

Исследование влияния семян чиа на реологические свойства водных растворов

Анастасия В. Терёхина	¹	gorbatova.nastia@ya.ru	 0000-0003-4433-9615
Виктория С. Капустина	¹	viktoriyak@gmail.com	 0009-0007-5054-1218
Дина С. Мыщикова	¹	dmycikova@gmail.com	 0009-0001-5043-3061
Светлана А. Титова	¹	stitova559@gmail.com	 0009-0002-6279-9324
Виталий Н. Василенко	¹	vvv_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Исследование вязкости водных растворов с семенами чиа является актуальной задачей, так как эти семена обладают уникальными функционально-технологическими свойствами. В частности, они способны образовывать вязкие гели, что делает их перспективными стабилизаторами и загустителями в пищевой промышленности. В последние годы растет интерес к использованию натуральных гидроколлоидов в качестве альтернативы синтетическим добавкам, и семена чиа привлекают внимание ученых благодаря высокому содержанию пищевых волокон и полисахаридов. В данной работе исследуются реологические свойства водных растворов с семенами чиа, которые обладают высокой гидратационной способностью и могут образовывать гелеобразные структуры. Эксперимент был направлен на изучение влияния температуры и длительности хранения на вязкость растворов, приготовленных из дроблёных и недроблёных семян. В ходе исследования были проведены измерения вязкости с использованием вибрационного вискозиметра при различных температурах. Установлено, что растворы с низкой концентрацией семян демонстрируют снижение вязкости при повышении температуры, тогда как растворы с высокой концентрацией могут проявлять как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от степени измельчения и времени выдержки. Повторные измерения спустя две недели показали тенденцию к стабилизации вязкости в растворах с недроблёнными семенами, в то время как растворы с дроблёнными семенами продемонстрировали большую изменчивость вязкостных характеристик. Долговременное хранение растворов семян чиа влияет на их реологические свойства, что важно учитывать при разработке продуктов, где гелеобразующие свойства играют ключевую роль. Полученные результаты могут быть полезны для разработки пищевых продуктов, содержащих семена чиа в качестве натуральных загустителей и стабилизаторов.

Ключевые слова: реологические свойства, семена чиа, вязкость раствора, натуральные загустители, натуральные стабилизаторы, гидратационная способность.

Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of aqueous solutions

Anastasia Terekhina	¹	gorbatova.nastia@ya.ru	 0000-0003-4433-9615
Victoria S. Kapustina	¹	viktoriyak@gmail.com	 0009-0007-5054-1218
Dina S. Mytsikova	¹	dmycikova@gmail.com	 0009-0001-5043-3061
Svetlana A. Titova	¹	stitova559@gmail.com	 0009-0002-6279-9324
Vitalii N. Vasilenko	¹	vvv_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The study of the viscosity of aqueous solutions with chia seeds is an urgent task, since these seeds have unique functional and technological properties. In particular, they are capable of forming viscous gels, which makes them promising stabilizers and thickeners in the food industry. In recent years, there has been a growing interest in using natural hydrocolloids as an alternative to synthetic additives, and chia seeds have attracted the attention of scientists due to their high content of dietary fiber and polysaccharides. In this paper, the rheological properties of aqueous solutions with chia seeds, which have a high hydration capacity and can form gel-like structures, are investigated. The experiment was aimed at studying the effect of temperature and storage duration on the viscosity of solutions prepared from crushed and non-crushed seeds. In the course of the study, viscosity measurements were carried out using a vibrating viscometer at various temperatures. It was found that solutions with a low concentration of seeds show a decrease in viscosity with increasing temperature, while solutions with a high concentration can exhibit both a decrease and an increase in viscosity, depending on the degree of grinding and the holding time. Repeated measurements two weeks later showed a tendency to stabilize viscosity in solutions with non-crushed seeds, while solutions with crushed seeds showed greater variability in viscosity characteristics. Long-term storage of chia seed solutions affects their rheological properties, which is important to consider when developing products where gelling properties play a key role. The results obtained can be useful for the development of food products containing chia seeds as natural thickeners and stabilizers.

Keywords: rheological properties, chia seeds, viscosity of the solution, natural thickeners, natural stabilizers, hydration ability.

Для цитирования

Терёхина А.В., Капустина В.С., Мыщикова Д.С., Титова С.А., Василенко В.Н. Исследование влияния семян чиа на реологические свойства водных растворов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 100–108. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-100-108

For citation

Terekhina A.V., Kapustina V.S., Mytsikova D.S., Titova S.A., Vasilenko V.N. Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of aqueous solutions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 100–108. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-100-108

Введение

Исследование вязкости водных растворов с семенами чиа является актуальной задачей, так как эти семена обладают уникальными функционально-технологическими свойствами. В частности, они способны образовывать вязкие гели, что делает их перспективными стабилизаторами и загустителями в пищевой промышленности. В последние годы растет интерес к использованию натуральных гидроколлоидов в качестве альтернативы синтетическим добавкам, и семена чиа привлекают внимание ученых благодаря высокому содержанию пищевых волокон и полисахаридов.

