

QUALITY OF MINCED MEAT PRODUCTS AND ITS CHANGE IN THE PROCESS OF GRINDING

Y. Sukhenko, V. Sukhenko, M. Mushtruk, V. Vasuliv, Y. Boyko
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Cutting
Minced meat
Rheological parameters
of minced meat
Muscle structure
Yield of sausages
Quality*

ABSTRACT

The article defines the influence of methods and modes of grinding minced meat to ensure a high yield and quality of sausage products. It is shown that the multiplicity of shredding of raw material components determines rheological, structural-mechanical and qualitative indices. The method of cutting affects the state of muscle, fat, connective tissue, solubility of the protein fraction, and is a decisive factor in the creation of devices for controlling the stuffing preparation.

Article history:

Received 10.09.2017
Received in revised form
24.09.2017
Accepted 15.10.2017

Corresponding author:

Y. Sukhenko

E-mail:

npuht@ukr.net

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-22

КАЧЕСТВО ФАРШЕЙ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, М.М. Муштрук, В.П. Васылив, Ю.И. Бойко
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

В статье определено влияние способов и режимов измельчения мясных фаршей для обеспечения высокого выхода и качества колбасных изделий. Показано, что кратность измельчения составляющих сырья определяет реологические, структурно-механические и качественные показатели. Способ резания влияет на состояние мышечных, жировых, соединительных тканей, растворимость белковой фракции и является решающим фактором при создании приборов для контроля фаршеприготовления.

Ключевые слова: *резание, мясной фарш, реологические показатели фарша, структура мышцы, выход колбасных изделий, качество.*

Постановка проблемы. Под измельчением понимают процесс разделения мясного сырья на части под механическим действием резальных инстру-

ментов с образованием новых поверхностей. Резание сопровождается пластическим деформированием, трением между контактирующими поверхностями мяса и режательных инструментов и повышением их температуры.

В результате проведенного размерного анализа мясного сырья до и после измельчения на разных пищевых измельчительных машинах [1; 2] предложена классификация измельчения (табл. 1).

Таблица 1. Классификация измельчения по размерам [1]

Вид измельчения	Средний размер куска (частицы), мм	
	до измельчения	после измельчения
Крупное	до 300	до 100
Среднее	до 200	60...10
Мелкое	200...100	10...2
Тонкое	10...2	2...0,4
Коллоидное	10...0,4	0,075...0,001

Многочисленными исследованиями доказано, что качество и выход готовых колбасных изделий в значительной степени зависят от СМХ и реологических свойств (РС) фарша и соблюдения рецептур [2; 3].

Исследована физико-химическая механика тонкого измельчения мяса и зависимость структурно-механических характеристик (СМХ) фарша и его реологических свойств (РС) от состава сырья и режимов измельчения на куттерах.

Анализ последних исследований и публикаций. Тонкое измельчение обеспечивает образование таких частичек фарша, поверхность которых связывает максимальное количество влаги, образуя однородную гомогенную массу с определенными СМХ и РС [3; 4]. Качество фарша зависит от вида измельчительной машины — куттера, куттера-мешалки, коллоидной мельницы, эмульсатора, агрегата непрерывного действия и тому подобное. Во всех этих машинах процессы измельчения подобны [1]. Вместе с тем рациональная длительность измельчения, при которой физико-химические свойства и технологические характеристики продукта имеют экстремально необходимые значения, разная и зависит от кинематических характеристик машин и конструкций режательных инструментов [2].

Резание в процессах тонкого измельчения мясного сырья выполняют на высоких скоростях. Трение режальных инструментов сопровождается выделением большого количества тепла, которое и может привести к денатурации белков, изменению водосвязывающей способности и СМХ фарша [5]. Эти обстоятельства обуславливают необходимость разработки методики определения оптимальной продолжительности измельчения с учетом характеристик режательных органов машин [2; 6; 10].

В подавляющем большинстве измельчительных машин отсутствуют приборы и устройства, контролирующие РС и СМХ фаршей, которые определяют окончание процесса [1; 7]. На подавляющем большинстве предприятий, перерабатывающих мясо, эти операции выполняют технологи, а качество готовых изделий зависит от их квалификации [1; 9]. Поэтому существует необходимость создания автоматических приборов для определения готов-

ности фаршей. Для этого необходимо определить объективные критерии окончания процесса измельчения, учитывающие СМХ и РС дисперсной системы, которые могут быть взяты за основу при проектировании контролируемых приборов и устройств [8; 12].

Целью исследования является усовершенствование методики определения оптимальных режимов измельчения фаршей для получения дисперсных систем с мясного сырья с заданными СМХ и РС на разном оборудовании для последующего использования ее в разработке приборов и автоматизированных систем контроля за процессами измельчения.

Для достижения цели исследования были сформулированы следующие задачи:

- исследовать физико-химические свойства белков мясного сырья и определить взаимосвязь физико-химических характеристик мясных фаршей их влияние на СМХ, РС фаршей на готовые колбасные изделия;

- исследовать условия получения фаршей для вареных колбас с прочной структурой, наибольшей водосвязывающей способностью, которые обеспечивают минимальные потери массы готовых изделий;

- определить оптимальные продолжительность измельчения и влагосодержания различных фаршей для вареных колбасных изделий;

- с использованием гистологических исследований оценить влияние степени измельчения на микроструктуру фаршей из различных тканей мясного сырья и их комбинаций для создания приборов, контролируемых фарше-приготовление.

