

Исследование накопления органических кислот в хлебопекарных пшеничных заквасках типа 1 и в опарах длительного брожения

Ирина М. Жаркова¹ zharir@mail.ru  0000-0001-8662-4559
Данил С. Иванчиков¹ ivanchikov_99@mail.ru  0000-0001-9814-6005

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

Аннотация. Роль органических кислот в технологии хлебопекарного производства сложна и многогранна. Они синтезируются дрожжами и молочнокислыми бактериями в процессе брожения (ферментации) опар, заквасок и теста. Разнообразие и количество образуемых органических кислот зависит от состава полуфабриката, присутствующих штаммов микроорганизмов, условий ферментации (влажность полуфабрикатов, температура брожения и др.). Цель исследования - оценка спектра и уровня накопления органических кислот в основных полуфабрикатах ремесленного хлебопечения - хлебопекарных пшеничных заквасках типа 1 и в опарах длительного брожения. Объектами исследования служили пшеничные закваски типа 1 и опары длительного брожения (жидкие с DY200 и густые с DY160). Опары длительного брожения готовили по типу европейских пулиш и бига. Закваски выводили «с нуля» и после стабилизации биотехнологических показателей переводили на модифицированную питательную смесь, содержащую томатную сыворотку и / или амарантовую муку. Отбор заквасок для исследования осуществляли после 9 месяцев непрерывного ведения их на модифицированной питательной смеси. Органические кислоты (молочную, уксусную, яблочную, винную, янтарную, лимонную) определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Shimadzu LC-2030C 3D Plus. Полученные результаты способствуют лучшему пониманию роли опар и заквасок типа 1 в формировании органолептических и физико-химических характеристик хлебобулочных изделий. Отмечены зависимости качественного и количественного состава органических кислот от рецептурного состава полуфабрикатов хлебопекарного производства и режимов их приготовления. Для установления взаимосвязи между накоплением в заквасках типа 1 с томатной сывороткой и / или амарантовой мукой и качественным составом микробиома заквасок требуется проведение дополнительных исследований.

Ключевые слова: закваска типа 1, опара длительного брожения, органические кислоты, коэффициент брожения, томатная сыворотка, амарантовая мука.

Study of organic acid accumulation in type 1 wheat sourdoughs and long-fermentation type 0 sourdoughs

Irina M. Zharkova¹ zharir@mail.ru  0000-0001-8662-4559
Danil S. Ivanchikov¹ ivanchikov_99@mail.ru  0000-0001-9814-6005

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

Abstract. The role of organic acids in bakery technology is complex and multifaceted. They are synthesized by yeast and lactic acid bacteria during the fermentation of starters, sourdoughs, and dough. The variety and quantity of organic acids produced depend on the composition of the semi-finished product, the microbial strains present, and the fermentation conditions (semi-finished product moisture content, fermentation temperature, etc.). The aim of this study was to evaluate the spectrum and level of organic acid accumulation in the main semi-finished products of artisanal type 1 wheat sourdoughs and long-fermented type 0 sourdoughs. The subjects of the study were type 1 wheat sourdoughs and long-fermented type 0 sourdoughs (liquid with a DY200 and thick with a DY160). Long-fermented type 0 sourdoughs were prepared similar to European poolish and biga. The starters were grown from scratch and, after stabilization of their biotechnological parameters, were transferred to a modified nutrient mixture containing tomato serum and/or amaranth flour. The starters were selected for study after nine months of continuous growth on the modified nutrient mixture. Organic acids (lactic, acetic, malic, tartaric, succinic, and citric) were determined using high-performance liquid chromatography on a Shimadzu LC-2030C 3D Plus instrument. The obtained results contribute to a better understanding of the role of type 1 sourdoughs and type 0 sourdoughs in shaping the organoleptic and physicochemical characteristics of bakery products. Dependences between the qualitative and quantitative composition of organic acids on the recipes for semi-finished bakery products and their preparation conditions are noted. Further research is required to establish the relationship between the accumulation of organic acids in type 1 sourdoughs containing tomato serum and/or amaranth flour and the qualitative composition of the sourdoughs microbiome.