Ряд исследований был посвящен изучению стабилизирующего действия геля чиа в пищевых эмульсиях. Бутова С.В., Панина Е.В. и Васильченко Т.А. изучали возможность использования геля чиа в рецептурах майонезных соусов пониженной калорийности. Они установили, что гель, полученный из семян чиа, способствует повышению стойкости эмульсии и может заменить традиционные стабилизаторы, такие как яичный порошок и модифицированные крахмалы. Было доказано, что введение геля чиа в концентрации 0,7 % позволяет достичь стабилизирующего эффекта, сопоставимого с широко применяемыми гидроколлоидами, такими как карбоксиметилкрахмал и Хамульсион ECR 30 [1].

Другие исследования подтверждают, что гель семян чиа обладает высокой влагоудерживающей способностью и способен улучшать текстуру пищевых продуктов. В частности, его использование в майонезных эмульсиях способствует не только увеличению срока хранения продукта, но и его питательной ценности за счет содержания полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон и антиоксидантов [2].

В исследовании, представленном в работе [3], рассматривалось влияние добавления семян чиа на реологические свойства теста и качество хлебобулочных изделий. Было установлено, что введение чиа в рецептуру изменяет вязкость теста за счёт высокой гидратационной способности их полисахаридов. Это способствует улучшению текстурных характеристик готовой продукции, в частности повышает её пористость и влагосодержание.

Анализ физико-химических показателей показал, что добавление семян чиа увеличивает содержание пищевых волокон и полиненасыщенных жирных кислот, что делает хлебобулочные изделия более питательными. Кроме того, наблюдалось замедление процессов черствения, что можно объяснить влагоудерживающей способностью геля чиа.

Применение семян чиа в хлебопечении не только влияет на вязкость теста, но и улучшает качественные характеристики конечного продукта, продлевая его свежесть и повышая пищевую ценность.

В статье, написанной Лосевской С.А. и Устиновой А.А. были описаны исследования влагоудерживающей способности семян чиа в мясной и колбасной продукции. Муку из семян чиа добавляли в колбасные изделия. В результате исследования были сделаны выводы, что семена чиа обладают высокой влагоудерживающей способностью, что позволяет использовать их в производстве мясной и колбасной продукции. Их добавление обогащает продукт полезными веществами, улучшает его текстуру и вкус, а также делает его более привлекательным для потребителей. В результате, использование семян чиа в производстве пищевых продуктов становится все более популярным и востребованным [4].

В обзорной статье журнала «Наука о продуктах питания и диетология» были сделаны следующие выводы о том, что функциональные компоненты сельскохозяйственных продуктов питания, такие как семена чиа, имеют терапевтическое значение. Семена чиа содержат более одного функционального компонента. Важность этих компонентов заключается в способности снижать риск хронических заболеваний, включая заболевания, связанные с желудочно-кишечным трактом, сердечно-сосудистые заболевания и различные виды рака. Клетчатка, ω -3 жирные кислоты, полифенолы, белок, фитостеролы, витамины и минералы снижают риск сердечных заболеваний, контролируя уровень плохого холестерина, агрегацию тромбоцитов и гипертонию. В желудочно-кишечном тракте компоненты семян чиа снижают риск развития диабета второго типа за счет улучшения работы бета-клеток и снижения уровня глюкозы в крови. Кроме того, семена чиа богаты клетчаткой, которая придает калу объем, поэтому эти семена могут предотвратить запор. Однако антиоксиданты и фенольная составляющая этих семян улучшают окисление и помогают снизить риск развития различных видов рака [5].

В статье журнала фармакогнозии и фотохимии рассматривается серьезная проблема продовольственной безопасности. Для борьбы с пищевой безопасностью хорошим вариантом может быть улучшенное использование недоиспользуемых зерен, таких как семена чиа, благодаря богатому питательному составу. Сегодня люди проявляют интерес к ним на промышлен-

ном уровне также из-за их превосходных физических и функциональных свойств. Чиа может помочь в профилактике расстройств, связанных с питанием, поскольку содержит более высокую концентрацию жирных кислот, незаменимых аминокислот, белков хорошего качества и достаточное количество пищевых волокон [6].

Результаты исследований в статье «Химический состав и пищевая ценность семян чиа – современное состояние знаний» указывают на высокую питательную ценность семян чиа и подтверждают их обширные полезные для здоровья свойства. Исследования показывают, что компоненты семян чиа оказывают благотворное влияние на улучшение липидного профиля крови благодаря их гипотензивному, гипогликемическому, антимикробному и иммуностимулирующему эффекту. В этой статье представлен обзор наиболее важной информации о потенциальном применении семян чиа в производстве продуктов питания. Представлен химический состав семян чиа и обсуждается влияние их потребления на здоровье человека [7].

Из семян чиа производится достаточно ценное масло, которое считается функциональным компонентом жировых эмульсионных продуктов [8,9].

