https://doi.org/10.58805/fs.V.1(32)-10

ВЛИЯНИЕ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ЗАКВАСОК НА ОСНОВЕ КАЗАХСТАНСКИХ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ И ДРОЖЖЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕСС БРОЖЕНИЯ ТЕСТА

Л.Б. Умиралиева[1], И.Д. Филатов[1,2]✉, Э.Т. Исмаилова[1,3], А.Б. Оспанов[1], С.С. Турлыбаева[1], А.Н. Исабек[4]

[1] ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан
[2] Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан
[3] Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии, Алматы, Казахстан
[4] Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан
✉ *Корреспондент-автор: filatov-vanya@inbox.ru*

В работе изучено влияние заквасок на основе двух консорциумов молочнокислых бактерий и дрожжей, выделенных из казахстанского сырья, на реологические свойства пшеничного и пшенично-ржаного теста. Комплексные термомеханические характеристики теста определяли на приборе Mixolab (протокол Chopin+). Консорциум 1 включал *Lacticaseibacillus paracasei* LB-27, *L. paracasei* LB-319 и *Saccharomyces cerevisiae* LVg; консорциум 2 - *L. rhamnosus* RH-5, *L. paracasei* LB-319 и *S. cerevisiae* A-28g.

Установлено, что внесение заквасок в количестве 10 % к массе муки оказывает преимущественно ослабляющее действие на клейковину теста: крутящий момент C2 в пшеничном тесте статистически значимо снижался только при внесении консорциума A-28g (с 0,599 до 0,555 Н·м; $p < 0,05$), тогда как скорость ослабления белка α возрастала по абсолютной величине в обоих опытных вариантах (с −0,070 до −0,104 и −0,130 Н·м/мин; $p < 0,001$).

Внесение заквасок повышало водопоглотительную способность пшеничной муки (с 57,0 до 59,2 %), сокращало время развития теста и сопровождалось признаками усиления амилолитической активности.

Ключевые слова: закваска, консорциум микроорганизмов, молочнокислые бактерии, дрожжи, реология теста, брожение теста, Mixolab, Rheo F4.

EFFECT OF BAKERY SOURDOUGHS BASED ON KAZAKHSTANI STRAINS OF LACTIC ACID BACTERIA AND YEAST ON DOUGH RHEOLOGICAL PROPERTIES AND FERMENTATION

L.B. Umiraliyeva[1], I.D. Filatov[1,2]✉, E.T. Ismailova[1,3], A.B. Ospanov, S.S. Turlybayeva[1], A.N. Isabek[4]

[1] Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan
[2] International Engineering and Technological University, Almaty, Kazakhstan
[3] Research and Production Center for Microbiology and Virology, Almaty, Kazakhstan
[4] Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: filatov-vanya@inbox.ru

This study examined the effect of sourdoughs based on two consortia of lactic acid bacteria and yeast, isolated from Kazakhstani raw materials, on the rheological properties of wheat and wheat–rye dough. We determined the dough's complex thermo-mechanical characteristics using a Mixolab device (Chopin+ protocol). Consortium 1 comprised *Lacticaseibacillus paracasei* LB-27, *L. paracasei* LB-319 and *Saccharomyces cerevisiae* LVg; consortium 2 comprised *L. rhamnosus* RH-5, *L. paracasei* LB-319 and *S. cerevisiae* A-28g.

The addition of sourdoughs at 10 % of the flour weight had a predominantly weakening effect on the gluten component of the dough: in wheat dough, the C2 torque decreased significantly only with consortium A-28g (from 0.599 to 0.555 N·m; $p < 0.05$), whereas the rate of protein weakening α increased in absolute value in both experimental variants (from −0.070 to −0.104 and −0.130 N·m/min; $p < 0.001$).

Sourdough addition increased water absorption in wheat flour (from 57.0 to 59.2 %), shortened dough development time, and was accompanied by signs of enhanced amylolytic activity.

Keywords: sourdough, microbial consortium, lactic acid bacteria, yeast, dough rheology, dough fermentation, Mixolab, Rheo F4.

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СҮТҚЫШҚЫЛДЫ БАКТЕРИЯЛАР МЕН АШЫТҚЫ ШТАММДАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ НАУБАЙХАНАЛЫҚ ҰЙЫТҚЫЛАРДЫҢ ҚАМЫРДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН АШУ ҮРДІСІНЕ ӘСЕРІ

Л.Б. Умиралиева[1], И.Д. Филатов[1,2]✉, Э.Т. Исмаилова[1,3], А.Б. Оспанов[1], С.С. Турлыбаева[1], Ә.Н. Исабек[4]

[1] «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан
[2] Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Алматы, Қазақстан
[3] Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы, Алматы, Қазақстан
[4] Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: filatov-vanya@inbox.ru

Бұл жұмыста қазақстандық шикізаттан бөлініп алынған сүтқышқылды бактериялар мен ашытқылардың екі консорциумы негізіндегі ұйытқылардың бидай және бидай-қара бидай қамырының реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Қамырдың кешенді термомеханикалық сипаттамалары Mixolab аспабында (Chopin+ хаттамасы) анықталды. 1-консорциум құрамына *Lacticaseibacillus paracasei* LB-27, *L. paracasei* LB-319 және *Saccharomyces cerevisiae* LVg; 2-консорциум құрамына *L. rhamnosus* RH-5, *L. paracasei* LB-319 және S;. Cerevisiae A-28g кірді.

Ұйытқыны ұн салмағының 10 % мөлшерінде енгізу қамырдың клейковина компонентіне негізінен әлсірететін әсер ететіні анықталды: бидай қамырында C2 айналдыру моменті тек A-28g консорциумын енгізгенде статистикалық тұрғыдан мәнді төмендеді (0,599-ден 0,555 Н·м-ге дейін; $p < 0,05$), ал ақуыздың әлсіреу жылдамдығы α екі тәжірибелік нұсқада да абсолюттік мәні бойынша артты ($p < 0,001$).

Ұйытқыны енгізу бидай ұнның су сіңіру қабілетін арттырды (57,0-ден 59,2 %-ға дейін), қамырдың даму уақытын қысқартты және амилолиздік белсенділіктің күшею белгілерімен қатар жүрді.

Түйін сөздер: ұйытқы, микроорганизмдер консорциумы, сүтқышқылды бактериялар, ашытқы, қамыр реологиясы, Mixolab, Rheo F4.

Введение. Хлеб и хлебобулочные изделия остаются одними из базовых продуктов питания населения, в связи с чем их качество, безопасность и потребительские свойства имеют непосредственное значение для обеспечения продовольственной безопасности. В последние годы в хлебопекарной отрасли отчётливо видна тенденция к возврату технологии применения заквасочных культур, обусловленная, с одной стороны, стремлением производителей отказаться от синтетических хлебопекарных уличителей и консервантов, а с другой - растущим потребительским спросом на натуральные продукты с улучшенными органолептическими и пищевыми свойствами [1, 2]. Закваски представляют собой сообщество молочнокислых бактерий (МКБ) и дрожжей, метаболическая активность которых обеспечивает кислотообразование и разрыхление теста, формирование вкус ароматических показателей, повышение биодоступности нутриентов и подавление развития Конта минирующей микробиоты [1, 3].

