

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ФОРМ СВЯЗЕЙ ВОДЫ В МЯСНЫХ СИСТЕМАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭФФЕКТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Основные качественные показатели готовых мясных изделий зависят от соотношения доли прочно- и слабосвязанной влаги. Самая прочная непосредственная связь воды с биополимерами возникает в результате реакции гидратации. Наибольшее практическое значение имеет влагосвязывающая способность мышечной и соединительной тканей, так как эта влага является преобладающим компонентом мяса птицы. Влагосвязывающая способность мышечной ткани определяется в первую очередь свойствами и состоянием белков миофибрилл (актина, миозина и актомиозина). В составе соединительной ткани воды меньше, в основном она связана с коллагеном. Вода оказывает существенное влияние на такие качественные характеристики готовых мясных изделий, как консистенция, структура, устойчивость при хранении, а также выход готового продукта. Динамика процесса формирования перераспределения влаги в готовом продукте доступна термогравиметрическому анализу. Использование этого метода приобретает особую значимость для исследования влияния эффектов ультразвукового воздействия на процесс посола мяса цыплят-бройлеров активированными жидкими средами. С целью изучения полной сравнительной характеристики сложного комплекса физико-химических превращений при термической обработке фаршей из мяса цыплят-бройлеров в статье рассмотрены результаты термогравиметрического анализа исследуемых образцов. Авторами подтверждено, что если до начала процесса релаксации неравновесного состояния воду смешать с измельченной биомассой, содержащей животный белок, то произойдет интенсивная реакция гидратации, превращающая воду в составную часть структуры белка и увеличивающая тем самым его массу. Таким образом, исследование состояния воды в мясе птицы позволяет определять его технологические свойства и тем самым научно подходить к использованию методов воздействия на водную фракцию продукта и регулированию качественных и количественных соотношений форм связи.

**Ключевые слова:** связанная влага, мясо птицы, ультразвуковое воздействие, термогравиметрический анализ.

Основные качественные показатели готовых мясных изделий зависят от соотношения доли прочно- и слабосвязанной влаги. Самая прочная непосредственная связь воды с биополимерами возникает в результате реакции гидратации, при которой молекула воды присоединяется к гидрофильной группе (активному центру) биомакромолекулы посредством водородной связи. Активными центрами биомакромолекул являются их полярные группы: гидроксильные -ОН, аминные -NH<sub>2</sub> и карбоксильные -СООН. Гидратационно связанная влага становится уже не водой как самостоятельным химическим веществом, а неотъемлемой частью биополимерной структуры мяса [1].

Классические методы определения общего содержания влаги, влагоудерживающей и водосвязывающей способности позволяют кон-

статировать баланс влажностных характеристик исследуемого объекта. Динамика же процесса формирования искомой картины перераспределения влаги в готовом продукте доступна термогравиметрическому анализу [2].

Использование этого метода приобретает особую значимость для исследования влияния эффектов кавитации на процесс посола мяса цыплят-бройлеров активированными жидкими средами. С целью изучения полной сравнительной характеристики сложного комплекса физико-химических превращений, при термической обработке фаршей, нами был проведён термогравиметрический анализ контрольного и опытного образца.

Контрольные образцы готовили по традиционной технологии, с добавлением питьевой воды; опытные образцы – на основе активированных ультразвуком рассолов.

## Управление качеством биопродукции

Термогравиметрический анализ проводили масс-спектрометрическим анализатором летучих продуктов термического разложения жидких материалов с помощью Netzch STA 449 «Jupiter» при температурах от 20 до 400 °С, с погрешностью  $\pm 1,5$  % по температуре,  $\pm 3$  % по энтальпии,  $\pm 2$  % по теплоемкости. Масса образцов варьировала в интервале 430–440 мг.

Исследование скорости процесса уноса влаги и изменения массы, отраженные соответствующими линиями DTG, говорят о явном различии изгиба кривых. Кинетические кривые отдачи влаги компонентами объектов эксперимента позволяют установить не только теплофизические характеристики исследуемых материалов, но и описать физико-химические процессы в структуре мяса (см. таблицу).

