

УДК 664.694:532.135

Изучение вязкостных характеристик водных дисперсий макаронных изделий методом RVA

¹ Московский государственный университет пищевых производств

Т. А. Финогенова¹, И. А. Тарасова¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Финогенова Татьяна Александровна
Адрес: 125080, г. Москва,
Волоколамское ш., 11
E-mail: petryaninata@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Финогенова Т. А., & Тарасова И. А.
(2022). Изучение вязкостных характеристик водных дисперсий макаронных изделий методом RVA. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 67-76.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.281>

ПОСТУПИЛА: 07.02.2022

ПРИНЯТА: 23.04.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. При создании совершенных технологических процессов, позволяющих получить готовый продукт высокого качества, необходимо практически в каждом конкретном случае изучать целый комплекс физико-механических свойств. Эти свойства характеризуют поведение пищевых масс под действием механических нагрузок со стороны рабочих органов машин. Большое значение в пищевой промышленности имеет объективная оценка качества пищевых продуктов и полуфабрикатов. В связи с этим создание и применение методов и приборов для объективного контроля качества обеспечивает не только замену органолептического контроля, но и создает предпосылки для разработки автоматических систем управления технологическими процессами пищевых производств.

Цель. Исследование водных дисперсий макаронных изделий, хранящихся при различных температурных режимах, для оценки степени изменения углеводного комплекса.

Материалы и методы. Исследования проводились методом RVA на приборе Rapid Visco Analyzer TecMaster. Данная установка представляет собой ротационный вискозиметр с возможностью регулирования температуры и скорости перемешивания, а также проведения анализа крахмалосодержащего сырья и пищевых продуктов в соответствии со стандартными тестовыми профилями. В качестве образцов исследования были выбраны макаронные изделия группы А высшего сорта «Перья» производителя ООО «МакПром», хранящиеся в течение 12 месяцев при различных температурах. Хранение макаронных изделий при различных температурах проводится в рамках научно-исследовательской работы по изучению сроков и условий хранения продукции, предназначенной для длительного хранения.

Результаты. Вязкостные характеристики анализировались у термически обработанных и необработанных образцов. Прибор RVA-TecMaster позволяет измерить такие показатели, как максимальное значение вязкости в процессе нагрева (peak viscosity); минимальное значение вязкости после пиковой вязкости (trough); разницу между значениями максимальной и минимальной вязкости (breakdown); конечную величину вязкости (final viscosity); разницу между значениями конечной и минимальной вязкости (setback); время образования крахмального клейстера максимальной вязкости (peak time); а также получить зависимости вязкости от температуры и времени перемешивания.

Выводы. Полученные данные показывают изменение углеводного комплекса макаронных изделий под воздействием температуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

макаронные изделия, реология, вязкость, оценка углеводного состава, крахмал, метод RVA

Studying the Viscosity Characteristics of Water Dispersions of Pasta Products by the RVA Method

¹ Moscow State University food production

Tatyana A. Finogenova¹, Irina A. Tarasova¹

CORRESPONDENCE:

Tatyana A. Finogenova

11, Volokolamskoe highway, 125080,
Russian Federation

E-mail: petryaninata@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Finogenova T. A., & Tarasova I. A. (2022). Studying the viscosity characteristics of water dispersions of pasta products by the RVA method. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 67-76. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.281>

RECEIVED: 07.02.2022

ACCEPTED: 23.04.2022

PUBLISHED: 30.06.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST:

none declared.



ABSTRACT

Background. When creating perfect technological processes that make it possible to obtain a high-quality finished product, it is necessary in almost every specific case to study a whole range of physical and mechanical properties. These properties characterize the behavior of food masses under the action of mechanical loads from the working bodies of machines. Of great importance in the food industry is an objective assessment of the quality of food products and semi-finished products. In this regard, the creation and application of methods and instruments for objective quality control provides not only a replacement for organoleptic control, but also creates the prerequisites for the development of automatic control systems for technological processes in food production. The article discusses the rheological properties of pasta, namely the viscosity characteristics.

Purpose. To study aqueous dispersions of pasta stored at different temperatures in order to assess the degree of change in the carbohydrate complex.

Materials and Methods. The studies were carried out by the RVA method on the Rapid Visco Analyzer TecMaster. This unit is a rotational viscometer with the ability to control the temperature and speed of mixing, as well as the analysis of starch-containing raw materials and food products in accordance with standard test profiles. As samples of the study, pasta of group A of the highest grade "Perya" of the manufacturer LLC "MakProm" was selected, stored for 12 months at various temperatures. Storage of pasta at different temperatures is carried out as part of research work to study the terms and conditions of storage of products intended for long-term storage.

