

УДК 641.56

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ ЯЧМЕННОЙ МУКИ И ЯБЛОЧНОГО ПЮРЕ КАК ОСНОВЫ В РЕЦЕПТУРАХ ДЕСЕРТОВ

С. Л. Масанский, Н. О. Пусовская

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Потребительские свойства десертов на основе рецептурных композиций цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре ранее не исследовались, их ассортимент не разработан. Цель работы – формирование ассортимента низкокалорийных десертов для школьного питания с заданными эргономическими свойствами. Структурно-механические свойства десертов являются определяющими факторами их потребительской привлекательности. Научная задача – установление закономерностей проявления структурно-механических свойств рецептурных композиций из цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре при разных их соотношениях.

Материалы и методы. Цельнозерновая ячменная мука, стерилизованное яблочное пюре без добавления сахара, свежие яблоки. Структурно-механические показатели – ротационный вискозиметр «VT6/7 PLUS»; анализатор текстуры – СТЗ-4500 Brookfield; активность воды (A_w) – прибор «Гигрометр Hygrolab C1-Set-40»; раствороудерживающая способность муки – анализатор Chopin SRC-CHOPIN. Общепринятые методы определения физико-химических показателей.

Результаты. Постепенное увеличение доли муки (до 10 %) при высоком содержании яблочного пюре в смеси характеризуется вязкопластическими свойствами, при этом доля муки увеличивается линейно до точки, где характер ее увеличения меняется и становится нелинейный, но не резко экспоненциальным (среднее содержание муки 50–60 %). Дальнейшее постоянное преобладание муки (70–80 %) обуславливает появление в системе свойств характеризующихся низкой влажностью, высокой хрупкостью и твердостью, в результате чего наблюдается экспоненциальный рост вязкости и твердости.

Заключение. Формирование ассортимента десертов для школьного питания с заданными структурно-механическими свойствами (консистенцией) возможно при следующих рецептурных соотношениях в них цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре (%): 70:30 – 80:20 – для изделий типа печенья; 50:50 – 60:40 – для изделий типа маффинов и кексов; 0:100 – 10:90 – для железированных блюд в виде муссов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *структурно-механические свойства; низкокалорийные десерты; цельнозерновая ячменная мука; яблочное пюре; β -глюканы; пектины; активность воды; влагопоглощение.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Масанский, С. Л. Структурно-механические свойства композиций цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре как основы в рецептурах десертов/ С. Л. Масанский, Н. О. Пусовская // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2025. – №. 1 (38) – С. 13–23.

STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITIONS USED IN DESSERT RECIPIES BASED ON WHOLE GRAIN BARLEY FLOUR AND APPLE PUREE

S. L. Masanskiy, N. O. Pusovskaya

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Structural and mechanical properties of desserts are the determining factors of their consumer appeal. However, the consumer properties of desserts from combination of whole grain barley flour and apple puree have not been previously investigated, and the product range remains undeveloped. The

objective of this research is to develop a range of low-calorie desserts with predetermined ergonomic properties for school nutrition. The scientific task is to establish patterns of structural and mechanical properties in recipe compositions of whole-grain barley flour and apple puree at various ratios.

Materials and methods. The study utilized whole grain barley flour, sterilized apple puree without added sugar, and fresh apples. Structural and mechanical parameters were assessed using a rotational viscometer “VT6/7 PLUS”, and a texture analyzer – CT3-4500 Brookfield. Water activity (A_w) was measured with a device “Hygrolab C1-Set-40 Hygrometer”, and solvent retention capacity of the flour was determined using the Chopin SRC-CHOPIN analyzer. Standardized methods for the determination of physicochemical parameters were employed.

Results. A gradual increase in the proportion of flour (up to 10 %) in mixtures with high apple puree content is characterized by viscoplastic properties, with the flour proportion increasing linearly up to a threshold, after which the increase becomes nonlinear but not sharply exponential (average flour content 50–60 %). Further dominance of the flour component (70–80 %) results in the mixture exhibiting properties characterized by low moisture content, high brittleness, and hardness, while viscosity and firmness increase exponentially.

Conclusions. The development of a range of desserts for school nutrition with specified structural and mechanical properties (consistency) is possible using the following recipe ratios of whole grain barley flour to apple puree (%): 70:30 – 80:20 for cookie-type products; 50:50 – 60:40 for muffin and cupcake-type products; and 0:100 – 10:90 for jellied dishes in the form of mousses.