Таким образом, изучение вязкости водных растворов с семенами чиа представляет собой важное направление исследований, связанное с развитием функциональных пищевых продуктов и созданием устойчивых эмульсионных систем. Настоящая работа направлена на исследование реологических свойств водных растворов с семенами чиа, что позволит определить перспективы их использования в различных областях пищевой промышленности.

Материалы и методы

В ходе исследования были подготовлены три различные навески дроблённых и недроблённых семян чиа (рисунок 1), каждая из которых замачивалась в одинаковом объёме воды (50 мл). Масса навесок и время гидратации представлены в таблице 1. После завершения процесса замачивания был проведён анализ реологических характеристик полученных водных растворов с использованием вибрационного вискозиметра (рисунок 2). Измерения вязкости выполнялись при различных температурах, начиная от комнатной, с постепенным повышением до 40 °С. Фиксация результатов осуществлялась с шагом 1 °С.

Weight of a sample of chia seeds, g; Soaking time, minutes; Designation; Unbroken; Crushed

Таблица 1.

Данные

Table 1.

Data

Масса навески семян чиа, г Weight of chia seed sample, g	Время замачивания, мин Soaking time, min	Обозначение Designation
Недробленные Noncrushed		
5	90	Образец № 1
10	80	Образец № 2
15	76	Образец № 3
Дробленные Crushed		
5	120	Образец № 4
10	118	Образец № 5
15	116	Образец № 6

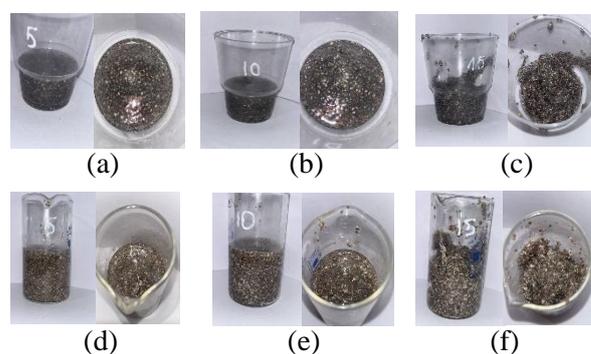


Рисунок 1. Образцы водных растворов с семенами чиа: (a) навеска недробленных семян массой 5 г; (b) навеска недробленных семян массой 10 г; (c) навеска недробленных семян массой 15 г; (d) навеска дробленных семян массой 5 г; (e) навеска дробленных семян массой 10 г; (f) навеска дробленных семян массой 15 г.

Figure 1. Samples of aqueous solutions with chia seeds: (a) a load of non-crushed seeds weighing 5 g. (b) a load of non-crushed seeds weighing 10 g. (c) a load of non-crushed seeds weighing 15 g. (d) a load of crushed seeds weighing 5 g. (e) a load of crushed seeds weighing 10 g. (f) a load of crushed seeds weighing 15 g.



Рисунок 2. Вибрационный вискозиметр

Figure 2. Vibrating viscometer

Через 2 недели опыт был повторен с теми же образцами, которые хранились при температуре от 0 до 5 °С.

Результаты и обсуждение

На основании экспериментальных данных были построены графики зависимости вязкости

от температуры с применением программы Microsoft Excel, что позволило провести сравнительный анализ реологических свойств растворов на основе дроблёных и недроблёных семян чиа (рисунок 3).