Главным технологическим механизмом воздействия заквасок на тесто является увеличение его кислотности за счёт образования молочной и уксусной кислот, соотношение которых в значительной мере определяет вкус готового изделия. Снижение РН создаёт неблагоприятные условия для развития возбудителей порчи хлеба, тем самым повышая микробиологическую безопасность готовых изделий и позволяя продлить их срок годности без применения синтетических консервантов [4, 5]. Также стоит отметить, что отдельные штаммы МКБ обладают выраженной антифунгальной активностью в отношении плесневых грибов родов Aspergillus и Penicillium, что дополнительно увеличивает срок хранения хлеба [5, 6].

Наряду с антимикробным действием, внесение заквасок закономерно изменяет реологические свойства теста. За счет кислотообразования активируются эндогенные протеолитические ферменты муки - прежде всего аспартатные протеиназы и карбокси-

пептидазы, активные в кислой среде, которые в конечном итоге приводят к протеолизу клейковины муки, снижению упругости и повышению пластичности теста [7, 8]. Одновременно метаболиты МКБ и дрожжей, включая экзополисахариды, влияют на водопоглотительную способность муки и вязкость теста [7, 9]. Характер данных изменений во многом зависит от микробного состава закваски, количества её внесения, продолжительности расстоечного цикла и типа муки [8, 9].

Изменения структурно-механических свойств теста непосредственно отражаются на качестве готовых изделий. Умеренное ослабление клейковины и накопление органических кислот способствует увеличению удельного объёма изделий [10, 11] кроме того, для хлеба на закваске показано замедление черствения, связанное с ингибированием ретроградации амилопектина и деполимеризацией клейковины в подкисленном тесте [12]. При этом влияние заквасок на данные показатели существенно зависит от применяемых культур микроорганизмов: использование идентифицированных штаммов позволяет контролировать как органолептические, так и структурно-механические свойства хлебопекарных изделий [13].

Применение заквасочных культур имеет особую значимость для пшенично-ржаных и ржаных изделий. В тесте с применением ржаной муки существенный вклад вносят пентозаны (главным образом арабиноксиланы), которые связывают значительное количество воды и формируют более пластичное тесто, в котором клейковина не образует непрерывных связей. В данных условиях снижение уровня pH закваской является технологически необходимым для регулирования активности α-амилазы и получения теста с необходимыми структурно-механическими свойствами [9].

Несмотря на широкую доказательную базу преимуществ заквасок «спонтанного» брожения, в промышленных условиях их применение сопровождается трудностями из-за разнообразного микробиологического состава и проблемами стандартизации технологического процесса. Альтернативой служит использование заквасок на основе консорциумов микроорганизмов заданного состава, которые обеспечивают воспроизводимость свойств теста и готовых хлебобулочных изделий [3, 14, 15]. Ранее нами были выделены и идентифицированы штаммы МКБ и дрожжей из казахстанского сырья и на их основе сформированы два биосовместимых микробных консорциума [16].

Научная новизна работы состоит в том, что реологическое поведение теста оценено для заквасок на основе консорциумов, сформированных из штаммов молочнокислых бактерий и дрожжей, выделенных из казахстанского сырья, причём действие двух консорциумов сопоставлено одновременно на пшеничной и пшенично-ржаной муке двумя взаимодополняющими инструментальными методами - термомеханическим анализом и реоферментометрией. В отличие от заквасок спонтанного брожения и импортируемых коммерческих стартовых культур, микробный состав которых либо не стандартизирован, либо не адаптирован к местному сырью, исследуемые консорциумы имеют полностью идентифицированный и воспроизводимый состав [16].

Целью настоящей работы послужило изучение влияния заквасок на основе двух консорциумов молочнокислых бактерий и дрожжей на реологические свойства и процесс брожения пшеничного и пшенично-ржаного теста. Рабочая гипотеза состояла в том, что закваски на основе консорциумов различного штаммового состава по-разному изменяют белковую и крахмальную фазы теста, а характер этих изменений зависит от вида муки.

Для проверки гипотезы решали следующие задачи: оценить термомеханические характеристики теста на приборе Mixolab (Chopin Technologies, Франция), определить газообразующую и газоудерживающую способность теста на реоферментометре Rheo F4 (Chopin Technologies, Франция), сопоставить действие двух консорциумов на двух мучных основах и установить связь между термомеханическими показателями и параметрами брожения.

Материалы и методы. В работе использовали два микробных консорциума на основе штаммов, ранее выделенных из казахстанского сырья и депонированных в Республиканской коллекции микроорганизмов (№ K-RKM 1309; K-RKM 1310). Консорциум 1 (условное обозначение «LVg») включал Lacticaseibacillus paracasei LB-27 (GenBank ID: PV819315), Lacticaseibacillus paracasei LB-319 (GenBank ID: PV819335) и дрожжи Saccharomyces cerevisiae LVg (GenBank ID: PV826795); консорциум 2 (условное обозначение «A-28g») - Lacticaseibacillus rhamnosus RH-5 (GenBank ID: PV819329), Lacticaseibacillus paracasei LB-319 (GenBank ID: PV819335) и Saccharomyces cerevisiae A-28g (GenBank ID: PV826796) [16]. Совместное культивирование культур проводили при 30 °C в течение 18 часов на мучной среде, с внесением 10 % сухой подсырной молочной сыворотки

(65% деминерализации). Культуральную жидкость консорциумов вносили в количестве 10 % к массе мучной среды при равнодолевом соотношении инокулята (1:1:1).

Реологические испытания проводили на образцах теста из двух видов муки - пшеничной 1-го сорта («Цесна») и пшенично-ржаной. Рецептуры составляли из расчёта на 100 г мучной смеси. Контрольный пшеничный образец содержал 100 г пшеничной муки 1-го сорта («Цесна»), контрольный пшенично-ржаной - 75 г пшеничной и 25 г ржаной муки («Увелка»), закваску в контрольные образцы не вносили. В опытных образцах закваску на основе соответствующего консорциума вносили в количестве 10 % к массе муки. Количество вносимой воды рассчитывали с учётом влаги, поступающей с закваской.

Влажность, массовую долю белка, количество сырой клейковины и зольность мучного сырья определяли на инфракрасном анализаторе Спектран-219. Активную кислотность заквасок определяли потенциометрически, титруемую кислотность - титрованием раствором гидроксида натрия концентрацией 0,1 моль/дм³, количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и дрожжей - методом последовательных разведений с высевом на MRS-агар и сусло-агар соответственно. Характеристика мучного сырья и готовых заквасок приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели качества мучного сырья и готовых заквасок

Показатель	Мука пшеничная 1-го сорта («Цесна»)	Мука ржаная («Увелка»)	Закваска на основе консорциума LVg	Закваска на основе консорциума A-28g
Влажность, %	12,92±0,11	12,44±0,12	56,42±0,84	55,81±0,66
Массовая доля белка, %	11,94±0,09	8,64±0,07	-	-
Массовая доля сырой клейковины, %	32,52±0,13	-	-	-
Зольность, %	0,73±0,03	0,84±0,05	-	-
Активная кислотность (pH)	-	-	4,31±0,07	4,18±0,09
Титруемая кислотность, град	2,4±0,2	3,2±0,3	18,0±0,9	19,0±1,0
Количество жизнеспособных клеток МКБ, КОЕ/г	-	-	$1,3±0,2×10^9$	$1,7±0,3×10^9$
Количество жизнеспособных клеток дрожжей, КОЕ/г	-	-	$1,9±0,3×10^7$	$1,4±0,4×10^7$

Комплексные термомеханические характеристики теста определяли на приборе Mixolab (Chopin Technologies, Франция) по протоколу «Chopin+», регламентированному стандартом ISO 17718 [17]. Масса теста составляла 75,0 г; навеску муки рассчитывали в пересчёте на базисную влажность 14,0 %; температура воды - 30,0 °C, частота вращения месильных лопастей - 80 об/мин. Замес проводили при 30 °C с последующим нагревом до ~90 °C и охлаждением до 50 °C, что позволило последовательно оценить поведение белков и крахмала теста. Водопоглотительную способность (ВПС) устанавливали автоматически по достижению целевой консистенции (крутящий момент C1 ≈ 1,1 Н·м).