### Показатели физико-химических превращений фаршей из мяса цыплят-бройлеров при их термогравиметрическом исследовании

Наименование показателя	Значение показателя	
	опыт	контроль
Температура начала изменения массы, °С	61	72
Температура начала удаления связанной влаги, °С	98	88
Температура наибольшей скорости дегидратации, °С	145	137
Температура в максимуме эндоэффекта, °С	160	155

\* Среднеквадратичное отклонение составляет не более  $\pm 2,5$  % от абсолютных значений показателей, представленных в таблице.

При сравнительном анализе кривых распределения термогравиметрического анализа (рис. 1 и 2) установлено, что начало изменения массы опытного образца, выработанного на основе активированного рассола, находится в области температур на 11 °С выше, чем для контрольного образца. Такая разница начала процесса удаления свободной влаги свидетельствует о более сильной энергии ее связи, характеризующейся выраженным эндоэф-

фектом по энтальпии (ось DSC). Для преодоления сил сцепления диполей воды, удерживаемых в этих системах, требуется больше тепловой энергии, подводимой к образцам, приготовленных на основе активированных рассолов.

Полученные данные хорошо согласуются с теорией надтепловой кавитационной дезинтеграции воды в составе рассолов, за счет чего увеличивается энергия связи ее диполей с полярными центрами молекул аминокислот. Таким образом, увеличивается энергия связи и формируется прочная гидратная оболочка.

Процесс удаления осмотически и адсорбционно связанной влаги в образце с использованием активированного рассола начинается при 98 °С. Кинетика испарения воды для контрольных образцов иная. Температура начала удаления связанной влаги из таких образцов равна 88 °С и является наименьшей. Из этого следует, что для контрольных образцов энергия связи такой влаги с белковыми структурами, определяющая начало ее удаления при более низких температурах, наименьшая. Более прочно связанная влага испаряется при подводе дополнительной тепловой энергии, способной преодолеть силы сцепления гидратной оболочки, так как связанная вода является неотъемлемой частью белков. Она естественным образом увеличивает массу белка, поскольку соединяется с ним, благодаря действию механизмов, аналогичных тем, которые имеют место в живой природе в процессе его синтеза и почти настолько же прочно, насколько прочны в белке связи, формирующие его структуру. Отражение процесса изменения структуры белка можно видеть на термограммах.

Линия DTG контрольных образцов имеет три характерных излома при температурах 295, 300, 315 °С, что также зафиксировано масс-спектрометром по кривым CO<sub>2</sub> и NO. При этом кривая DTG нагревания опытных образцов отображает плавное течение процесса с пиком в точке 310 °С, то есть за счет увеличения массы белка, он сгорает медленнее и равномернее.

При кавитации в воде генерируются гигантские импульсы давления, вызывающие соответствующие ее деформации, которые распространяются в ней со скоростью звука. Трансформация потенциальной энергии этих деформаций реализует надтепловой механизм разрушения молекулярных ассоциатов, при этом лишь вода переходит в термодинамиче-