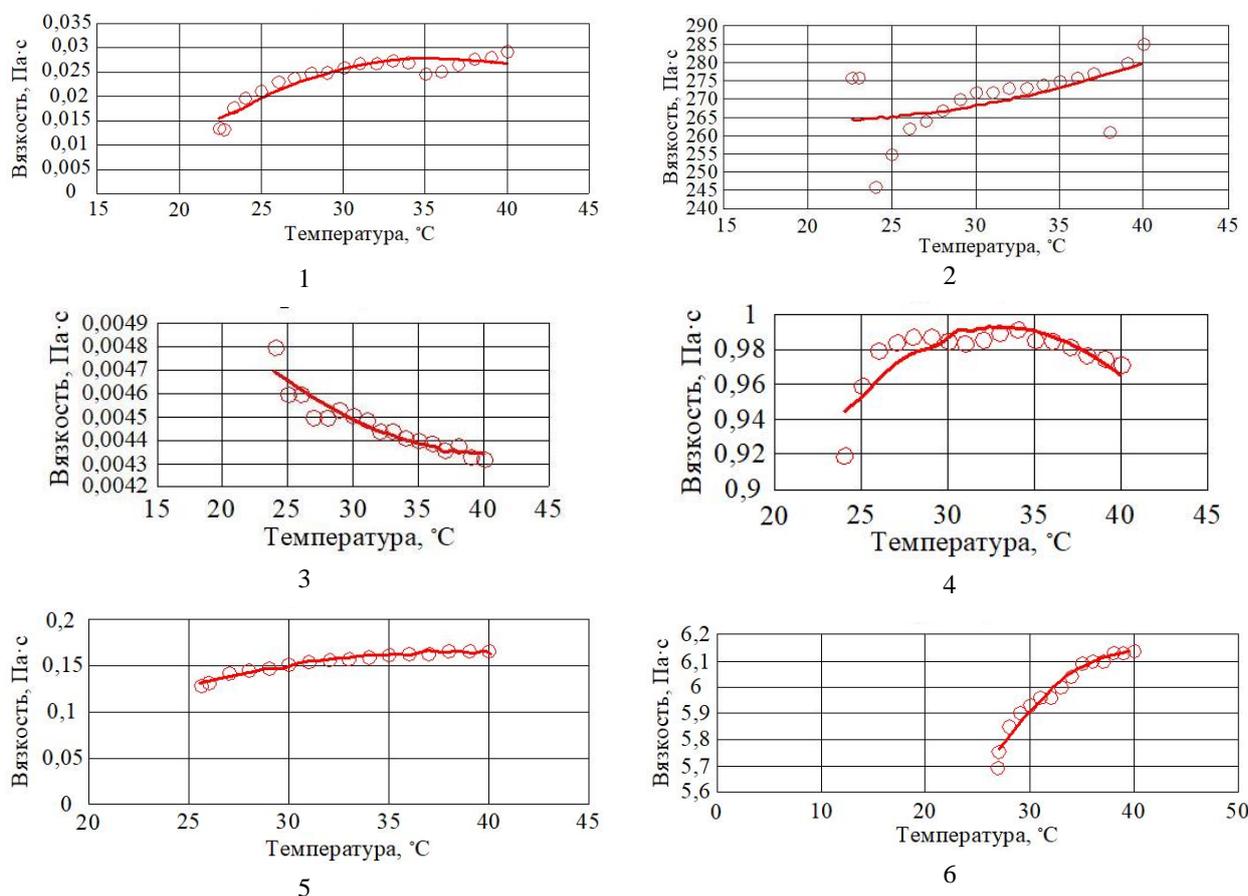


Рисунок 3. Зависимость вязкости от температуры для образцов № 1–6

Figure 3. Dependence of viscosity on temperature for samples No. 1–6

Анализ полученных данных позволил выявить основные закономерности изменения вязкости.

Образец № 1, содержащий 5 г недроблённых семян, выдержанных 90 минут, продемонстрировал умеренное снижение вязкости с повышением температуры, что описывается квадратичным уравнением $y = -7E-05x^2 + 0.0049x - 0.06$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.8741$.

Данный результат указывает на разрушение межмолекулярных связей при нагревании, что характерно для растворов с небольшой концентрацией частиц. Поскольку вязкость постепенно уменьшается, можно предположить, что структура раствора остаётся менее стабильной при термическом воздействии.

В образце № 2, где использовались 10 г недроблённых семян с выдержкой 80 минут, изменение вязкости носит нелинейный характер.

Однако коэффициент детерминации оказался относительно низким ($R^2 = 0.2977$), что указывает на слабую предсказуемость изменений. Уравнение регрессии $y = 0.0393x^2 - 1.5602x + 279.61$ предполагает наличие дополнительных факторов, влияющих на вязкость раствора, таких как неоднородность распределения частиц или частичное осаждение семян.

Образец № 3, включающий 15 г недроблённых семян, выдержанных 76 минут, продемонстрировал небольшое увеличение вязкости с ростом температуры. Это подтверждается уравнением $y = 1E-06x^2 - 1E-04x + 0.0064$, а коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0.8823$. Небольшое увеличение вязкости может быть связано с процессами полимеризации, при которых молекулы соединяются в длинные цепи, или с образованием гелеобразной структуры, обусловленной высокой концентрацией семян в растворе.

