

УДК 664.66.022.39

Влияние изолята овсяного бета-глюкана на реологию теста из пшеничной муки высшего сорта и качество хлебобулочных изделий

Канд. техн. наук **Т.А. Ямашев**, yamashev555@mail.ru
канд. техн. наук **В.М. Гематдинова**, venera.nas14@yandex.ru
д-р техн. наук **А.В. Канарский**, alb46@mail.ru

*Казанский национальный исследовательский технологический университет
420015, Россия, Казань, ул. К. Маркса, 68*

Исследовали влияние изолята овсяного β -глюкана на реологические показатели водно-мучной суспензии и теста из двух образцов пшеничной муки высшего сорта с различным содержанием и качеством клейковины (образец 1 – 31,8% клейковины с качеством 59,8 ед. ИДК; образец 2 – 28,0% клейковины с качеством 50,1 ед. ИДК), а также на физико-химические и органолептические показатели хлеба из данных образцов муки. Влияние изолята овсяного β -глюкана на реологические характеристики водно-мучной суспензии и теста исследовали при помощи измерителя числа падения ИЧП-3, амилографа и фаринографа Брабендера и альвеографа Шопена. Физико-химические свойства муки и готовых изделий определяли общепринятыми инструментальными методами. Изолят овсяного β -глюкана вносили в количестве 0,4 и 0,8% с заменой соответствующего количества муки. Установлено, что изолят овсяного β -глюкана повышает вязкость оклейстеризованной водно-мучной суспензии из сильной муки (образец 1) и не влияет на ее вязкость при использовании слабой муки (образец 2). Добавление 0,8% изолята овсяного β -глюкана к сильной муке (образец 1) увеличивало все исследованные реологические показатели теста: водопоглотительную способность на 5%, устойчивость на 22 мин, энергию деформации на $160 \cdot 10^{-4}$ Дж, упругость на 9 мм вод. ст. и растяжимость на 32 мм относительно контроля. Однако у теста из слабой муки (образец 2) в присутствии изолята овсяного β -глюкана данные показатели практически не изменялись, повышались только энергия деформации теста на $28 \cdot 10^{-4}$ Дж и его упругость на 8 мм вод. ст. при внесении 0,4% изолята. Для сильной муки (образец 1) с ростом концентрации изолята овсяного β -глюкана в тесте значение почти всех его реологических показателей возрастало, а для слабой муки (образец 2) наибольшие значения наблюдались при концентрации изолята 0,4%. Внесение изолята овсяного β -глюкана в количестве 0,4% позволило увеличить удельный объем хлеба из сильной муки (образец 1) на 0,12 см³/г, из слабой муки (образец 2) – на 0,40 см³/г, при соответствующем повышении пористости на 2,8% относительно контрольных образцов. Повышение дозировки изолята β -глюкана до 0,8% при использовании обоих образцов муки приводило к снижению объемных показателей хлеба почти до уровня контрольных значений, но при этом в обоих случаях на 0,8% повышалась влажность мякиша. Все исследуемые концентрации добавки не влияли на органолептические показатели готовых изделий.

Ключевые слова: обогащенные продукты; овес; пищевые волокна; β -глюканы; изолят; клейковина; сила муки; реология теста; число падения; объем хлеба.

DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75

The effect of oat beta-glucan isolate on the rheology of dough from premium wheat flour and the quality of bakery products

Ph. D. **Timur A. Yamashev**, yamashev555@mail.ru
Ph. D. **Venera M. Gematdinova**, venera.nas14@yandex.ru
D. Sc. **Albert V. Kanarsky**, alb46@mail.ru

*Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx str., Kazan, 420015, Russia*

The effect of oat β -glucan isolate on the rheological parameters of flour-water suspension and dough from two samples of the highest grade wheat flour with different content and quality of gluten was analyzed (sample 1 contained 31.8% gluten with a quality of 59.8 IDK units; sample 2 – 28.0% gluten with a quality of 50.1 IDK units). In addition, the physicochemical and organoleptic characteristics of bread from these flour samples were studied. The influence of the oat β -glucan isolate on the rheological characteristics of the flour-water suspension and dough was investigated using the falling number meter ICP-3, Brabender amylograph, Brabender farinograph, and Chopin alveograph. The physicochemical properties of flour and finished products were determined by generally accepted instrumental methods. The oat β -glucan isolate was added in the amount of 0.4% and 0.8% with the replacement of the corresponding amount

of flour. It was found that the oat β -glucan isolate increases the viscosity of the gelatinized water-flour suspension from strong flour (sample 1) and does not affect its viscosity when using weak flour (sample 2). The addition of 0.8% oat β -glucan isolate to strong flour (sample 1) increased all the rheological parameters of the dough under investigation: water absorption capacity by 5%, dough stability by 22 minutes, dough strength by $160 \cdot 10^{-4} J$, dough tenacity by 9 mm H₂O, and dough extensibility by 32 mm relative to the control. However, in the dough of weak flour (sample 2), in the presence of oat β -glucan isolate, these parameters practically did not change, only the dough strength increased by $28 \cdot 10^{-4} J$ and its tenacity by 8 mm H₂O when making 0.4% isolate. For strong flour (sample 1), with an increase in the concentration of oat β -glucan isolate in the dough, the value of almost all of its rheological parameters increased, and for weak flour (sample 2), the highest values were observed at an isolate concentration of 0.4%. The introduction of 0.4% oat β -glucan isolate allowed to increase the specific volume of bread from strong flour (sample 1) by 0.12 cm³/g, from weak flour (sample 2) by 0.40 cm³/g, with a corresponding increase in porosity of 2.8% relative to control samples. Increasing the dosage of β -glucan isolate to 0.8% when using both flour samples led to a decrease in the volumetric parameters of bread to almost the level of control values, but in both cases the crumb humidity increased by 0.8%. All studied concentrations of the additive did not affect the organoleptic characteristics of the finished product.

Keywords: fortified foods; oats; alimentary fiber; β -glucans; isolate; gluten; flour strength; rheology of the dough; falling number; volume of bread.

Введение

Согласно современной доктрине, в физиологии питания пищевые волокна являются важным компонентом пищи и должны ежедневно поступать в организм для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений в работе желудочно-кишечного тракта. В связи с этим целесообразно обогащать пищевыми волокнами продукты массового потребления для обеспечения как можно большего количества социальных групп населения полноценным питанием. В качестве основных претендентов на обогащение можно назвать хлеб и хлебобулочные изделия, поскольку потребление данной товарной группы в России достаточно высокое, а технологические линии по производству хлеба обладают возможностью быстрой перенастройки на использование новых компонентов.

Пищевые волокна делятся на две группы: растворимые в воде и нерастворимые. Одним из перспективных представителей водорастворимой группы, с точки зрения лечебно-профилактического действия, являются β -глюканы.

Особый интерес к овсяному β -глюкану возник после того как в 1984 году было опубликовано сообщение о снижении им уровня холестерина [1]. Вкратце механизм этого процесса таков:

- β -глюканы образуют гель на поверхности кишечника, который блокирует резорбцию желчных кислот, связывает желчные кислоты и выводит из организма;
- в печени синтезируются новые желчные кислоты, при этом расходуется холестерин, таким образом, его содержание в крови снижается [2].

Согласно современным представлениям, употребление 3 г овсяного β -глюкана в день является эффективной профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний [3]. Помимо этого, β -глюканы снижают гликемический и инсулиновый индексы пищи [4], обладают пребиотическим действием, так как не перевариваются в тонком кишечнике и утилизируются микрофлорой толстого кишечника, что приводит к образованию полезных для организма короткоцепочечных жирных кислот, особенно масляной [5], которая снижает вероятность возникновения рака прямой кишки [6]. У β -глюканов обнаружена способность активировать иммунитет, препятствовать развитию респираторных заболеваний, ускорять регенерацию костной ткани, а также противоопухолевое, антигипертензивное и антиоксидантное действия [7].