Регистрировали следующие показатели: C1 - максимальный крутящий момент на стадии замеса; стабильность - время сохранения консистенции теста; амплитуда - ширина кривой крутящего момента (эластичность теста); C2 - минимальный крутящий момент при нагреве (ослабление белковой сети под действием температуры и механического воздействия); C3 - максимум при клейстеризации крахмала; C4 - крутящий момент на стадии стабильности горячего геля (характеризует амилолитическую ак-

тивность); C5 - крутящий момент при охлаждении (склонность крахмала к ретроградации).

Дополнительно рассчитывали скорости изменения крутящего момента: α (участок C1-C2, скорость ослабления белка), β (C2-C3, скорость клейстеризации), γ (C3-C4, скорость ферментативной деструкции), а также фиксировали температуры теста в точках C2-C5.

Реологические свойства теста в процессе брожения оценивали на реоферментометре Rheo F4 (Chopin Technologies, Франция) по протоколу CHOPIN. Тесто готовили по рецептурам, приведённым выше; количество воды принимали равным водопоглотительной способности, установленной на приборе Mixolab для соответствующего варианта. Дополнительно во все образцы, включая контрольные, вносили поваренную соль и сухие хлебопекарные дрожжи, согласно стандартному протоколу CHOPIN: на 250 г муки - 5 г поваренной соли и 3 г быстродействующих сухих хлебопекарных дрожжей. Навеска теста, помещаемая в рабочую камеру, составляла 315 г, масса груза - 2000 г, температура брожения - 28,5 °C, продолжительность испытания - 3 ч [18]. Регистрировали параметры кривой подъёма теста: Hm - максимальная высота подъёма теста, мм; h - высота теста в конце испытания, мм; (Hm-h)/Hm - коэффициент падения (осадки) теста, %; T1 - время достижения максимальной высоты, ч: мин: с. По кривой высвобождения газа определяли: H′m - максимальную высоту газообразования, мм; T′1 - время её достижения; Tx - время появления пористости (начала утечки CO_2); общий объём образовавшегося CO_2 (VT, мл); объём потерянного CO_2, мл; удержанный объём CO_2 (VR, мл), а также коэффициент удержания CR = VR/VT, %, характеризующий газ удерживающую способность теста [18].

Эксперименты проводили в трёхкратной технической повторности. Нормальность распределения проверяли по критерию Шапиро - Уилка, однородность дисперсий - по критерию Левена. Достоверность различий между контрольным и опытными вариантами оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) с последующим апостериорным попарным сравнением средних по критерию Тьюки. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Расчёты выполняли с использованием программной среды R (R Core Team, v. 4.6.0) в интегрированной оболочке RStudio (v. 2026.08.2): дисперсионный анализ - функция aov () пакета stats, апостериорные сравнения - функция HSD.test() пакета agricolae.

Результаты и обсуждение. Термомеханические характеристики образцов пшеничного теста, полученные на приборе Mixolab, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Термомеханические характеристики пшеничного теста (мука 1 сорта) с закваской и контроля

Показатель	Контроль (Пшеничная мука)	Пшеничная мука, консорциум A-28g 10 %	Пшеничная мука, консорциум LVg 10 %
Водопоглотительная способность, %	57,0 ± 0,4	59,2 ± 0,3	59,2 ± 0,4
C1, Н·м	1,093 ± 0,019	1,100 ± 0,014	1,126 ± 0,011
Время развития (C1), мин	8,75 ± 0,10	6,07 ± 0,08	5,87 ± 0,07
Стабильность, мин	11,10 ± 0,12	10,50 ± 0,09	10,60 ± 0,11
Амплитуда, Н·м	0,066 ± 0,004	0,065 ± 0,004	0,083 ± 0,005
C2, Н·м	0,599 ± 0,010	0,555 ± 0,012	0,580 ± 0,015
C3, Н·м	2,016 ± 0,009	1,988 ± 0,012	2,035 ± 0,011
C4, Н·м	1,872 ± 0,015	1,833 ± 0,014	1,735 ± 0,016
C5, Н·м	3,134 ± 0,020	3,191 ± 0,017	3,316 ± 0,018
α, Н·м/мин	−0,070 ± 0,003	−0,130 ± 0,004	−0,104 ± 0,004
β, Н·м/мин	0,298 ± 0,010	0,400 ± 0,014	0,444 ± 0,015
γ, Н·м/мин	0,012 ± 0,004	−0,128 ± 0,010	−0,078 ± 0,008
Температура в точке C2, °C	57,6 ± 0,2	57,5 ± 0,3	56,2 ± 0,4

Показатель	Контроль (Пшеничная мука)	Пшеничная мука, консорциум A-28g 10 %	Пшеничная мука, консорциум LVg 10 %
Температура в точке C3, °C	82,8 ± 0,3	83,0 ± 0,6	83,0 ± 0,5
Температура в точке C4, °C	86,2 ± 0,5	86,2 ± 0,4	87,3 ± 0,7
Температура в точке C5, °C	55,6 ± 0,4	55,1 ± 0,5	55,0 ± 0,4

Внесение закваски в пшеничное тесто сопровождалось повышением водопоглотительной способности с 57,0 % в контроле до 59,2 % в обоих опытных образцах ($p < 0,05$); между двумя опытными вариантами различия статистически незначимы. Время достижения C1 (время развития теста) сокращалось с 8,75 мин в контроле до 5,87 и 6,07 мин в образцах с закваской «LVg» и «A-28g» соответственно, что свидетельствует об ускоренном формировании теста. Стабильность теста снижалась статистически значимо, но незначительно по абсолютной величине (с 11,10 до 10,50–10,60 мин; $p = 0,001$), указывая на некоторое уменьшение устойчивости теста к замесу.