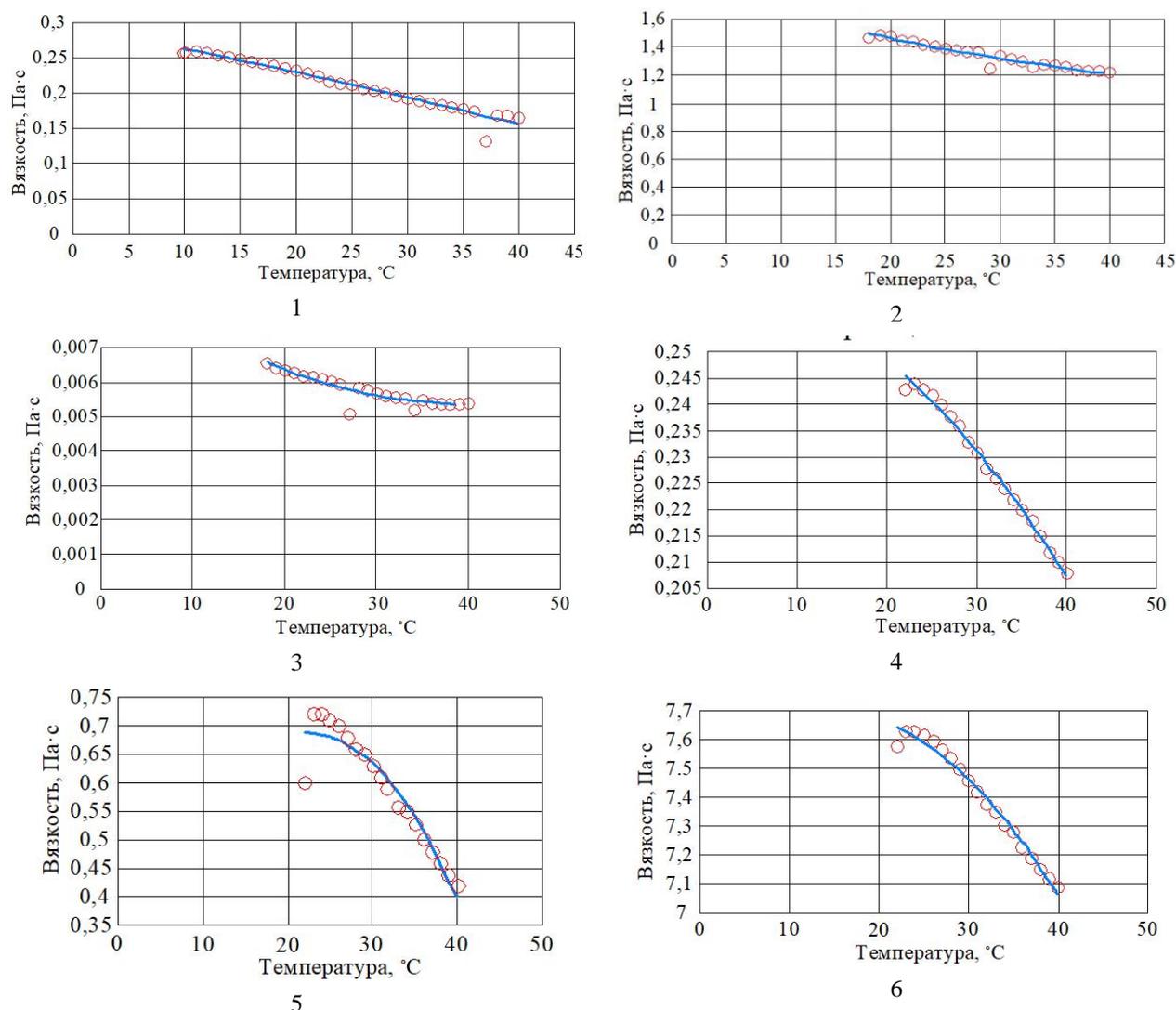


Рисунок 4. Зависимость вязкости от температуры для образцов № 1–6 через 2 недели

Figure 4. Dependence of viscosity on temperature for samples No. 1–6 after 2 weeks

При исследовании растворов с дроблёными семенами также выявлены значительные различия в их реологических свойствах. В образце № 4, состоящем из 5 г дроблёных семян, выдержанных 60 минут, наблюдается высокая степень детерминации ($R^2 = 0.9729$), что свидетельствует о точном соответствии модели экспериментальным данным. Уравнение $y = -0.0002x^2 + 0.0146x - 0.1194$ демонстрирует квадратичное снижение вязкости при увеличении температуры, что может быть обусловлено разрушением молекулярных сетей, сформированных в результате измельчения семян.

Образец № 5, содержащий 10 г дроблёных семян с выдержкой 118 минут, характеризуется минимальными изменениями вязкости в диапазоне температур. Уравнение

$y = -0.0006x^2 + 0.0387x + 0.353$, при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.7079$, показывает, что

раствор остаётся относительно стабильным даже при изменении температурного режима. Длительное замачивание могло способствовать образованию устойчивой гелеобразной структуры, которая сохраняет свои свойства в течение всего исследования.

Наиболее выраженное изменение вязкости было зафиксировано в образце № 6, включавшем 15 г дроблёных семян с выдержкой 116 минут. Уравнение $y = 63.847x^2 - 728.45x + 2104.7$, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9793$, указывает на выраженное квадратичное снижение вязкости при нагреве. Это свидетельствует о разрушении структуры гелеобразного раствора, возникающего при высокой концентрации семян. Вероятно, сильное измельчение и длительное замачивание привели к образованию плотной молекулярной сети, которая разрушается при воздействии температуры.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что растворы с низкой концентрацией семян демонстрируют снижение вязкости при повышении температуры, поскольку их структура остаётся менее стабильной. В то же время растворы с высокой концентрацией семян могут проявлять как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от времени выдержки, степени измельчения и способности семян к формированию гелеобразной структуры. Длительное замачивание способствует формированию более устойчивых молекулярных сетей, что особенно заметно в образцах с дроблёными семенами.

Через две недели после первоначальных измерений были повторно изучены вязкостные характеристики растворов дроблёных и недроблённых семян чиа. В ходе анализа полученных данных выявились изменения, связанные с длительной выдержкой растворов, что позволило более детально рассмотреть процессы стабилизации и разложения гелеобразной структуры.