Однако при введении лечебно-профилактических добавок в состав продуктов питания необходимо учитывать не только их полезные свойства, но и влияние на технологические параметры процесса и качество готовой продукции.

В работе [8] было показано, что увеличение количества заменяемой муки от 0,2 до 1,4% β -1,3/1,6-глюканами, выделенными из вешенки обыкновенной, приводило к снижению стабильности теста, а хлеб с β -1,3/1,6-глюканами имел более темноокрашенную корку в сравнении с контролем. При этом других заметных изменений от добавления β -1,3/1,6-глюканов в свойствах теста и качестве хлеба не наблюдалось. К сожалению, в данном исследовании не были представлены свойства использованной

муки. Между тем, данная информация имеет большое значение, поскольку качество хлеба может сильно отличаться даже при использовании муки, соответствующей ГОСТ, при колебании показателей ее качества в пределах допустимых диапазонов. Можно также предположить, что и при внесении одной и той же добавки в муку различную по качеству ответные реакции не будут идентичными.

С целью получения более точной картины влияния вносимого компонента на качество хлеба необходимо проведение исследований с использованием нескольких образцов муки, отличающихся по наиболее важным показателям. В связи с этим, в данной работе было изучено влияние изолята овсяного β -глюкана на реологические свойства теста и показатели качества хлеба из различного по содержанию клейковины и ее качеству образцов пшеничной муки высшего сорта.

Материалы и методы исследования

В работе использованы два образца муки пшеничной высшего сорта (Россия), основные характеристики которых представлены в таблице 1 и изолят овсяного β -глюкана (Hangzhou Johncan Mushroom Bio-technology Co., Ltd, Ханчжоу, Китай), характеристики которого представлены в таблице 2.

Таблица 1. Показатели качества муки пшеничной высшего сорта

Table 1. Characteristics of the highest grade wheat flour

Наименование показателя	Значение показателя	
	образец 1	образец 2
кислотность, град.	3,5	3,5
число падения, с	348	345
влажность, %	8,2	8,1
белизна, ед. прибора	78,3 (высший сорт)	78,1 (высший сорт)
содержание клейковины, %	31,8	28,0
растяжимость клейковины, см	15	13
эластичность	хорошая	хорошая
деформация клейковины, ед. прибора ИДК	59,8	50,1

Таблица 2. Показатели качества изолята овсяного β -глюкана

Table 2. Quality characteristics of the oat β -glucan isolate

Наименование показателя	Значение показателя
содержание β -глюкана, %	80,8
внешний вид	светло-желтый порошок
влажность, %	2,6
зольность, %	3,6
проход через сито 80 меш (0,178 мм), %	100

Влияние изолята овсяного β -глюкана на вязкость водно-мучной суспензии оценивали при помощи измерителя числа падения ИЧП-3 по ГОСТ 27676-88 и амилографа Брабендера по ГОСТ ISO 7973-2013; на реологические характеристики и поведение теста при замесе при помощи фаринографа Брабендера по ГОСТ ISO 5530-1-2013; на упругость и растяжимость теста при помощи альвеографа Шопена по ГОСТ Р 51415-99 (ИСО 5530-4-91).

Хлебобулочные изделия готовили по унифицированной рецептуре, представленной в таблице 3.

Таблица 3. Унифицированная рецептура

Table 3. Unified bread formula

Наименование сырья	Количество сырья, г		
	контроль	0,4% изолята β -глюкана	0,8% изолята β -глюкана
мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	100,0	99,6	99,2
дрожжи хлебопекарные прессованные	1,0	1,0	1,0
соль пищевая	1,3	1,3	1,3
изолят β -глюкана	–	0,4	0,8
вода	по расчету		

Количество добавляемой воды определяли расчетным методом, исходя из требуемой влажности теста 44,5%. Перед замесом муку смешивали в сухом виде с изолятом β -глюкана, соль пищевую растворяли, а дрожжи пресованные суспендировали в воде отмеренной на замес. Тесто замешивали в лабораторной тестомесильной машине У1-ЕТВ. Замес теста осуществляли в течение 2 мин до получения однородной консистенции. Продолжительность брожения составляла 180 мин. Готовность теста определяли по увеличению его в объеме в 1,5–2 раза и по кислотности. Тестовые заготовки укладывали в предварительно смазанные растительным маслом формы. Затем подвергали их расстойке в лабораторном шкафу ШРЛ-0,65 СПУ в течение 40 мин при температуре 40°C и относительной влажности 75–80%. Затем проводили выпечку в лабораторной печи ШХЛ-0,65 при температуре 200–220°C в течение 22 мин. Качество хлебобулочных изделий оценивали после их остывания [9].

Для определения пористости хлеба делали выемки пробником Журавлева, затем выемки спрессовывали для получения беспористой массы, которую погружали в мерный цилиндр, наполовину заполненный маслом. Объем беспористой массы определяли по изменению уровня масла.

Пористость рассчитывали по формуле

$$\Pi = (\sum V_1 - \sum V_2) \cdot 100\% / \sum V_1,$$

где $\sum V_1$ – суммарный объем выемок, см³;

$\sum V_2$ – суммарный объем беспористой массы, см³ [10].

Объем хлеба определяли по ГОСТ 27669-88, пористость – по ГОСТ 5669-96. Удельный объем хлебобулочных изделий определяли по отношению объема хлеба к его массе и выражали в см³/г [9].

Результаты и их обсуждение

В данной работе исследовали влияние изолята, содержащего 80,8% овсяного β -глюкана, на свойства теста и хлеба из различных по качеству типов пшеничной муки высшего сорта. Дозировка изолята овсяного β -глюкана (0,4 и 0,8%) была подобрана таким образом, чтобы при норме потребления хлеба 300 г в сутки обеспечивать 0,25 и 0,5% рекомендуемой FDA (Food and Drug Administration, США) суточной потребности в данном веществе (3 г в сут), обеспечивающей эффективную профилактику сердечно-сосудистых заболеваний [3].

Данные таблицы 1 свидетельствуют, что оба вида муки, взятые для исследовательской работы, соответствовали ГОСТ 26574-2017 на пшеничную муку высшего сорта.

Мука в образце 2 по сравнению с мукой в образце 1 содержала меньше клейковины, и по показателю «деформация клейковины» она тоже была хуже. Таким образом, муку образца 1 можно считать более сильной по сравнению с мукой образца 2.

Известно, что полисахариды обладают способностью хорошо связывать воду, на этой особенности основано использование многих из них в качестве загустителей [1]. Связывание воды обусловлено большим количеством водородных связей, образующихся между водородом гидроксильных групп и кислородом молекул воды [1]. Следовательно, можно ожидать, что добавление β -глюкана будет способствовать росту вязкости теста. В хлебопечении для оценки вязкости широко применяются методы измерения продолжительности падения шток-мешалки в оклейстеризованной водно-мучной суспензии (число падения) и измерение мощности, затрачиваемой на перемешивание водно-мучной суспензии, нагреваемой с постоянной скоростью до температуры клейстеризации при помощи амилографа Брабендера.

Влияние добавления изолята овсяного β -глюкана в пшеничную муку на число падения полученных смесей представлено на рисунке 1.