Наиболее показательные изменения касались белкового компонента. Крутящий момент C2, отражающий ослабление белковых связей при нагреве, снижался с 0,599 Н·м в контроле до 0,580 Н·м (консорциум LVg) и 0,555 Н·м (консорциум A-28g), однако статистически значимым это снижение оказалось только для консорциума A-28g ($p = 0,012$); для консорциума LVg различие с контролем уровня значимости не достигало ($p = 0,230$). Одновременно скорость ослабления белка α становилась более отрицательной в обоих опытных вариантах (-0,070 Н·м/мин в контроле против −0,104 и −0,130 Н·м/мин соответственно), причём все три образца различались между собой ($p < 0,001$). Таким образом, ускорение ослабления клейковинного каркаса зафиксировано для обеих заквасок, тогда как снижение остаточной прочности белковой сети (C2) статистически подтверждено только для консорциума A-28g. Наблюдения согласуются с описанным в

литературе ослабляющим действием заквасок на клейковину, которое связывают со снижением pH теста и активацией эндогенных протеиназ [7, 8, 9, 11].

Показатель клейстеризации крахмала C3 изменялся в узком диапазоне (2,016 Н·м в контроле; 2,035 и 1,988 Н·м в опытных образцах), причём статистически значимым оказалось

только его снижение у консорциума A-28g ($p = 0,043$), тогда как скорость клейстеризации β возрастала в обоих опытных вариантах (0,298 против 0,444 и 0,400 Н·м/мин; $p < 0,05$). На стадии горячего геля наблюдалось снижение C4, наиболее заметное для образца «LVg» (с 1,872 до 1,735 Н·м), а скорость ферментативной деструкции γ смещалась в отрицательную область (с +0,012 до −0,078 и −0,128 Н·м/мин), что указывает на усиление амилолитической активности в образцах с закваской [8, 9].

Крутящий момент при охлаждении C5, характеризующий склонность крахмала к ретроградации, в образцах с закваской статистически значимо возрастал (с 3,134 Н·м в контроле до 3,316 Н·м у консорциума LVg и 3,191 Н·м у консорциума A-28g; $p < 0,001$) при одновременном снижении C4, что предположительно указывает на усиление ретроградации крахмала.

Термомеханические характеристики образцов пшенично-ржаного теста представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Термомеханические характеристики пшенично-ржаного теста с закваской и контроля

Показатель	Контроль (Пшенично-ржаная мука)	Пшенично-ржаная мука, консорциум A-28g, 10 %	Пшенично-ржаная мука, консорциум LVg, 10 %
Водопоглотительная способность, %	60,7±0,2[b]	56,4±0,5[c]	64,9±0,3[a]
C1, Н·м	1,122±0,013[a]	1,118±0,010[a]	1,097±0,011[a]
Время развития (C1), мин	5,18±0,09[c]	6,72±0,10[a]	5,77±0,06[b]
Стабильность, мин	8,50±0,08[b]	7,70±0,06[c]	9,80±0,11[a]
Амплитуда, Н·м	0,070±0,004[b]	0,044±0,006[c]	0,091±0,005[a]

Показатель	Контроль (Пшенично-ржаная мука)	Пшенично-ржаная мука, консорциум A-28g, 10 %	Пшенично-ржаная мука, консорциум LVg, 10 %
C2, Н·м	0,597±0,016[a]	0,468±0,011[b]	0,594±0,013[a]
C3, Н·м	2,032±0,015[a]	1,843±0,011[c]	1,984±0,016[b]
C4, Н·м	1,638±0,021[a]	1,635±0,019[a]	1,571±0,019[b]
C5, Н·м	2,442±0,013[a]	2,434±0,016[a]	2,313±0,021[b]
α, Н·м/мин	−0,114±0,008[b]	−0,078±0,005[a]	−0,100±0,007[b]
β, Н·м/мин	0,422±0,018[a]	0,296±0,014[b]	0,448±0,017[a]
γ, Н·м/мин	−0,062±0,004[b]	−0,042±0,002[a]	−0,074±0,003[c]
Температура в точке C2, °C	55,8±0,6[a]	54,6±0,4[b]	55,5±0,4[ab]
Температура в точке C3, °C	82,0±0,4[b]	84,4±0,5[a]	83,2±0,7[ab]
Температура в точке C4, °C	84,4±0,3[a]	85,0±0,6[a]	82,3±0,5[b]
Температура в точке C5, °C	54,8±0,2[a]	54,9±0,3[a]	54,8±0,4[a]

Для закваски на основе консорциума A-28g зафиксировано выраженное снижение крутящего момента C2 (с 0,597 до 0,468 Н·м), указывающее на существенное ослабление белкового компонента, а также снижение показателя клейстеризации C3 (с 2,032 до 1,843 Н·м) при практически неизменных C4 (1,638 против 1,635 Н·м) и C5 (2,442 против 2,434 Н·м); в обоих случаях различия с контролем статистически незначимы ($p > 0,05$). Для закваски на основе консорциума LVg величина C2 (0,594 Н·м) статистически не отличалась от контроля (0,597 Н·м; $p = 0,960$), тогда как C4 и C5 заметно снижались (до 1,571 и 2,313 Н·м соответственно), а скорость ослабления белка α от контроля статистически значимо не отличалась (-0,100 против −0,114 Н·м/мин; $p = 0,098$). Таким образом, в пшенично-ржаной муке ослабление клейковины отчётливо проявлялось только для консорциума A-28g, тогда как для консорциума LVg преобладали изменения крахмальной фазы - склонность к ретроградации. Отмеченное ослабление белковых связей согласуется с данными о совместном действии заквасочной микробиоты и ферментов при производстве пшенично-ржаного хлеба [9].

В совокупности, полученные данные свидетельствуют, что закваски на основе исследованных консорциумов оказывают преимущественно ослабляющее действие на клейковину теста и сопровождаются признаками усиления амилолитической активности. Характер изменения водопоглотительной способности при этом зависел как от муки, так и от состава консорциума: в пшеничном тесте обе закваски повышали её (с 57,0 до 59,2 %), в пшенично-ржаном повышение установлено только для консорциума LVg (до 64,9 %), тогда как консорциум A-28g снижал водопоглощение до 56,4 %. Такие изменения в умеренных пределах, как правило, благоприятны для формирования пористого мякиша и объёма изделий [7, 13], вместе с тем чрезмерное ослабление клейковины способно негативно сказаться на газ удерживающей способности, что определяет необходимость оптимизации количества внесения закваски.

Отдельно стоит рассмотреть следующие три группы полученных результатов. Крутящий момент C5 в пшеничном тесте в опытных образцах не снижался, а статистически значимо возрастал (с 3,134 до 3,191 и 3,316 Н·м; $p < 0,001$) при одновременном уменьшении C4. Увеличение разности C5 - C4, характеризующей упрочнение крахмального геля при охлаждении, предположительно свидетельствует о повышенной склонности крахмала к ретроградации и может быть связано с накоплением низкомолекулярных линейных декстринов вследствие усиленного амилолиза, поскольку такие фрагменты легче реассоциируют при снижении температуры. Различный характер изменения водопоглотительной способности в пшенично-ржаной муке может быть связан с различиями консорциумов по образованию экзополисахаридов и по интенсивности кислотообразования, влияющего на растворимость и водопоглотительную способность арабиноксиланов ржаной муки, а также с более высоким ослаблением белковой фазы у консорциума A-28g (наименьшее значение C2 - 0,468 Н·м), снижающим вклад клейковины в связывание воды.