Образец № 1, состоящий из недроблённых семян массой 5 г, выдержанных 90 минут, продемонстрировал незначительное снижение вязкости при увеличении температуры. Это снижение выражается квадратичной зависимостью, описываемой уравнением $y = -1E-05x^2 - 0.0029x + 0.2939$, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9553$. В отличие от результатов первого дня, когда вязкость также уменьшалась с повышением температуры, спустя две недели этот процесс стал менее выраженным. Это может свидетельствовать о стабилизации структуры раствора, где межмолекулярные связи частично сохраняются даже при нагревании.

Образец № 2, содержащий 10 г недроблённых семян и выдержанный 80 минут, показал значительное снижение вязкости по сравнению с первым днём. Однако зависимость остаётся нелинейной, о чём свидетельствует уравнение $y = 0.0002x^2 - 0.0254x + 1.8864$, с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9447$. По сравнению с предыдущими измерениями, модель стала более точной, что указывает на стабилизацию структуры геля. Вероятно, это связано с перераспределением частиц в растворе, в результате чего вязкость меняется более предсказуемо.

В образце № 3, где использовались недроблённые семена массой 15 г., и выдержка составила 76 минут, отмечено незначительное изменение вязкости с ростом температуры. Это подтверждается уравнением $y = 3E-06x^2 - 0.0002x + 0.0095$, при этом коэффициент детерминации $R^2 = 0.838$. Наблюдаемая тенденция свидетельствует о некоторой стабилизации вязкости,

что может объясняться длительным набуханием семян, приводящим к более равномерному распределению их структуры в растворе.

Дроблённые семена также продемонстрировали интересные изменения вязкости. В образце № 4, где использовались 5 г дроблённых семян, выдержанных 60 минут, спустя две недели вязкость раствора практически не изменялась при повышении температуры. Уравнение регрессии $y = -3E-05x^2 + 2E-05x + 0.2617$, а коэффициент детерминации достиг $R^2 = 0.9942$, что говорит о высокой предсказуемости процесса. Вероятно, длительное созревание раствора привело к формированию стабильных молекулярных сетей, которые уже не разрушаются при температурных изменениях.

Образец № 5, включавший 10 г дроблённых семян, выдержанных 118 минут, показал минимальные изменения вязкости при колебаниях температуры, но общий уровень вязкости оказался выше, чем в первый день. Это подтверждается уравнением $y = -0.0009x^2 + 0.0408x + 2.2351$, а коэффициент детерминации $R^2 = 0.9233$. Вероятно, в данном образце наблюдается укрепление межмолекулярных взаимодействий за счёт более длительного формирования гелеобразной структуры.

Наиболее выраженное изменение произошло в образце № 6, содержащем 15 г дроблённых семян, выдержанных 116 минут. Вязкость остаётся на высоком уровне, но проявляется её заметное снижение при нагреве. Зависимость описывается уравнением $y = -0.001x^2 + 0.0297x + 7.4753$, при этом коэффициент детерминации $R^2 = 0.9846$. Это указывает на то, что за две недели структура геля изменилась и стала более подверженной разрушению при повышении температуры, вероятно, из-за постепенного разложения полисахаридных сетей.

В целом, спустя две недели водные растворы семян чиа продемонстрировали тенденцию к стабилизации. В образцах с недроблёнными семенами наблюдается замедление изменения вязкости при нагреве, что может свидетельствовать о завершении процессов набухания и структурирования растворов. Дроблённые семена, напротив, показывают более выраженные колебания вязкости, особенно при высоких температурах, что говорит о частичном разложении их гелеобразной структуры со временем. Также можно отметить, что в растворах с более высокой концентрацией семян вязкость остаётся стабильной или даже повышается, что связано с продолжающимся взаимодействием полисахаридов.

Таким образом, долговременное хранение растворов семян чиа влияет на их реологические свойства, что важно учитывать при разработке продуктов, где гелеобразующие свойства играют ключевую роль.

Заключение

Настоящее исследование позволило детально изучить влияние температуры и длительности хранения на реологические характеристики водных растворов семян чиа, а также оценить различия в поведении дроблёных и недроблёных семян. Полученные результаты свидетельствуют о сложной зависимости вязкости растворов от концентрации семян, их степени измельчения и времени выдержки, что обусловлено формированием и последующим разрушением гелеобразных структур.

На основании проведённого эксперимента было установлено, что вязкость растворов с низким содержанием семян чиа уменьшается при повышении температуры, что объясняется слабой устойчивостью межмолекулярных взаимодействий в таких системах. В то же время растворы с высокой концентрацией семян демонстрировали как снижение, так и увеличение вязкости в зависимости от времени выдержки и степени измельчения. В течение двух недель хранения растворы претерпели изменения, связанные с процессами гидратации и структурирования полисахаридов. В образцах с недроблёнными семенами наблюдалась тенденция к стабилизации вязкости, что может свидетельствовать

о завершении процессов набухания и образования устойчивых гелеобразных сетей. Вязкость таких растворов изменялась менее выражено при нагреве, что указывает на повышенную структурную целостность. В растворах с дроблёными семенами, напротив, отмечалось более значительное изменение вязкости, особенно при повышенных температурах, что свидетельствует о частичном разложении сформированных гелеобразных структур.