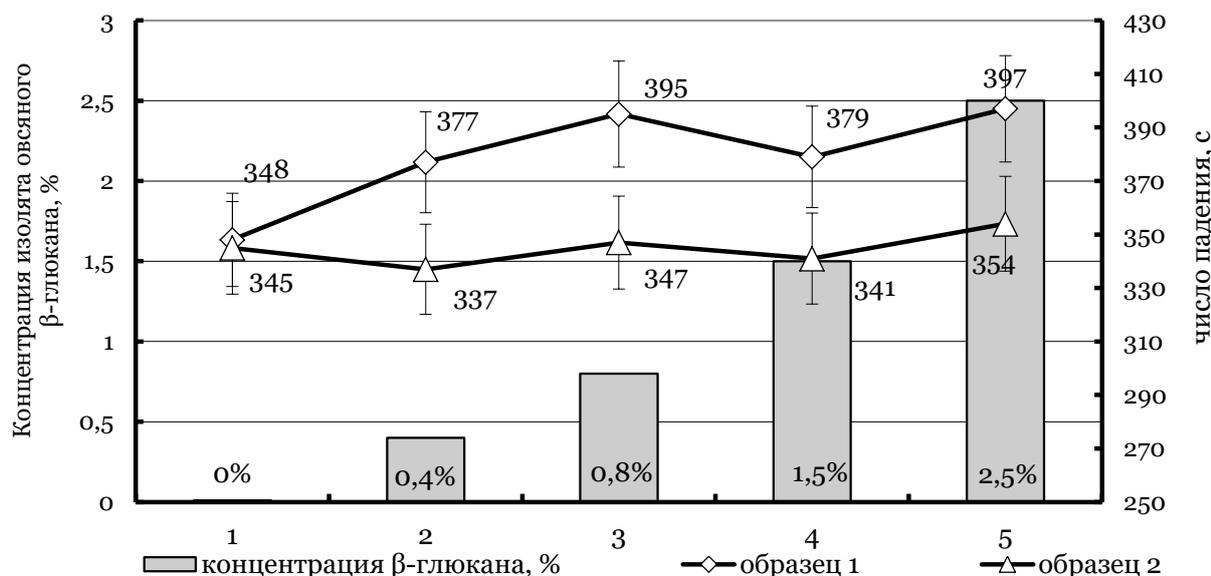


Рисунок 1 – Влияние добавок изолята овсяного β -глюкана на число падения
 Figure 1. The effect of the oat β -glucan isolate addition on the falling number

Добавка изолята овсяного β -глюкана способствовала увеличению числа падения. Сильнее всего увеличение вязкости наблюдалось у муки с высоким содержанием клейковины (образец 1). Вероятно, большое количество белка оставляет меньше свободной влаги в суспензии, и она, свою очередь, связывается оклейстеризованным крахмалом и молекулами β -глюкана, что отражается в увеличении вязкости.

При малом содержании клейковины, свободной воды в суспензии больше, и она не вся связывается крахмалом и β -глюканом, поэтому увеличение вязкости менее выражено.

Влияние изолята овсяного β -глюкана на вязкость водно-мучной суспензии оценивали также при помощи амилографа Брабендера. Результаты математической обработки амилограмм представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расшифровка амилограмм образцов пшеничной муки высшего сорта и муки с добавлением изолята овсяного β -глюкана

Table 4. Amylogram data for the samples of the of the dough from wheat flour of the highest grade and the flour with the addition of the oat β -glucan isolate

Концентрация изолята овсяного β -глюкана, %	Начало клейстеризации		Максимум клейстеризации	
	температура, °C	вязкость, единиц амилографа	температура, °C	вязкость, единиц амилографа
мука пшеничная высшего сорта образец 1				
0 (контроль)	58,8	21	88,8	1270
0,4	58,5	23	89,1	1380
0,8	59,3	23	90,3	1425
мука пшеничная высшего сорта образец 2				
0 (контроль)	60,8	21	85,1	832
0,4	60,8	22	85,3	879
0,8	60,6	22	85,3	841

Как видно из представленных результатов наибольшее увеличение вязкости так же происходило при добавлении изолята β -глюкана к сильной муке (образец 1).

Добавление изолята β -глюкана к слабой муке (образец 2) так же частично приводило к росту вязкости ее суспензии. Максимум вязкости наблюдался при концентрации β -глюкана 0,4%, а при увеличении его содержания до 0,8% наблюдался спад до значения, ненамного превышающего контрольное.

Рост вязкости суспензии муки в присутствии препаратов β -глюкана обусловлен способностью полисахаридов связывать воду в больших количествах, таким образом, подвижность компонентов суспензии ограничивается и возрастает внутреннее трение. В момент клейстеризации этот эффект

становится более заметным, так как оставшуюся часть свободной воды связывают набухшие гранулы крахмала.

В работе Huang Z-H et al. [11] сообщалось, что β -глюканы препятствуют термополимеризации клейковинных белков, этим по всей видимости объясняется падение вязкости суспензии слабой муки с ростом содержания изолята β -глюкана. Если мука сильная, то данный эффект компенсируется большим количеством клейковинных белков и их хорошей водопоглотительной способностью, в слабой же муке этого не происходит.

Данный эксперимент подтверждает важную роль белковой составляющей в формировании консистенции смесей муки и воды.

Известно, что качество пшеничного теста тесто зависит от структурно-механических свойств клейковины, представляющей собой гидратированный комплекс нерастворимых в воде белков глиадина и глютенина. Оценить влияние добавки пищевых волокон на свойства теста можно по изменению его реологических характеристик. В связи с чем мы исследовали влияние изолята овсяного β -глюкана на структурно-механические свойства теста на фаринографе и альвеографе.

Фаринограммы пшеничного теста и теста с добавками изолята овсяного β -глюкана представлены на рисунках 2–7.

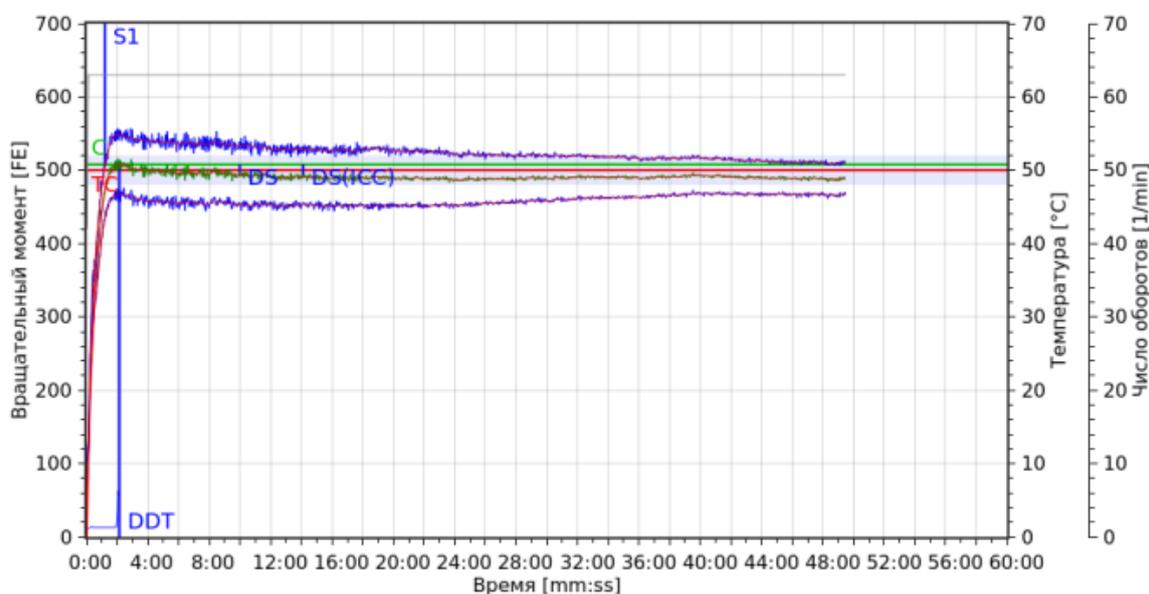


Рисунок 2 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 (контроль)
 Figure 2. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) – control sample