KEY WORDS: *structural and mechanical properties; low-calorie desserts; whole grain barley flour; apple puree; β -glucans; pectins; water activity, moisture absorption.*

FOR CITATION: Masansky, S. L. Structural and mechanical properties of compositions used in desserts recipes based on whole grain barley flour and apple puree / S. L. Masansky, N. O. Pusovskaya // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2025. – №. 1 (38) – P. 13–23.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование ассортимента и потребительских свойств десертов для школьного питания представляет научный и практический интерес, учитывая возрастающую значимость концепции здорового питания [1]. Структурно-механические свойства (консистенция) десертов, относящиеся к группе эргономических свойств, являются определяющими факторами их потребительской привлекательности, оказывают существенное влияние на достижение целевых текстур и общем восприятии пищевых продуктов. Они определяют такие характеристики, как твердость, вязкость, способность сохранять форму, которые напрямую влияют на потребительские предпочтения. Детерминация этих свойств происходит под влиянием внешних факторов, включая состав ингредиентов, их взаимодействие и особенности технологического процесса [2–6].

Понимание структурно-механических свойств десертов позволяет целенаправленно модифицировать их текстуру для достижения желаемых характеристик, например, создания низкокалорийных продуктов с приемлемыми текстурными свойствами [7, 8].

Применительно к мучным изделиям, таким как маффины и печенье, исследуются структурно-механические свойства взаимодействия между ингредиентами, такими как мука, жир, сахар и влага. Жир необходим для рассыпчатой текстуры печенья, покрытия гранул муки и, как следствие, развития клейковины. В маффинах жир способствует подъему, нежности и созданию более тонких крошек. Муссы представляют собой совершенно другую систему, где текстура основана на стабилизированной воздушной или газовой фазе в жидкой матрице, часто стабилизированной белками или гидроколлоидами [9].

Замена жира и сахара в выпечке изменяет текстуру готовых изделий, приводя к таким нежелательным характеристикам, как рассыпчатость, сухость и плохой вкус [9]. Однако использование цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре представляет собой перспективное направление создания низкокалорийных маффинов, печенья и муссов с

улучшенными структурно-механическими характеристиками. Яблочное пюре обладает потенциалом для использования в качестве заменителя жира и сахара, что связано с его значительным содержанием пищевых волокон (пектина). Это позволяет формировать желаемую структуру и влиять на текстурные свойства мучных кондитерских изделий. Согласно литературным данным, яблочное пюре может быть эффективно использовано для частичного замещения сахара и жира в рецептурах маффинов, что отражается на их текстурных и физических показателях. Введение ячменной муки также рассматривается как перспективное направление для создания более функциональных продуктов с улучшенными текстурными характеристиками [10].

Маффины представляют собой высокопористые изделия, характеризующиеся мягкой и эластичной структурой. Для них типична умеренная твердость и выраженная упругость, проявляющаяся в частичном восстановлении исходной формы после механического воздействия. Наблюдается значительная пористость, обусловленная формированием газовых включений в процессе термообработки, а также мягкая и нежная структура мякиша, обеспечивающая легкое разделение без чрезмерного крошения. При органолептической оценке выявляется приятная текстура, лишенная выраженной сухости или избыточной влажности [10–14].

Печенье характеризуется повышенной твердостью и хрупкостью, проявляющейся в низком сопротивлении изгибу и компрессии, приводящем к легкому разрушению или крошению. Типичны сухость, рассыпчатость и склонность к крошению. Песочное печенье, как правило, обладает более низкой пористостью, в то время как сахарное печенье имеет более рыхлую структуру [15–18].

Муссы характеризуются пластичностью и стабильной нежной текстурой. Им присуща четко выраженная кремообразная, аэрированная структура со значительным содержанием мелкодисперсных газовых включений. Муссы проявляют выраженную пластичность и способность быстро принимать заданную форму, не обнаруживая при этом признаков рассыпания или текучести. Значимым свойством является эффект "тающего" ощущения в ротовой полости, обусловленный быстрым растворением продукта без необходимости интенсивного механического воздействия. Данные характеристики достигаются за счет использования взбитых сливок, белков или гидроколлоидов (например, желатина), формирующих стабильную пенную структуру, которая обеспечивает устойчивость десерта [19, 20].

Анализ существующей научной информации показывает, что применение композиции цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре в составе кондитерских изделий и сладких блюд ранее не исследовалось, соответственно, структурно-механические свойства не изучены.

Объект исследования – потребительские свойства низкокалорийных десертов заданного для школьного питания ассортимента.

Предмет исследования – структурно-механические свойства композиций из цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре в качестве основы для десертов.

Цель работы – формирование ассортимента низкокалорийных десертов для школьного питания с заданными эргономическими свойствами.

Научная задача – установление закономерностей проявления структурно-механических свойств рецептурных композиций из цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре при разных их соотношениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальных исследований использовали цельнозерновую ячменную муку (торговая марка «Черный хлеб», Россия), стерилизованное яблочное пюре без добавления сахара (торговая марка «АВС», Беларусь), свежие яблоки (СТБ 2288-2012

Яблоки свежие ранних сроков созревания).