Показатели C2 и α изменялись несогласованно: в пшеничном тесте у консорциума LVg скорость ослабления белка возрастала по абсолютной вели-

чине (α = −0,104 Н·м/мин; p <0,001) при статистически неизменном C2, а в пшенично-ржаном тесте у консорциума A-28g резкому снижению C2 соответствовала наименьшая по абсолютной величине скорость α (-0,078 Н·м/мин). Расхождение можно объяснить различием природы показателей: C2 представляет собой минимальное значение крутящего момента, тогда как α - среднюю скорость его изменения на участке C1-C2, продолжительность которого зависит от времени развития теста, различавшегося между вариантами (5,18–6,72 мин в пшенично-ржаной муке).

Величина зафиксированных эффектов сопоставима с литературными данными. Снижение крутящего момента C2 на 7 % в пшеничном тесте и на 22 % в пшенично-ржаном (консорциум A-28g), сокращение времени развития теста и изменение водопоглотительной способности на 2–4 процентных пункта по порядку величины отвечают изменениям, описанным для подкисленного теста, где внесение молочной, уксусной и янтарной кислот снижает водопоглощение и продолжительность замеса, необходимые для получения максимального удельного объёма хлеба [11]. Вместе с тем обобщение исследований показывает, что удельный объём хлеба на закваске варьирует в широких пределах и определяется прежде всего количеством ее внесения, кислотообразованием и способом ведения теста [10].

Поведение теста в процессе брожения оценивали на реоферментометре Rheo F4. Данный метод позволяет одновременно охарактеризовать газообразующую способность теста (объём выделившегося CO_2) и его газоудерживающую способность, что дополняет термомеханические данные Mixolab. Результаты для пшеничного теста представлены в таблице 4 и рисунке 1.

Таблица 4 - Показатели брожения пшеничного теста с закваской и контроля

Показатель	Контроль (Пшеничная мука)	Пшеничная мука, консорциум LVg, 10 %	Пшеничная мука, консорциум A-28g, 10 %
Hm - максимальная высота подъёма теста, мм	49,8±0,3^{c}	55,6±0,4^{b}	64,4±0,4^{a}
h - высота теста в конце испытания, мм	42,1±0,8^{c}	54,9±0,5^{b}	63,0±0,6^{a}
(Hm-h)/Hm - коэффициент падения теста, %	15,5±0,4^{a}	1,1±0,4^{c}	2,2±0,3^{b}
T1 - время достижения Hm, ч:мин:с	2:09:00±0:01:10^{c}	2:31:30±0:01:47^{a}	2:24:00±0:01:26^{b}
H′m - максимальная высота газообразования, мм	62,1±0,5^{b}	60,6±0,3^{c}	81,4±0,6^{a}
T′1 - время достижения H′m, ч:мин:с	0:51:00±0:01:19^{c}	2:15:00±0:01:42^{a}	1:55:30±0:02:21^{b}
Tx - время появления пористости, ч:мин:с	0:19:30±0:00:56^{c}	1:31:30±0:02:01^{a}	1:09:00±0:01:33^{b}
VT - общий объём CO_2, мл	1364±27^{b}	1402±21^{b}	1871±25^{a}
Объём потерянного CO_2, мл	373±13^{b}	314±11^{c}	669±19^{a}
VR - удержанный объём CO_2, мл	991±22^{c}	1088±20^{b}	1202±31^{a}
CR - коэффициент удержания, %	72,7±0,2^{b}	77,6±0,5^{a}	64,2±0,4^{c}

Внесение обеих заквасок в пшеничное тесто увеличивало максимальную высоту подъёма теста: с 49,8 мм в контроле до 55,6 мм (LVg) и 64,4 мм (A-28g). Принципиально важно, что коэффициент падения теста (Hm-h)/Hm снижался с 15,5 % в контроле до 1,1 % (LVg) и 2,2 % (A-28g): если контрольное тесто к концу трёхчасового брожения заметно оседало, то тесто с закваской практически сохраняло

достигнутую высоту. Это указывает на повышение устойчивости тестовых заготовок при расстойке, что имеет непосредственное технологическое значение. Одновременно возрастало время достижения максимальной высоты T1 (с 2 ч 09 мин до 2 ч 24 мин - 2 ч 31 мин) и существенно откладывалось появление пористости Tx (с 0 ч 19 мин до 1 ч 09 мин-1 ч 31 мин), что отражает более позднее начало утечки диоксида углерода из тестовой матрицы.