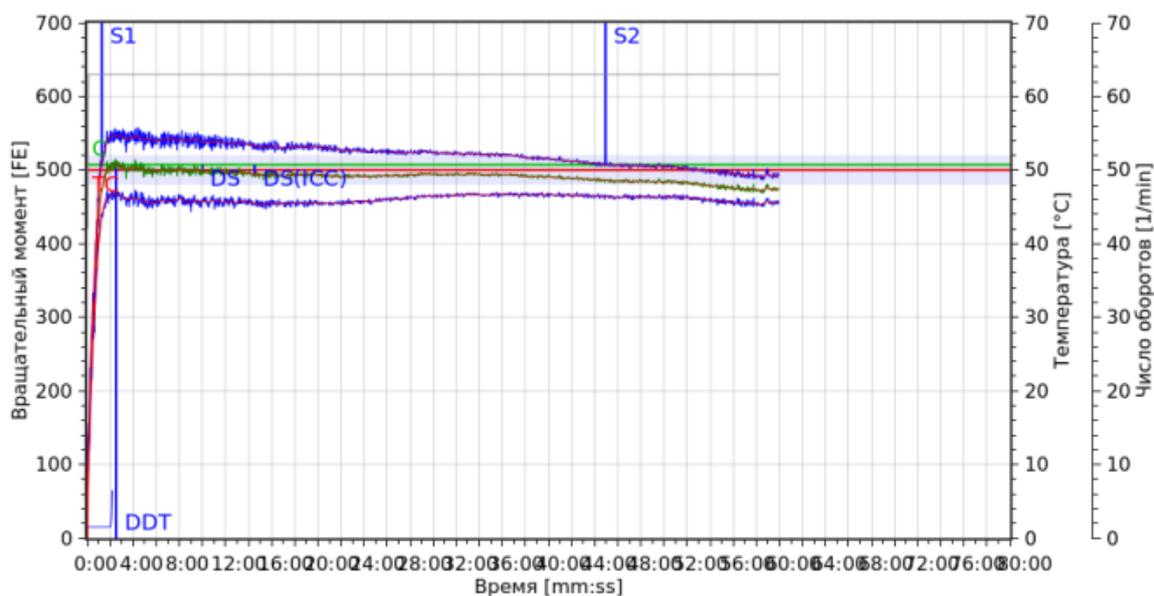


Рисунок 3 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 с добавлением 0,4 % изолята овсяного β -глюкана
 Figure 3. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) with the addition of 0.4% oat β -glucan isolate

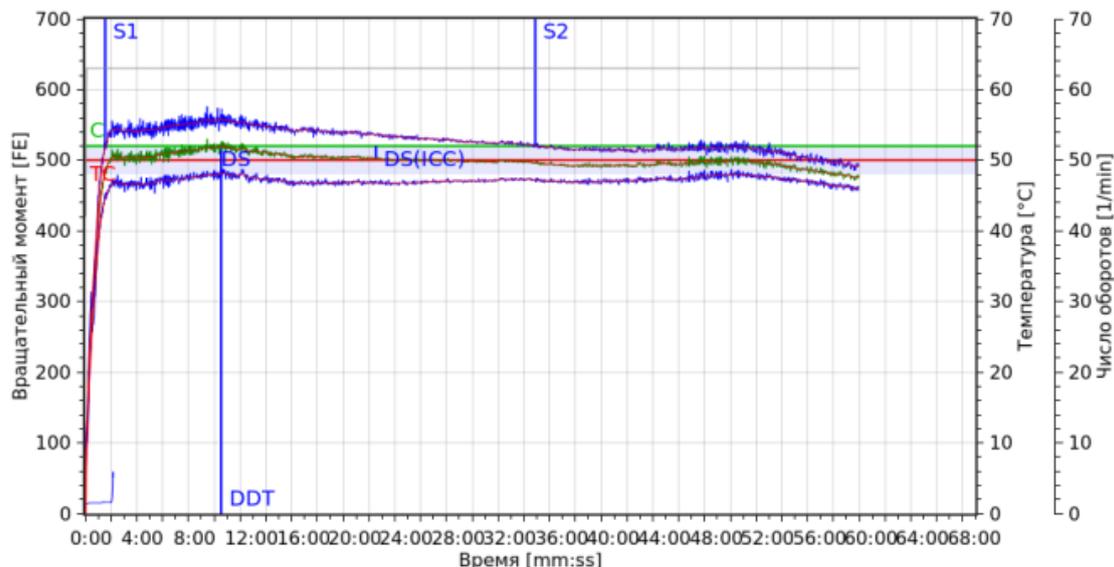


Рисунок 4 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 с добавлением 0,8% изолята овсяного β-глюкана
 Figure 4. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) with the addition of 0.8% oat β-glucan isolate

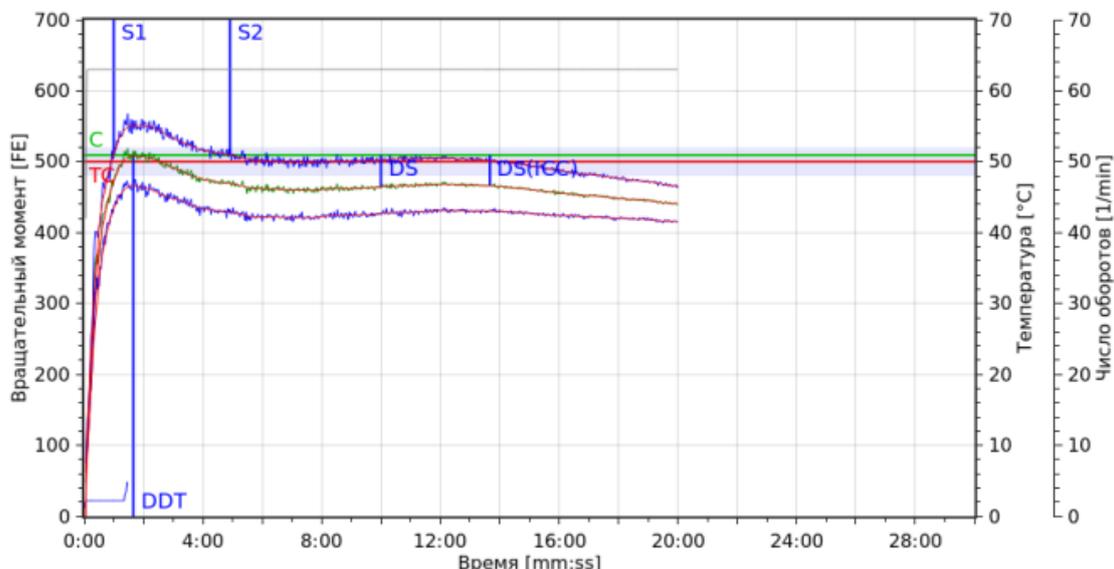


Рисунок 5 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 (контроль)
 Figure 5. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) – control sample

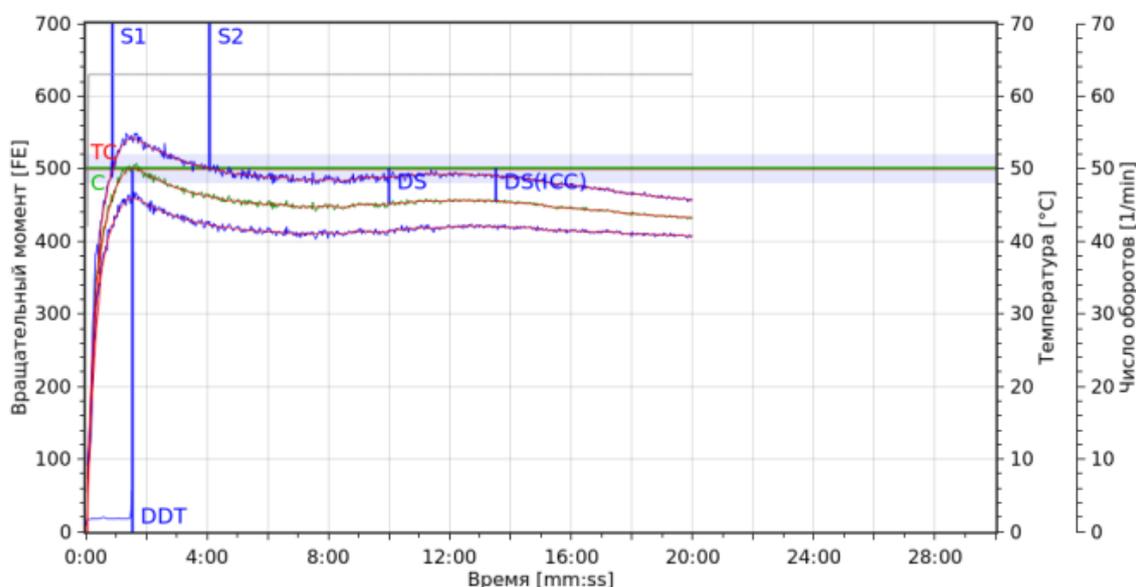


Рисунок 6 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 с добавлением 0,4% изолята овсяного β-глюкана
 Figure 6. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) with the addition of 0.4% oat β-glucan isolate