Results. Viscosity characteristics were analyzed for heat-treated and untreated samples. The RVA-TecMaster device allows you to measure such indicators as the maximum value of viscosity during the heating process (peak viscosity); minimum value of viscosity after peak viscosity (trough); difference between maximum and minimum viscosity values (breakdown); the final value of viscosity (final viscosity); difference between final and minimum viscosity values (setback); the time of formation of a starch paste of maximum viscosity (peak time); as well as to obtain dependences of viscosity on temperature and mixing time.

Conclusion. The data obtained show the change in the carbohydrate complex of pasta under the influence of temperature.

KEYWORDS

pasta, rheology, viscosity, assessment of carbohydrate composition, starch, RVA method

ВВЕДЕНИЕ

Многие технологические процессы пищевой промышленности связаны с механическим воздействием на продукт, находящийся в вязкопластичном состоянии. Такие же изменения испытывает макаронное тесто в процессе выпрессовывания, перемещении вдоль шнека (Wood, 2009). Во всех перечисленных случаях выбор технологического оборудования, определение режима его работы обуславливается физико-механическими и, в первую очередь, реологическими свойствами перерабатываемых или транспортируемых пищевых масс, полуфабрикатов и готовых изделий¹. В настоящее время в пищевой промышленности имеется довольно разнообразный арсенал технических средств для исследования физико-механических свойств пищевых материалов на различной стадии приготовления: от сырья до готового продукта². Для изучения этих свойств служат методы физико-химической механики пищевых продуктов, в том числе метод RVA. Данный метод применим и в отношении макаронных изделий.

Макаронные изделия входят в обязательный перечень социально значимых пищевых продуктов. Они обладают высокой пищевой ценностью, сравнительно низкой стоимостью, способны длительно храниться, их легко и просто готовить (Тарасова & Петрянина, 2020а; Тарасова & Петрянина, 2020б; Хатко & Колодина, 2019). Это пищевой продукт, изготавливаемый из зерновых и незерновых культур и продуктов их переработки с использованием и без дополнительного сырья, с добавлением воды смешиванием, различными способами формования и высушивания. Макаронные изделия в Российской Федерации и других странах (Армения, Беларусь, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан) вырабатывают согласно требованиям ГОСТ 31743³ (Тарасова и др., 2018). В рамках научно-исследовательской работы данный продукт хранится при различных факторах окружающей среды с целью

подбора температурного режима для длительного хранения и наилучшего сохранения потребительских характеристик изделий.

Макаронные изделия хранят в неотапливаемых и отапливаемых складах в различных федеральных округах России. Согласно ГОСТ 31743⁴ допускается хранить макаронные изделия при температуре не более +35 °С.

Проведение исследований при повышенных температурах позволяет ускорить процесс «старения» макаронных изделий в результате активации ферментов и интенсификации скорости протекания нежелательных биохимических и физико-химических процессов. Для установления научно-обоснованного температурного режима хранения макаронных изделий в различных климатических областях и понимания изменения углеводного комплекса были исследованы образцы продукции при различных, в том числе повышенных температурах.

Так как качество макаронных изделий напрямую зависит от свойств макаронного теста, необходимо рассмотреть его характеристику. Макаронное тесто отличается от других тестовых масс по своему составу и способу приготовления. Основными его компонентами являются мука и вода (Агапкин, 2019). При замесе макаронного теста добавляют примерно половину воды, которую могут поглотить основные химические компоненты муки — крахмал и белки (Бредихин и др., 2021; Berat & Nermin, 2020). Макаронное тесто после замеса и доработки представляет собой связанное пластичное тесто (Чернов и др., 2019). Уплотненное макаронное тесто, поступающее к матрице, является упруго-пластичновязким материалом^{5,6} (Корячкин и др., 2020; Романчиков, 2018).

Метод RVA можно применять для оценки углеводного состава, а именно для анализа процесса клейстеризации нативного и модифицированного крахмала; определения активности амилаз и сте-

¹ Волошин, Е. В. (2019). *Реология и реометрия пищевых масс: Учебное пособие*. Оренбург: ОГУ.

² Березовский, Ю. М., Бредихин, С. А., Андреев, В. Н., & Мартыха А. Н. (2021). *Инженерная реология. Физико-механические свойства и методы обработки пищевого сырья: Учебное пособие для вузов*. СПб.: Лань.

