doi: 10.32462/0235-2508-2020-29-7-28-33
УДК УДК 664.61

Современная оценка биотехнологических свойств хлебопекарных прессованных дрожжей

В.Я. Черных, *доктор техн. наук,*
ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»,
Т.П. Колмакова,
Е.В. Соболева, *канд. техн. наук,*
Е.С. Сергачёва, *канд. техн. наук,*
Университет ИТМО
(г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Приведён сравнительный анализ биотехнологических свойств хлебопекарных прессованных дрожжей разных производителей при приготовлении пшеничного теста безопарным и опарным способами как низкорецептурного, так и высокорецептурного.
Оценка биотехнологических свойств прессованных хлебопекарных дрожжей осуществлялась с использованием манометрического метода, реализованного в приборе Rheofermentometre-F3.
Определение показателей реоферментограммы проводили в увязке с оптимальной продолжительностью брожения полуфабриката, которая устанавливалась по максимальному значению скорости изменения давления образующегося CO_2 как при наличии перестройки ферментативного комплекса дрожжей (второй экстремум), так и при его отсутствии (первый экстремум).

Abstract. The present work is devoted to a comparative analysis of the biotechnological properties of baked pressed yeast from various manufacturers in the preparation of wheat dough using direct method and method on the predough of both low-recipe and high-recipe.
Biotechnological properties of pressed baker»s yeast were evaluated using the manometric method implemented in the Rheofermentometre-F3 device.
The curve values determination was conducted in conjunction with the optimal duration of fermentation of the semi-finished product, which was established by the maximum value of the rate of change of pressure of the formed carbon CO_2 in the presence of rearrangement of the enzymatic complex of yeast (second extremum) and in its absence (first extremum).

Ключевые слова: хлебопекарные прессованные дрожжи, биотехнологические свойства, брожение, скорость изменения давления образующегося CO_2, безопарный способ приготовления теста, опарный способ приготовления теста, готовность теста при брожении.

Keywords: baker»s pressed yeast, biotechnological properties, fermentation, the rate of change of pressure of the resulting carbon CO_2, direct wheat dough, wheat dough way preparation of dough, the readiness of the dough during fermentation.

Технологии хлебобулочных изделий относятся к биотехнологиям, так как специфические показатели текстуры готовых изделий, их особый вкус и аромат обусловлены, в первую очередь, продуктами жизнедеятельности микроорганизмов – дрожжей и молочнокислых бактерий [12]. Биотехнологические операции приготовления пшеничного хлеба – это созревание теста и окончательная расстойка тестозаготовок – занимают центральное место в процессе производства. В основе реализации этих биотехнологических операций лежит процесс брожения, который при созревании протекает в большой массе теста, а при окончательной расстойке – в небольшом куске – в сформованной тестозаготовке. При созревании происходит накопление вкусовых и ароматических веществ, продуктов расщепления белков и углеводов, катализируемых действием собственных ферментов муки, хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий и получение капиллярно-пористой структуры за счёт разрыхления теста образующимся CO_2 [1, 14].

На хлебопекарных предприятиях при производстве хлебобулочных изделий из пшеничной муки используют в основном прессованные хлебопекарные дрожжи различных производителей. Поэтому сравнительный анализ их биотехнологических свойств необходимо осуществлять с учётом способов приготовления пшеничного теста и рецептур вырабатываемых хлебобулочных изделий. Прессованные дрожжи должны проявлять достаточно стабильную и высокую бродильную активность, которая обеспечивала бы наименьшую продолжительность созревания полуфабриката и необходимую пористость готовых изделий [11].

Цель настоящей работы – сравнительная оценка биотехнологических свойств хлебопекарных прессованных дрожжей различных производителей при приготовлении пшеничного теста безопарным и опарным способами и выбор наиболее оптимального образца дрожжей для изготовления пшеничного хлеба.

В настоящее время существует большое количество методов контроля процесса брожения полуфабрикатов хлебопекарного производства: органолептический, волюмометрический, манометрический, потенциометрический, диэлькометрический, теплофизический, гравиметрический и т.д. Для оценки их свойств могут применятся следующие показатели [13]: объём теста ($V_т$), м^3; разрыхлённость теста (относительное изменение его объёма) ($P_т$), %; кислотность теста ($K_т$), град.; подъёмная сила теста (*ПС*), мин; количество образующегося диоксида углерода (V_{CO_2}), см^3; давление диоксида углерода (P_{CO_2}), Па; активная кислотность (*pH*); окислительно-восстановительный потенциал (*eH)*, мВ; электрическое

сопротивление (R), Ом; скорость изменения количества образующегося диоксида углерода ($dV_{CO_2}/d\tau_c$), см³/мин; скорость изменения электрического сопротивления ($dR/d\tau_c$), Ом/мин.