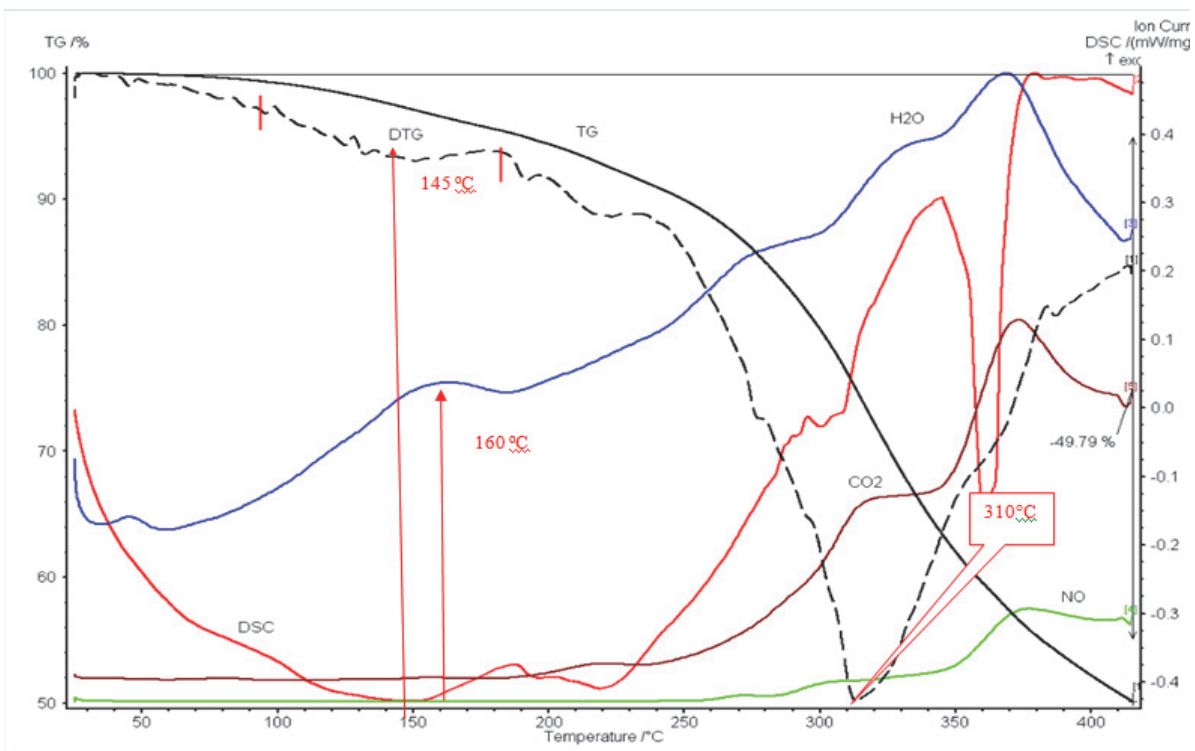


Рис. 1. Кривые распределения термогравиметрического анализа опытных образцов мяса цыплят-бройлеров, приготовленных с применением эффектов ультразвукового воздействия