³ ГОСТ 31743-2017. (2019). *Изделия макаронные. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 31743-2017. (2017). *Изделия макаронные. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁵ Богер, В. Ю., & Зуева, Н. Н. (2017). *Технология производства макаронных изделий: Учебное пособие*. Кемерово: КеМГУ.

⁶ Кобыляцкий, П. С. (2019). *Физико-химические основы производства пищевых продуктов: Учебное пособие*. Донской ГАУ.

пени повреждения крахмальных зерен (Тарасова & Петрянина, 2020a). Крахмал является основным полисахаридом в муке (Гольдштейн и др., 2018; Папахин & Бородина, 2019). В процессе изготовления макаронных изделий крахмальные зерна при холодной экструзии практически не разрушаются и остаются в нативном состоянии. Данное явление можно объяснить более низким температурным режимом экструзионного процесса, нежели температура желатинизации крахмала. При набухании крахмала происходит проникновение диссоциированных молекул воды внутрь полисахарида, разрушение водородных связей при температуре от 0 до 50 °C (Тарасенко и др., 2017). Рассмотрим, что происходит с крахмалом в технологическом процессе изготовления макаронных изделий. В самом начале, при замесе макаронного теста крахмал начинает частично набухать, связывать гидрофильные группы молекул воды (Черных и др., 2017). Частичное набухание объясняется низкой влажностью теста (28–32 %). В процессе прессования происходит нагрев теста, денатурация белков, повреждение крахмальных оболочек (Груданов и др., 2021). При сушке крахмальные зерна стабилизируются. Изменение скачка вязкости в процессе постепенного увеличения крахмального зерна не наблюдается. Пшеничный крахмал начинает желатинизоваться при температуре 60–62 °C, при этом происходит разрушение крахмальных гранул, в результате данного процесса изменяется вязкость (Куликов и др., 2018). Эти изменения фиксирует метод RVA. Кроме того, этот метод позволяет оценить уровень повреждённого крахмала, который образуется при холодной экструзии, и определяет качество макаронных изделий⁷.

Как видно из приведенных литературных данных не было исследований, посвященных детальному изучению изменения углеводного комплекса макаронных изделий, хранящихся при различных температурных режимах.

Целью данной статьи являлось исследование водных дисперсий макаронных изделий, хранящихся при различных температурных режимах, для оценки степени изменения углеводного комплекса.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. изучение поведения крахмала в технологическом процессе изготовления макаронных изделий;
2. обоснование выбора метода анализа реологических свойств продукции;
3. анализ вискозиметрической вязкости исследуемых образцов и расчет реологических показателей;
4. оценка влияния температуры хранения на состояние углеводного комплекса макаронных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты

Проведены исследования вязкостных характеристик водных дисперсий макаронных изделий до и после варки. В качестве образцов были выбраны макаронные изделия группы А, высшего сорта «Перья», производителя ООО «МакПром», хранящиеся в течение 12 месяцев при различных температурах: образец № 1 — при температуре 20 ± 2 °C; образец № 2 — при температуре 30 ± 2 °C; образец № 3 — при температуре 40 ± 2 °C.

Диапазон температур хранения образцов был задан с учетом стандартной температуры хранения, температурного режима холодного замеса макаронных изделий (30–40 °C), а также температуры денатурации белка. Образцы хранились в суховоздушных термостатах марки ТС-1/80 СПУ с диапазоном рабочих температур от + 5 до + 60 °C.

Методы

Исследования проводились методом RVA. Данный метод позволяет определять у продуктов на основе муки такие характеристики, как изменения вязкости, происходящие при нагревании и охлаждении крахмала в воде, минимальную энергию, необходимую для приготовления и обработки тестируемого продукта, а также соответствующие условия для создания необходимой консистенции и загущающего действия (Bourne, 2002; Smith, 2017).

⁷ Crosbie, G. B., & Ross, A. S. (2007). *The RVA Handbook*. AACCI International.

Отбор образцов осуществляли по стандартной схеме согласно ГОСТ 31964⁸. Сухие макароны измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1М. Измельчённые изделия просеивали через сито № 224 мкм для получения однородных гомогенизированных образцов по размеру частиц.

Для оценки свойств сваренных макаронных изделий 30 г макаронных изделий варили в 750 мл воды в течение 15 мин, затем измельчали.

Оборудование и инструменты

RVA-TecMaster — вискозиметр с возможностью регулирования температуры и скорости перемешивания, предназначенный для анализа крахмалосодержащего сырья и пищевых продуктов в соответствии со стандартными тестовыми профилями.