Для контроля процесса брожения теста на стадии его созревания предпочтение отдают титруемой кислотности, подъёмной силе и разрыхлённости, определяемой органолептически по относительному изменению объёма теста.

Характер изменения подъёмной силы позволяет однозначно устанавливать общую продолжительность процесса брожения при созревании теста и окончательной расстойке тестозаготовок. Изменение данного показателя позволяет зафиксировать момент готовности теста при брожении. Контроль подъёмной силы сопряжён с большими затратами ручного труда и времени: в процессе брожения приходится циклически отбирать пробу теста, формовать шарик и помещать его в стакан с водой и фиксировать время всплытия шарика. В связи с этим, данный метод технологического контроля обладает низкой эффективностью.

Величина подъёмной силы и разрыхлённости теста напрямую связаны с интенсивностью образования диоксида углерода. Данные показатели можно контролировать по скорости изменения давления образующегося CO_2 с помощью прибора Rheofermentometre-F3 (фирма Chopin, Франция) (рис. 1, *а*). Этот прибор позволяет определить время, необходимое для брожения теста, и осуществляет рациональное распределение этой продолжительности брожения ($\tau^{\#}_{бр}$) между операциями созревания теста ($\tau^{\#}_{соз}$) и окончательной расстойки тестозаготовок ($\tau^{\#}_{расст}$) (рис. 1) [15].

В данной работе оценку биотехнологических свойств прессованных хлебопекарных дрожжей осуществляли с использованием прибора Rheofermentometre-F3 при условии контроля показателей реоферментограммы в увязке с оптимальной продолжительностью брожения полуфабриката, которая устанавливалась по максимальному значению скорости изменения давления образующегося CO_2 как при наличии перестройки ферментативного комплекса дрожжей (второй экстремум), так и при его отсутствии (первый экстремум).

На рис. 2 в качестве примера приведён график скорости изменения давления образующегося CO_2 при брожении опары, на котором наблюдается два экстремума: *первый* отражает сбраживание собственных сахаров пшеничной муки, а *второй* – сбраживание мальтозы. Переход от первого экстремума ко второму связан с перестройкой зимазного комплекса дрожжей и в данном случае момент готовности опары при брожении устанавливается по второму экстремуму. Благодаря точному определению оптимальной продолжительности брожения опары, устанавливается высота подъёма опары (Н), объём удержанного CO_2 (V_{A1}), объём выделившегося CO_2 (V_{A2}) и разрыхлённость (P) опары к моменту её готовности (рис. 4), которые приведены в табл. 1.

При проведении исследований использовали пшеничную хлебопекарную муку высшего сорта с показателями качества, приведёнными в табл. 2, а также три образца прессованных хлебопекарных дрожжей

1. Показатели реоферментограммы созревания опары к моменту её готовности

Показатель	Значение
Оптимальная продолжительность созревания τ_1, мин	76
Высота подъёма H, мм	51
Разрыхлённость P, %	204
Общий объём образовавшегося CO_2 V_o, мл	972
Объём удержанного CO_2 V_{A1}, мл	939
Объём выделившегося CO_2 V_{A2}, мл	33
Коэффициент газоудержания K, %	96,6

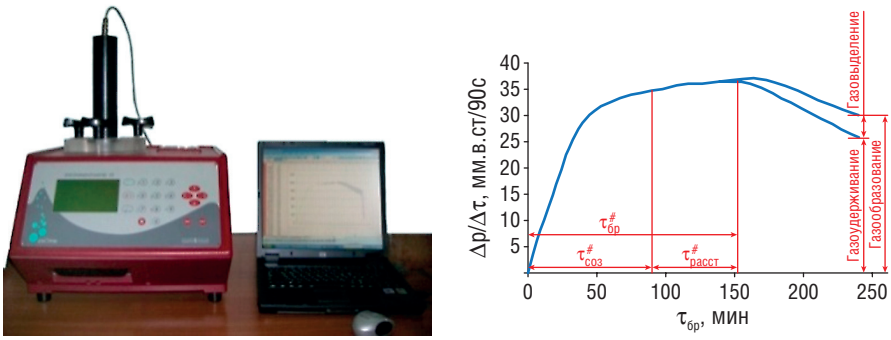

Рис. 1. Информационно-измерительная система на базе прибора Rheofermentometre-F3 для контроля процесса брожения полуфабрикатов хлебопекарного производства (а) и скорость изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения теста (б)