Методика исследований, материалы и приборы. Для исследования влияния резания на СМХ и РС мясного сырья и определения оптимальных режимов измельчения фаршей использовали: лабораторный куттер (ЛК) с вместимостью чаши 8 л и частотой вращения двух ножей $1\ 000\ \text{мин}^{-1}$; куттер малой модели (МК) с вместимостью чаши 80 л и частотой вращения трех ножей $1\ 450\ \text{мин}^{-1}$; куттер большой модели (БК) и вместимостью чаши 200 л марки Л5-ФКН с двумя частотами вращения 3, 6, 9 и 12 ножей, равными $1\ 328$ и $2\ 650\ \text{мин}^{-1}$. Также использовали серийно выпускаемый гомогенизатор РТ-2.

Объектами экспериментов были выбраны «модельный» фарш, который состоял из разных соотношений говядины, свинины и шпика. Также исследовались производственные композиции фаршей для разных видов колбасных изделий: сосисок российских, сарделек говяжьих и свиных, колбасы докторской, которые в рецептуре содержат разные количества говядины, свинины и жира (табл. 2, 3).

В экспериментах использовали преимущественно мясо, предварительно измельченное на волчках с решетками диаметром 3 мм. В начале измельчения в куттер загружали говядину с добавлением воды и льда примерно 50% от предсказуемой нормы и куттеровали в течение 0,5—1 мин. Потом добавляли свинину, специи, остальную воду и лед. Получив однородную систему в процессе измельчения, брали пробы фарша для определения его СМХ.

Химический состав сырья, РС и СМХ мясопродуктов определяли стандартными методами. В каждом образце определяли количество влаги W ,

белка B , жира ϕ , золы Z_n и влагосодержания U (содержание влаги в 1 кг абсолютно сухого вещества, которое включает золу).

Из реологических характеристик выбрана наиболее чувствительная к изменению химического состава измельченного мясного сыря — предельное напряжение сдвига (ПНС). Статическое ПНС (θ_0) определили на пенетрометре ПМДП (ГОСТ 25276-82) ротационным вискозиметром и коническом пластометре. Вязкость, липкость, влагосвязывающую способность фаршей определяли по рекомендациям [11; 13].

Массовую часть белка в мясопродуктах определяли по ГОСТ 25011-81 с использованием прибора Kiel-Foss-Futomatik. Содержание жира по ДСТУ 4436:2005.

Результаты и обсуждение. Изменения СМХ фарша в зависимости от продолжительности его измельчения (τ_k , мин) и влагосодержания (U_n , кг влаги/кг сухого продукта) рассмотрим на примере фарша русских сосисок (50% говядины и 50% свинины), измельченного на куттерах малой и большой модели. Характеристика фарша приведена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики фарша и исходного сыря

№ образца	Характеристика фарша			Количество добавленной воды, m_B	Характеристика мяса	
	Влаго-содержание, U_n	Влажность, W_n	Содержание жира, ϕ_n		Влагосодержание, U_M	Влажность, W_M
Куттер МК						
1	2,21	0,689	0,166	0,20	1,683	0,627
2	2,44	0,710	0,146	0,30	1,653	0,623
3	2,70	0,730	0,127	0,40	1,650	0,622
4	3,01	0,753	0,111	0,50	1,677	0,627
Куттер БК						
5	2,06	0,676	0,183	0,25	1,440	0,590
6	2,30	0,697	0,158	0,30	1,540	0,606
7	2,55	0,718	0,154	0,45	1,453	0,592
8	2,98	0,740	0,113	0,40	1,850	0,649

При куттеровании фарша в подготовительном периоде, когда добавленная влага образует толстые прослойки, которые облегчают его деформацию, величина предельного напряжения сдвига θ_0 (ПНС) уменьшается, а потеря массы при термообработке ($m_{ж}$, кг/кг продукта) растет. При увеличении продолжительности куттерования (первый период) происходит дальнейшее измельчение частиц фарша, их общая поверхность увеличивается, влага с свободной переходит в поверхностно-связанную. В этом периоде величина ПНС и эффективной вязкости (B) при единичном значении скорости сдвига растут и достигают максимального значения, а $m_{ж}$ максимально уменьшается и увеличивается количество мельчайших частиц. Образование первичной структуры фарша заканчивается. Во втором периоде измельчения (перекуттеровании) продолжается рыхление мышечных волокон мяса и температура фарша продолжает повышаться. Процесс сопровождается насыщением фарша воздухом и эмульгированием жира, что приводит к вторичному структуро-

образованию, а также к уменьшению ПНС, увеличению пластичной вязкости (ПВ) и $m_{ж}$. Одновременно происходят коллоидно-химические изменения фарша.

На (рис. 1а) показано изменение ПНС неразрушенной структуры фарша, определенное с использованием ротационного вискозиметра и конического пластометра.