Определение вискозиметрических характеристик образцов макаронных изделий до и после приготовления проводили на ротационном вискозиметре Rapid Visco Analyzer TecMaster⁹. Анализатор Rapid Visco Analyzer состоит из мешалки, прикрепленной к двигателю, вал которого вращается с постоянной скоростью, а ток (энергия), необходимый для его привода, непрерывно контролируется микропроцессором. Приготовление исследуемых систем (образец + вода) осуществляли в алюминиевых контейнерах.

Процедура

Алюминиевый контейнер для проб наполняли определенной массой порошкообразного продукта и воды и помещали вокруг лопасти, после чего запускали двигатель.

Металлический проводник при высокой температуре (>90 °C) быстро нагревает смесь до тех пор, пока образец не достигнет температуры клейстеризации крахмала. В зависимости от продукта проверка может занять от 2 до 15 минут.

Контейнер помещали в прибор и перемешивали в течение первых 10 секунд при скорости вращения мешалки 960 rpm. Вес (3,5 г образца + 25 г воды) помещенных в контейнер исследуемых систем постоянен во всех экспериментах. Исследования вискозиметрической вязкости проводили при постоянной скорости перемешивания (160 rpm) в режиме нагрев — инкубация — охлаждение, согласно заданному температурному профилю — 60 °C — 95 °C — 50 °C. Расчет вязкости при различных температурах проводили из RVA кривой (Newport scientific, applications manual for the rapid visco analyser using thermocline, 1998). Вязкость образцов определяется как функция от температуры и времени перемешивания (Рисунок 1).

Анализ данных

Автоматическая программа прибора RVA-TecMaster рассчитывает следующие показатели¹⁰: максимальное значение вязкости в процессе нагрева; минимальное значение вязкости после пиковой вязкости; разница между значениями максимальной и минимальной вязкости; конечная величина вязкости; разница между значениями конечной и минимальной вязкости; время образования крахмального клейстера максимальной вязкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований получены зависимости вязкости крахмального клейстера от температуры и времени перемешивания, приведенные на Рисунке 1.

Анализ кривых показывает, что все дисперсии содержат кристаллические структуры, о чём свидетельствует ярко выраженный вискозиметрический пик. Первоначально происходит холодное набухание, предположительно возникающее из-за поврежденных гранул крахмала, при последующем нагревании достигается максимальная вязкость растворов (peak viscosity). В целом, дальнейший характер кривой соответствует аналогичному поведению крахмалосодержащих материалов (Austin

⁸ ГОСТ 31964-2012 (2014). *Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества*. М.: Стандартинформ.

⁹ Crosbie, G. B., & Ross, A. S. (2007). *The RVA Handbook*. AACC International.

¹⁰ Crosbie, G. B., & Ross, A. S. (2007). *The RVA Handbook*. AACC International.

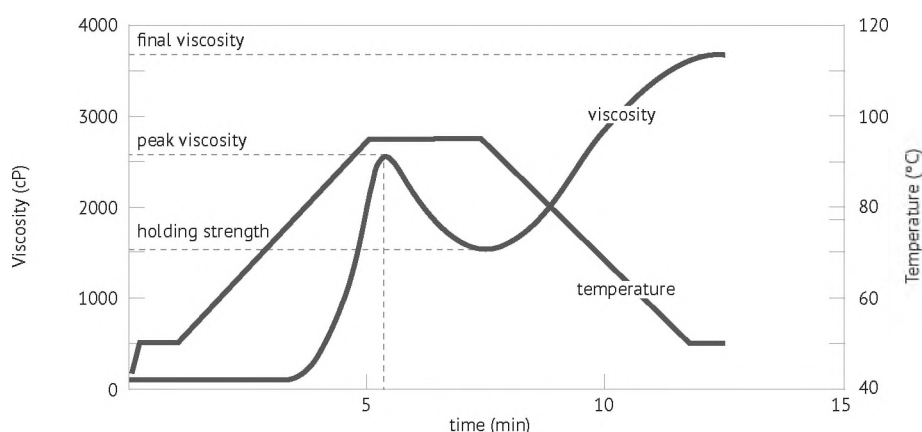


Рисунок 1

Типичная визкозиметрическая кривая дисперсий крахмалсодержащего сырья и температурный профиль

Таблица 1

Вязкостные характеристики водных дисперсий образцов сухих макаронных изделий, полученных в режиме нагрев–охлаждение