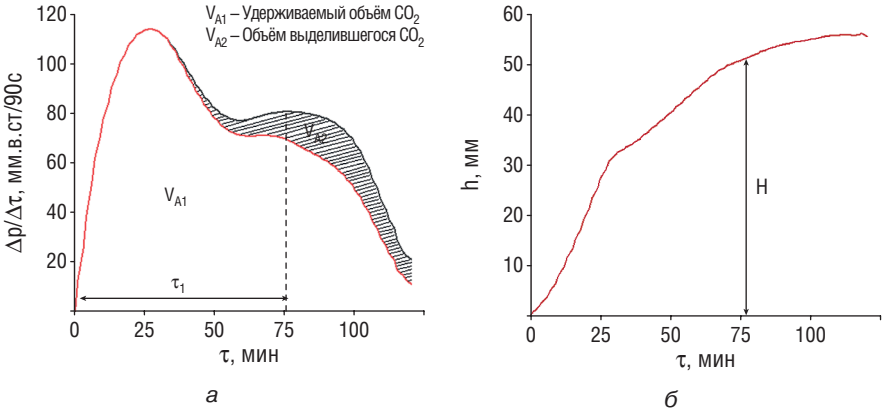

Рис. 2. Динамика скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения опары (а) и динамика изменения подъёма опары (б)

разных производителей с показателями, представленными в табл. 3.

Определение физико-химических показателей пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта проводили по ГОСТ 26574–2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технологические условия» [3]. С помощью методик, разработанных во ФГАНУ НИИХП в Центре реологии пищевых сред, были определены следующие показатели: жиро- и водоудерживающая способность муки, набухаемость, цветовые характеристики на приборе Chromometer Cr-410, насыпная плотность на волюметре Скотта- PT-SV100, гранулометрический состав муки на приборе ГИУ-1, реологические испытания проводили на приборах RVA-TecMaster и Farinograph-E [4–9].

Физико-химические показатели прессованных хлебопекарных дрожжей оценивали по ГОСТ Р 54731–2011 «Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия» [2]. Оценку биотехнологических свойств проводили с помощью прибора Rheofermentometre F3.

Рецептура для приготовления пшеничного теста безопарным и опарным способами приведена в табл. 4 [10].

Производственная рецептура пшеничного теста при приготовлении его безопарным и опарным способами рассчитывалась исходя из 200 г муки (с базисной влажностью 15%) в тесте.

Полуфабрикаты (опара и тесто) после замеса с использованием прибора Alveo-Consistograph NG помещали в герметичную ёмкость прибора Rheofermentometre-F3 на брожение в течение 5 ч. Показатели реоферментограммы определяли в соответствии с инструкцией.

На рис. 3 приведена скорость изменения давления ($\Delta p/\Delta\tau$) образующегося CO_2 в течение 5 ч брожения пшеничного теста, приготовленного безопарным способом с использованием трёх образцов хлебопекарных прессованных дрожжей.

На рис. 4 видно отсутствие перестройки ферментативного (зимазного и мальтазного) комплекса хлебопекарных дрожжей только у образца № 1 (*а*) при сбраживании собственных сахаров муки и мальтозы, образующейся в результате гидролиза крахмала. Это сказалось на минимальной продолжительности брожения теста до готовности, равной 107 мин, по сравнению с другими образцами дрожжей № 2; № 3 (см. рис. 4, *а*), у которых перестройка ферментативных комплексов привела к увеличению продолжительности брожения теста на 30 мин. При этом разрыхлённость (относительное изменение объёма теста при брожении до готовности) для всех образцов теста находилась в пределах 240±10% (см. рис. 4, *б*).