Рецептурные композиции готовились с различными соотношениями цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре в массовом отношении: 10/90; 20/80; 30/70; 40/60; 50/50 и 60/40 % соответственно. Для исследования влияния дополнительных ингредиентов вводились соль, сахар, сода и сухое молоко.

Структурно-механические показатели – ротационный вискозиметр «VT6/7 PLUS», анализатор текстуры СТЗ-4500 Brookfield.

Определение активности воды (A_w) – прибор «Гигрометр Hygrolab C1-Set-40».

Раствороудерживающая способность муки – анализатор Chopin SRC-CHOPIN.

Анализ водородного показателя pH раствора – pH-метр HI 5221-02 «Hanna Instruments».

Физико-химические показатели определялись с использованием общепринятых методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовали композиции цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре при различных их рецептурных соотношениях: 10 % муки / 90 % пюре; 20 % муки / 80 % пюре; 30 % муки / 70 % пюре; 40 % муки / 60 % пюре; 50 % муки / 50 % пюре; 60 % муки / 40 % пюре.

Эффективную вязкость теста определяли при комнатной температуре (20 ± 2) °C в трехкратной повторности. Проведенный статистический анализ показал, что отклонение от среднего значения составило $\bar{x} \pm 2-3$ %. Результаты измерений представлены на рисунках 1–2.

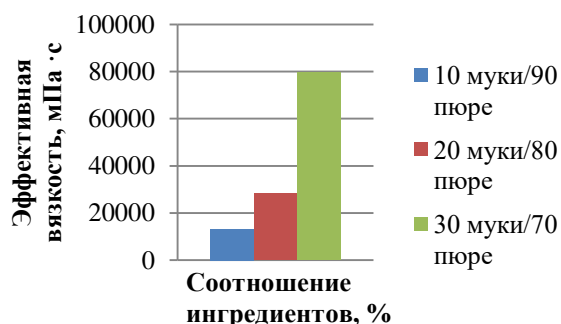


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости от соотношения муки и пюре

Fig. 1. Effective viscosity as a function of flour to puree ratio

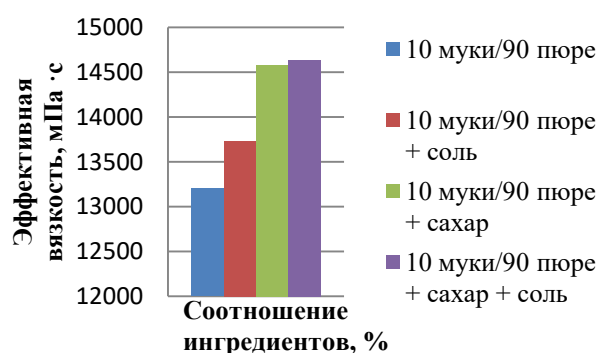


Рис. 2. Влияние добавления соли и сахара на эффективную вязкость

Fig. 2. Effect of adding salt and sugar on effective viscosity

С увеличением доли муки в смеси эффективная вязкость возрастает по экспоненциальной зависимости. При соотношении 70 % муки / 30 % пюре смесь теряет текучесть. Мука является основным фактором, определяющим вязкость данной системы, β -глюканы, содержащиеся в муке обладают способностью поглощать и удерживать воду, образуя гелеобразную структуру, увеличивающую вязкость теста [21, 22]. Добавление соли и/или сахара незначительно увеличивает вязкость по сравнению с контрольным образцом (10 % муки / 90 % пюре). Эффект сахара более выражен, чем эффект соли.

В таблице 1 представлены результаты испытаний тестовых полуфабрикатов на сжатие. Анализ проводили на анализаторе текстуры СТЗ-4500 Brookfield. Данные представлены по результатам трехкратных измерений (отклонение от средних значений $\bar{x} \pm 10$ %).

Образец 1 в таблице 1 представляет собой тестовые полуфабрикаты, состоящие только из муки и пюре, без добавления других рецептурных ингредиентов.

Другие соотношения (50 % муки / 50 % пюре и 20 % муки / 80 % пюре) не исследовались

данным методом. Образец с соотношением 50 % муки и 50 % пюре оказался слишком твердым для проведения испытаний на анализаторе текстуры СТЗ-4500 Brookfield. Образец с соотношением 20 % муки и 80 % пюре оказался недостаточно структурированным с низкой устойчивостью к деформации для проведения испытаний тем же методом.