Keywords: type 1 sourdough, long-fermentation type 0 sourdoughs, organic acids, fermentation coefficient, tomato serum, amaranth flour.

Для цитирования

Жаркова И.М., Иванчиков Д.С. Исследование накопления органических кислот в хлебопекарных пшеничных заквасках типа 1 и в опарах длительного брожения // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 131–138. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-131-138

For citation

Zharkova I.M., Ivanchikov D.S. Study of organic acid accumulation in type 1 wheat sourdoughs and long-fermentation type 0 sourdoughs. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 131–138. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-131-138

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Наиболее распространенным биологическим разрыхлителем при производстве пшеничных хлебобулочных изделий в настоящее время служат прессованные дрожжи. При этом существуют технологии, предусматривающие использование пшеничных заквасок [1], которые в большей степени распространены в секторе рустикального хлебопечения. Хлебопекарные дрожжи и молочнокислые бактерии составляют основные группы технологической микрофлоры хлебопекарного производства. Наряду с эфирами,

альдегидами, кетонами и другими соединениями они синтезируют органические кислоты: летучие (масляная, муравьиная, пропионовая, уксусная) и нелетучие (винная, малоновая, молочная, лимонная, изолимонная, фумаровая, яблочная, янтарная и другие). Роль этих органических кислот не ограничивается лишь снижением уровня pH или ростом титруемой кислотности полуфабрикатов (опары, закваски, тесто) в процессе брожения. Их влияние более сложное и комплексное не только на полуфабрикаты, но и на готовую продукцию (рисунок 1).