При брожении пшеничного теста образца № 3 (*в*) общий объём образовавшегося CO_2 был наибольшим, по сравнению с другими образцами, и составил 964 мл. При этом необходимо отметить, что к моменту готовности теста (оптимальной продолжительности брожения) у образца № 3 наблюдалось и существенное газовыделение, которое не участвует в разрыхлении пшеничного теста. В связи с этим, у всех образцов важный показатель (относительное

2. Физико-химические характеристики хлебопекарной пшеничной муки высшего сорта

Показатель	Значение показателей
Влажность $W_м$, %	14,7
Титруемая кислотность $K_м$, град.	2,8
Белизна *Б*, ед. приб. РЗ-БПЛ	57
Насыпная плотность $\rho_н$, кг/м^3	395
Средний эквивалентный диаметр частиц $d_{экв}$, мкм	117
Число падения *ЧП*, с	416
Количество клейковины $G_{кл}$, %	28
Общая деформация клейковины $h_{деф}$, ед. приб. ИДК	52,5
Цветовые характеристики: *L: a: b*	94,48:–0,57:8,97
Водоудерживающая способность *ВУС*, %	251
Жироудерживающая способность *ЖУС*, %	314
Показатели RVA-граммы	
Максимальная вязкость клейстера *B*, Па·с	2,9
Температура максимальной вязкости $t_{мв}$, °С	85,4
Прочность крахмального клейстера *E*, Па·с	1,6
Конечная вязкость клейстера *G*, Па·с	3
Показатели фаринограммы	
Водопоглощение *ВП*, л (для $W_{м.б.}$ = 15%)	57,8
Время образования теста $\tau_з$, мин	2,7
Стабильность (устойчивость) теста *C*, мин	19,4

3. Физико-химические показатели качества хлебопекарных прессованных дрожжей

Показатель	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Массовая доля сухих веществ $G_{СВ}$, %	30	31	32
Подъёмная сила дрожжей *ПС*, мин	43	56	53
Кислотность в пересчёте на уксусную кислоту *K*, мг	201	162	234

4. Рецептуры пшеничного теста

Сырьё	Способ приготовления пшеничного теста		
	безопарный	опарный	
	тесто	опара	сдобное тесто
Пшеничная хлебопекарная мука высшего сорта, кг	100	50	50
Хлебопекарные прессованные дрожжи, кг	2	2,5	2,5
Белый сахар, кг	–	–	15
Молочный маргарин, кг	–	–	15
Куриное яйцо, кг	–	–	4
Поваренная пищевая соль, кг	1,5	–	1
Влажность теста, %	42	42	35

изменение объёма теста) находился примерно на одном уровне.

Далее были проведены исследования процесса брожения сдобного теста, приготовленного опарным способом. На рис. 5 представлены графики скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения густой опары при использовании трёх образцов хлебопекарных прессованных дрожжей.

На основании анализа показателей процесса брожения опары (см. рис. 5 и 6) установлено, что при повышенной дозировке хлебопекарных прессованных дрожжей перестройка ферментативного зимазного и мальтазного комплекса хлебопекарных дрожжей при сбраживании сахарозы и мальтозы проявилась у всех образцов дрожжей. При этом необходимо также отметить, что она в наименьшей степени наблюдалась у образца № 1 (см. рис. 6, *а*), что в итоге привело к наименьшей продолжительности созревания опары до готовности, равной 61 мин.

Технологический эффект, связанный с разрыхлением опары и формированием её капиллярно-пористой структуры, в бóльшей степени проявился у образца № 2 дрожжей (см. рис. 6, *б*), чем при использовании образцов дрожжей № 1 (см. рис. 6, *а*) и №3 (см. рис. 6, *в*), что, естественно, связано с бóльшей продолжительностью брожения опары № 2 (см. рис. 6, *а*).

Оценку биотехнологических свойств сдобного теста с использованием всех трёх образцов дрожжей осуществляли с использованием описанного выше методического подхода. При замесе сдобного теста использовали густую опару, оптимальная продолжительность брожения которой для каждого образца дрожжей была установлена ранее и составила соответственно для образца № 1 – 61, для образца № 2 – 94 и для образца № 3 – 76 мин (см. рис. 6). В готовую опару вносили оставшиеся 50% пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта, оставшиеся 50% прессованных дрожжей, белый сахар, сливочное масло, поваренную пищевую соль, куриные яйца и воду.

На рис. 7 показана динамика скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения сдобного пшеничного теста при использовании трёх образцов хлебопекарных прессованных дрожжей.