Табл. 1. Нормальное напряжение теста при сжатии

Table 1. Normal test stress under compression

Соотношение муки / пюре, %	Нормальное напряжение, σ , кПа	
	Образец 1: мука/пюре	Образец 2: мука/пюре + добавки
50 / 50	–	–
40 / 60	30,5	17,8
30 / 70	20,8	8,5
20 / 80	–	–

Образец 2 в таблице 1 включает тестовые полуфабрикаты из муки и пюре с добавлением рецептурных ингредиентов. Эти добавки состояли из сахара, соли, соды и сухого молока, взятые в усредненных от традиционных для кондитерских изделий пропорциях (сахар – 27 % от массы муки для маффинов, 40 % для печенья; соль – 1,25 % от массы муки, сода – 0,75 % от массы муки, сухое молоко – 6 % от массы муки).

С увеличением доли муки в образце (от 30 до 40 %) нормальное напряжение при сжатии значительно возрастает как без добавок, так и с добавлением других рецептурных ингредиентов (сахар, соль, сода, сухое молоко). Мука значительно увеличивает твердость образца. Это может быть объяснено тем, что β -глюканы образуют трехмерную сетку, придающую тесту большую упругость и сопротивление деформации, что увеличивает твердость образца [23, 24]. Добавление сопутствующих ингредиентов (соль, сахар, сода, сухое молоко) существенно (в 1,7 раза для образца 40:60 и в 2,4 раза для образца 30:70) снижает нормальное напряжение при сжатии, что может быть связано с их влиянием на структуру и влагоудерживающую способность теста.

На рисунке 3 и в таблице 2 представлены результаты определения адгезионного напряжения тестовых полуфабрикатов на анализаторе текстуры СТЗ-4500 Brookfield. Данные представлены по результатам трехкратных измерений (отклонение от среднего значения $\bar{P}_{\text{среднее}} \pm 8\%$).

Табл. 2. Влияние добавок на адгезионное напряжение теста

Table 2. Effect of additives on the adhesive stress of the sample

Соотношение ингредиентов	Адгезионное напряжение адг, Па
50 / 50 + сода	0,22
50 / 50 + сухое молоко	0,41
50 / 50	0,51
50 / 50 + соль	0,64
50 / 50 + сахар	0,88
50 / 50 + соль + сахар	0,89

Адгезионное напряжение существенно зависит как от соотношения муки и пюре, так и от добавления различных ингредиентов. Увеличение доли яблочного пюре и добавление сахара в наибольшей степени способствует повышению адгезии. Это может быть связано с пектином, содержащимся в пюре, который обладает высокой адгезионной способностью, а также связано с его влиянием на взаимодействие между β -глюканами и пектином. β -глюканы

могут способствовать умеренному увеличению адгезии теста, что важно для формирования структуры конечного продукта [25–27].

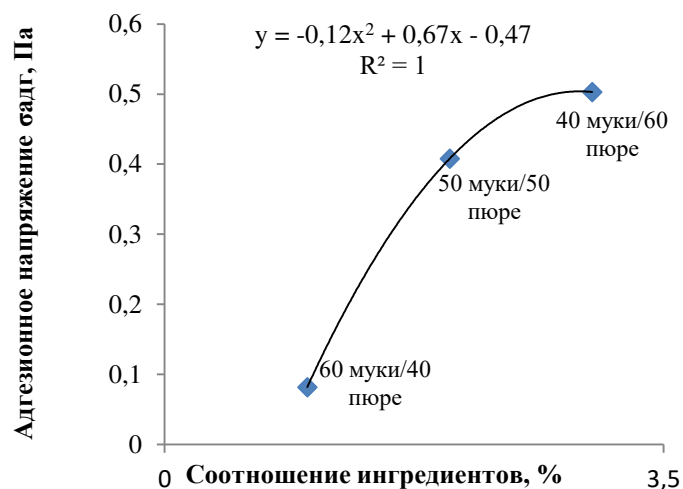


Рис. 3. Зависимость адгезионного напряжения от соотношения муки и пюре в тесте

Fig. 3. Dependence of adhesive tension on the ratio of flour and puree

Варьирование количества муки и пюре в рецептуре, а также введение дополнительных ингредиентов, позволяет целенаправленно модифицировать структурно-механические свойства теста и получать продукты с заданными характеристиками.

Соотношение цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре в смеси – ключевой фактор, определяющий уровень pH раствора и, следовательно, кислотность продукта. Цельнозерновая ячменная мука (100 %) имеет pH 5,75, что ближе к слабокислой или почти нейтральной реакции раствора. С увеличением доли яблочного пюре в смеси pH раствора последовательно снижается (таблица 3). Данная зависимость имеет нелинейный характер.