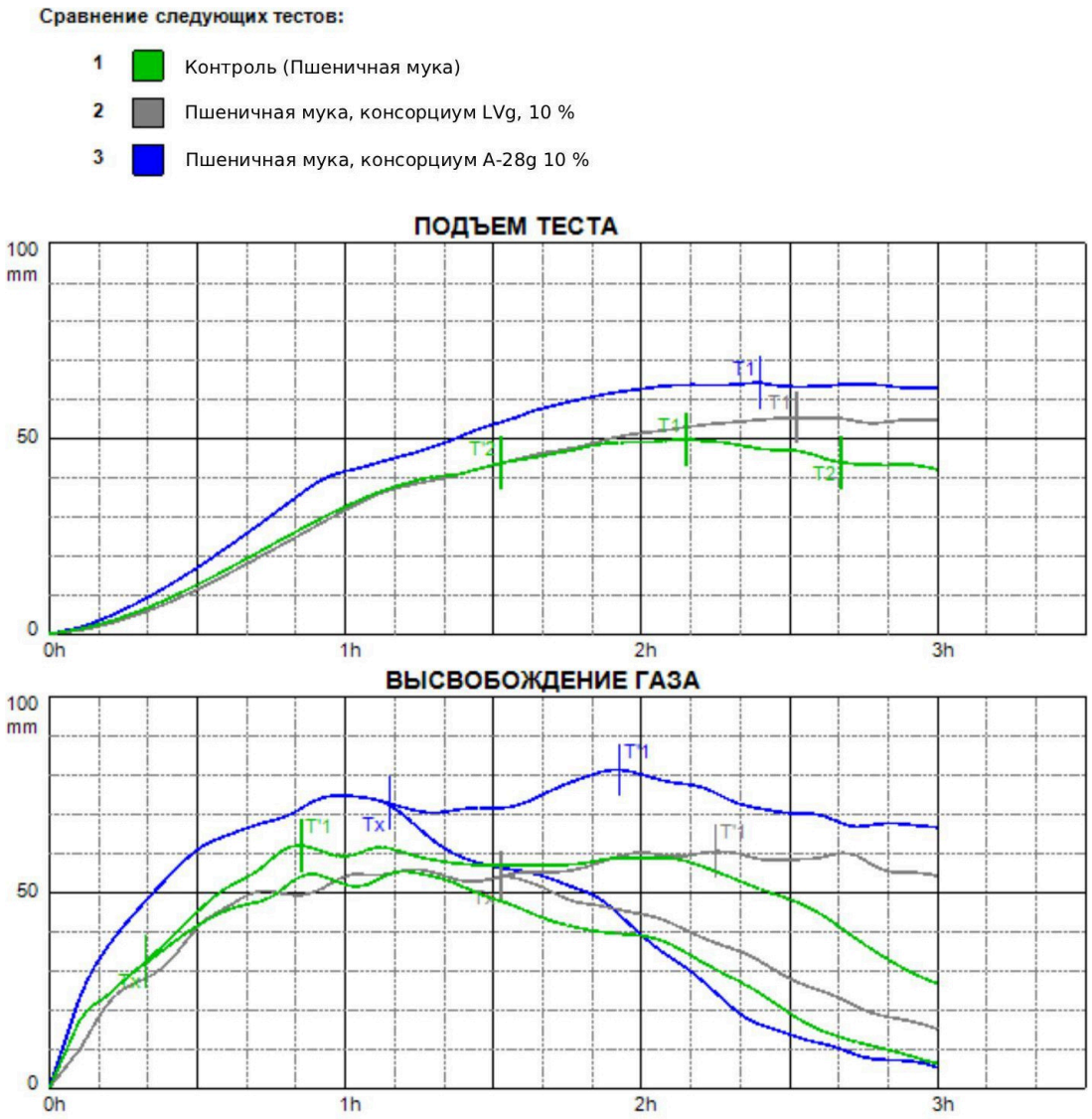


Рис. 1 - Графики сравнения подъема пшеничного теста и высвобождения газа в контрольном образце и с внесением заквасок

Газообразующая и газоудерживающая способности теста изменялись неодинаково для двух консорциумов. Закваска на основе консорциума A-28g обеспечивала наиболее интенсивное газообразование: максимальная высота газообразования H′m возрастала с 62,1 до 81,4 мм, а общий объём CO_2 - с 1364 до 1871 мл (на 37 %). Однако объём потерянного газа при этом увеличивался почти вдвое (с 373 до 669 мл), вследствие чего коэффициент удержания CR снижался с 72,7 до 64,2 %. Закваска на основе консорциума LVg, напротив, статистически значимо не изменяла общий объём CO_2 (1402 против 1364 мл; p = 0,218), но обеспечивала наименьшие его потери (314 мл) и наибольший коэффициент удержания (77,6 %). Показательно, что удержанный объём CO_2 (VR) - параметр, наиболее тесно связанный с объёмом готового изделия, возрастал в обоих опытных вариантах: с 991 мл в контроле до 1088 мл (LVg) и 1202 мл (A-28g).

Снижение коэффициента удержания у образца с консорциумом A-28g логично сопоставляется с данными Mixolab: именно этот консорциум вызывал наиболее выраженное ослабление клейковины пшеничного теста (наименьшее значение C2 - 0,555 Н·м

и наибольшая по абсолютной величине скорость ослабления белка α = −0,130 Н·м/мин). Такое тесто хуже удерживает интенсивно образующийся газ, что и отражается в росте потерь CO_2 при одновременном увеличении его общего объёма. Данная взаимосвязь между состоянием клейковинного каркаса и газоудерживающей способностью теста согласуется с обобщёнными данными по хлебопечению на закваске [10] и с результатами прямого изучения влияния кислотонакопления теста на его реологические свойства и удельный объём хлеба [11]. Аналогичная закономерность зафиксирована методом реофермен-тометрии и при использовании других видов сырья [19, 20]. Увеличение общего объёма CO_2 при внесении заквасок может быть связано с более высокой численностью активной микробиоты, вносимой с закваской, и с усилением амилолитической активности, обеспечивающей дрожжевые клетки сбраживаемыми сахарами [10, 21], что согласуется с зафиксированным нами по данным Mixolab смещением γ в отрицательную область.

Показатели брожения пшенично-ржаного теста представлены в таблице 5 и рисунке 2.

Таблица 5 - Показатели брожения пшенично-ржаного теста с закваской и контроля

Показатель	Контроль (Пшенично-ржаная мука)	Пшенично-ржаная мука, консорциум LVg, 10 %	Пшенично-ржаная мука, консорциум A-28g, 10 %
Hm - максимальная высота подъёма теста, мм	22,1±0,4^{c}	40,3±0,5^{b}	43,4±0,3^{a}
h - высота теста в конце испытания, мм	22,0±0,2^{c}	39,6±0,6^{b}	41,9±0,5^{a}
(Hm-h)/Hm - коэффициент падения теста, %	0,5±0,1^{c}	1,8±0,2^{b}	3,5±0,2^{a}
T1 - время достижения Hm, ч:мин:с	2:40:30±0:02:11^{b}	2:46:30±0:02:43^{a}	2:16:30±0:02:01^{c}
H′m - максимальная высота газообразования, мм	57,7±0,4^{c}	85,5±0,5^{a}	72,9±0,5^{b}
T′1 - время достижения H′m, ч:мин:с	2:19:30±0:01:49^{a}	2:24:00±0:02:42^{a}	2:06:00±0:02:13^{b}
Tx - время появления пористости, ч:мин:с	0:39:00±0:01:01^{b}	0:19:30±0:00:54^{c}	0:48:00±0:01:22^{a}
VT - общий объём CO_2, мл	1355±22^{c}	1977±26^{a}	1693±34^{b}
Объём потерянного CO_2, мл	393±19^{c}	1022±21^{a}	556±14^{b}
VR - удержанный объём CO_2, мл	963±20^{b}	955±27^{b}	1137±18^{a}
CR - коэффициент удержания, %	71,0±0,3^{a}	48,3±0,5^{c}	67,2±0,6^{b}

В пшенично-ржаном тесте эффект внесения заквасок на подъём теста был выражен значительно сильнее, чем в пшеничном. Максимальная высота подъёма возрастала с 22,1 мм в контроле до 40,3 мм (LVg) и 43,4 мм (A-28g), то есть в 1,8–2,0 раза. Столь низкая величина Hm в контроле закономерна для теста с высоким содержанием ржаной муки, в котором клейковина не образует непрерывных связей, а структурообразование определяется преимущественно пентозанами, а внесение закваски, содержащей активные дрожжи и молочнокислые бактерии, принципиально повышает разрыхляющую способность теста. Коэффициент падения теста оставался низким во всех вариантах (0,5–3,5 %).

Показатели газообразования и газоудержания в пшенично-ржаном тесте распределились иначе, чем в пшеничном. Наибольшее газообразование обеспечивала закваска на основе консорциума LVg (H′m = 85,5 мм; общий объём CO_2 1977 мл против 1355 мл в контроле), однако потери газа при этом достигали 1022 мл, а коэффициент удержания снижался

до 48,3 %; в результате удержанный объём CO_2 (955 мл) статистически не отличался от контрольного (963 мл; p = 0,898). Закваска на основе консорциума A-28g при умеренном увеличении общего объёма CO_2 (1693 мл) и меньших потерях (556 мл) обеспечивала наибольший удержанный объём газа - 1137 мл при коэффициенте удержания 67,2 %, близком к контрольному значению (71,0 %). Таким образом, по интегральному показателю удержанного объёма CO_2 статистически значимое превышение над контролем на обоих видах муки установлено только для консорциума A-28g (1202 и 1137 мл соответственно), тогда как консорциум LVg обеспечивал наибольший коэффициент удержания в пшеничном тесте (CR = 77,6 %), но не увеличивал удержанный объём газа в пшенично-ржаном.