На основании анализа графиков (см. рис. 7) установлено, что характер изменения показателя $\Delta p/\Delta\tau$ является одинаковым и максимальная скорость изменения давления CO_2 находится на одном уровне (~70 мм. в. ст./90 с). Перестройки ферментативного комплекса дрожжей не наблюдается у всех образцов дрожжей, что свидетельствует

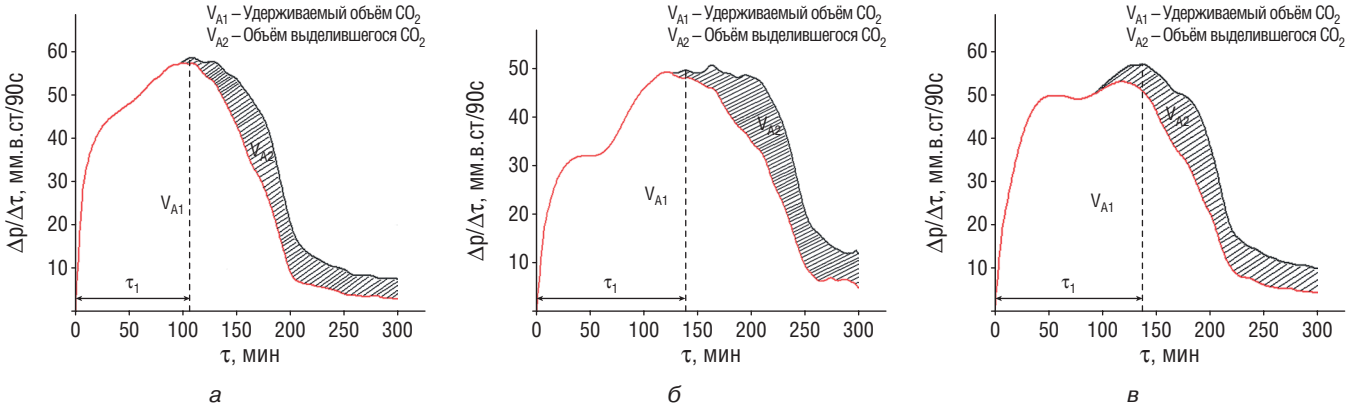

Рис. 3. Динамика скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения пшеничного теста с разными образцами хлебопекарных прессованных дрожжей:
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

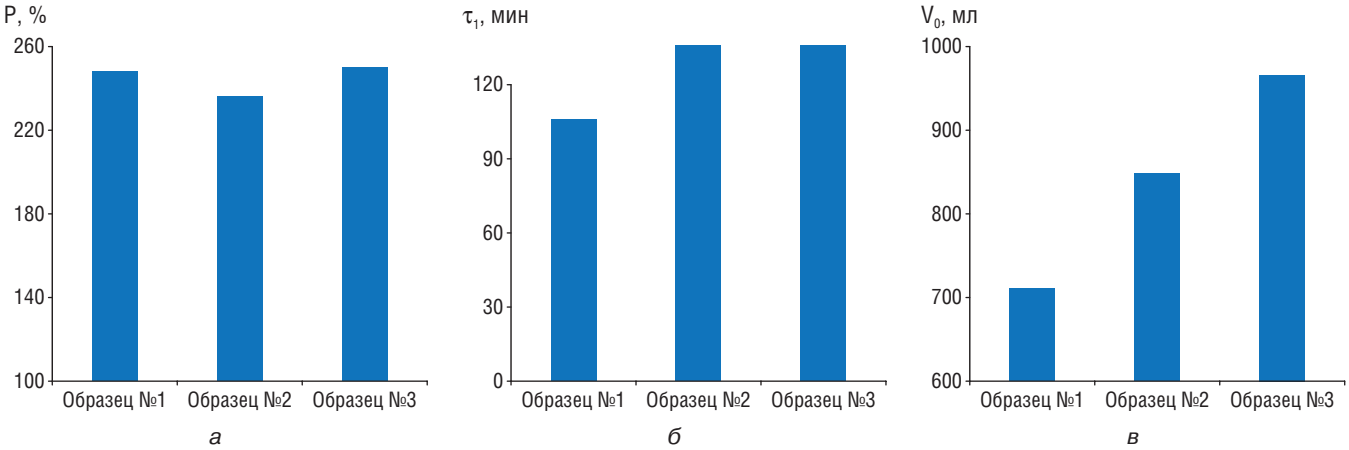

Рис. 4. Показатели процесса брожения пшеничного теста с использованием трёх образцов хлебопекарных дрожжей № 1, 2 и 3:
а – продолжительность брожения теста, мин; б – разрыхлённость теста, %; в – общий объём образовавшегося CO_2 в тесте, мл