Табл. 3. Анализ водородного показателя pH раствора исследуемых видов теста

Table 3. Analysis of the pH value of the solution of the studied types of dough

Образец: мука / пюре, %	pH смеси
90 / 10	5,57
80 / 20	5,39
70 / 30	5,28
60 / 40	5,19
50 / 50	5,10
40 / 60	4,73
30 / 70	4,38
20 / 80	4,10
10 / 90	3,65
100 % яблочное пюре	3,20

Оптимальный баланс для создания теста с приемлемым pH для хлебопекарных или десертных изделий может быть найден в пределах от 60 % муки / 40 % пюре до 80 % муки / 20 % пюре, где pH находится в диапазоне 5,2–5,4, что соответствует умеренной кислотности, способствующей определённым технологическим и органолептическим свойствам [28, 29]. При низком pH (в диапазоне от 3 до 4,5), характерном для высоких концентраций в рецептурной смеси яблочного пюре, пектин сохраняет свою способность формировать гели и обладает более устойчивой структурой [30].

В таблице 4 представлены результаты проведённых измерений, позволяющие оценить, как изменяется способность смеси из цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре удерживать влагу в зависимости от соотношения данных ингредиентов.

Табл. 4. Изменение влагопоглощения в зависимости от содержания муки и пюре

Table 4. Change in moisture absorption depending on the percentage of components in the mixture

Соотношение ингредиентов: мука / пюре, %	Масса до центрифугирования, г	Масса после центрифугирования, г	Влагопоглощение, %
10 / 90	32,9	13,5	41,60
20 / 80	32,9	19,3	58,80
30 / 70	32,9	23,9	72,50
40 / 60	32,9	31,3	95,09
50 / 50	32,9	32,9	100,00
Мука 100 %	5,20	10,3	100,60
Пюре 100 %	32,9	16,6	51,20

Влагопоглощение увеличивается с увеличением доли муки и соответственно снижается при повышении содержания яблочного пюре в смеси. Цельнозерновая мука характеризуется высокими значениями влагопоглощения – 100,6 %, яблочное пюре – 51,2 %. Вместе с тем, в смеси при низкой концентрации муки 10 % влагопоглощение составило 41,6 %. Данная закономерность, где влагопоглощение смеси с 10 % муки оказывается ниже, чем у чистого яблочного пюре, объясняется сложным взаимодействием компонентов в многокомпонентной системе, включающем возможное перераспределение воды, эффект "разбавления" или "затенения" связывающих центров, а также изменение общей микроструктуры системы при смешивании [31]. С увеличением доли муки влагопоглощение растёт практически линейно до соотношения 50 % муки / 50 % пюре, где достигает 100 % и в дальнейшем не увеличивается. В диапазоне от 10 % муки / 90 % пюре до 50 % муки / 50 % пюре увеличение доли муки на 10 % приводит к росту влагопоглощения примерно на 14–15 %.

Влагопоглощение смеси увеличивается практически линейно с увеличением доли муки в ней до 50 % (рисунок 4). Дальнейшее увеличение доли муки практически не сказывается на водопоглощении, что указывает на насыщение системы и ее стабилизацию.

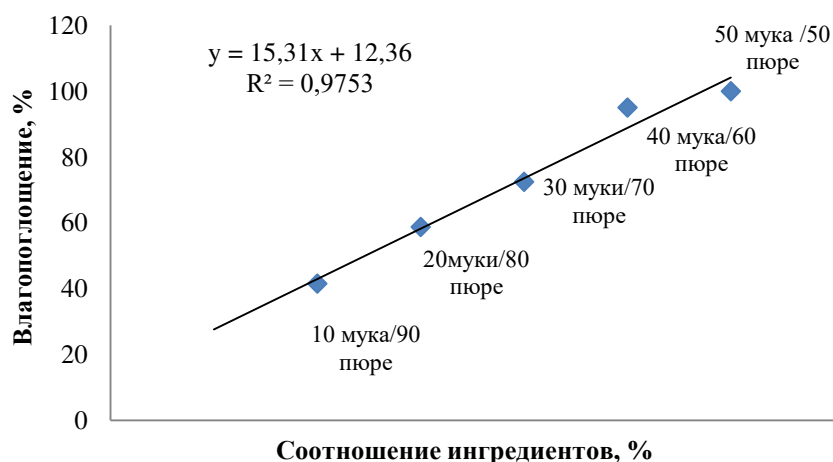


Рис. 4. Зависимость влагопоглощения от соотношения муки и пюре в смеси

Fig. 4. Dependence of moisture absorption on the ratio of flour and puree in the sample

Для определения свободной и связанной влаги в исследуемых образцах измеряли показатель активности воды (A_w). Цельнозерновая ячменная мука характеризуется значениями данного показателя в диапазоне 0,456–0,470 безразмерных единиц, что говорит о высокой стабильности продукта и низкой вероятности развития микроорганизмов. С увеличением доли яблочного пюре наблюдается значительное увеличение A_w . Данные представлены в таблице 5.