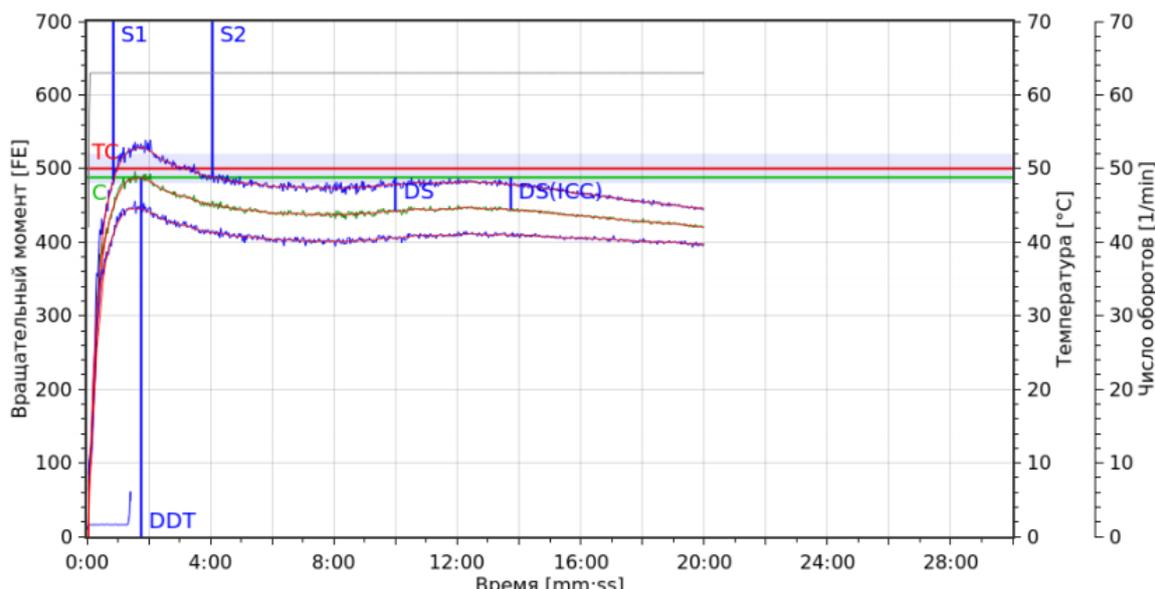


Рисунок 7 – Фаринограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 с добавлением 0,8% изолята овсяного β-глюкана

Figure 7. Farinogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) with the addition of 0.8% oat β-glucan isolate

Результаты математической обработки полученных кривых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Реологические показатели пшеничного теста и теста с добавлением изолята овсяного β-глюкана, полученные на фаринографе

Table 5. Rheological characteristics of the dough from wheat flour with the addition of the oat β-glucan isolate obtained on farinograph

Концентрация изолята овсяного β-глюкана, %	Водопоглотительная способность, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Степень разжижения теста, (10 мин после начала замеса), ЕФ	Степень разжижения теста, (12 мин после начала замеса), ЕФ	Число качества фаринографа, мм
мука пшеничная высшего сорта образец 1						
0 (контроль)	60,2	2,13	10,87	15	17	104
0,4	61,0	2,52	43,65	9	13	545
0,8	66,4	3,00	33,33	3	18	544
мука пшеничная высшего сорта образец 2						
0 (контроль)	53,0	1,65	3,92	45	43	37
0,4	53,5	1,53	3,20	50	45	32
0,8	54,0	1,75	3,22	46	44	34

Добавление изолята β-глюкана приводило к повышению водопоглотительной способности муки на 0,5–5,0%, которая росла с увеличением дозировки β-глюкана. Заметнее всего данное явление проявлялось при использовании сильной муки с большим количеством клейковины. Следствием повышения водопоглотительной способности было увеличение времени образования теста с ростом концентрации в нем β-глюкана, что связано с более длительной гидратацией данного полисахарида. Полученные результаты во многом согласуются с данными работы А. Skendi et al. по влиянию β-глюканов с различной молекулярной массой на реологические свойства пшеничного теста, полученного из слабой и сильной муки [12].

Тесто из сильной муки (образец 1) с β-глюканом дольше сохраняло свою консистенцию, что видно по показателям устойчивости теста, степени разжижения теста и числа качества фаринографа. Для данной муки устойчивость повышалась в 3–4 раза и достигала 43 мин, а разжижение было меньше, чем у контрольного образца.

В тесте из слабой муки с малым содержанием клейковины (образец 2) добавление изолята β-глюкана приводило к незначительному снижению устойчивости и более сильному ослаблению в сравнении с контролем. Вероятно, в тех случаях, когда происходит одновременное связывание воды и белками, и полисахаридами вязкость сохраняется длительное время, в тех же вариантах, где белка не хватает, происходит некоторое ослабление теста, за счет того, что β-глюкан вступает в конкуренцию

с белками клейковины за воду и препятствует тем самым формированию их трехмерной сетки, а сила связывания воды у β -глюканов меньше, чем у белков.

Следует отметить, что на всех фаринограммах теста из слабой муки наблюдался более или менее выраженный второй экстремум, примерно на 12 минуте (рисунки 6 и 7), то есть в тесте, ослабевшем после первоначального максимума консистенции, через некоторое время происходило повторное повышение вязкости. Мы полагаем, что это происходит в результате перераспределения влаги между, первоначально связавшими ее полисахаридами и белками клейковины, которые поглощают воду, выделяющуюся под воздействием перемешивания из набухших полисахаридов, и постепенно гидратируясь и формируя сетку клейковины вновь повышают вязкость теста.

Число качества фаринографа характеризует устойчивость консистенции теста в процессе замеса. Добавление изолята β -глюкана к сильной муке значительно повышало значение данного показателя, но при внесении его в слабую муку, число качества фаринографа даже несколько снизилось. Вероятно, при низком содержании клейковины, разобщающее действие β -глюканов на белковый каркас теста становится более выраженным и проявляется в быстром ослаблении теста.

В работе L. Wang et al. при помощи фотографий микроструктуры теста было показано, что в тесте с добавлением β -глюканов клейковинная матрица имеет нерегулярное прерывистое строение и не полностью охватывает гранулы крахмала [13].

Ослабление теста из муки с низким содержанием клейковины может быть также обусловлено конкуренцией за воду между β -глюканами и клейковинными белками, вследствие которой быстро поглощающие воду β -глюканы ограничивают набухание клейковины. Косвенным доказательством того, что белки могут хуже поглощать воду в присутствии β -глюканов являются и данные работы L. Wang et al., в которой при помощи импульсного ядерного магнитного резонанса было показано, что в результате добавления β -глюканов в тесте снижается содержание связанной воды и повышается содержание слабо связанной иммобилизованной воды. Авторы предполагают, что высокое водопоглощение β -глюканов вызывает миграцию связанной воды из клейковины [13]. Об этом также свидетельствуют результаты по влиянию β -глюканов на вязкость водно-мучной суспензии, полученные нами для слабой муки (рисунок 1 и таблица 4), согласно которым вязкость практически не изменялась. Однако в сильной муке, где количество белка было достаточным, чтобы прочно удерживать воду, вязкость теста при добавлении β -глюканов росла, так как они связывали оставшуюся свободную воду, но не отнимали ее у белков.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что при использовании изолята β -глюкана для получения теста требуемого качества необходимо учитывать характеристики муки, а именно содержание и качество клейковины.