Номер образцов	Максимальное значение вязкости в процессе нагрева, сП	Минимальное значение вязкости после пиковой вязкости, сП	Разница между значениями максимальной и минимальной вязкости, сП	Конечная величина вязкости, сП	Разница между значениями конечной и минимальной вязкости, сП	Время образования крахмального клейстера максимальной вязкости, мин.
Образец № 1	1432	945	487	2268	1323	8,20
Образец № 2	1357	1012	345	2387	1375	8,53
Образец № 3	1400	1000	400	2372	1372	8,27

& Jackson, 2013). Надо отметить, что в макаронных изделиях крахмальные гранулы удерживаются более жестко в белковой матрице, и хотя эта матрица не предотвращает гидратацию и желатинизацию, она предотвращает разрушение гранул, поэтому в образцах макаронных изделий после приготовления наблюдается визкозиметрический пик¹¹. В процессе нарастания вязкости крахмальных суспензий происходит пространственное изменение крахмального зерна, образование внутренних полостей за счет ослабления и разрыва водородных связей между крахмальными цепями. Данный процесс приводит к увеличению крахмального зерна, направленному разрушению гликозидных и других валентных связей с образованием новых карбонильных групп, возникновению внутри- и межмолекулярных связей (Халиков & Нигаматуллина, 2015; Naumenko & Kalinina, 2016).

Исследуемые данные по вязкостным характеристикам водных дисперсий образцов макаронных изделий до и после варки приведены в Таблицах 1, 2.

Как видно из Таблиц 1 и 2, образец № 3, хранившийся при температуре 40 °С, имеет наибольшие значения пиковой и конечной вязкости. При этом прочность образуемого им крахмального геля была также наибольшей (значения breakdown). Предполагается, что в данном образце крахмальные зерна имеют наибольшую удельную поверхность, в нем наиболее полно протекают процессы набухания и клейстеризации. В результате разрушения целостности крахмальных гранул в крахмальной суспензии повышается содержание амилозы (Халиков & Нигаматуллина, 2015; Naumenko & Kalinina, 2016). Таким образом, можно предположить наличие наиболее сильных прочностных характеристик у данного образца. В процессе хранения образцов макаронных изделий при повышенных температурах (30 ± 2 °С; 40 ± 2 °С) постепенно происходит

¹¹ Crosbie, G. B., & Ross, A. S. (2007). *The RVA Handbook*. AACCI International.

Таблица 2

Вязкостные характеристики водных дисперсий образцов сваренных макаронных изделий, полученных в режиме нагрев–охлаждение

Номер образцов	Максимальное значение вязкости в процессе нагрева, сП	Минимальное значение вязкости после пиковой вязкости, сП	Разница между значениями максимальной и минимальной вязкости, сП	Конечная величина вязкости, сП	Разница между значениями конечной и минимальной вязкости, сП	Время образования крахмального клейстера максимальной вязкости, мин.
Образец № 1	327	229	98	454	225	8,00
Образец № 2	344	260	84	505	245	8,07
Образец № 3	432	354	78	695	341	8,33

снижение показателя влажности до достижения равновесного значения (Гурьева и др., 2021). Происходят структурные изменения за счет диссоциации молекул воды с поверхности образцов. Наименьшие изменения вязкостных характеристик зафиксированы у образца № 1, хранившегося при температуре +20 °С, что говорит о стабильности углеводного комплекса. Достоверность полученных результатов, составляющая $\pm 97\%$, подтверждена физико-химическими исследованиями данных образцов.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что повышенные температуры хранения приводят к дестабилизации углеводного комплекса макаронных изделий. Предполагается, что повышение температуры снижает водопоглотительную способность и происходит ретроградация крахмала. При варке макаронных изделий с низкими значениями влажности требуется больше времени для смачивания поверхности образцов.

Полученные результаты находят подтверждение в исследовании Гурьевой и др. (2021), свидетельствующем о том, что интенсивность нежелательных процессов в макаронных изделиях увеличивается при повышении температуры. В ходе исследования вязкостных характеристик образцов, хранящихся при различных температурных режимах, выявлено, что стандартная температура хранения незначительно влияет на структуру крахмальных зерен, таким образом, при поддержании в складских помещениях температурного режима на уровне +20 — +25 °С будет происходить наименьшее «старение» углеводов. Для длительного хранения макаронных изделий рекомендуется поддерживать температуру хранения на уровне +20 — +25 °С и относитель-

ную влажность воздуха не более 70%. Незначительное отличие в вышеупомянутых исследованиях заключается в рекомендуемом температурном режиме: не более 18 °С (Гурьева и др., 2021), что связано с разными условиями и целями проведения эксперимента. Также в настоящем исследовании не анализировались образцы изделий, хранящихся при более низких температурах, как в эксперименте Гурьевой и др. (2021).