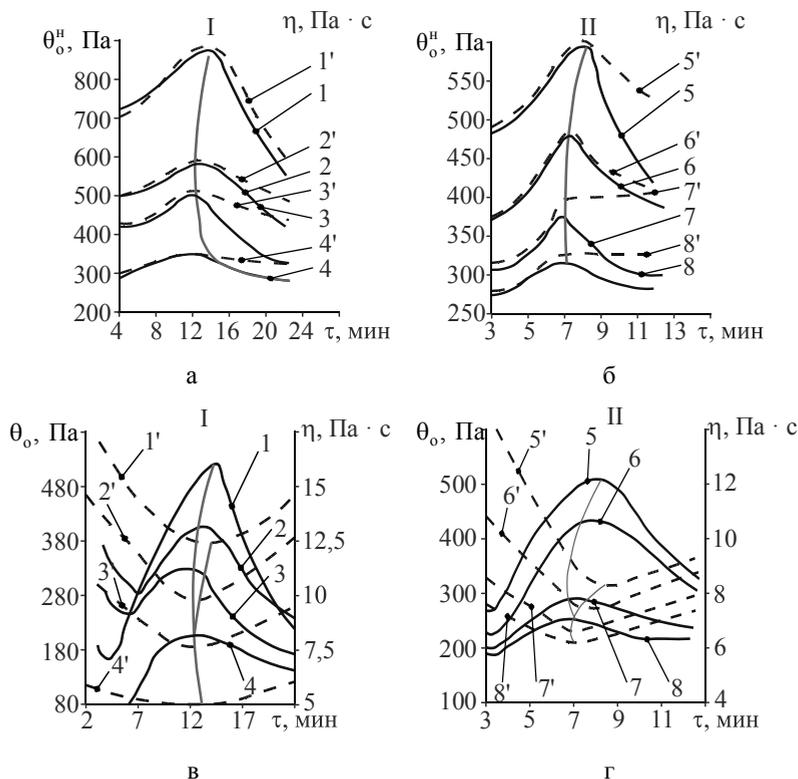


Рис. 1. Изменение пластичной вязкости (штриховая кривая) и предельного напряжения сдвига (сплошная кривая): а, в — для неразрушенной структуры фарша; б, г — для разрушенной структуры фарша; 1—8 — кривые, полученные на ротационном вискозиметре; 1'—8' — кривые, полученные на коническом пластометре; I — куттер малой модели; II — куттер большой модели. Номера кривых отвечают технологическим параметрам, приведенным в табл. 2

В табл. 3 приведены данные, которые характеризуют фарш по влагосодержанию, влажности и экстремальным реологическим свойствам.

Сырье в каждой серии опытов имело разную влажность: свинина 0,35—0,45, говядина — 0,68—0,75 частей единицы. Выход готовой продукции зависит от влажности сырья, поэтому в экспериментах определяли выход по отношению к абсолютно сухому веществу продукта.

По реологическим зависимостям (рис. 1) оптимальное влагосодержание $U_{Н}^{опт}$, при котором обеспечивается максимальный выход и наилучшее качество готовых изделий, определяется как точка перегиба кривых в координатах экстремальная величина CMX — влагосодержание.

Таблиця 3. Фізико-хімічні та реологічні характеристики

Фарш	№ опыта	Влагодержання, U_H	Влажність, W_H	Содержимое жира, Φ_H	Количество прибавленной воды, m_B	Реологические характеристики фарша (в системе МКС)			
						θ_0	η	q_0^H	η^H
Говяжьих сарделек	1	2,750	0,733	0,140	0,300	400	7,70	—	7,82
	2	3,410	0,733	0,115	0,400	340	5,20	515	5,40
	3	3,905	0,796	0,105	0,500	300	3,88	430	4,32
	4	4,075	0,803	0,103	0,600	280	3,40	380	3,70
	5	4,785	0,827	0,097	0,700	200	2,00	295	2,16
Российских сосисок	1	2,086	0,676	0,169	0,250	520	8,30	580	—
	2	2,215	0,689	0,170	0,290	440	7,65	500	—
	3	2,400	0,706	0,178	0,350	320	6,96	425	7,30
	4	2,546	0,718	0,178	0,400	300	6,80	380	—
	5	2,984	0,749	0,154	0,450	260	6,25	325	—
Докторской колбасы	1	1,480	0,596	0,225	0,100	600	6,35	880	7,63
	2	1,650	0,623	0,226	0,200	430	5,40	700	6,12
	3	1,800	0,643	0,234	0,250	310	4,86	450	4,70
	4	2,060	0,673	0,220	0,300	250	4,40	366	3,43
	5	2,290	0,696	0,213	0,450	200	4,00	300	2,33
Свиных сарделек	1	1,094	0,522	0,377	0,200	235	3,70	295	2,85
	2	1,240	0,554	0,351	0,400	195	3,20	240	2,45
	3	1,335	0,572	0,342	0,400	160	3,02	200	2,00
	4	1,311	0,567	0,347	0,300	165	3,01	200	2,00
	5	1,449	0,591	0,275	0,500	345	—	455	1,98

Примечание: Характеристики фарша в опыте № 3 являются эталонными.

Таким образом, большое количество экстремальных точек содержит одну характеристическую точку, которая отвечает оптимальному режиму, то есть при U_H^{opt} $\tau_{кэ}$ минимальное. Значение $\tau_{кэ}$ при U_H^{opt} является оптимальной длительностью измельчения U_H^{opt} фарша. С увеличением влагосодержания $\tau_{кэ}$ уменьшается, а при $U_H > U_H^{opt}$ — растет, что объясняется увеличением толщины водно-белковых прослоек между частями фарша и, следовательно, уменьшением сил сцепления между элементами коагуляционной структуры. Частицы находятся как будто в плавающем состоянии. Их относительное смещение облегчено, а период релаксации напряжений в фарше с увеличением U_H уменьшается. Для измельчения наилучшие условия создаются тогда, когда длительность влияния ножа на продукт равна или меньше периода релаксации упругих деформаций, то есть продукт можно рассматривать как упруго-твердое тело. При обводнении фарш становится менее упругим, приближаясь к пластичному состоянию [7].

Следовательно, благодаря реологическим зависимостям можно определять оптимальные значения продолжительности измельчения и влагосодержания фарша.

Для характеристики степени измельчения фарша, выяснения сущности этого процесса и причин изменения СМХ проведены гистологические исследования и определен эффективный диаметр частиц фарша:

$$d_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i d_i^2}{\sum_{i=1}^n N_i}},$$

где n — общее количество размерных классов; N_i — количество частиц измельченного сырья; d_i — диаметр частиц продукта.