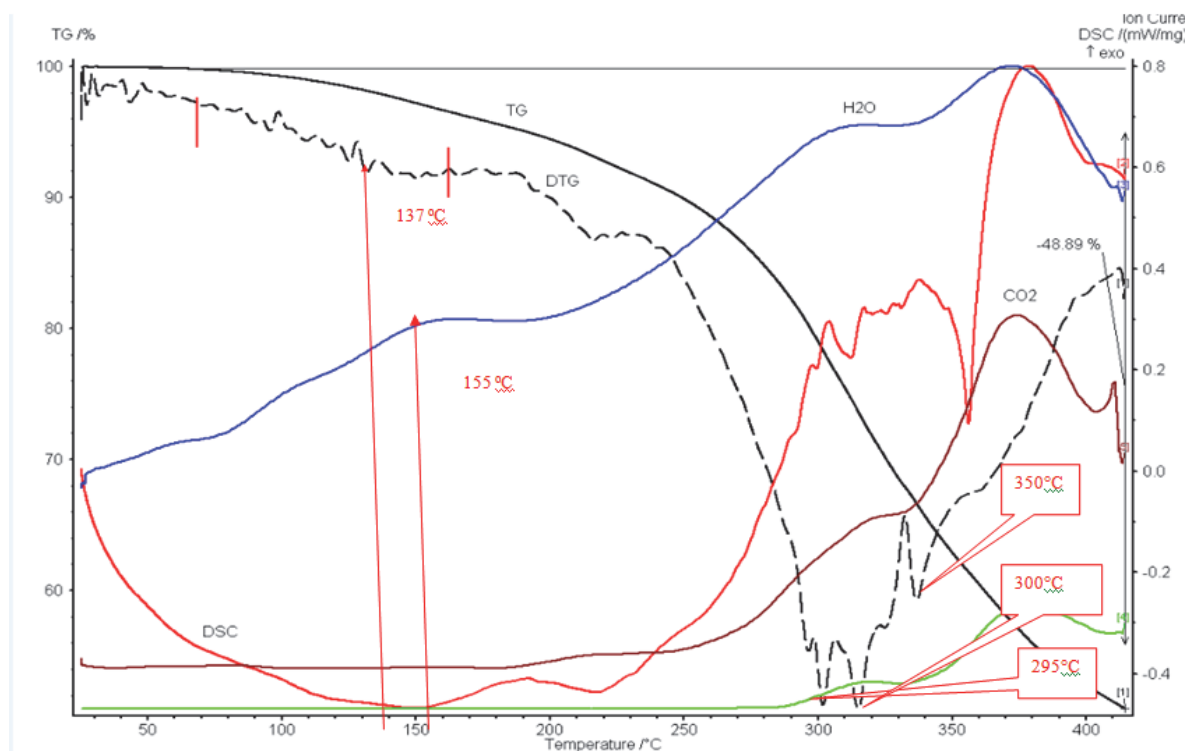


Рис. 2. Кривые распределения термогравиметрического анализа контрольных образцов мяса цыплят-бройлеров, приготовленных с применением эффектов ультразвукового воздействия

ски неравновесное состояние, а растворенная в ней поваренная соль полностью диссоциирует на ионы, которые будут иммобилизованы полярными мономерными молекулами воды либо прочно связаны в образующихся сольватных оболочках белка [3].

Если до начала процесса релаксации неравновесного состояния воду смешать с измельченной биомассой, содержащей животный или растительный белок, то произойдет интенсивная реакция гидратации, превращающая воду в составную часть структуры белка и увеличивающая тем самым его массу [4–6].

Учитывая, что уровень гидратации белков мяса птицы тесно взаимосвязан с его технологическими свойствами, исследование влияния эффектов кавитации на их корректировку составляет определенный интерес для применения его как способа улучшения потребительских свойств готовых продуктов.

### Литература

1. Вернадский В.И. *Жизнеописание. Избранные труды. Воспоминание современников. Суждения потомков* / сост. Г.П. Аксенов. – М.: Современник, 1993. – 460 с.

2. Борисенко, А.А. *Термогравиметрический анализ форм связи влаги в соленой говядине* / А.А. Борисенко // *Мясная индустрия*. – 2001. – № 7. – С. 45–46.

3. *Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве* / В.Н. Хмелев, Д.В. Леонов, Р.В. Барсуков и др. – Барнаул, 2007. – 407 с.

4. Шестаков, С.Д. *Восполнение утраченной мясом влаги путем управляемой гидратации его биополимеров при посоле* / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, А.П. Бефус // *Мясной ряд*. – 2008. – № 3. – С. 38–40.

5. Богуш, В.И. *Разработка технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов с применением сонохимических воздействий для системы общественного питания: автореф. дис. ... канд. техн. наук* / В.И. Богуш. – М.: МГУТУ им. Разумовского, 2011. – 21 с.

6. *Процессы и аппараты пищевой соно-технологии для мясной промышленности* / О.Н. Красуля, С.Д. Шестаков, В.И. Богуш и др. // *Мясная индустрия*. – 2009. – № 7. – С. 43–46.

**Потороко Ирина Юрьевна.** Зав. кафедрой «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», зам. директора Института экономики, торговли и технологий, д.т.н., доцент, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina\_potoroko@mail.ru

**Цирульниченко Лина Александровна.** Старший преподаватель, аспирант кафедры экспертизы и управления качеством пищевых производств Института экономики, торговли и технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), lynchikz@mail.ru

*Поступила в редакцию 10 декабря 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University  
Series "Food and Biotechnology"  
2015, vol. 3, no. 1, pp. 71–75**

---

## THE STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF THE EFFECTS OF ULTRASONIC TREATMENT IN THE FORMS OF WATER IN MEAT SYSTEMS

*I.Yu. Potoroko, L.A. Tsirulnichenko*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The principal quality indicators of finished meat products depend on the share of strong and loosely coupled moisture. The strongest direct connection with biopolymers water arises from the hydration reaction. The greatest practical importance is the water binding capacity of muscle and connective tissue, as this moisture the predominant component of poultry meat.