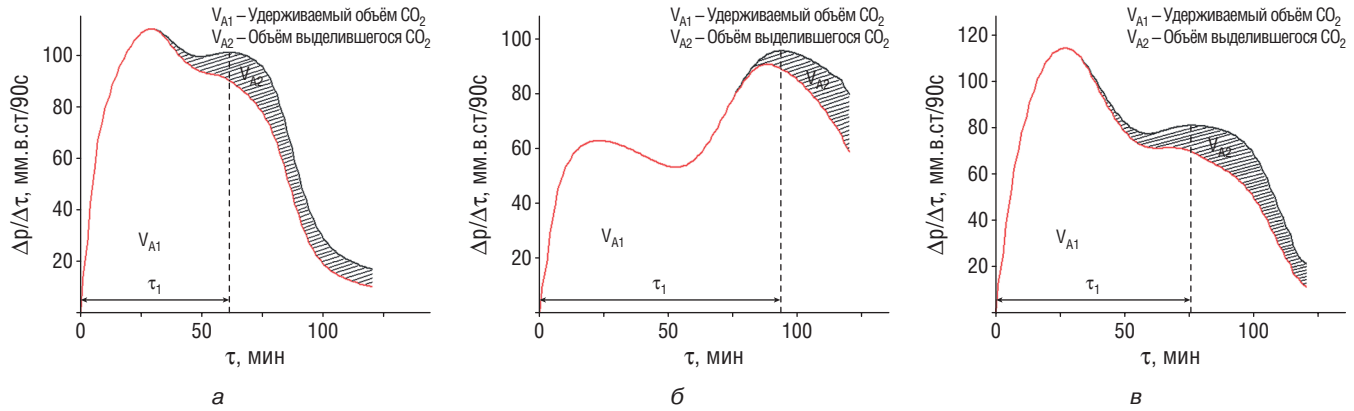

Рис. 5. Динамика скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения опары с использованием трёх образцов хлебопекарных прессованных дрожжей:
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

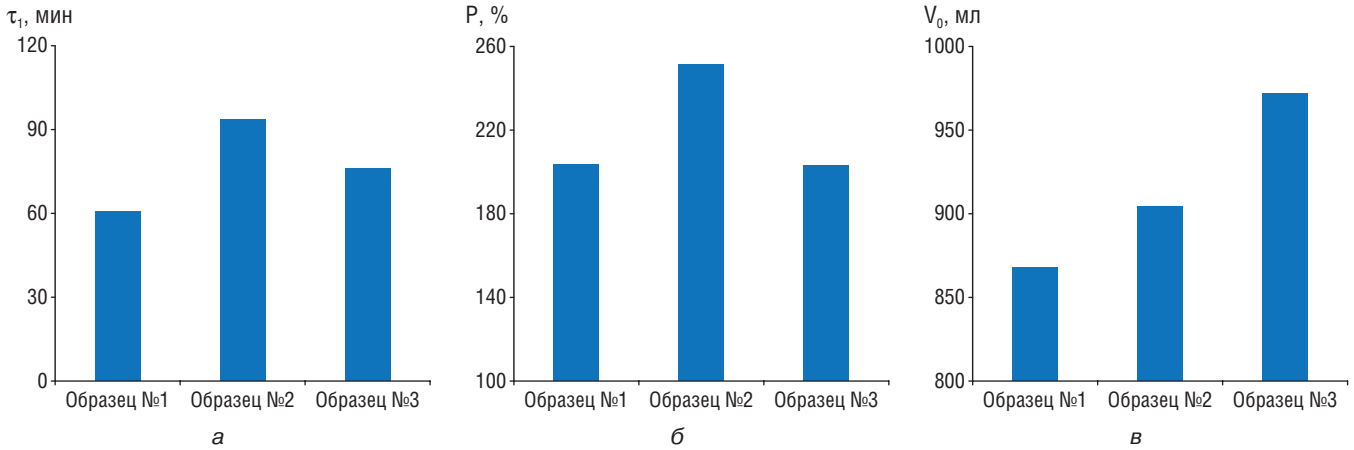

Рис. 6. Показатели процесса брожения опары с использованием трёх образцов хлебопекарных дрожжей № 1, № 2 и № 3:
а – продолжительность брожения опары до готовности; б – разрыхлённость опары; в – общий объём образовавшегося CO_2 в опаре