Предположительно изолят β -глюкана может оказывать влияние на формирование трехмерной сетки клейковины и, следовательно, на упругость и растяжимость теста. Для оценки вязкоупругих характеристик теста используется методика с применением альвеографа.

Альвеограммы пшеничного теста и теста с добавками изолята овсяного β -глюкана представлены на рисунках 8–13.

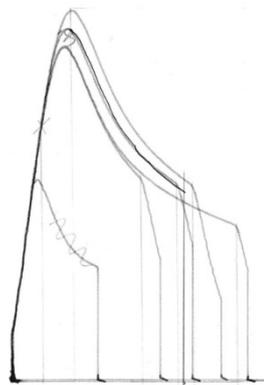


Рисунок 8 – Альвеограмма пшеничного теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 (контроль)
Figure 8. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) – control sample

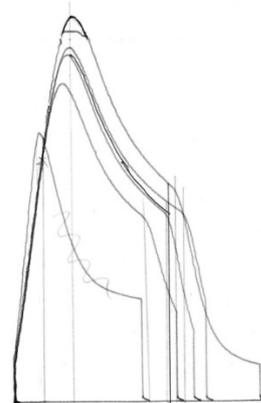


Рисунок 9 – Альвеограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 с добавлением 0,4% изолята овсяного β -глюкана
Figure 9. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) with the addition of 0.4% oat β -glucan isolate

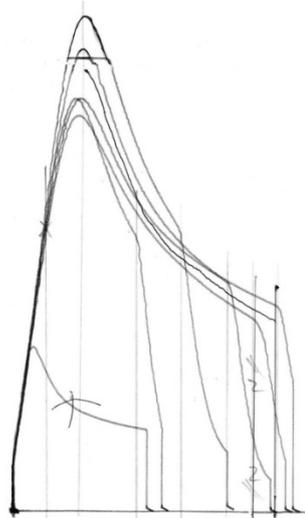


Рисунок 10 – Альвеограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 1 с добавлением 0,8% изолята овсяного β-глюкана
 Figure 10. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 1) with the addition of 0.8% oat β-glucan isolate

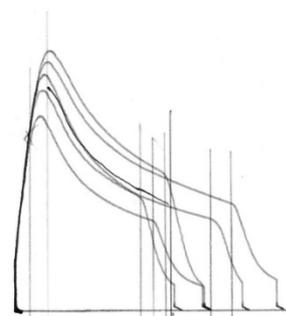


Рисунок 11 – Альвеограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 (контроль)
 Figure 11. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) – control sample

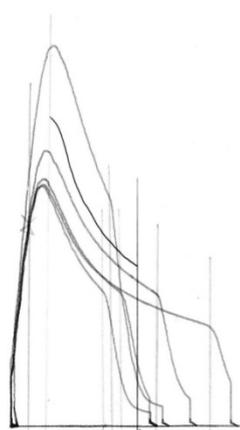


Рисунок 12 – Альвеограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 с добавлением 0,4% изолята овсяного β-глюкана
 Figure 12. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) with the addition of 0.4% oat β-glucan isolate

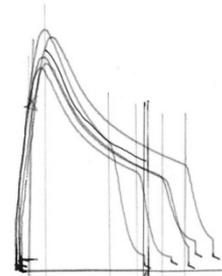


Рисунок 13 – Альвеограмма теста из пшеничной муки высшего сорта образец 2 с добавлением 0,8% изолята овсяного β-глюкана
 Figure 13. Alveogram of the dough from the highest grade wheat flour (sample 2) with the addition of 0.8% oat β-glucan isolate

Результаты математической обработки полученных кривых представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Реологические показатели пшеничного теста и теста с добавлением изолята овсяного β-глюкана, полученные на альвеографе

Table 6. Rheological characteristics of the dough from wheat flour and the dough with the addition of the oat β-glucan isolate obtained on alveograph

Концентрация изолята овсяного β-глюкана, %	Энергия деформации теста W, Дж	Макс. избыточное давление P, мм вод. ст.	Средняя абсцисса при разрыве L, мм	Показатель формы кривой P/L, мм вод. ст./мм	Индекс раздувания G, мм
мука пшеничная высшего сорта образец 1					
0 (контроль)	289·10 ⁻⁴	139	48	2,90	15,6
0,4	321·10 ⁻⁴	145	50	2,90	15,9
0,8	449·10 ⁻⁴	147	80	1,84	19,8
мука пшеничная высшего сорта образец 2					
0 (контроль)	141·10 ⁻⁴	75	46	1,63	15,3
0,4	169·10 ⁻⁴	83	46	1,79	14,9
0,8	155·10 ⁻⁴	80	45	1,77	15,1

Альвеографические исследования характеризуют поведение теста в технологическом процессе, так как при проведении испытания на альвеографе тесто растягивается во всех направлениях, то есть

подвергается таким же деформациям, как и во время брожения, расстойки и выпечки. Данные альвеограмм позволяют делать достаточно точные прогнозы об объеме и формоустойчивости хлебобулочных изделий.

Данные полученные при альвеографических исследованиях во многом согласуются с аналогичными работами о влиянии полисахаридов на упругость и растяжимость теста. Как правило, пищевые волокна увеличивают упругость (P) и снижают растяжимость теста (L) или сохраняют ее на уровне контроля [12, 14, 15]. Исключение в нашем исследовании составило только добавление изолята β -глюкана к сильной муке, приведшее к повышению растяжимости теста. Полученные результаты согласуются с выводами, представленными в работе L. Wang et al., что добавление небольших количеств β -глюканов к сильной муке повышает растяжимость теста, в то время как для слабой муки такое же количество β -глюканов может снижать его растяжимость [13].

Увеличение показателя упругости теста при внесении добавок, содержащих полисахариды, связано с их высокой водопоглощительной способностью. Молекулы воды образуют водородные связи с гидроксильными и другими функциональными группами полисахаридов, что приводит к возрастанию вязкости теста и как следствие увеличивается его упругость. Преобладание в добавке водорастворимых полисахаридов, как в случае изолята β -глюкана, делает тесто более пластичным, при этом растяжимость остается на прежнем уровне или увеличивается.

Из соотношения P/L ($> 1,5$ для всех случаев) можно сказать, что вся исследованная мука относилась к высокоупругому и умеренно растяжимому тесту. По показателю энергии деформации теста W мука образца 1 относилась к муке хорошего качества ($250 \cdot 10^{-4} - 300 \cdot 10^{-4}$ Дж), по показателю P к особо сильной (> 100 мм), а мука образца 2 – к муке низкого качества по показателю W ($< 150 \cdot 10^{-4}$ Дж) и стандартной по показателю P (60–80 мм) [16].

При использовании изолята β -глюкана качество муки образца 1 согласно показателю, энергия деформации теста W поднялось до высшего уровня [16], а за счет увеличившейся растяжимости L до 50–80 мм такая мука стала больше подходить для выпечки хлеба, но в еще большей степени для приготовления макарон, так как согласно Marchylo В.А. и Dexter J.Е., хорошая макаронная мука имеет отношение P/L от 1,5 до 2,5, а показатель W от $200 \cdot 10^{-4}$ до $250 \cdot 10^{-4}$ Дж и в некоторых случаях даже более $300 \cdot 10^{-4}$ Дж [17].

При добавлении препаратов β -глюкана к слабой муке происходило некоторое увеличение энергии деформации теста, особенно заметное при концентрации 0,4% в результате чего мука стала соответствовать муке хорошего качества [16]. С увеличением дозировки препарата в тесто энергия деформации снижалась, но по-прежнему была выше, чем у контрольного образца теста.

Объем – это первый показатель, оцениваемый потребителем еще в магазине, поэтому от него во многом зависят продажи хлеба. Данные о влиянии изолята овсяного β -глюкана на удельный объем и пористость хлеба представлены на рисунках 14 и 15.