Табл. 5. Измерение показателя активности воды в исследуемых образцах

Table 5. Measuring the water activity index in the studied samples

Соотношение ингредиентов: мука / пюре, %	Показатель активности воды (A_w)
90 / 10	0,810–0,820
80 / 20	0,903–0,911
70 / 30	0,931–0,941
60 / 40	0,915–0,934
50 / 50	0,962–0,964
40 / 60	0,935–0,946
30 / 70	0,939–0,948
20 / 80	0,918–0,926
10 / 90	0,926–0,931

Это обеспечивает длительный срок хранения муки. Активность воды влияет на текстуру теста, его вязкость и способность к гелеобразованию. Высокая A_w может приводить к более мягкой и влажной текстуре. Слишком высокая активность воды может негативно сказаться на текстуре готовых изделий – мякиш плохо пропечённый, консистенция липкая [32].

В таблице 6 представлена зависимость влияния соотношения ингредиентов в рецептурной смеси на их влажность.

Табл. 6. Результаты измерений показателя влажности

Table 6. Results of humidity measurement

Соотношение ингредиентов: мука / пюре, %	Влажность, %
100 / 0	10,0
90 / 10	16,7
80 / 20	23,2
70 / 30	30,4
60 / 40	38,8
50 / 50	47,4
40 / 60	53,8
30 / 70	58,9
20 / 80	65,1
10 / 90	77,2
0 / 100	87,3

Очевидно, что влажность увеличивается практически линейно с увеличением доли яблочного пюре в смеси. Цельнозерновая ячменная мука характеризуется низкой влажностью, что делает её хорошим компонентом для снижения общей влажности продукта. Яблочное пюре, наоборот, значительно повышает влажность смеси, что следует учитывать при разработке рецептур.

Как отмечалось во введении, в доступных литературных источниках отсутствуют конкретные данные, характеризующие структурно-механические свойства продуктов, полученных на основе комбинации цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре.

Вместе с тем, проведенный анализ приведенных в данной статье публикаций позволил выявить сходные тенденции в изменении структурно-механических свойств продуктов, содержащих в составе пшеничную муку и фруктовые пюре. Это дает возможность обосновать использование композиций цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре в разных их соотношениях для получения продуктов разных товароведных групп. Для получения продуктов, характеризующихся низкой влажностью, активностью воды, адгезией, высокой хрупкостью и твердостью (например, сухое печенье) рецептурный состав характеризуется высоким содержанием муки и минимальным содержанием яблочного пюре. С увеличением содержания яблочного пюре в рецептуре возможно получение изделий, характеризующихся мягкой и нежной текстурой, например, влажные кексы или маффины. Для продуктов с высокой влажностью, обладающих вязкопластичными свойствами (например, муссы), необходимо максимально увеличивать рецептурное содержание яблочного пюре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование ассортимента и заданных потребительских свойств, в т. ч. структурно-механических (консистенции), десертов для школьного питания в виде мучных изделий и железированных блюд возможно при следующих рецептурных соотношениях в них цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре (%): 70:30 – 80:20 – для изделий типа печенья; 50:50 – 60:40 – для изделий типа маффинов и кексов; 0:100 – 10:90 – для железированных блюд в виде муссов.

Введение в рецептуру десертов дополнительных ингредиентов, таких как сахар и соль, сухое молоко оказывает существенное влияние на их структурно-механические свойства, модифицируя эффективную вязкость, твердость, адгезионное напряжение, эластичность и влагоудерживающую способность, что в совокупности также определяет общую консистенцию продукта.

Разработаны рецептуры и технологии новых изделий типа маффины, подана заявка на выдачу патента Республики Беларусь.

Результаты данного исследования расширяют существующую базу данных о свойствах мучных кондитерских изделий и сладких железированных блюд из нетрадиционного сырья и могут служить основой для дальнейшего прогнозирования и формирования свойств низкокалорийных десертов на основе цельнозерновой ячменной муки и яблочного пюре.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Масанский, С. Л. Низкокалорийные десерты в школьном питании как фактор устойчивого здорового питания: контент-анализ источников научной информации / С. Л. Масанский, Н. О. Пусовская // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2024. – С. 120–131.
- 2 Пилипенко, Т. В. Изучение реологических характеристик кексов с использованием «Структурометра ст-2» / Т. В. Пилипенко, Т. Д. Старцева // Национальный форум молодых исследователей: сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 25 декабря 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2019. – С. 7–11. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42394891>. – Дата обращения: 02.05.2025.
- 3 Лаптенко, Н. С. Влияние сахара на структурно-механические свойства хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта. / Н. С. Лаптенко, А. Н. Дударева, Л. И. Севастей // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2022. – Том 15 (3). – С. 62–68.
- 4 Баскаков, А. В. Влияние различных типов муки на структурно-механические характеристики кексов [Электронный ресурс] / А. В. Баскаков // Товаровед продовольственных товаров. – 2025. – № 1. – Режим доступа: <https://panor.ru/articles/vliyanie-razlichnykh-tipov-muki-na-strukturno-mekhanicheskie-kharakteristiki-keksov/109523.html#>. – Дата доступа: 01.05.2025.
- 5 Cerqueira, M. A. Structural and mechanical properties of organogels: Role of oil and gelator molecular structure / M. A. Cerqueira, L. H. Fasolin, C. S. F. Picone [et al.] // Food Res Int. – 2017. – Vol. 96. – P. 161–170. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28528095/> (date of access: 06.05.2025).
- 6 Clark, A. H. Structural and mechanical properties of agar/gelatin co-gels. Small-deformation studies / A. H. Clark,