об интенсивном сбраживании как сахарозы, так и мальтозы. Из рис. 8 видно, что оптимальная продолжительность брожения сдобного теста при использовании трёх образцов дрожжей (до момента его готовности) составила, № 1 – 91 мин, № 2 – 96 мин и № 3 – 91 мин, соответственно. Таким образом, после замеса сдобного теста его можно сразу подавать на разделку. Процесс брожения будет протекать непосредственно в тестозаготовках в шкафу окончательной расстойки. При этом нужно отметить, что общая продолжительность брожения опары и сдобного теста до готовности для исследуемых образцов дрожжей (в той же последовательности) составила, для образца № 1 – 152 мин, для образца № 2 – 185 мин и для образца № 3 – 172 мин, соответственно.

Таким образом, как для теста из пшеничной муки, приготовленного безопарным способом, так и для сдобного теста, приготовленного на опаре, целесообразно и наиболее эффективно использовать прессованные хлебопекарные дрожжи – образец № 1.

Выводы

Таким образом, на основании проведённых исследований:

- предложена методика оценки биотехнологических свойств хлебопекарных прессованных дрожжей по скорости изменения давления образующегося CO_2, отражающей активность зимазного и мальтазного ферментативного комплекса дрожжевых клеток и продолжительности готовности полуфабриката при брожении с последующим установлением оптимальной продолжительности созревания теста и окончательной расстойки тестозаготовок и всех показателей реоферментограммы;
- разработан методический подход при производстве пшеничного хлеба, который позволяет более точно оценить бродильную активность хлебопекарных прессованных дрожжей и выдать рекомендации по протеканию процесса брожения при созревании полуфабриката и окончательной расстойки тестозаготовок, с учётом рецептуры изготовляемых хлебобулочных изделий;
- контроль общего объёма образовавшегося CO_2 позволяет установить технологические затраты на процесс брожения полуфабрикатов до момента их готовности при расчёте выхода готовых хлебобулочных изделий.

Литература

1. *Ауэрман, Л.Я.* Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. – Санкт-Петербург: Профессия, 2002. – 385 с.

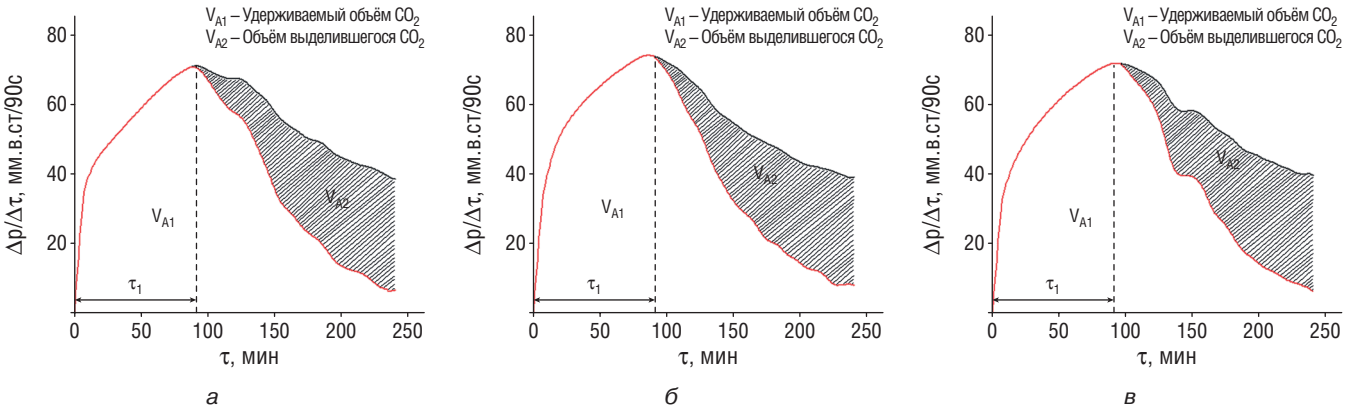

Рис. 7. Динамика скорости изменения давления образующегося CO_2 в процессе брожения сдобного пшеничного теста с использованием трёх образцов хлебопекарных прессованных дрожжей:
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