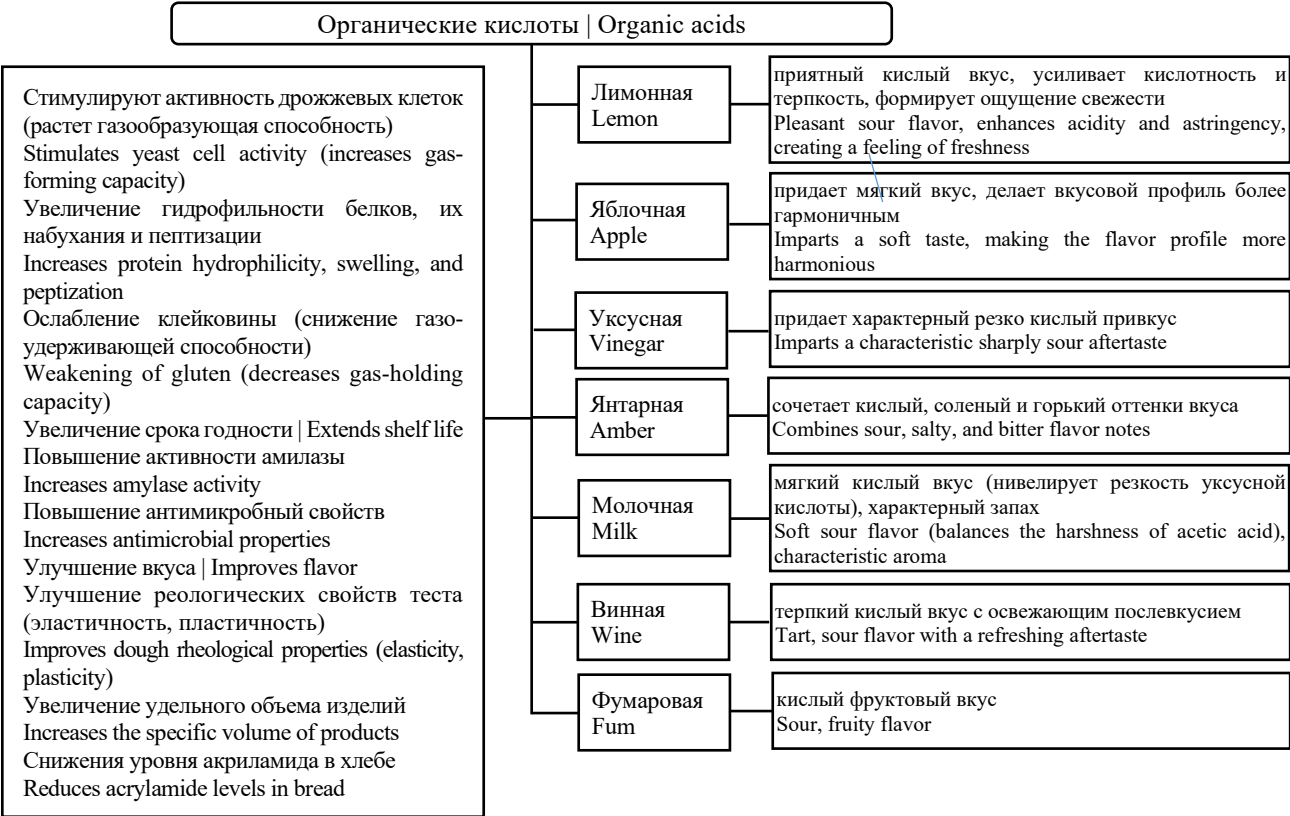


Рисунок 1. Роль органических кислот в технологии пшеничного хлеба

Figure 1. The role of organic acids in wheat bread technology

Органические кислоты оказывают влияние на реологические свойства теста, активность амилазы, участвуют в формировании вкуса, аромата хлеба и структуры его мякиша, проявляя антимикробные свойства, способствуют повышению микробиологической чистоты продукции [2–5]. На потребительские характеристики хлеба существенное влияние оказывает соотношение молочной и летучих кислот. Su X. с соавт. показали, что, обеспечивая накопление в хлебе определенного уровня и соотношения органических кислот, можно корректировать качество продукции. Добиться лучших характеристик удельного объема хлеба и эластичности мякиша исследователям удалось при следующем

содержании органических кислот в хлебе: 0,1% уксусной, 0,4% молочной, 0,3% лимонной, 0,3% яблочной и 0,3% фумаровой [6].

Chen A. с соавт. [2] проанализировали 20 коммерческих штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и установили, что по способности синтезировать лимонную, яблочную и уксусную кислоты они различаются в 2,35 раза. При этом синтез лимонной кислоты был относительно стабильным, а содержание яблочной и лимонной кислот в образцах хлеба отличалось в 3,99 и 1,99 соответственно.

Механизм влияния органических кислот на процесс структурообразования в тесте предложен Galal A.M. еще в 1978 году [7]:

органические кислоты снижают рН и протонируют анионы глютаминовой кислоты, что приводит к повышению положительного заряда макромолекул белка. Это приводит к увеличению внутри- и межмолекулярного отталкивания в белковых макромолекулах и ослаблению структурной прочности клейковины. В результате таких конформационных изменений белков снижается продолжительность замеса теста и величина энергозатрат на оптимальное развитие структуры.

В отношении способности органических кислот снижать образование акриламида в хлебе существуют противоречивые данные. С одной стороны, установлено, что кислая среда препятствует реакции аспарагина с карбонильными группами восстанавливающих сахаров, тем самым препятствуя образованию промежуточных продуктов реакции Майяра, с другой, есть результаты исследований, в которых внесение химических подкислителей не влияло на количество акриламида в хлебе. [8]. Механизм влияния молочнокислых бактерий на уровень акриламида в хлебе включает физическую абсорбцию акриламида в клеточную стенку бактерий и выработку L-аспарагиназы [9].

В работе Wang Y. с соавт. [10] показано, что органические кислоты, образующиеся в процессе брожения закваски, способствуют повреждению крахмальных гранул. Следовательно, крахмальные гранулы становятся более податливыми действию амилаз, что, в свою очередь, приведет к накоплению сахаров, необходимых для жизнедеятельности молочнокислых бактерий и дрожжей.

