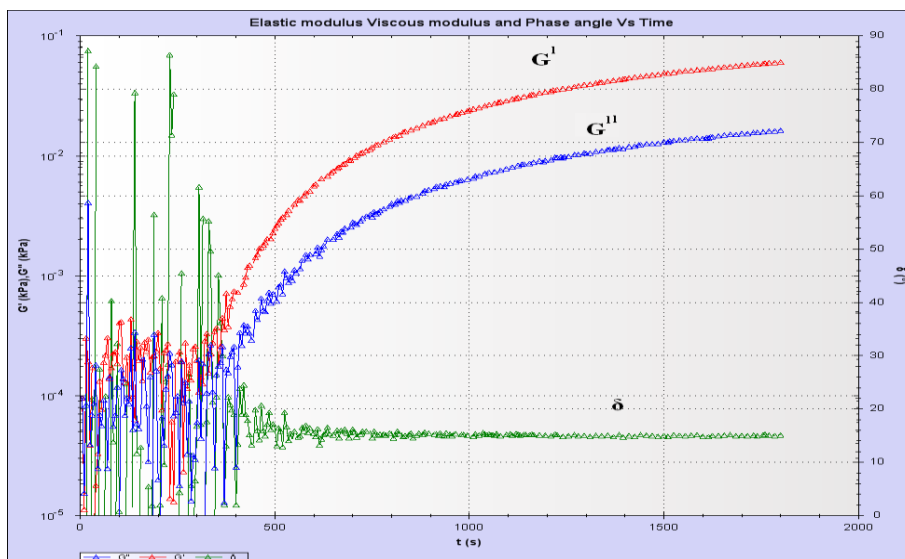


Рисунок 3 - Процесс свертывания молока при температуре 32<sup>0</sup>С в течение 30 минут ( $G'$  – модуль упругости,  $G''$  – модуль потерь и  $\delta$  – фазовый угол)

Время свертывания Берридж - время появления хлопьев с помощью сычужного фермента на стене вращающейся пробирки.

Молокосвертывающая активность фермента рассчитывается по формуле 1:

$$MCA_{\text{обр}} = \frac{V_{\text{мл}} \cdot 40 \cdot 60}{t_{\text{обр}} \cdot m_{\text{фр}}} \quad (1)$$

где:  $MCA_{\text{обр}}$  – молоко свертывающая активность [SU];

$V_{\text{мл}}$  – объем молока, используемого для анализа;

$t_{\text{обр}}$  – время свертывания образца [сек];

$m_{\text{обр}}$  – масса свертывающего фермента в добавленном растворе [г].

Время флокуляции обычно составляет половину времени свертывания. Доза сычужного фермента рассчитывается по формуле 2:

$$m_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{мл}} \cdot 40 \cdot 35}{T_{\text{ф}} \cdot t_{\text{ф}} \cdot MCA_{\text{обр}}} \quad (2)$$

где:  $m_{\text{ф}}$  –

количество сычужного фермента [г];

$V_{\text{мл}}$  – объем молока [мл];

$T_{\text{ф}}$  – температура молока [° C];

$t_{\text{ф}}$  – время свертывания [сек]

$MCA_{\text{обр}}$  – молокосвертывающая активность [SU].



Рисунок 4 – Постановка анализа методом времени свертывания Берридж

Заранее измерили молоко свертывающую активность используемого сычужного

фермента в единицах Сокслета следующим образом:

В колбу Эрленмейера вместимостью 250 мл внесли 50 мл молока (рис. 4). Молоко было свежим, титруемой кислотностью  $16^0\text{T}$ . Молоко нагрели до  $35^0\text{C}$  и добавили 1 мл 1%-го раствора сычужного фермента. Молоко смешивали с сычужным ферментом первые 2 минуты, поддерживая постоянной температуру –  $35^0\text{C}$ , а далее только периодически встряхивали, наблюдая в наклонном положении появление хлопьев молока по стенке колбы. Температура не должна опускаться ниже  $35^0\text{C}$ . Когда имеется заметное разделение белка (флокуляция), секундомер останавливается. Рассчитываем молокосвертывающую активность по формуле 1, затем вычисляем нужное количество сычужного фермента при желаемой температуре и желаемом времени по формуле 2. Исследуемый образец с нужным количеством сычужного фермента был исследован на ротационном вискозиметре на двух тестах:

Режим анализа - Oscilace sweep stress test - для определения времени гелеобразования при постоянной амплитуде 0,01% на 30 мин (рис. 2).

Достаточно  $G'$  и  $\delta$  для того, чтобы определить вязкоэластичность материала. Инерция угла  $\delta$  у стала равна нулю, а у воды равна 90.

Режим анализа - Elastic modulus Viscous modulus and phase angle Vs Frequency для определения прочности геля.