ВЫВОДЫ

Таким образом, цель данной статьи, заключающаяся в исследовании водных дисперсий макаронных изделий, хранящихся при различных температурах, для оценки степени изменения углеводного комплекса, была достигнута. RVA является универсальным инструментом для измерения реологических показателей качества макаронных изделий; позволяет сравнивать углеводный комплекс образцов, применим для оценки сырья, из которого изготовлены готовые изделия, и правильности технологии производства. При помощи данного метода исследовано влияние температурных режимов хранения на реологические свойства макаронных изделий и выбран образец, наиболее подходящий для длительного хранения. Для макаронной промышленности метод RVA может быть использован при подборе температурного режима сушки.

ЛИТЕРАТУРА

- Агапкин, А. М. (2019). Макароны изделия: Классификация, технология производства, оценка качества. *Товаровед продовольственных товаров*, 3, 14–20.
- Бредихин, С. А., Мартеха, А. Н., & Каверина, Ю. Е. (2021). Исследование структурно-механических свойств макаронного теста для аддитивного производства. *Научный журнал Национального исследовательского университета ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств*, 4, 12–19. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2021-14-4-12-19>
- Гольдштейн, В. Г., Куликов, Д. С., & Страхова, С. А. (2018). Перспективы глубокой переработки зерна пшеницы. *Пищевая промышленность*, 7, 14–19.
- Груданов, В. Я., Торган, А. Б., Росляков, Ю. Ф., Литвяк, В. В., Хондакова, С. Н., & Янова, М. А. (2021). Совершенствование процесса прессования макаронного теста в колодцах матрицы с использованием винтовых вставок. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 4, 179–187. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-179-187>
- Гурьева, К. Б., Хаба, Н. А., Тарасова, Е. А., & Тарасова, И. А. (2021). Изменение качества хлебопродуктов при хранении под влиянием температуры. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*, 16, 44–55.
- Корячкин, В. П., Гончаровский, Д. А., & Корячкина, С. Я. (2020). Влияние порошков из нативной и бланшированной моркови на реологические характеристики макаронного теста. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 2, 10–14. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-61-2-10-14>
- Куликов, Д. С., Гольдштейн, В. Г., & Страхова, С. А. (2018). Технология производства клейковины и крахмала с учетом влияния технологических параметров. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 3, 172–175.
- Папахин, А. А., & Бородин, З. М. (2019). О свойствах ферментативно-модифицированного пористого кукурузного крахмала. *Пищевая промышленность*, 4, 78–79. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10039>
- Романчиков, С. А. (2018). Технология интенсификации производства макаронных изделий с использованием ультразвукового воздействия — инфракрасного излучения. *Техника и технология пищевых производств*, 3, 96–104. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-96-104>
- Тарасенко, С. С., Федотов, В. А., & Гладников, Д. В. (2017). Зависимость реологических свойств теста от дисперсности промежуточных продуктов макаронного помола пшеницы. *Хлебопродукты*, 6, 53–55.
- Тарасова, И. А., Петрянина, Т. А., & Белецкий, С. Л. (2018). Изучение влияния сырья на формирование качества макаронных изделий. *Товаровед продовольственных товаров*, 11, 47–51.
- Тарасова, И. А., & Петрянина, Т. А. (2020а). Изучение конъюнктуры рынка и ассортимента макаронных изделий, реализуемых в торговой сети города Москвы. *Товаровед продовольственных товаров*, 12, 21–25. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2012-04>
- Тарасова, И. А., & Петрянина, Т. А. (2020б). Изучение углеводного комплекса макаронных изделий методом RVA. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*, 13, 233–237.
- Халиков, Р. М., & Нигаматуллина, Г. Б. (2015). Трансформации молекул амилозы и амилопектина при технологической переработке крахмальных гранул растительного сырья в пищевой индустрии. *Nauka-Rastudent.ru*, 1, 51–54.
- Хатко, З. Н., & Колодина, Е. М. (2019). Анализ потребления злаков, хлебобулочных, макаронных изделий и картофеля различными группами населения. *Новые технологии*, 3, 99–112. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10309>
- Чернов, М. Е., Филинская, Ю. А., & Стригулина, Е. В. (2019). Реологические свойства макаронного теста с добавлением кукурузной муки. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 1–2, 36–37.
- Черных, В. Я., Сарбашев, К. А., & Артемьев, С. Ю. (2017). Теоретические основы процесса смешивания рецептурных компонентов при замесе макаронного теста. *Хлебопродукты*, 11, 44–47.
- Austin, D. L., & Jackson, D. S. (2013). Starch pasting and textural attributes of elbow macaroni as impacted by dough moisture, dough mixing time, and macaroni cooking time. *Cereal Chemistry*, 90(6), 579–586. <https://doi.org/10.1094/CCEM-11-12-0156-R>
- Berat, D., & Nermin, B. (2020). Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties. *Food Science and Technology International*, 3, 242–250. <https://doi.org/10.1177/1082013220940092>
- Bourne, M. C. (2002). *Viscosity Measurement. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press.
- Naumenko, N. V., & Kalinina I. V. (2016) Sonochemistry effects influence on the adjustment of raw materials and finished goods properties in food production. *Materials Science Forum*, 870, 691–696. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.691>
- Newport Scientific, *Applications Manual for the Rapid Viscosity Analyser using thermocline*. (1998). Newport Scientific Pty Ltd.
- Pasqualone, A., Delvecchio, L. N., Gambacorta, G., Laddomada, B., Urso, V., Mazzaglia, A., Ruisi, P. & Miceli, G. D. (2015) Effect of Supplementation with Wheat Bran Aqueous Extracts Obtained by Ultrasound-Assisted Technologies on the Sensory Properties and the Antioxidant Activity of Dry Pasta. *Natural Product Communications*, 10(10), 1739–1742.
- Smith, D. M. (2017). Protein Separation and Characterization Procedures. In *Food Analysis* (pp. 449–450). Springer International Publishing.
- Wood, J. A. (2009). Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.016>