Органические кислоты также играют важную роль в метаболизме углерода и энергетическом обмене микроорганизмов – представителей технологической микрофлоры, в осуществлении ими синтетических и диссимиляционных процессов.

Цель работы – оценка спектра и уровня накопления органических кислот в основных полуфабрикатах ремесленного хлебопечения – хлебопекарных пшеничных заквасках типа 1 и в опарах длительного брожения.

Объекты и методы

Объектами исследования служили пшеничные закваски типа 1 и опары длительного брожения (жидкие с DY200 и густые с DY160).

Жидкую и густую опары длительного брожения готовили по типу европейских пулиш и бига, для этого в качестве биологического разрыхлителя и источника технологической микрофлоры применяли прессованные хлебопекарные дрожжи в дозировке 0,5% к массе муки.

Перед использованием прессованные дрожжи смешивали с рецептурным количеством воды, затем добавляли пшеничную муку высшего сорта. Брожение жидкой опары (ОЖ) осуществляли при температуре 25–27 °С, а густой (ОГ) – при 17–18 °С в течение 12 ч.

Выведение контрольной закваски типа 1 (жидкой и густой) «с нуля» начинали с приготовления продукта брожения, для чего смешивали муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта и воду питьевую, смесь инкубировали при температуре 25–27 °С для жидких заквасок и при 17–18 °С – для густых. По истечении 48 ч продукт брожения освежали двукратным (для жидкой закваски) или равным (для густой закваски) количеством питательной смеси. Такие освежения проводили через каждые 12 ч на протяжении 16 суток до получения заквасок с биотехнологическими характеристиками, пригодным для выпечки хлеба. На 17-е сутки контрольные образцы жидкой и густой закваски при возобновлении перевели на модифицированную питательную смесь, которую использовали для поддержания заквасок в активном состоянии в течение 9 месяцев. По истечении 9 месяцев отбирали образцы заквасок для исследования и замораживали для транспортировки в специализированную лабораторию. Всего вели 4 жидких закваски (Ж) и 4 густых (Г) закваски, различающихся составом питательной смеси, взятой для возобновления: Ж1 и Г1 – контрольные закваски из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и воды; Ж2 и Г2 – введено 35% томатной сыворотки взамен воды; Ж3 и Г3 – введена амарантовая мука (ТУ 10.61.22–024–77872064–2022) взамен 50% пшеничной муки; Ж4 и Г4 – введено 25% томатной сыворотки взамен воды и 25% амарантовой муки взамен пшеничной муки.

Органические кислоты (молочную, уксусную, яблочную, винную, янтарную, лимонную) определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Shimadzu LC-2030C 3D Plus.

Результаты и их обсуждение

Синтез органических кислот в процессе брожения полуфабрикатов хлебопекарного производства дает важную информацию об эффективности метаболизма молочнокислых бактерий и дрожжей. Результаты анализа показали присутствие в полуфабрикатах различных сочетаний органических кислот (рисунок 2).

В обеих опарах были выявлены уксусная и яблочная кислоты, а в густой опаре присутствовала также янтарная кислота. Общее содержание кислот в густой опаре ОГ составило 0,143%, что в 3,76 раза больше, чем в жидкой опаре ОЖ. Различие в количестве уксусной кислоты составило 1,5 раза, тогда как яблочной –

2,6 раза. Полученные данные свидетельствуют, что использование густой опары длительного брожения будет способствовать получению продукции с более выраженным вкусом.

В заквасках отмечена противоположная ситуация – суммарное количество органических кислот в жидких заквасках составило 0,720–1,097%, тогда как в густых – 0,420–0,546%. Т. е. в жидких заквасках синтез органических кислот протекал в 1,7–2,0 раза активнее, чем в густых заквасках. В отличие от опар, ни в одном из образцов заквасок не была обнаружена яблочная кислота. В жидких заквасках присутствовали лишь три кислоты – молочная, уксусная и янтарная, тогда как в густой закваске ГЗ дополнительно обнаружена винная кислота, а в заквасках Г2 и Г4 – лимонная. Известно, что лимонная кислота препятствует развитию нежелательной, в том числе гнилостной микрофлоры, практически не влияя на активность дрожжей [11]. Лимонная кислота присутствовала в образцах густых заквасок, в состав питательной