- R. K. Richardson, S. B. Ross-Murphy, J. M. Stubbs // *Macromolecules*. – 1983. – Vol. 16, Iss. 8. – P. 1367–1374. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ma00242a019> (date of access: 06.05.2025).
- 7 Syed, A. Influence of Particle Size Reduction on Structural and Mechanical Properties of Extruded Rye Bran / A. Syed // *Food and Bioprocess Technology*. – 2014. – Vol. 7. – P. 2121–2133. – URL: https://www.academia.edu/29433572/Influence_of_Particle_Size_Reduction_on_Structural_and_Mechanical_Properties_of_Extruded_Rye_Bran (date of access: 07.05.2025).
- 8 Bonnaillie, L. Casein films: effects of formulation, environmental conditions, and addition of citric pectin on the structure and mechanical properties / L. Bonnaillie, H. Zhang, S. Y. Akkurt, M. T. Kit // *Polymers*. – 2014. – Vol. 6. – P. 2018–2036. – URL: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=299512> (date of access: 04.05.2025).
- 9 Colla, K. Fat Replacers in Baked Food / K. Colla, A. Costanzo, S. Gamlath // *Products. Foods*. – 2018. – № 7 (12). – URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6306729/> (date of access: 07.05.2025).
- 10 Huțu, D. Effect of Apple Puree as a Substitute for Fat and Sugar on the Texture and Physical Properties of Muffins / D. Huțu, S. Amariei // *Appl. Sci.* – 2024. – Vol. 14 (19). – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/19/9009> (date of access: 07.05.2025).
- 11 Acosta, K. Sensory and Physical Properties of Myffins Made with Waxy Whole Wheat Flour / K. Acosta, G. A. Cavender, W. L. Kerr // *Journal of Food Quality*. – 2011. – Vol. 34 (5). – P. 343–351. – URL: https://www.researchgate.net/publication/260706357_Sensory_and_Physical_Properties_of_Muffins_Made_with_Waxy_Whole_Wheat_Flour (date of access: 02.05.2025).
- 12 Acosta, K. Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour / K. Acosta, G. Cavender, W. L. Kerr // *Journal of Food Quality*. – 2011. – Vol. 34, Iss. 5. – P. 343–351. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4557.2011.00401.x> (date of access: 02.05.2025).
- 13 Niza Cristina Otero-Guzmán Influence of different types of baking powder on quality properties of muffins. Influencia de diferentes tipos de polvo para hornear en las propiedades de calidad de muffins / Niza Cristina Otero-Guzmán, Eduardo Rodríguez-Sandoval, Jorge Alexander Tabares-Londoño // *DYNA*. – 2020. – Vol. 87. – P. 9–16. – URL: <https://www.redalyc.org/journal/496/49666177001/html/> (date of access: 06.05.2025).
- 14 Influence of Soy Protein Hydrolysates on Thermo-Mechanical Properties of Gluten-Free Flour and Muffin Quality / Mihaela Brumă, Iuliana Banu, Ina Vasilean [et al.] // *Appl. Sci.* – 2024. – Vol. 14 (9). – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/9/3640> (date of access: 04.05.2025).
- 15 The influence of inulin on the structural and mechanical properties of dough for the gluten-free biscuit / I. Krasina, A. Strelkova, N. Duishenbek, E. Filippova // *International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology research (ABR 2021)* – 2021. – Vol. 285. – URL: https://www.researchgate.net/publication/353065302The_influence_of_inulin_on_the_structural_and_mechanical_properties_of_dough_for_the_gluten-free_biscuit (date of access: 05.05.2025).
- 16 Mamat, H. Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit / H. Mamat, S. E. Hill // *J Food Sci Technol.* – 2014. – Vol. 51 (9). – P. 1998–2005. – URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4152542/> (date of access: 03.05.2025).
- 17 Raquel, P. F. Guiné Textural Properties of Bakery Products: A Review of Instrumental and Sensory Evaluation Studies / Raquel P. F. Guiné // *Appl. Sci.* – 2022. – Vol. 12 (17). – P. 8628. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/17/8628> (date of access: 04.05.2025).
- 18 The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties Bram Pareyt, Faisal Talhaoui, Greet Kerckhofs [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2009. – Vol. 90. – P. 400–408. – URL: https://www.academia.edu/24142542/The_role_of_sugar_and_fat_in_sugar_snap_cookies_Structural_and_textural_properties (date of access: 04.05.2025).
- 19 Kalugina, I. Structural and mechanical properties of feijoa mousse / I. Kalugina, S. Poplavskaya // *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series New solutions in modern technologies*. – 2024. – № 1 (19). – P. 49–57. – URL: https://www.researchgate.net/publication/387260347_STRUCTURAL_AND_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_FEIJOA_MOUSSE (date of access: 29.04.2025).
- 20 Improving the technology of aeration of the food system of mousse at horeca enterprises / N. Dzyuba, M. Oliinyk, I. Kalugina [et al.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2023. – Vol. 2, № 11 (122). – P. 74–82. – URL: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/275615> (date of access: 22.04.2025).
- 21 Гематдинова, В. М. Потенциальные возможности промышленного производства и перспективы расширения ассортимента продуктов питания, обогащённых β-глюканом [Электронный ресурс] / В. М. Гематдинова, З. А. Канарская, А. В. Канарский // *Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование*. – 2021. – № 2 (50). – С. 82–100.
- 22 Berga, M. A vegetable fibre compound for emulsifying and thickening [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cossma.com/fileadmin/all/cossma/Archiv/ProductInfo/COS1304_14_ProdInfoBergaMuls.pdf. – Дата обращения: 02.05.2025.
- 23 Golisch, B. Configured for the Human Gut Microbiota: Molecular Mechanisms of Dietary β-Glucan Utilization / B. Golisch, Z. Lei, K. Tamura, H. Brumer // *ACS Chem Biol*. – 2021. – Vol. 16, № 11. – P. 2087–2102. – DOI: 10.1021/acscchembio.1c00563. – PMID: 34709792