Типичные кривые распределения размеров частиц показаны на рис. 2.

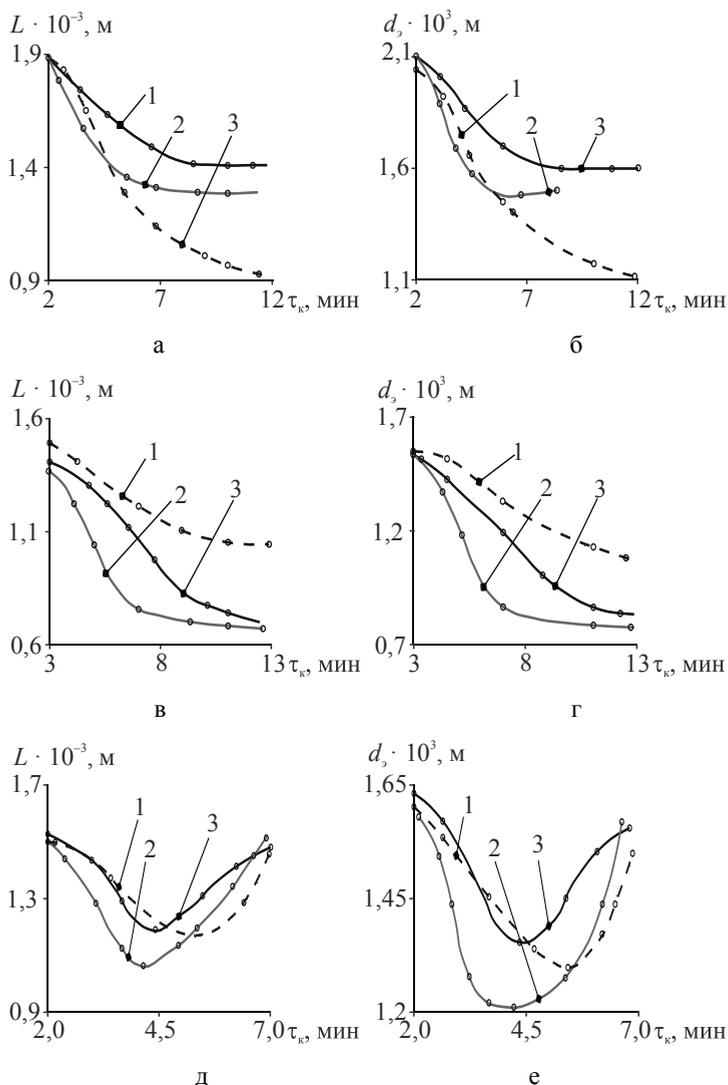


Рис. 2. Линейные размеры частиц фарша в зависимости от продолжительности куттерования и влажности: а, б — говяжьих сарделек — 1 — 0,796; 2 — 0,803; 3 — 0,827; в, г — докторской колбасы — 1 — 0,596; 2 — 0,673; 3 — 0,696; д, е — свиных сарделек — 1 — 0,591; 2 — 0,567; 3 — 0,554

Кривые на рис. 2 дают возможность определить зависимость размеров частиц фарша от влагосодержания и продолжительности кутерирования.

Точка перегиба кривых отвечает $\tau_{кэ}$. При построении зависимости d_s от U_H при $\tau_{кэ}$ экстремумы на кривых указывают на оптимальное влагосодержание фарша. Изменения геометрических параметров частиц большинства фаршей подобны. Исключение составляет фарш с максимальным содержанием жира (больше 30%), размер частиц которого достигает минимального значения при $\tau_{кэ}$, а потом увеличивается за счет образования жира.

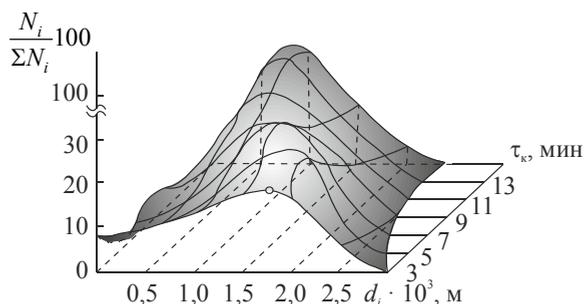


Рис. 3. Количественное содержание частиц фарша докторской колбасы в зависимости от их размеров и продолжительности кутерования

Гистологические исследования дают возможность получить критерий общей оценки степени измельчения. Гистологические срезы мышечных тканей модельно измельченной говядины высшего сорта при разной кратности пропускания ее через волчок показывают, что повышение степени измельчения приводит к исчезновению поперечной сетчатости волокон (рис. 4), которые из клеточной структуры переходят в аморфное состояние.