смеси которых вводили томатную сыворотку. Вероятно, ее наличие в заквасках обусловлено присутствием в составе томатной сыворотки. Ранее нами было установлено, что в зависимости от сортовой принадлежности томатов содержание лимонной кислоты в томатной сыворотке колеблется от 4,46 мг/дм³ до 7,10 мг/дм³ [12]. При этом отсутствие лимонной кислоты в жидких заквасках с томатной сывороткой (образцы Ж2 и Ж4), возможно, связано с ее потреблением дрожжевыми клетками [13] или *Lactiplantibacillus plantarum* [14], что требует дополнительного изучения. Наличие лимонной кислоты способствует улучшению вкуса хлеба, его текстурных характеристик [14].

По данным [7] в хорошо выброженном полуфабрикате содержится в среднем 0,2–0,4% уксусной кислоты и 0,4–0,6% молочной кислоты. К такому уровню из проанализированных нами образцов наиболее близка жидкая закваска Ж2, тогда как в остальных образцах количество этих кислот существенно ниже.

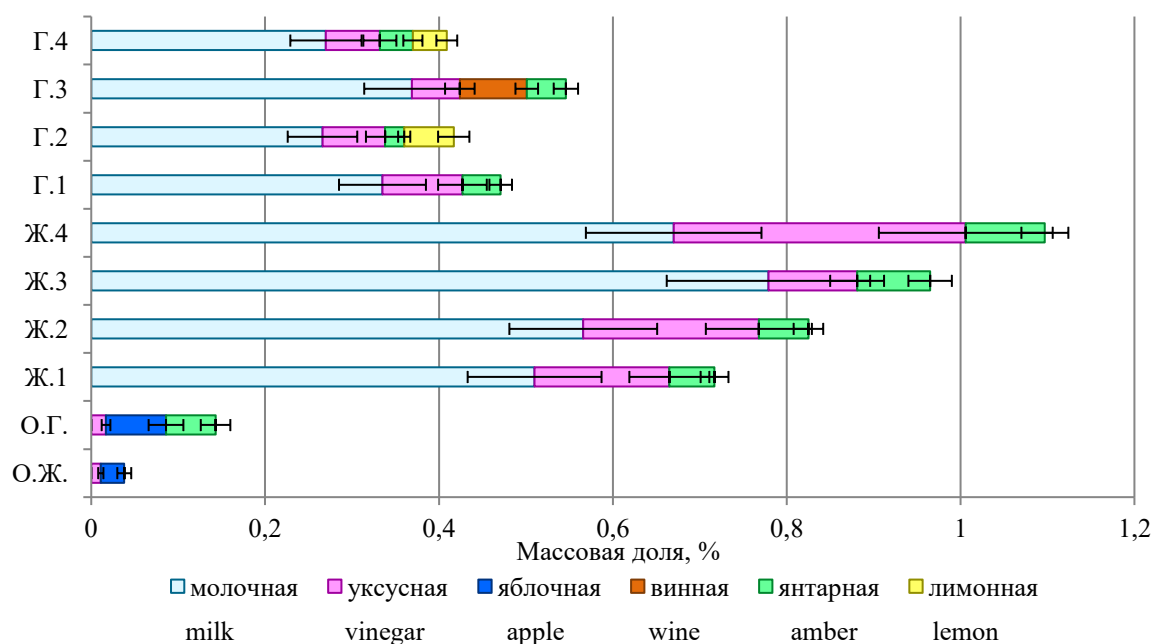


Рисунок 2. Характеристика органических кислот в образцах пшеничных заквасок типа 1 и опар

Figure 2. Characterization of organic acids in samples of type 1 wheat sourdoughs and doughs