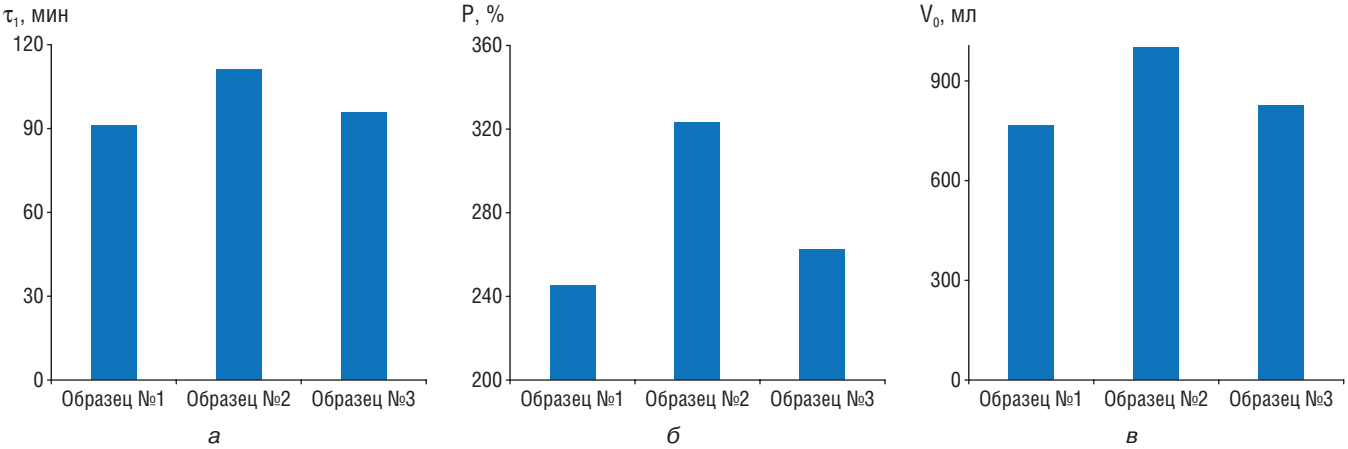

Рис. 8. Показатели процесса брожения сдобного теста с использованием трёх образцов хлебопекарных дрожжей №№ 1, 2 и 3: а – продолжительность брожения сдобного теста до готовности; б – разрыхлённость сдобного теста; в – общий объём образовавшегося CO_2 в сдобном тесте

2. ГОСТ Р 54731–011. Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54731–2011.

3. ГОСТ 26574–2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200157423.

4. *Методика* определения гранулометрического состава порошкообразных продуктов СТП 5–02. – М. 2017. – 3 с.

5. *Методика* определения водоудерживающей способности полидисперсных растительных порошков СТП 5–08. – М. 2017. – 3 с.

6. *Методика* определения набухаемости полидисперсных растительных порошков СТП 5–08. – М. 2017. – 3 с.

7. *Методика* определения насыпной плотности растительных порошков СТП 5–03. – М. 2017. – 3 с.

8. *Методика* определения общей жироудерживающей способности полидисперсных растительных порошков СТП 5–08. – М. 2017. – 3 с.

9. *Методика* определения цветовых характеристик растительных порошков. – М. 2017. – 3 с.

10. *Пучкова, Л.И.* Технология хлеба / Л.И. Пучкова, Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. – 557 с.

11. *Соболева, Е.В.* Влияние штаммовых особенностей хлебопекарных дрожжей на биохимические процессы тестоведения / Е.В. Соболева, Е.С. Сергачёва, О.И. Пономарёва // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. – С.-Пб. – 2005. – № 1 (7) – С. 112–116.

12. *Соболева, Е.В.* Высокоактивные хлебопекарные дрожжи / Е.В. Соболева, Е.С. Сергачёва // Материалы V Международной науч.-техн. конф- «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – Санкт-Петербург: С.-Пб. ГУНиПТ. – 2011. – С. 405–406.

13. *Черных, И.В.* Современный метод контроля уровня бродильной активности полуфабрикатов при производстве ржаного хлеба / И.В. Черных // Хлебопродукты. – 2008. – № 6. – С. 48–50.

14. *Verheyen, C.* Effects of Saccharomyces cerevisiae on the structural kinetics of wheat dough during fermentation / C. Verheyen, M. Jekle, T. Becker. // Food Science and Technology. – 2014. – № 58. – P. 194–202.

15. URL: https://soctrademoscow.tiu.ru/p380356091-reofermentometr-pribor-dlya.html. Сайт ООО «Сок-трейд Ко».