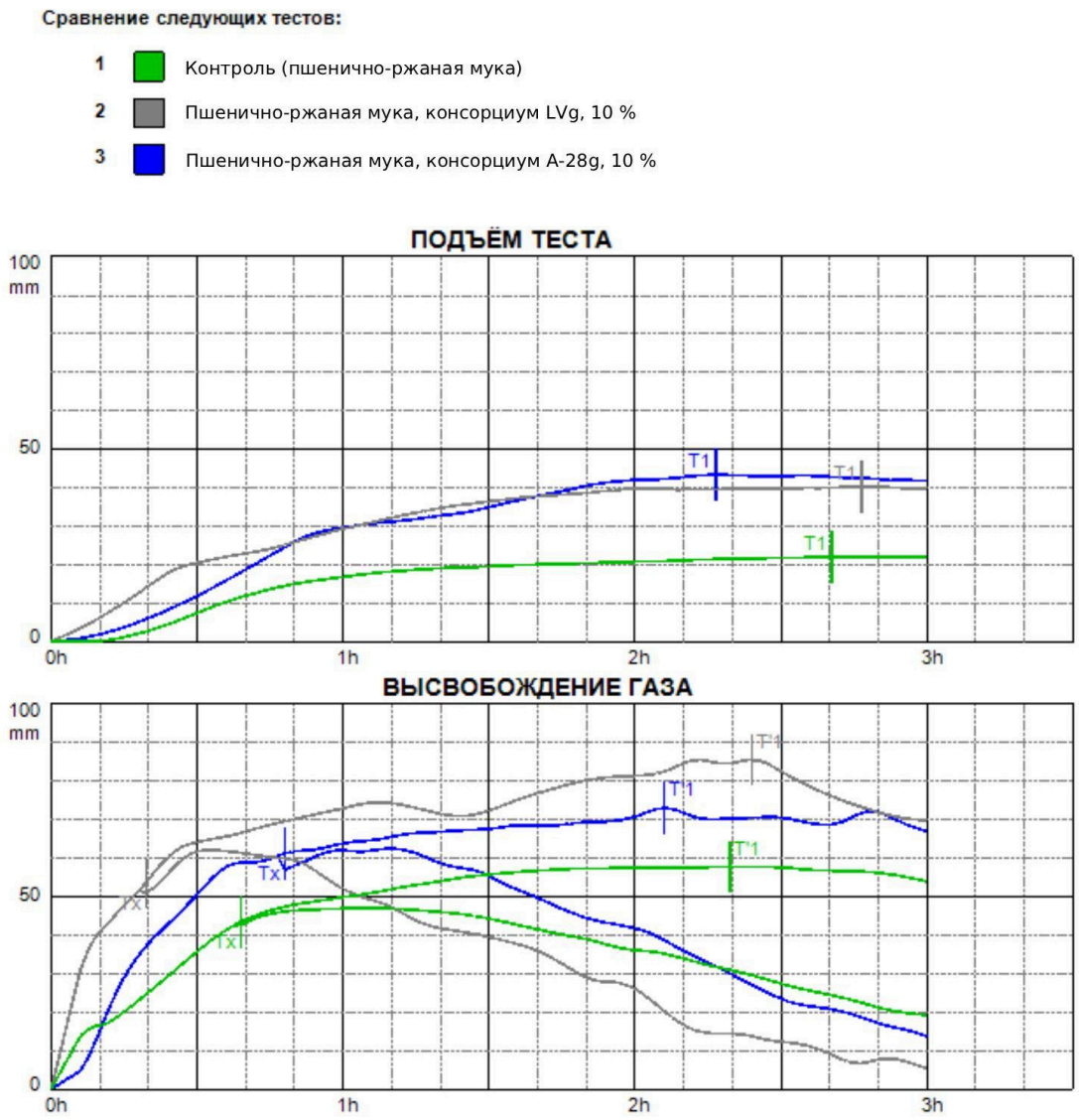


Рис. 2 - Графики сравнения подъема пшенично-ржаного теста и высвобождения газа в контрольном образце и с внесением заквасок

В целом данные реоферментометрии показывают, что закваски на основе исследованных консорциумов повышают разрыхляющую способность теста и его устойчивость при расстойке, при этом увеличение удержанного объёма углекислого газа на обоих видах муки статистически подтверждено только для консорциума A-28g. Вместе с тем интенсификация газообразования сопровождается ростом потерь CO_2 в тех вариантах, где клейковина ослаблена наиболее сильно, что подтверждает необходимость оптимизации количества внесения закваски и продолжительности брожения с целью достижения баланса между газообразующей и газоудерживающей способностями теста [19, 21].

Выводы. С помощью прибора Mixolab было установлено, что закваски на основе двух консорциумов молочнокислых бактерий и дрожжей оказывают

преимущественно ослабляющее действие на клейковину пшеничного теста: крутящий момент C2 статистически значимо снижался только при внесении консорциума A-28g (с 0,599 до 0,555 Н·м; p = 0,012), тогда как скорость ослабления белка α возрастала по абсолютной величине в обоих опытных вариантах (с −0,070 до −0,104 и −0,130 Н·м/мин; p < 0,001), причём эффект был более выражен у консорциума A-28g. Внесение заквасок повышало водопоглотительную способность пшеничной муки (с 57,0 до 59,2 %), сокращало время развития теста и сопровождалось признаками усиления амилолитической активности (снижение C4, смещение γ в отрицательную область).

В пшенично-ржаном тесте характер изменений различался: консорциум A-28g вызывал выраженное снижение C2 (с 0,597 до 0,468 Н·м), тогда как для консорциума LVg величина C2 оставалась на уровне контроля при заметном снижении C4 (до 1,571 Н·м) и C5 (до 2,313 Н·м).

Методом реоферментометрии (Rheo F4) установлено, что внесение заквасок существенно повышает устойчивость пшеничного теста при расстойке: коэффициент падения теста снижался с 15,5 % в контроле до 1,1–2,2 %, а максимальная высота подъёма возрастала с 49,8 до 55,6–64,4 мм. В пшенично-ржаном тесте максимальная высота подъёма увеличивалась в 1,8 - 2,0 раза (с 22,1 до 40,3–43,4 мм).

Удержанный объём углекислого газа статистически значимо возрастал при внесении консорциума A-28g на обоих видах муки, достигая наибольших значений (1202 мл в пшеничном и 1137 мл в пшенично-ржаном тесте против 991 и 963 мл в контролях; p <0,05); для консорциума LVg увеличение установлено только в пшеничном тесте (1088 мл; p = 0,007), тогда как в пшенично-ржаном различие с контролем отсутствовало (955 против 963 мл; p = 0,898). При этом наиболее интенсивное газообразование сопровождалось снижением коэффициента удержания (до 64,2 % у A-28g в пшеничном тесте и до 48,3 % у LVg в пшенично-ржаном), что указывает на необходимость оптимизации количества внесения закваски.

Полученные закономерности согласуются с современными представлениями об ослабляющем действии заквасок на клейковину, которое связывают с увеличением кислотности теста и активацией эндогенного протеолиза. Полученные результаты указывают на то, что разработанные консорциумы перспективны для регулирования реологических свойств теста и его поведения при брожении.