Для количественной характеристики вкусовых особенностей хлебопекарных полуфабрикатов, в первую очередь заквасок, применяют коэффициент ферментации (FQ) или коэффициент брожения. Этот коэффициент показывает молярное соотношение между молочной и уксусной кислотами:

$$FQ = \frac{m_{\text{мол. к.}} / M_{\text{мол. к.}}}{m_{\text{укс. к.}} / M_{\text{укс. к.}}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{мол. к.}}$, $m_{\text{укс. к.}}$ – масса соответственно молочной и уксусной кислоты (г/100 г закваски), $M_{\text{мол. к.}}$, $M_{\text{укс. к.}}$ – молекулярная масса соответственно молочной и уксусной кислоты (а. е. м.) [15].

Коэффициент ферментации связан со свойствами молочнокислых бактерий, доминирующих в процессе брожения заквасок, и заметно варьируется в зависимости от баланса между гомо- и гетероферментирующими лактобактериями. В свою очередь, этот баланс зависит также от экзогенных и эндогенных факторов, которые преобладают во время брожения закваски (например, концентрация сбраживаемого сахара и кислорода, DY, продолжительность брожения, температура) [15]. Считается, то более гармоничным вкус хлеба ощущается при диапазоне FQ от 3 до 5 [1].

В исследовании Jin J. с соавт. продемонстрировано, что в закваске, содержащей *P. pentosaceus* и *S. cerevisiae*, FQ составил 2,08–2,86, при этом хлеб обладал сбалансированными сенсорными характеристиками [16].

Характеристика коэффициента брожения проанализированных заквасок типа 1 представлена в виде гистограммы на рис. 3. Наибольшая вариабельность коэффициента брожения отмечена в группе жидких заквасок – в образце Ж3 (содержит амарантовую муку) FQ составил 5,1,

тогда как в образце Ж4, содержащем комбинацию амарантовой муки и томатной сыворотки – лишь 1,3 (минимальное значение среди всех проанализированных образцов). Густые закваски Г1, Г2 и Г4 были более стабильны по этому показателю FQ составил 2,4–2,9, при этом резко выделялся образец Г3 (аналогично группе жидких заквасок) – FQ составил 4,5, что ниже значения в образце Ж3 лишь на 0,6 единиц.

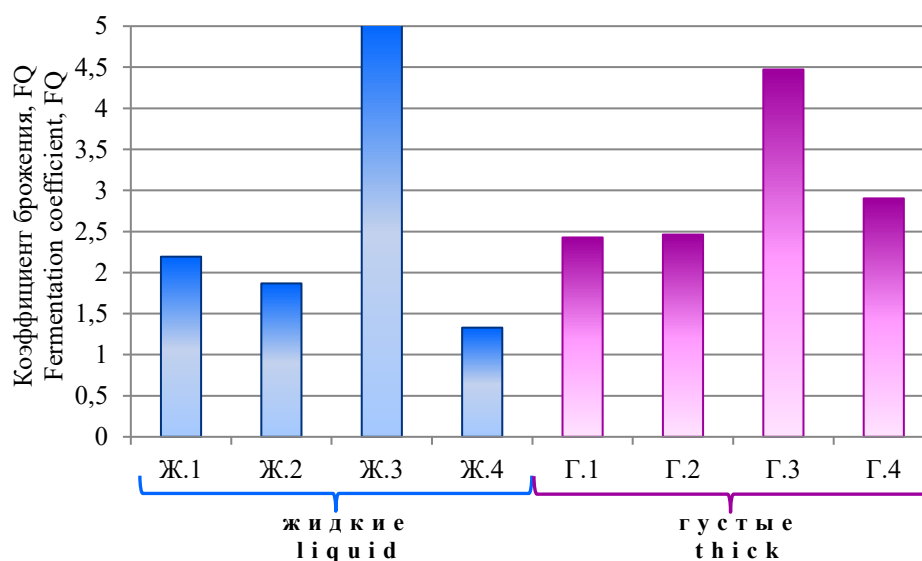


Рисунок 3. Характеристика коэффициента брожения в образцах пшеничных заквасок типа 1