REFERENCES

- Agapkin, A. M. (2019). Makaronnye izdeliya: Klassifikatsiya, tekhnologiya proizvodstva, otsenka kachestva [Pasta: classification, production technology, quality assessment]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov [Merchandiser of Food Products]*, 3, 14–20.
- Bredikhin, S. A., Martekha, A. N., & Kaverina, Yu. E. (2021). Issledovanie strukturno-mekhanicheskikh svoystv makaronnogo testa dlya additivnogo proizvodstva [Study of the structural and mechanical properties of pasta dough for additive manufacturing]. *Nauchnyi zhurnal Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta ITMO. Protssessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Scientific journal of the National Research University ITMO. Processes and apparatuses of food production]*, 4, 12–19. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2021-14-4-12-19>
- Gol'dshtein, V. G., Kulikov, D. S., & Strakhova, S. A. (2018). Perspektivy glubokoi pererabotki zerna pshenitsy [Prospects for deep processing of wheat grain]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, 7, 14–19.
- Grudanov, V. Ya., Torgan, A. B., Roslyakov, Yu. F., Litvyak, V. V., Khondakova, S. N., & Yanova, M. A. (2021). Sovershenstvovanie protsessa pressovaniya makaronnogo testa v kolodtsakh matritsy s ispol'zovaniem vintovykh vstavok [Improving the process of pressing pasta dough in the wells of the matrix using screw inserts]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Krasnoyarsk State Agrarian University]*, 4, 179–187. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-179-187>
- Gur'eva, K. B., Khaba, N. A., Tarasova, E. A., & Tarasova, I. A. (2021). Izmenenie kachestva khleboproduktov pri khraneni pod vliyaniem temperatury [Change in the quality of bakery products during storage under the influence of temperature]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostei dlya gosudarstvennykh nuzhd [Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs]*, 16, 44–55.
- Koryachkin, V. P., Goncharovskii, D. A., & Koryachkina, S. Ya. (2020). Vliyanie poroshkov iz nativnoi i blansirovannoi morkovi na reologicheskie kharakteristiki makaronnogo testa [Influence of powders from native and blanched carrots on the rheological characteristics of pasta dough]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and merchandising of innovative food products]*, 2, 10–14. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-61-2-10-14>
- Kulikov, D. S., Gol'dshtein, V. G., & Strakhova, S. A. (2018). Tekhnologiya proizvodstva kleikoviny i krakhmala s uchetom vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov [Technology for the production of gluten and starch, taking into account the influence of technological parameters]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]*, 3, 172–175.
- Papakhin, A. A., & Borodina, Z. M. (2019). O svoistvakh fermentativno-modifitsirovannogo poristogo kukuruznogo krakhmala [About the properties of enzymatically modified porous corn starch]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, 4, 78–79. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10039>
- Romanchikov, S. A. (2018). Tekhnologiya intensifikatsii proizvodstva makaronnykh izdelii s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo vozdeistviya — infrakrasnogo izlucheniya [Technology of intensification of pasta production using ultrasonic influence — infrared radiation]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and Technology of Food Production]*, 3, 96–104. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-96-104>
- Tarasenko, S. S., Fedotov, V. A., & Gladnikov, D. V. (2017). Zavisimost' reologicheskikh svoystv testa ot dispersnosti promezhutochnykh produktov makaronnogo pomola pshe-nitsy [Dependence of the rheological properties of the dough on the dispersion of intermediate products of macaroni milling of wheat]. *Khleboпродукты [Bakery Products]*, 6, 53–55.
- Tarasova, I. A., Petryanina, T. A., & Beletskii, S. L. (2018). Izuchenie vliyaniya syr'ya na formirovanie kachestva makaronnykh izdelii [Study of the influence of raw materials on the formation of the quality of pasta]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov [Merchandiser of Food Products]*, 11, 47–51.
- Tarasova, I. A., & Petryanina, T. A. (2020a). Izuchenie kon'yunktury rynka i assortimenta makaronnykh izdelii, realizuemykh v trgovoi seti goroda Moskvy [Studying the market conditions and the range of pasta sold in the trading network of the city of Moscow]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov [Merchandiser of Food Products]*, 12, 21–25. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2012-04>
- Tarasova, I. A., & Petryanina, T. A. (2020b). Izuchenie uglevodnogo kompleksa makaronnykh izdelii metodom RVA [The study of the carbohydrate complex of pasta by the RVA method]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostei dlya gosudarstvennykh nuzhd [Innovative Technologies for the Production and Storage of Material Assets for State Needs]*, 13, 233–237.
- Khalikov, R. M., & Nigamatullina, G. B. (2015). Transformatsii molekul amilozy i amilopektina pri tekhnologicheskoi pererabotke krakhmal'nykh granul rastitel'nogo syr'ya v pishchevoi industrii [Transformations of amylose and amylopectin molecules during the technological processing of starch granules of vegetable raw materials in the food industry]. *Nauka-Rastudent.ru*, 1, 51–54.
- Khatko, Z. N., & Kolodina, E. M. (2019). Analiz potrebleniya zlakov, khlebobulochnykh, makaronnykh izdelii i kartofelya razlichnymi gruppami naseleniya [Analysis of the consumption of cereals, bakery products, pasta and potatoes by various population groups]. *Novye tekhnologii [New Technologies]*, 3, 99–112. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10309>
- Chernov, M. E., Filinskaya, Yu. A., & Strigulina, E. V. (2019). Reologicheskie svoystva makaronnogo testa s dobavleniem kukuruznoi muki [Rheological properties of pasta dough with the addition of corn flour]. *Konditerskoe i khle-*

- bopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 1–2, 36–37.
- Chernykh, V. Ya., Sarbashev, K. A., & Artem'ev, S. Yu. (2017). Teoreticheskie osnovy protsessa smeshivaniya retsepturnykh komponentov pri zamese makaronnogo testa [Theoretical foundations of the process of mixing prescription components when kneading pasta dough]. *Khleboprodukty* [Bakery Products], 11, 44–47.
- Austin, D. L., & Jackson, D. S. (2013). Starch pasting and textural attributes of elbow macaroni as impacted by dough moisture, dough mixing time, and macaroni cooking time. *Cereal Chemistry*, 90(6), 579–586. <https://doi.org/10.1094/CCEM-11-12-0156-R>
- Berat, D., & Nermin, B. (2020). Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties. *Food Science and Technology International*, 3, 242–250. <https://doi.org/10.1177/1082013220940092>
- Bourne, M. C. (2002). *Viscosity Measurement. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Pres.
- Naumenko, N. V., & Kalinina I. V. (2016) Sonochemistry effects influence on the adjustment of raw materials and finished goods properties in food production. *Materials Science Forum*, 870, 691–696. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.691>
- Newport Scientific, *Applications Manual for the Rapid Visco Analyser using thermocline*. (1998). Newport Scientific Pty Ltd.
- Pasqualone, A., Delvecchio, L. N., Gambacorta, G., Laddomada, B., Urso, V., Mazzaglia, A., Ruisi, P. & Miceli, G. D. (2015) Effect of Supplementation with Wheat Bran Aqueous Extracts Obtained by Ultrasound-Assisted Technologies on the Sensory Properties and the Antioxidant Activity of Dry Pasta. *Natural Product Communications*, 10(10), 1739–1742.
- Smith, D. M. (2017). Protein Separation and Characterization Procedures. In *Food Analysis* (pp. 449–450). Springer International Publishing.
- Wood, J. A. (2009). Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.016>