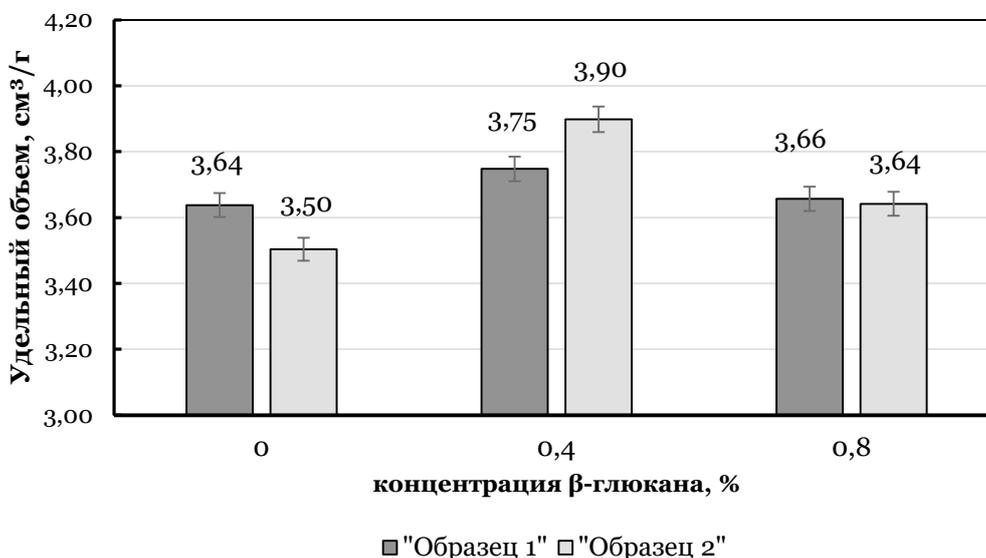


Рисунок 14 – Влияние изолята овсяного β -глюкана на удельный объем хлеба
 Figure 14. The effect of the oat β -glucan isolate on the bread specific volume

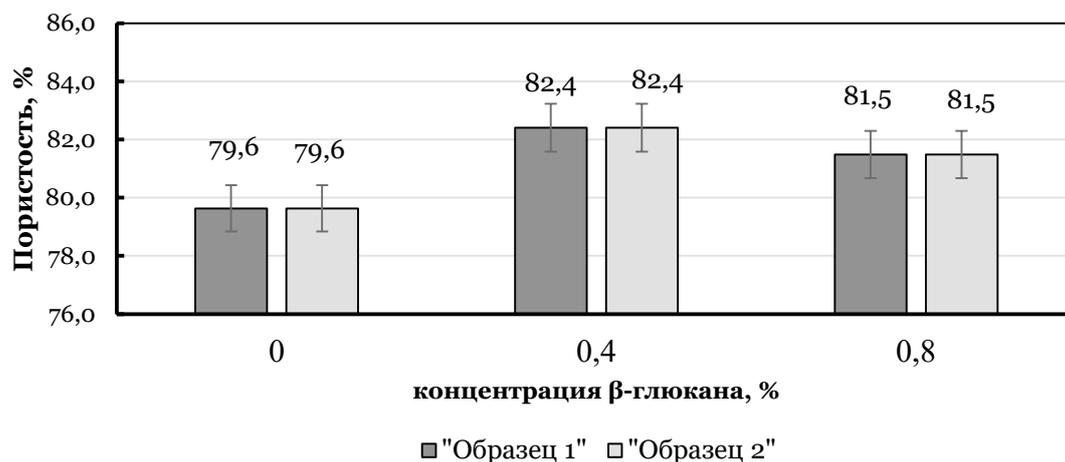


Рисунок 15 – Влияние изолята овсяного β-глюкана на пористость хлеба
 Figure 15. The effect of the oat β-glucan isolate on the bread porosity

Как видно из представленных диаграмм, добавление изолята овсяного β-глюкана способствовало увеличению всех показателей, характеризующих объем хлеба. Наибольший рост показателей наблюдался при добавлении изолята β-глюкана в количестве 0,4% у слабой муки, рост по показателю удельный объем составил 11%. Объем хлеба из сильной муки по данному показателю возрастал только на 3%. С увеличением количества β-глюкана до 0,8% все показатели объема начинали снижаться, но по-прежнему были выше контрольных значений.

Улучшение объемных характеристик хлеба в присутствии изолята овсяного β-глюкана вероятно связано с повышением вязкости теста, в результате чего повысилась его газодерживающая способность.

Влияние изолята овсяного β-глюкана на влажность хлеба представлено на рисунке 16.

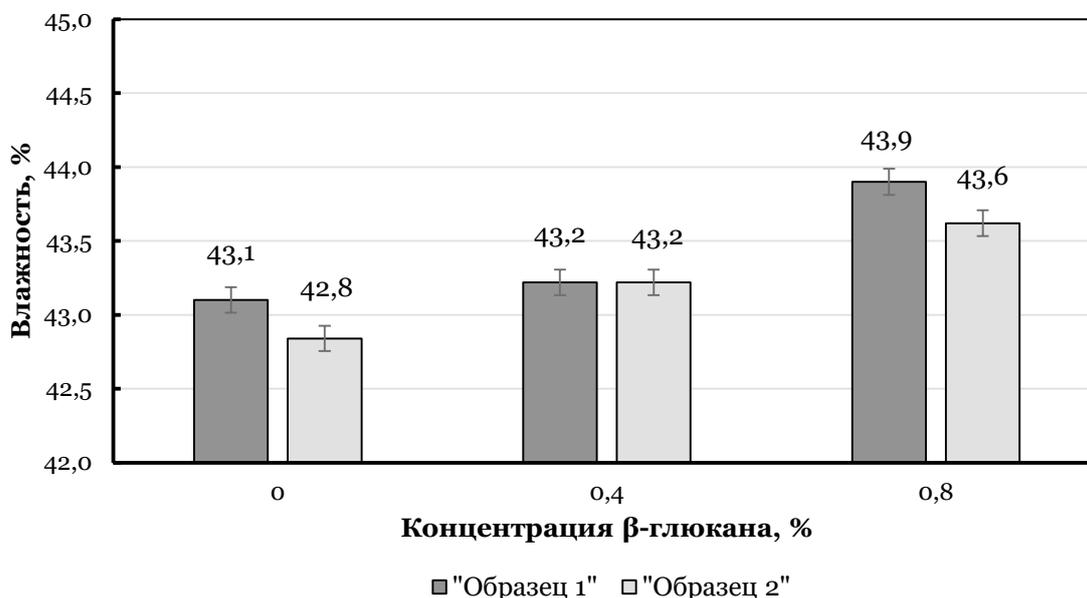


Рисунок 16 – Влияние изолята овсяного β-глюкана на влажность хлеба
 Figure 16. The effect of the oat β-glucan isolate on the bread moisture content

В результате исследования было установлено, что с увеличением концентрации изолята овсяного β-глюкана влажность изделий возрастает, что связано с хорошей водопоглотительной способностью данных полисахаридов. При максимальной дозировке 0,8% изолята овсяного β-глюкана хлеб, приготовленный из сильной муки, имел большую влажность, чем хлеб из слабой муки, эта же разница наблюдалась и в контрольных образцах.

Возможность впитывать большое количество воды позволяет использовать полисахариды для повышения выхода хлеба.

На заключительном этапе исследований оценивали влияние изолята овсяного β-глюкана на органолептические показатели готовых изделий.

Внешний вид готовых изделий представлен на рисунке 17.