Figure 3. Characterization of the fermentation coefficient in samples of type 1 wheat sourdoughs

Известно, что осуществление брожения заквасок при более высоких температурах способствует преимущественному образованию молочной кислоты [17]. В нашем случае жидкие закваски велись при более высокой температуре, чем густые и накопление молочной кислоты в них было в 1,9–2,1 раза больше, чем густых. В связи с этим можно было бы предположить, что и FQ во всех образцах жидких заквасок будет выше, чем густых. Однако этого не произошло из-за высокого накопления в образцах Ж1, Ж2 и Ж4 уксусной кислоты. Уксусная кислота оказывает влияние не только вкус и запах хлеба, но и на реологические свойства теста. В исследовании Ramos Magalhães A.E. с соавт. введение 2% уксусной кислоты к массе муки в тесте привело к сокращению времени образования теста до 44% и снижению стабильности до 20% [18]. Уксусная кислота может способствовать деполимеризации белка в тесте: снижение pH активирует эндогенные протеазы муки, а увеличение суммарного заряда белков в кислой среде вызывает разворачивание белковых глобул и больший доступ к эндогенным

протеолитическим ферментам. При исследовании с помощью конфокальной микроскопии образцов теста с добавлением уксусной кислоты авторы [18] наблюдали образованием более открытой и менее связанной клейковинной сети, а на этапе исследования *in vitro* переваривания хлеба отметили снижение содержания иммуногенного глиаина, выявленное с помощью электрофореза в полиакриламидном геле (SDS-PAGE).

Кроме участия в формировании вкусового профиля хлеба, янтарная кислота обладает рядом важных биологических свойств. Так, она выступает ингибитором свободно-радикальных процессов перекисного окисления липидов, улучшает энергетический обмен в клетке, оказывает гиполипидемическое действие, снижает симптомы воспалительных и аллергических реакций, облегчает гормональную перестройку организма во время беременности, поддерживает активность иммунной системы [19]. В образцах жидких заквасок содержание янтарной кислоты составило 0,052–0,091%, что в 2,36–2,02 раза выше, чем в образцах густых заквасок. При этом среди образцов жидких заквасок различие

составило 1,75 раза и отмечено возрастание количества янтарной кислоты по мере модификации питательной смеси – максимальное количество в образце Ж4 (питательная смесь содержит томатную сыворотку и амарантовую муку). Среди густых заквасок какая-либо взаимосвязь между составом питательной смеси и количеством янтарной кислоты не обнаружена. В образце густой опары ОГ содержание янтарной кислоты было на уровне жидкой закваски Ж2.

Заключение

Полученные результаты способствуют лучшему пониманию роли опар и заквасок типа 1 в формировании органолептических и физико-химических характеристик хлебоулучшителей. Отмечены зависимости качественного и количественного состава органических кислот

от рецептурного состава полуфабрикатов хлебопекарного производства и режимов их приготовления. Для установления взаимосвязи между накоплением в заквасках типа 1 с томатной сывороткой и/или амарантовой мукой и качественным составом микробиома заквасок требуется проведение дополнительных исследований.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00275, <https://rscf.ru/project/24-26-00275/>.

Благодарности

Авторы выражают благодарность ООО «Амарант Технология» за многолетнее сотрудничество и предоставление образцов амарантовой муки для исследований.