Данные, полученные в ходе эксперимента, подтверждают, что гидратация семян чиа и последующее их структурирование являются сложными процессами, зависящими от множества факторов. Длительное хранение растворов приводит к изменению их реологических характеристик, что необходимо учитывать при разработке пищевых продуктов, содержащих семена чиа в качестве загустителей или стабилизаторов. Важно отметить, что дробление семян ускоряет процессы гидратации, но может снижать термическую устойчивость гелеобразной структуры. Таким образом, оптимальный способ подготовки и хранения водных растворов семян чиа должен учитывать их концентрацию, степень измельчения и температурные условия эксплуатации, что открывает возможности для дальнейших исследований в данной области.

Литература

- 2 Бутова С.В., Панина Е.В., Васильченко Т.А. Исследование стабилизирующего действия геля чиа в пищевых эмульсиях // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2020. С. 62–66.
- 3 Панина Е.В., Сорокина И.А., Бутова С.В. Исследование потребительских свойств майонезных соусов с функциональными ингредиентами в процессе хранения // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2019. С. 78–83.
- 4 Елисеева Е.А., Борисова А.В. Исследование влияния семян чиа на реологические свойства теста и качество хлебобулочных изделий // Технология продовольственных продуктов. 2018. С. 102–107.
- 5 Лосевская С.А., Устинова А.А. Влагоудерживающая способность семян чиа в мясной и колбасной продукции // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: сб. матер. XIX Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2023. С. 119–122.
- 6 Waseem Khalid, Muhammad Sajid Arshad, Afifa Aziz. Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): A therapeutic weapon in metabolic disorders // Food Science & Nutrition. 2023. P. 3–16.
- 7 Prathyusha P., Anila Kumari B., Jessie Suneetha W., Naga Sai Srujana M. Chia seeds for nutritional security // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2019. P. 2702–2707.
- 8 Kulczyński B., Kobus-Cisowska J., Taczanowski M., Kmiecik D. The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds – Current State of Knowledge // Nutrients. 2019. P. 1–16.
- 9 Терёхина А.В., Копылов М.В., Желтоухова Е.Ю., Матвеев А.В. Масло из семян чиа как инновационный ингредиент эмульсионных продуктов // Наука, образование и инновации для АПК: сост., пробл. и перспективы: сб. матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. Майкоп, 2024. P. 261–263.
- 10 Остриков А.Н., Терёхина А.В. Масло из семян чиа, как продукт здорового питания // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2023. P. 381–383.
- 11 Terekhina A., Zheltoukhova E., Kopylov M. Analysis of fatty acid composition of functional mayonnaise sauce with pumpkin products // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 103. P. 00075.
- 12 Hrnčić M.K., Ivanovski M., Cor D., Knez Z. Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): An Overview Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application // Molecules. 2020. Vol. 25. № 1. С. 11. doi: 10.3390/molecules25010011.
- 13 Punar A., et al. Chia Seeds (*Salvia hispanica*): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review // BEPLS. 2023. Vol. 12. № 10. P. 508–515.

- 14 Ikumi P., Mburu M., Njoroge D. Chia (*Salvia hispanica* L.) – A Potential Crop for Food and Nutrition Security in Africa // *Journal of Food Research*. 2019. Vol. 8. № 6. P. 104–118.
- 15 Marcinek K., Krejpcio Z. Chia Seeds (*Salvia hispanica*): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review // *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2017. Vol. 68. № 2. P. 123–129.
- 16 Martínez F.E., et al. Dietary chia seeds (*Salvia hispanica*) improve acute dyslipidemia and steatohepatitis in rats // *Journal of Food Biochemistry*. 2019. Vol. 43. №/ 9. P. e12986. doi: 10.1111/jfbc.12986.
- 17 Моргунова М.Н., Бутова С.В., Звягин А.А. Исследование влияния параметров экстракции на реологические свойства геля из семян чиа // *Молодежный вектор развития аграрной науки*. 2020. С. 208-213.
- 18 Хатко З.Н., Титов С.А., Ашинова А.А., Колодина Е.М. Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. №.2. С. 133-138. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-133-138
- 19 Martínez-Padilla L. P. Viscosity of chia seed water suspension using two mixers and two approaches // *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 210. P. 60-68. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.08.003
- 20 Chen J., Wang H. A systematical review of processing characteristics of chia seed: Changes in physicochemical properties and structure // *Food Bioscience*. 2024. P. 103813.
- 21 Jiang L., Zheng K. Extraction of mucilage polysaccharides from chia seed by hydrophobic deep eutectic solvents-based three-phase partitioning system: A phase behavior-driven approach // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 280. P. 135913.