Финансирование. *Исследование выполнено в рамках проекта «Разработка биопрепаратов для различных видов хлеба на основе отечественных высокоактивных культур микроорганизмов, обеспечивающих получение качественной и безопасной хлебопекарной продукции», научно-технической программы BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья», по бюджетной программе 267 «Повышение доступности знаний и научных исследований», подпрограмме 101 «Программно-целевое финансирование научных исследований и мероприятий» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы.*

References

1. De Vuyst L., Comasio A., Van Kerrebroeck S. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023.-Vol.63(15). -P. 2447-2479. DOI 10.1080/10408398.2021.1976100.
2. D'Amico V., Gänzle M., Call L., Zwirzitz B., Grausgruber H., D'Amico S., Brouns F. Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? // Frontiers in Nutrition. −2023.-Vol«. D»OI 10.3389/fnut.2023.1230043.
3. Oleinikova Y., Amangeldi A., Zhaksylyk A., Saubenova M., Sadanov A. Sourdough microbiota for improving bread preservation and safety: main directions and new strategies//Foods. −2025.-Vol. 14(14):2443. DOI 10.3390/foods14142443.
4. Pérez-Alvarado O., Zepeda-Hernández A., Garcia-Amezquita L. E., Requena T., Vinderola G., García-Cayuela T. Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: evaluation of postbiotic-like components and health benefits//Frontiers in Microbiology. −2022.-Vol«. D»OI 10.3389/fmicb.2022.969460.
5. Illueca F., Moreno A., Calpe J., Nazareth T. D. M., Dopazo V., et al. Bread biopreservation through the addition of lactic acid bacteria in sourdough//Foods. −2023.-Vol.12(4). DOI 10.3390/foods12040864.

6. Mou T., Xu R., Li Q., Li J., Liu S., Ao X., Chen S., Liu A. Screening of antifungal lactic acid bacteria and their impact on the quality and shelf life of rye bran sourdough bread//Foods. −2025.-Vol. 14(7):1253. DOI 10.3390/foods14071253.
7. Chochkov R., Savov M., Gotcheva V., Papageorgiou M., Rocha J.M., Baev V., Angelov A. Effects of sourdough on rheological properties of dough, quality characteristics and staling time of wholemeal wheat croissants// Italian Journal of Food Science. −2023.-Vol. 35(3). P.115-129. DOI 10.15586/ijfs. v35i3.2385.
8. Codină G.G., Sarion C., Dabija A. Effects of dry sourdough on bread-making quality and acrylamide content// Agronomy. −2021.-Vol. 11(10): 1977. DOI 10.3390/agronomy11101977.
9. Korzhenivska A., Danylenko S., Gunko S., Kozlovska G., Lukianets A. Application of bacterial sourdough and enzymes in the production of bread from a mixture of rye and wheat flour//Food Science and Technology. −2023.-Vol.17(4). DOI 10.15673/fst. v17i4.2761.
10. De Bondt Y., Verdonck C., Brandt M.J., De Vuyst L., Gänzle M.G., Gobbetti M., Zannini E., Courtin C.M. Wheat sourdough breadmaking: a scoping review//Annual Review of Food Science and Technology. 2024.-Vol. 15(1). -P. 265-282. DOI 10.1146/annurev-food-110923-034834.
11. Verdonck C., Van Hecke Z., De Bondt Y., Goos P., Moldenaers P., Courtin C.M. Mechanistic insights into the impact of acetic acid, lactic acid, and succinic acid on the dough rheology, the breadmaking process, and the specific volume of wholemeal sourdough-type bread//Food Hydrocolloids. −2025.-Vol. 162:110884. DOI 10.1016/j.foodhyd.2024.110884.
12. Li M., Zhang H., Lyu L., Deng Q., Fan H., Xu X., Xu D. Effects of sourdough on bread staling rate: from the perspective of starch retrogradation and gluten depolymerization//Food Bioscience. 2024.-Vol. 59:103877. DOI 10.1016/j.fbio.2024.103877.
13. Gan Y., Cui J., Nie A., Yang Y., Zhao X. Revealing the influence of Lacticaseibacillus paracasei C5 on the flavor formation of bread dough by metagenomics and flavouromics // International Journal of Food Microbiology. −2025.-Vol. 437:111220. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111220.
14. Woo S.-H., Park J., Sung J.M., Choi E.-J., Choi Y.-S., Park J.-D. Characterization of lactic acid bacteria and yeast from grains as starter cultures for gluten-free sourdough//Foods. −2023.-Vol. 12(23): 4367. DOI 10.3390/foods12234367.
15. Taheri S., Schwarzkopf E., Berman H. L., Brandt N., McNeill J. et al. The role of flour type and feeding schedule on the sourdough microbiome//Microbiology Spectrum. −2026.-Vol.14(1): e02380-25. DOI 10.1128/spectrum.02380-25.
16. Umiraliyeva L., Ismailova E., Filatov I., Ospanov A. Screening and identification of lactic acid bacteria and yeast strains from raw materials with potential for application in sourdough technology \//Scifood. −2026.-Vol.20.-P.244-264. DOI 10.5219/scifood.90.
17. ISO 17718:2013. Wholemeal and flour from wheat (Triticum aestivum L.) - determination of rheological behaviour as a function of mixing and temperature increase. −2013.-36p.
18. AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th ed. Method 89-01″. Y«east Activity, Gas Production. - St. Paul, MN: Cereals & Grains Association. URL:https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/89Yeast.aspx.
19. Ghendov-Mosanu A., Ropciuc S., Dabija A., Saitan O., Boestean O., Paiu S., Rumeus I., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Effect of brewers' spent grain addition to a fermented form on dough rheological properties from different triticale flour cultivars//Foods. 2025.-Vol.14(1): 41. DOI 10.3390/foods14010041.
20. Atudorei D., Atudorei O., Codină G.G. The impact of germinated chickpea flour addition on dough rheology and bread quality//Plants. 2022.-Vol.11(9):1225. DOI 10.3390/plants11091225.
21. Arora K., Ameur H., Polo A., Di Cagno R., Rizzello C.G., Gobbetti M. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: a systematic review//Trends in Food Science & Technology. −2021.-Vol. 108.-P.71-83. DOI 10.1016/j.tifs.2020.12.008.

Сведения об авторах

Умиралиева Л.Б. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: l.umiraliyeva@rpf.kz;

Филатов И. Д. - PhD-докторант, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: filatov-vanya@inbox.ru;

Исмаилова Э.Т.-кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии, Алматы, Казахстан, e-mail: elya7506@mail.ru;

Оспанов А.Б. - доктор технических наук, профессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан e-mail: a-ospanov@mail.ru;

Турлыбаева С. С. - кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: s.turlybaeva@rpf.kz;

Исабек А.Н - магистрант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, e-mail: asema20030401@gmail.com.

Information about the authors

Umiraliyeva L.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: l.umiraliyeva@rpf.kz;

Filatov I.D. - PhD student, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, International Engineering and Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: filatov-vanya@inbox.ru;

Ismailova E.T. - Candidate of Agricultural Sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Research and Production Center for Microbiology and Virology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: elya7506@mail.ru;

Ospanov A.B. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a-ospanov@mail.ru;

Turlybayeva S.S - Candidate of Agricultural Sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.turlybaeva@rpf.kz;

Isabek A.N. - Master's student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: asema20030401@gmail.com.