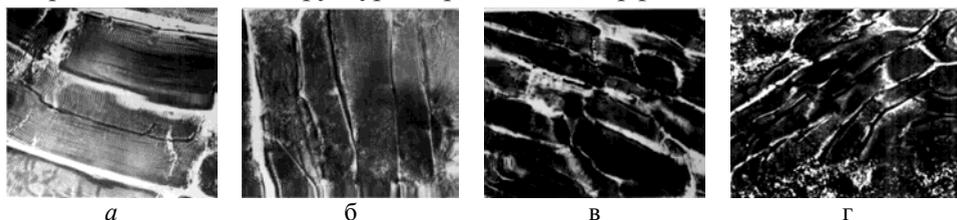


Рис. 4. Гистологические срезы мышечных волокон модельно измельченной говядины высшего сорта при разной кратности измельчения:

а — начальный образец сырья; б — 5-кратное измельчение; в — 10-кратное измельчение; г — 15-кратное измельчение, $\times 4$ — четырехкратное увеличение под микроскопом

При однократном измельчении мяса в поле зрения микроскопа находятся кусочки, которые имеют типичную структуру мяса. После пятикратного измельчения в поле зрения видно частицы мяса и пустоты, потому что фарш рыхлый. После 15-кратного измельчения пустоты исчезают, фарш уплотняется, а частицы трудно отличить одну от одной, хотя отдельные мышечные волокна еще сохраняют свою форму. После 25-кратного измельчения диаметр мышечных волокон еще больше уменьшается. Не остается без изменений и

структура мышечных волокон. Эти изменения зависят от степени измельчения. Форма и пропорции мышечных волокон разные. При однократном измельчении говядины фарш преимущественно состоит из кусочков мышечных волокон. При увеличении кратности измельчения пропорции изменяются, и мышечные волокна переходят в аморфную структуру. Если в исходной структуре мышечная ткань имеет хорошо очерченные и правильно расположенные ядра, то в аморфном состоянии продольные и поперечные границы волокон исчезают.

Однократное измельчение почти не влияет на строение жировых тканей (рис. 5а). При дальнейшем измельчении (рис. 5б) жировые ткани разбиваются, образуя агломераты разных размеров — от размера клетки к капле площадью $25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$. Редко встречаются жировые ткани, которые сохраняют структуру после, например, 25-кратного измельчения.

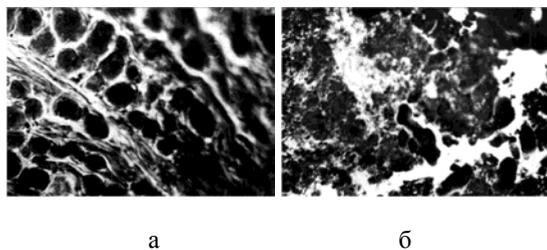


Рис. 5. Гистологические срезы жировой ткани при разной кратности измельчения:
а — однократное; б — 15-кратное $\times 4$ — четырехкратное увеличение под микроскопом

Соединительная ткань лучше всего сохраняет структуру при прохождении через шнековые измельчители (рис. 6). Особенно выразительно очерчены волокна и ядра в начальном образце (рис. 6а). При увеличении кратности измельчения для соединительной ткани (рис. 6б, в) характерное бесструктурное и безъядерное состояние. В отдельных случаях часть ядер сохраняется, но их расположение очень хаотичное.

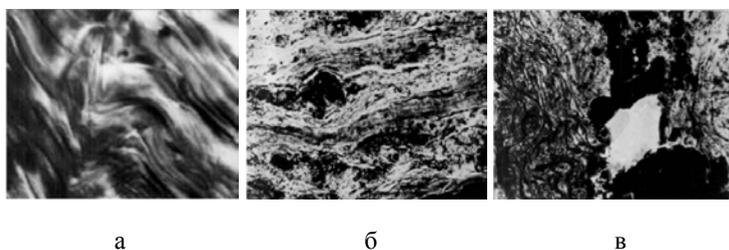


Рис. 6. Микросрезы соединительной ткани при разной кратности измельчения:
а — начальный образец сырья; б — 3-кратное измельчение; в — 15-кратное измельчение
 $\times 4$ — четырехкратное увеличение под микроскопом

Закономерности изменения структуры фарша российских сосисок в процессе его измельчения продолжительностью 1 до 12 мин на куттере БК приведены на рис. 7.

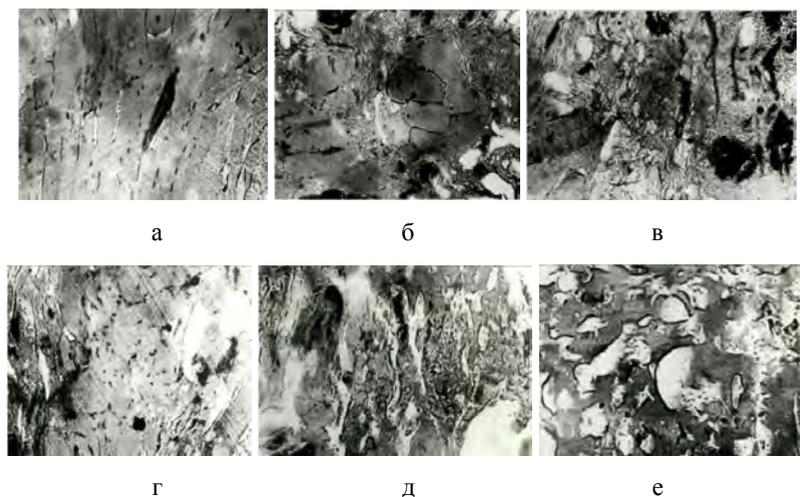


Рис. 7. Гистологические срезы образцов фарша российских сосисок при разной продолжительности измельчения фарша в процессе приготовления:
 а — 1 мин; б — 3 мин; в — 5 мин; г — 6 мин; д — 9 мин; е — 12 мин,
 ×6 — шестикратное увеличение под микроскопом

В начальный период измельчения в течение 1—3 мин уровень СМХ для этого фарша уменьшается. При интенсивном измельчении мышечные волокна уменьшаются в 4—5 раз, а их свободная поверхность резко увеличивается. Добавленная при куттеровании вода или лед не успевают связываться с сырьем и находится в свободном состоянии. Это приводит к уменьшению уровня СМХ фарша. Конгломераты мышечной ткани распадаются на более мелкие частицы. Встречаются незначительные участки, на которых мышечные волокна переходят в аморфное состояние, а фарш насыщается достаточно большими воздушными пузырьками овальной или неправильной формы.