- 24 Ho, I. H. Use of viscous fibres in beverages for appetite control: a review of studies / I. H. Ho, L. Matia-Merino, L. M. Huffman // *Int J Food Sci Nutr.* – 2015. – Vol. 66, № 5. – P. 479–490. – DOI: 10.3109/09637486.2015.1034252.
- 25 Бета-глюкан на страже вашего здоровья [Электронный ресурс] // МАКФА: сайт. – 2019. – 10 сент. – Режим доступа: <https://www.makfa.ru/tasty/beta-glyukan/>. – Дата доступа: 05.05.2025.
- 26 Wanders, A. J. Pectin is not pectin: a randomized trial on the effect of different physicochemical properties of dietary fiber on appetite and energy intake / A. J. Wanders [et al.] // *Physiol Behav.* – 2014. – Vol. 128. – P. 212–219. – DOI: 10.1016/j.physbeh.2014.02.007.
- 27 Sepehri, H. Beta-glucan and pectin derivatives stimulate prolactin secretion from hypophysis in vitro / H. Sepehri, C. Renard, L. M. Houdebine // *Proc Soc Exp Biol Med.* – 1990. – Vol. 194, № 3. – P. 193–197. – DOI: 10.3181/00379727-194-43077.
- 28 Воробьев, В. И. Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий / В. И. Воробьев, О. П. Чернега // *Известия КГТУ.* 2022. № 66. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-rastitelnogo-syrya-s-rybnym-kollagenom-pri-proizvodstvemelkoshtuchnyh-hlebobulochnyh-izdeliy> (дата обращения: 09.05.2025).
- 29 Першина, О. Н. Разработка технологии термостабильных фруктовых начинок / О. Н. Першина, Т. Ф. Киселева // *Пищевая промышленность.* 2014. – № 11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-termostabilnyh-fruktovyh-nachinok> (дата обращения: 09.05.2025).
- 30 E440 – Pectin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.atamanchemicals.com/e440-pectin_u33376/?lang=RU (дата обращения: 09.05.2024).
- 31 Belitz, H. D. Food Chemistry / H. D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle. – Berlin; Heidelberg: Springer. – 2009. – 921 p.
- 32 Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов [Электронный ресурс]: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 1 сентября 2010 г., №119//Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mart.gov.by/> – Дата доступа: 10.05.2025.

Поступила в редакцию 20.06.2025 г.

ОБ АВТОРАХ:

Сергей Леонидович Масанский, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры товароведения и организации торговли, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail: tot505@yandex.ru.

Наталья Олеговна Пусовская, аспирант, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail: pusovskaya_nataliya@mail.ru.

ABOUT AUTHORS:

Sergey L. Masansky, PhD (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Commodity Science and Trade Organization, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: tot505@yandex.ru.

Natalia O. Pusovskaya, post-graduate student, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: pusovskaya_nataliya@mail.ru.