References

- 1 Butova S.V., Panina E.V., Vasilchenko T.A. Investigation of the stabilizing effect of chia gel in food emulsions. *Technologies and Commodity Science of Agricultural Products*. 2020. pp. 62–66. (in Russian)
- 2 Panina E.V., Sorokina I.A., Butova S.V. Investigation of consumer properties of mayonnaise sauces with functional ingredients during storage. *Technologies and Commodity Science of Agricultural Products*. 2019. pp. 78–83. (in Russian)
- 3 Eliseeva E.A., Borisova A.V. Investigation of the effect of chia seeds on the rheological properties of dough and the quality of bakery products. *Food Technology*. 2018. pp. 102–107. (in Russian)
- 4 Losevskaya S.A., Ustinova A.A. Moisture-retaining ability of chia seeds in meat and sausage products. *Modern Trends in the Development of Science and the World Community in the Era of Digitalization: Proceedings of the 19th Int. Sci.-Pract. Conf. Moscow, 2023*. pp. 119–122. (in Russian)
- 5 Waseem Khalid, Muhammad Sajid Arshad, Afifa Aziz. Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): A therapeutic weapon in metabolic disorders. *Food Science & Nutrition*. 2023. pp. 3–16.
- 6 Prathyusha P., Anila Kumari B., Jessie Suneetha W., Naga Sai Srujana M. Chia seeds for nutritional security. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019. pp. 2702–2707.
- 7 Kulczyński B., Kobus-Cisowska J., Taczanowski M., Kmiecik D. The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds – Current State of Knowledge. *Nutrients*. 2019. pp. 1–16.
- 8 Terekhina A.V., Kopylov M.V., Zheltoukhova E.Yu., Matveev A.V. Chia seed oil as an innovative ingredient in emulsion products. In: *Science, Education and Innovations for the Agro-Industrial Complex: State, Problems and Prospects. Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. Maikop, 2024*. pp. 261–263. (in Russian)
- 9 Ostrikov A.N., Terekhina A.V. Chia seed oil as a healthy food product. In: *Modern Aspects of the Production and Processing of Agricultural Products: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. Krasnodar, 2023*. pp. 381–383. (in Russian)
- 10 Terekhina A., Zheltoukhova E., Kopylov M. Analysis of fatty acid composition of functional mayonnaise sauce with pumpkin products. *BIO Web of Conferences*. 2024. vol. 103. p. 00075.
- 11 Hrcic M.K., Ivanovski M., Cor D., Knez Z. Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): An Overview Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application. *Molecules*. 2020. vol. 25. no. 1. p. 11. doi: 10.3390/molecules25010011.
- 12 Punar A., et al. Chia Seeds (*Salvia hispanica*): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review. *BEPLS*. 2023. vol. 12. no. 10. pp. 508–515.
- 13 Ikumi P., Mburu M., Njoroge D. Chia (*Salvia hispanica* L.) – A Potential Crop for Food and Nutrition Security in Africa. *Journal of Food Research*. 2019. vol. 8. no. 6. pp. 104–118.
- 14 Marcinek K., Krejpcio Z. Chia Seeds (*Salvia hispanica*): Health Promoting Properties and Therapeutic Applications – A Review. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2017. vol. 68. no. 2. pp. 123–129.
- 15 Martínez F.E., et al. Dietary chia seeds (*Salvia hispanica*) improve acute dyslipidemia and steatohepatitis in rats. *Journal of Food Biochemistry*. 2019. vol. 43. no. 9. art. e12986. doi: 10.1111/jfbc.12986.
- 16 Morgunova M.N., Butova S.V., Zvyagin A.A. Study of the influence of extraction parameters on the rheological properties of gel from chia seeds. *Youth Vector of Development of Agricultural Science*. 2020. pp. 208–213. (in Russian).
- 17 Khatko Z.N., Titov S.A., Ashinova A.A., Kolodina E.M. Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 133–138. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-133-138 (in Russian).
- 18 Martínez-Padilla L.P. Viscosity of chia seed water suspension using two mixers and two approaches. *Biosystems Engineering*. 2021. vol. 210. pp. 60–68. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.08.003
- 19 Chen J., Wang H. A systematical review of processing characteristics of chia seed: Changes in physicochemical properties and structure. *Food Bioscience*. 2024. no. 103813.
- 20 Jiang L., Zheng K. Extraction of mucilage polysaccharides from chia seed by hydrophobic deep eutectic solvents-based three-phase partitioning system: A phase behavior-driven approach. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. vol. 280. pp. 135913.

Сведения об авторах

Анастасия В. Терехина к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Виктория С. Капустина студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, viktoriyakc@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-5054-1218>

Дина С. Мыщикова студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, dmycikova@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-5043-3061>

Светлана А. Титова студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, stitova559@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-6279-9324>

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Victoria S. Kapustina student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriyakc@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-5054-1218>

Dina S. Mytsikova student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dmycikova@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-5043-3061>

Svetlana A. Titova student, Technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, stitova559@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-6279-9324>

Vitalii N. Vasilenko Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/01/2025	После редакции 12/01/2025	Принята в печать 22/01/2025
Received 09/01/2025	Accepted in revised 12/01/2025	Accepted 22/01/2025