Соединительная ткань, в основном, не разрушается, но максимальные ее размеры в первые 5 мин куттерования уменьшаются. На срезе при $\tau_k = 1$ мин выявлены соединительные элементы, которые достигают размера $0,5 \cdot 3,5$ мм, а при $\tau_k = 3$ мин их максимальный размер составляет только $0,3 \cdot 2,0$ мм.

В первый период измельчения длительностью 3—5 мин величина СМХ фарша увеличивается. Размер соединительной ткани немного изменяется. Размер частиц мышечных волокон уменьшается в 1,5—2 раза. В этом периоде происходят также коллоидно-химические изменения фарша. Влага полностью насыщает мышечные волокна, которые набухают и переходят в бесформенное аморфное состояние. На гистологических срезах можно видеть переход мышечных волокон в аморфное состояние. Мышечные волокна, которые равномерно расположены в основной аморфной массе фарша. Воздушные пузырьки уменьшаются и более равномерно распределены в фарше. Все это обеспечивает укрепление структуры и, соответственно, повышение уровня СМХ фарша. Готовый фарш с экстремальными величинами СМХ после куттерования в течение $\tau_k = 5—6$ мин преимущественно состоит из разрушенной ткани. Мышечные волокна переходят в аморфное состояние

розового цвета, в котором рассредоточены отдельные мышечные волокна и их кусочки, а также соединительная и жировая ткани.

Во втором периоде измельчения (от 6 до 12 мин) уровень СМХ снижается. Мышечные волокна, которые остались, измельчаются и почти полностью переходят в бесформенное аморфное вещество.

Для определения влияния продолжительности измельчения колбасного фарша на его физико-химические свойства исследовали модельный фарш, приготовленный из длинных мышц спины говядины (50%) и свинины (50%). Свинину в следующих исследованиях заменяли шпиком из расчета 10, 20, 50%. Количество воды, добавленной к фаршу, складывало 15—40% (с интервалом 5%). Фарш готовили из размороженного сырья на лабораторном куттере (ЛК).

Для выяснения сущности формирования структуры колбасного фарша были проведены комплексные физико-химические исследования, которые включали определение растворимости белков в растворителях с низкой и высокой ионной силой, водосвязывающей способности и реологических характеристик продукта [8].

Растворимость белков определяли после четырехкратной экстракции. Вначале белки экстрагировали фосфатным буфером с ионной силой $\mu = 0,15$ и рН 7,4, потом фосфатным буфером с ионной силой $\mu = 1,0$ и рН 7,4, перемешивая содержимое мешалкой на протяжении 5 мин.

По мнению авторов работ [8; 10], прочность структуры колбасного фарша определяется, в основном, количеством растворенных белков и их физико-химическими превращениями в процессе технологической обработки, размером и количеством жировых частиц и капель, которые образуются при эмульгировании жира. Известно, что белки под воздействием разных физических и химических реагентов легко изменяют структуру макромолекул, теряя ряд свойств, в частности, растворимость [10]. На рис. 8 приведены результаты измерения растворимости белковых фракций в трех сериях опытов.

Кривые 1, 3, 5, 7 свидетельствуют о том, что процесс механического измельчения заметно влияет на растворимость мышечных белков в солевых растворах. При куттеровании наблюдали два макроскопических эффекта. Вначале увеличивалось выделение растворимых белков (меоплазмы, миофибрил) с клеточных структур до максимального значения, а потом наблюдалось некоторое уменьшение растворимости. Вероятно, на первой стадии процесс выделения мышечных белков преобладает над денатурацией, а на второй — преобладает процесс селективного нагревания. Следствием этих процессов является возникновение или разрушение связей между белковыми частицами или между белками и растворителем. На второй стадии измельчения уменьшается растворимость вследствие нагревания белков с дальнейшей их агрегацией и коагуляцией, которые развиваются тем больше, чем более продолжительное измельчение.

Характер изменения кривых 2, 4, 6, 8 при использовании гомогенизатора РТ-2 (рис. 8) показывает, что с увеличением времени измельчения происходит равномерное уменьшение растворимости белковых фракций, что объясняется локальным перегревом отдельных частиц мяса и денатурацией белков.

Очевидно, такое сверхтонкое измельчение фарша значительно сильнее влияет на молекулярные и надмолекулярные образования.

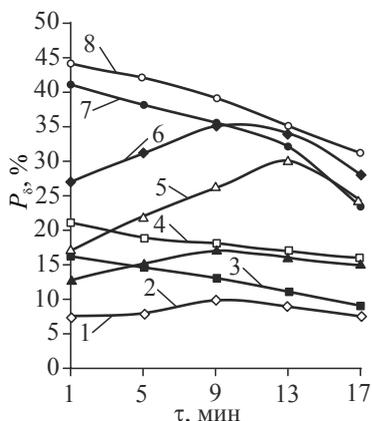


Рис. 8. Трансформация белков, экстрагированных буферными растворами низкой (кривые 1—4) и высокой (кривые 5—8) ионной силы при измельчении фарша:

1, 5 — кривые, которые показывают изменение белков фарша (50 % говядины, 30 % свинины, 20 % шпика с добавлением 20 % воды) при его измельчении на куттере; 2, 6 — белков того же фарша, но с дополнительным измельчением на гомогенизаторе РТ — 2; 3, 7 — кривые, иллюстрирующие изменение белков фарша (100 % говядины с добавлением 20% воды) при его измельчении на куттере; 4, 8 — кривые, иллюстрирующие изменение белков того же фарша, но с дополнительным измельчением на РТ-2

Влагосвязывающую способность (ВСС) как объективную силу связывания воды с фаршем устанавливали по отношению неотделяемой при прессовании воды к сухому остатку. Изменения ПНС, ПВ, ВС фарша в зависимости от продолжительности измельчения и влагосодержания приведены на рис. 9.