Water binding capacity of muscle tissue is determined primarily by the properties and state of myofibrils proteins (actin, myosin and actomyosin). As part of the connective tissue putting less water is mainly associated with collagen. Water has a significant impact on the quality characteristics of such finished meat products such as consistency, texture, storage stability, same as the final product yield. The dynamics of the formation of the redistribution of moisture in the finished product is available thermogravimetric analysis. Using this method is of particular importance for the study of the influence of the effects of ultrasonic treatment on the process of salting meat broiler activated liquid medium. To study the complete characteristics of a complex set of physical and chemical transformations during the heat treatment of minced meat from broiler chickens in the article the results of thermogravimetric analysis of the samples. The authors confirmed that if, prior to the start of the process of relaxation of the nonequilibrium state of water mixed with chopped biomass containing animal protein, there will be intense hydration reaction, which converts water into an integral part of the protein structure and increasing thus its mass. Thus, the study of the state of water in poultry meat allows to determine its technological properties and thus a scientific approach to the use of methods to influence the aqueous fraction of the product and management of qualitative and quantitative relations forms of communication.

**Keywords:** bound moisture, poultry, ultrasonic treatment, thermal gravimetric analysis.

### References

1. Aksenov G.P. (Compiler). *Vernadskiy V.I. Zhizneopisanie. Izbrannye trudy. Vospominanie sovremennikov. Suzhdeniya potomkov* [Vernadskiy V.I. Biography. Selected Works. Memoirs of contemporaries. Judgment of descendants]. Moscow, Sovremennik Publ., 1993. 460 p.
2. Borisenko A.A. [Thermogravimetric analysis of forms of communication moisture in salt beef]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry]. 2001, no. 7, pp. 45–46. (in Russ.)
3. Khmelev V.N., Leonov D.V., Barsukov R.V., Tsyganok S.N. *Ul'trazvukovye mnogofunktsional'nye i spetsializirovannye apparaty dlya intensifikatsii tekhnologicheskikh protsessov v promyshlennom, sel'skom i domashnem khozyaystve* [Ultrasonic Multifunctional and specialized devices for intensification of technological processes in industry, agriculture and households]. Barnaul, 2007. 407 p.
4. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Befus A.P. [Restores lost moisture meat by controlled hydration of biopolymers at its salting]. *Myasnoy ryad* [Meat series]. 2008, no. 3, pp. 38–40. (in Russ.)
5. Bogush V.I. *Razrabotka tekhnologii proizvodstva myasnykh rublenykh polufabrikatov s primeneniem sonokhimicheskikh vozdeystviy dlya sistemy obshchestvennogo pitaniya* [Development of technology for the production of meat chopped semi-finished products using sonochemical effects system catering]. Author. diss. cand. techn. nauk. Moscow, 2011. 21 p.
6. Krasulya O.N., Shestakov S.D., Bogush V.I., Artemova Ya.A., Kosarev A.E. et al. [Processes and devices of food sonotechnology for meat industry]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry]. 2009, no. 7, pp. 43–46. (in Russ.)

**Potoroko Irina.** Head of the department “Expertise and quality control of food production” the deputy Director of the Institute of Economy, Trade and Technology, Ph.D., Professor, South Ural State University (Chelyabinsk), irina\_potoroko@mail.ru

**Tsirulnichenko Lina Aleksandrovna,** senior lecturer, post-graduate student of Merchandizing and Examination of Consumer Goods Department, Trade and Economic Faculty, South Ural State University (Chelyabinsk), linchikz@mail.ru

*Received 10 December 2014*