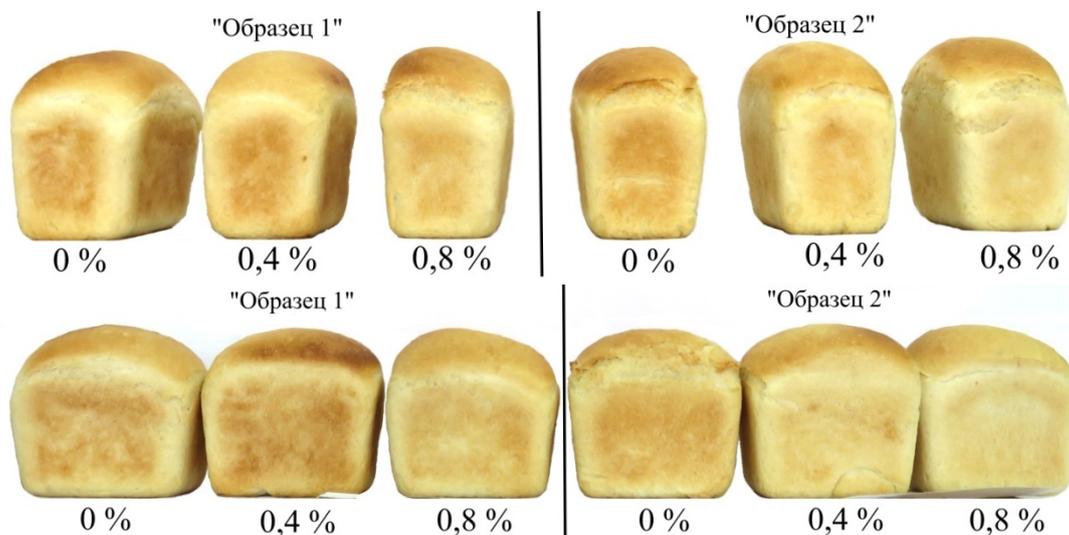


Рисунок 17 – Влияние изолята овсяного β-глюкана на внешний вид готовых изделий (цифрами указана дозировка изолята β-глюкана)

Figure 17. The effect of the oat β-glucan isolate on the appearance of the finished product (with the percentage of β-glucan isolate)

Исследования показали, что хлебобулочные изделия, обогащенные изолятом овсяного β-глюкана, по внешнему виду не уступали контрольному варианту.

Хлеб из сильной муки образца 1 имел более ярко окрашенную корку, по сравнению с хлебом из муки образца 2. По состоянию поверхности, форме и цвету корки наилучшую оценку получил хлеб из муки образца 1, содержащего 0,8% изолята β-глюкана.

Мякиш всех образцов хлеба был эластичным, после надавливания он быстро приобретал первоначальное состояние. Также у всех образцов не чувствовалось на ощупь капле несвязанной воды и следов непромеса, то есть мякиш был однородным.

Добавление изолята овсяного β-глюкана не оказало существенного влияния на вкусовые и ароматические свойства готовых изделий. У всех образцов был хорошо выраженный аромат, присущий свежеспеченному хлебу, все образцы обладали типичным вкусом, оставалось приятное послевкусие хлеба.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что изделия с изолятом овсяного β-глюкана по органолептическим характеристикам соответствуют всем показателям и требованиям.

Выводы

Согласно значениям показателя «Число падения» и амилографическим исследованиям, изолят овсяного β-глюкана повышает вязкость оклейстеризованной водно-мучной суспензии, приготовленной из сильной муки и не влияет на ее вязкость при использовании слабой муки.

Реологические характеристики теста с добавкой изолята овсяного β-глюкана зависят от количества и качества клейковины и от концентрации самого изолята. Для сильной муки (образец 1) с ростом концентрации изолята овсяного β-глюкана в тесте значение почти всех его реологических показателей возрастает относительно контроля, так при внесении 0,8% изолята овсяного β-глюкана водопоглотительная способность теста возрастает на 5%, устойчивость на 22 мин, энергия деформации на $160 \cdot 10^{-4}$ Дж, упругость на 9 мм вод. ст., а растяжимость на 32 мм.

Для слабой муки (образец 2) внесение изолята овсяного β-глюкана слабо влияет на реологические характеристики теста, только при внесении 0,4% изолята несколько повышается энергия деформации теста на $28 \cdot 10^{-4}$ Дж и его упругость на 8 мм вод. ст.

Изолят овсяного β-глюкана в количестве 0,4% повышает удельный объем и пористость хлеба независимо от количества и качества клейковины.

Изолят овсяного β -глюкана в исследуемых концентрациях повышает влажность готовых изделий относительно контроля.

Введение в рецептуру белого хлеба 0,4 и 0,8% изолята овсяного β -глюкана не влияет на его органолептические показатели.

Результаты данной работы показывают, что при оценке влияния добавки на свойства теста и хлеба желательно проводить исследования с несколькими образцами муки, отличающимися по основным показателям качества.

References

1. Phillips G.O., Williams P.F. (Ed.) *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing, 2009. 948 p.
2. Sima P., Vannucci L., Vetvicka V. β -glucans and cholesterol (Review). *Int. J. Mol. Med.*, 2018, V. 41, no. 4, pp. 1799–1808.
3. Earnshaw S.R., McDade C.L., Chu Y.F., Fleige L.E., Sievenpiper J.L. Cost-effectiveness of maintaining daily intake of oat β -glucan for coronary heart disease primary prevention. *Clinical Therapeutics*. 2017, V. 39, no. 4, pp. 804–818.
4. Mäkeläinen H., Anttila H., Sihvonen J., Hietanen R.M., Tahvonen R., Salminen E., Mikola M., Sontag-Strohm T. The effect of beta-glucan on the glycemic and insulin index. *Eur. J Clin. Nutr.* 2007, V. 61, no. 6, pp. 779–785.
5. Tiwari U.P., Singh A.K., Jha R. Fermentation characteristics of resistant starch, arabinoxylan, and β -glucan and their effects on the gut microbial ecology of pigs: A review. *Animal Nutrition*. 2019, V. 5, no. 3, pp. 217–226.
6. O’Keefe S.J.D. Diet, microorganisms and their metabolites, and colon cancer. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2016, V. 13, no. 12, pp. 691–706.
7. Bashir K.M.I., Choi J.-S. Clinical and physiological perspectives of β -glucans: the past, present, and future. *Int. J Mol. Sci.* 2017, V. 18, no. 9, pp. 1–48.
8. Frioui M., Gaceu L., Oprea O., Shamtsyan M.M. The influence of fungal extract containing beta beta-glucans on the rheological characteristics of dough. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2018, no. 3, pp. 53–61 (In Russian).
9. Puchkova L.I. *Laboratory workshop on baking technology*. St. Petersburg, GIORD Publ., 2004. 264 p. (In Russian).
10. Khuzin F.K., Yamashev T.A., Kanarskii A.V., Gematdinova V.M. Comparison of quality indicators of bakery products baked by convection and electric contact method. *Khleboproducty*. 2019, no. 9, pp. 56–60 (In Russian).
11. Huang Z.H., Zhao Y., Zhu K.X., Guo X.N., Peng W., Zhou H.M. Effect of barley β -glucan on the gluten polymerization process in dough during heat treatment. *J. Agric. Food Chem.* 2017, V. 65, no. 29, pp. 6063–6069.
12. Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., Izydorczyk M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*. 2010, V. 119, no. 3, pp. 1159–1167.
13. Wang L., Ye F., Li S., Wei F., Chen J., Zhao G. Wheat flour enriched with oat β -glucan: A study of hydration, rheological and fermentation properties of dough. *Journal of Cereal Science*. 2017, V. 75, pp. 143–150.
14. Ahmed J., Thomas L. Effect of β -Glucan concentrate on the water uptake, rheological and textural properties of wheat flour dough. *International Journal of Food Properties*. 2015, V. 18, no. 8, pp. 1801–1816.
15. Iranshahi M., Ardebili S.M.S., Ardakani S.A.Y. Effect of inulin and β -glucan on the physicochemical, rheological, and sensory properties barbari bread. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. 2014, V. 4, no. 6, pp. 90–97.
16. Bordes J., Branlard G., Oury F.X., Charmet G., Balfourier F. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*. 2008, V. 48, no. 3, pp. 569–579.
17. Marchylo B.A., Dexter J.E. Pasta Production, In: *Cereals Processing Technology*, G. Owens (Ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001, pp. 109–130.

Статья поступила в редакцию 11.05.2020