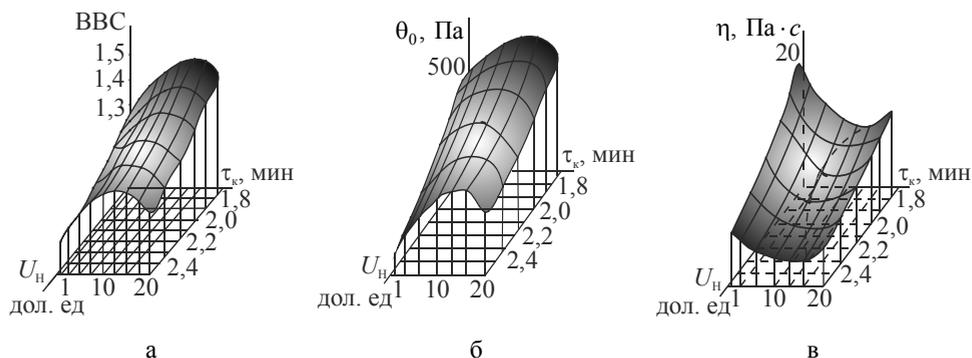


Рис. 9. Изменение влагосвязывающей способности и реологических свойств фарша в зависимости от влагосодержания и продолжительности куттерования:

а — влагосвязывающей способности; б — предельного напряжения сдвига разрушенной структуры; в — пластической вязкости

Очевидно (рис. 9), что ВСС и ПНС во время измельчения увеличиваются, достигают максимального значения, а потом уменьшаются. Пластичная вязкость (ПВ) сначала снижается к наименьшей величине, а потом увеличи-

вается. Таким образом, аналогия изменения реологических свойств, водосвязывающей способности и растворимости белков позволяет утверждать, что прочность структуры фарша зависит от количества белков, которые могут переходить из клеточных структур в непрерывную фазу.

Прочность структурной решетки фарша зависит от количества полярных групп, в первую очередь кислых и щелочных, которые расположены на поверхности белковых молекул в непрерывной фазе. Чем больше этих групп на поверхности белков, тем активнее молекулы белка взаимодействуют, связывая лучше воду и жир, тем более прочная структурная решетка фарша, меньше жидкости выделяется при его нагревании.

Анализ полученных результатов показывает (рис. 1), что величины ПНС, определенные на разных приборах, имеют почти одинаковые значения. Исключение составляет фарш с большой влагоудерживающей способностью. Это связано с тем, что при измерении ПНС фарша жидкой консистенции глубина погружения конуса пластометра увеличивалась. В результате этого значения ПНС вышли несколько завышенными. При учете поправки на краевые эффекты значения ПНС, определенные на разных приборах, совпали. В противоположность изменению ПНС величина ПВ в первый период куттерования снижалась, достигая минимального значения, а во втором — повышалась (рис. 1б). Подобно ПНС, липкость фарша (P_0 , Па) во время куттерования повысилась и, достигнув максимальной величины, уменьшилась.

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать однозначный вывод, что все исследованные параметры (ПНС, ПВ, В, P_0) имеют экстремумы, которые характерны для определенной продолжительности измельчения. В конце первого периода куттерования структура фарша при истинном влагосодержании наиболее однородна и большинство его показателей достигают экстремальных значений. Готовые колбасные изделия из этого фарша имеют наилучшее качество за консистенции, является экстремальной продолжительностью измельчения ($\tau_{КЭ}$). Однако определенное по адгезионным свойствам время $\tau_{КЭ}$ несколько занижено по сравнению со сдвиговыми и составляет 85—95% от последних, что подтверждается исследованиями авторов работы [4; 6].

Проведенные гистологические исследования фарша (рис. 4–7) объясняют причину изменения СМХ в процессе его измельчения. Степень его измельчения характеризуется эффективным диаметром частиц (d_3). Кривые изменения d_3 от τ_K имеют точку перегиба, расположение которой совпадает с $\tau_{КЭ}$, определенным с помощью СМХ.

Анализ результатов исследований трансформации белков, экстрагированных буферными растворами низкой и высокой ионной силы при измельчении фарша подтверждают (рис. 9), что максимальное количество белков, способных переходить в непрерывную фазу фарша, зависит и от продолжительности измельчения и от состава сырья. Действительно, максимальное количество белков из говяжьего фарша переходит из клеточных структур в непрерывную фазу на 3 мин раньше, чем из многокомпонентного фарша, который состоит из 50% говядины, 30% свинины и 20% шпика, что хорошо согласуется с данными изменения водосвязывающей способности, размерами частиц сырья и реологическими характеристиками.

Значительно влияет на структуру фарша вода. Исследования изменения растворимости белковых фракций фарша (50% говядины, 30% свинины и 20% шпика) при разном влагосодержании показали, что максимальное количество белков, которые перешли из клеточных структур в непрерывную фазу (белков меоплазмы 81%, или белков миофибрилл 78% от их общего содержания) была у фарша с влагосодержанием равным 2,0.