### Результаты и их обсуждение

Установлена молокосвертывающая активность использованного сычужного фермента, составившая 26,670 SU. По разработанной технологии необходимо создать условия, при которых молоко свертывается за 15 мин при температуре  $32^0\text{C}$  в 17,5 мл молоке, исследуемом на ротационном вискозиметре. Требуемая доза фермента по формуле 2 составила  $3 \cdot 10^{-5}$  г т.е. 3 мл 1%-ного раствора фермента для 17,5 мл молока.

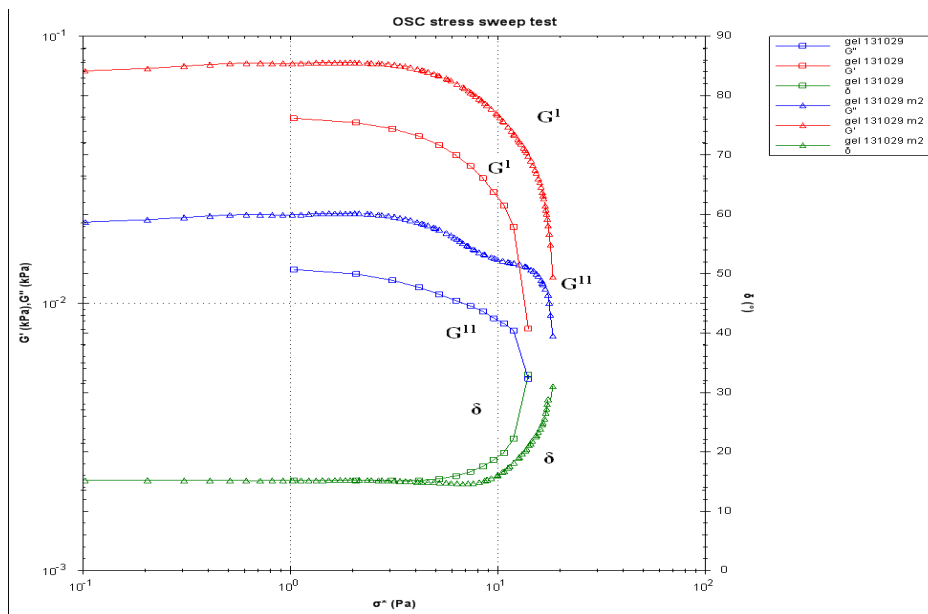


Рисунок 5 - Упругость геля Elastic modulus Viscous modulus and phase angle Vs Frequency.

Отмечено, что на ротационном вискози-метре увеличиваются значения  $G'$  и  $G''$ . Колебания фазового угла  $\delta$  в начале от 0 до 90 показывает дисперсионное состояние молока. Фазовый угол равнялся значению, при котором образуется сгусток. В течение 10 минут происходит флокуляция белков и далее свертывание молока, как только фазовый угол  $\delta$  начинает равняться около  $15^{\circ}$ .

Процесс свертывания молока условно разделяют на четыре стадии: I – индукционный период, II - стадия массовой коагуляции, III - стадия структообразования и упрочнения сгустка, IV - стадия синерезиса. В процессе исследований на ротационном вискозиметре нами выделены все стадии сычужного свертывания молока (рис. 4 и 5), что позволяет объективно устанавливать необходимое время свертывания молока и качество образующегося сгустка, тогда как при визуальном определении продолжительности свертывания молока и образования сгустка многое зависит от субъективных свойств исследователя. Кроме того, аппаратурное определение количества сычужного фермента и процесса свертывания молока необходимо внедрять на производстве.

Изучение процессов образования первых хлопьев сгустка по Берриджу позволило определить молокосвертывающую активность сычужного фермента, но не выявляет все стадии сычужного свертывания молока в сравнении с определением процессов свертывания молока.

#### **Выводы**

1. Метод определения времени свертывания Берридж прост при применении и определяет молокосвертывающую активность фермента.

2. Определение времени свертывания реологическим методом дает возможность определить не только молокосвертывающую активность фермента, но и все 4 стадии сычужного свертывания молока.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. B. A. Law and A. Y. Tamime, *Technology of Cheesemaking: Second Edition*. 2010. Blackwell Publishing Ltd: United Kingdom, 512 p. ISBN 978-1-4051-8298-0.

2. N. Tabayehnejad, M. Castillo, and F. a. Payne, "Comparison of total milk-clotting activity measurement precision using the Berridge clotting time method and a proposed optical method," *J. Food Eng.*, vol. 108, no. 4, PP. 549–556, Feb. 2012.

3. Law, Barry A, 1999. *Technology in Cheesemaking*. F.V. Kosikowski and Associates, Brooktondale, N.Y. ISBN: 978-1-4051-8298-0, P 512.

4. Jacob M., Jaros D., Rohm H., 2011: Recent advances in milk clotting enzymes, *International Journal of Dairy Technology*, 63, PP. 14–33.

5. Ильиных В.В. Инженерная реология Учебно-методический комплекс/ Кемерово: КемТИПП, 2005. - 138 с.