Очевидно (рис. 8), что количество белков, экстрагированных растворителем с высокой ионной силой, приблизительно в 3 раза больше, чем белков, которые экстрагированы фосфатным буфером. Можно допустить, что прочность фарша и его водосвязывающая способность зависят от состояния белков, главным образом миофибриллярных, их способности переходить в раствор и образовывать коагуляционную структуру.

Исследования изменения влагосвязывающей способности и реологических свойств фарша в зависимости от влагосодержания и продолжительности куттерования (рис. 9) показали, что максимальное количество кислых, щелочных и сульфидрильных групп, которые реагируют с парахлормеркурбензоатом, наблюдается при экстремальной продолжительности измельчения и критическом влагосодержании (для этого фарша 2,0). Следовательно, при таких условиях формируется наиболее прочная структурная решетка колбасного фарша. Белки меоплазмы эмульгируют жир и способствуют образованию наиболее стойкой эмульсии [2; 11; 12]. Приведенные данные свидетельствуют, что характер изменений ПНС, ВСС и количества белков, которые переходят в жидкую фазу, аналогичный. Поэтому эти показатели могут быть использованы для объективной характеристики фарша и измерять их нужно с использованием специальных приборов, которые будут описаны в следующих публикациях.

Выводы

1. Предельное напряжение сдвига, пластическая и эффективная вязкости и липкость дисперсных фаршевых систем различного состава имеют экстремумы, которые характерны для определенной продолжительности измельчения. Продолжение куттерования, при котором структура фарша наиболее однородна и названные показатели при истинном влагосодержании экстремальные, будет оптимальной и обеспечивает наилучшее качество фарша для варенных колбасных изделий.

2. Прочная структура, оптимальное влагосодержание и наибольшая водосвязывающая способность фарша, что обеспечивает наибольший выход колбасных изделий, достигается при экстремальной продолжительности измельчения, которая зависит от резательной способности и производительности измельчающей машины.

3. Оптимальное время измельчения для докторской колбасы составляет 13 мин при влажности $W_H = 0,673$ и зависит от химического состава сырья, рецептуры колбасных изделий, вида измельчительного оборудования.

4. Гистологические исследования объяснили причину изменения структурно-механических характеристик фаршей в процессе измельчения.

5. Результаты исследований подтвердили, что максимальное количество белков, способных переходить в непрерывную фазу фарша, зависит от продолжительности измельчения и состава сырья.

6. Приведенные данные убеждают, что качественные характеристики фарша могут быть основанием для создания приборов, способных автоматически контролировать СМХ и, соответственно, качество в процессе фаршеприготовления для автоматизации производственного процесса.

Литература

1. Сухенко В.Ю. Оптимізація процесу отримання дрібнодисперсного фаршу для сирокочених ковбас [Текст] / В.Ю. Сухенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2012. — № 43. — С. 95—100.

2. Сухенко В.Ю. Ступінь подрібнення та його властивості на якість в'яленої та напівкопченої продукції [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — Харків, 2013. — №5/10(65). — С. 40—42.

3. Нестеренко А.А. Прогнозирование реологических характеристик колбас [Текст] / А.А. Нестеренко, Н.В. Кенийз, Д.К. Нагарокова // Науч. журн. КубГАУ. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — № 03(107). С. 289—301. — IDA: 1071503019. — Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/19.pdf>

4. Кенийз Н.В. Технология производства сырокопченых колбас с применением ускорителей [Текст] / Н.В. Кенийз, А.А. Нестеренко, Д.К. Нагарокова // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — № 01(105). С. 581—608.

5. Ahmed J. Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods [Text] / J. Ahmed, H. Ramaswamy // Journal of food engineering. — 2007. — Т. 78. — №. 4. — С. 1274—1284.

6. Прогнозирование качества мясных изделий методами математического программирования [Текст] / А.Б. Лисицын, М.А. Никитина, А.Н. Захаров и др. // Теория и практика переработки мяса. 2016; 1(1):75—90. doi:10.21323/2114-441x-2016-1-75-90.

7. Нестеренко А.А. Использование комплексных смесей для производства колбас / А.А. Нестеренко, Н.В. Кенийз, Д.С. Шхалахов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар : КубГАУ, 2014. — №08(102). — С. 1127—1148. — IDA [article ID]: 1021408072. — Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/72.pdf>, 1,375 у.п.л.

8. Nesterenko A.A. Perfectionnement de la technologie des saucissons fumes [Text] / A.A. Nesterenko, N.V. Kenijz // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 6(11—12). — P. 62—66.

9. Wirth F. Herstellung haltbarer Dosenwurstchen. I. Verbindung hitzestabiler Wursthohen [Text] / F. Wirth. — Die Fleischwirtschaft, 1973, № 5, P. 661—673.

10. Brush M. Sensory quality of meat and meat products [Text] / M. Brush // Food Sci and Technol. Today. — 1989. — № 3. — P. 247—261.

11. Хлебников В.В. Зависимость растворимости белков и реологических свойств фарша от продолжительности куттерования [Текст] / В.В. Хлебников, В.А. Махонина, А.С. Симоненко. — Мясная Индустрия СССР. — 1975— № 3. — С. 33—35.

12. Chan J.T. Functional and rheological properties of proteins in frozen turkey breast meat with different ultimate pH [Text] / J. Chan, D. Omana, M. Betti // Poult Sci. 2011 May; 90(5):1112-23. doi: 10.3382/ps.2010-01185.

13. Забалуева Ю.Ю. Методы исследования мяса и мясных продуктов [Лабораторный практикум] / Ю.Ю. Забалуева, С.Н. Павлова, С. Ю. Лескова. — Улан-Удэ, Восточно-сибирск. гос. техн. ун-тет, 2007. — 78 с.