Литература

- 1 Жаркова И.М., Росляков Ю.Ф., Иванчиков Д.С. Закваски спонтанного (естественного) брожения: особенности технологии и роль в современном хлебопекарном производстве // *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 3. С. 525–544. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2455
- 2 Chen A., Pan C., Chen J. Comparative Analysis of Bread Quality Using Yeast Strains from Alcoholic Beverage Production // *Microorganisms*. 2024. Vol. 12. No. 12. Article 2609. doi: 10.3390/microorganisms12122609
- 3 Червоткина Д.Р., Борисова А.В. Антимикробные препараты природного происхождения: обзор свойств и перспективы применения // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2022. Т. 12. № 2. С. 254–267. doi: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267
- 4 Mohsen S.M., Aly M.H., Attia A.A., Osman D.B. Effect of Sourdough on Shelf Life, Freshness and Sensory Characteristics of Egyptian Balady Bread // *Journal of Applied Environmental Microbiology*. 2016. Vol. 4. No. 2. P. 39–45.
- 5 Shi Y., Pu D., Zhou X., Zhang Y. Recent Progress in the Study of Taste Characteristics and the Nutrition and Health Properties of Organic Acids in Foods // *Foods*. 2022. Vol. 11. No. 21. Article 3408. doi: 10.3390/foods11213408
- 6 Su X., Wu F., Zhang Y., Yang N., Chen F., Jin Z., Xu X. Effect of Organic Acids on Bread Quality Improvement // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 278. P. 267–275. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.025
- 7 Пшенишнюк Г.Ф. Влияние органических кислот и соли на процесс структурообразования, реологические свойства теста и качество хлеба // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1990. № 2-3. С. 39–42.
- 8 Seyedzadeh-Hashemi S., Khanniri E., Khorshidian N., Mohammadi M. Mitigation of acrylamide in bread: Insights into formulation and technological approaches // *Food Chemistry*. 2025. Vol. 498. Part 2. Article 147164. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.147164
- 9 Mollakhalili-Meybodi N., Khorshidian N., Nematollahi A., Arab M. Acrylamide in bread: a review on formation, health risk assessment, and determination by analytical techniques // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. No. 13. P. 15627–15645. doi: 10.1007/s11356-021-12775-3
- 10 Wang Y., Wang X., Li M., Li L., Ma S. Multi-scale changes of starch in type I sourdough fermentation system induced by wheat bran dietary fiber: from thermal properties, crystal structure, and in vitro digestibility behavior // *Food Research International*. 2025. Vol. 222. Part 2. Article 117697. doi: 10.1016/j.foodres.2025.117697
- 11 Пат. 2169761 Российская Федерация, МПК C12N1/16, A21D8/04. Способ повышения качества хлебопекарных дрожжей / Парфенова В.В., Голобокова Л.П., Дальхеева К.Г., Красовска И.В., Красовская И.В., Коптелова Л.Я., Макарова Г.В.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технологический университет. № 99127384/13; заявл. 31.12.1999; опубл. 27.06.2001, Бюл. № 18.
- 12 Zharkova I.M., Ivanchikov D., Efremov D.P., Plotnikova I.V., Ageeva N.M., Kozhanova L.V. Evaluation of Phytochemical Composition of Tomato Serum as a Promising Ingredient for the Production of Healthy Food Products // *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2025. Vol. 13. No. 2. P. 733–748. doi: 10.12944/CRNFSJ.13.2.13
- 13 Mujdeci G.N., Ozbaz Z.Y. Technological and enzymatic characterization of the yeasts isolated from natural fermentation media of Gemlik olives // *Journal of Applied Microbiology*. 2021. Vol. 131. No. 2. P. 801–818. doi: 10.1111/jam.14979
- 14 Păucean A., Șerban L.R., Chiș M.S., Mureșan V., Pușcaș A., Man S.M., Pop C.R., Socaci S.A., Igual M., Ranga F., Alexa E., Berbecea A., Pop A. Nutritional composition, in vitro carbohydrates digestibility, textural and sensory characteristics of bread as affected by ancient wheat flour type and sourdough fermentation time // *Food Chemistry: X*. 2024. Vol. 22. Article 101298. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101298
- 15 Gobbetti M., Gänzle M. (Eds.) *Handbook on Sourdough Biotechnology*. New York: Springer, 2013. P. 105–154. doi: 10.1007/978-1-4614-5425-0_5
- 16 Jin J., Nguyen T.T.H., Humayun S., Park S.H., Oh H., Lim S., Mok I.K., Choi Y.H., Kim D., Kim S.B., Kim M. Characteristics of sourdough bread fermented with *Pediococcus pentosaceus* and *Saccharomyces cerevisiae* and its bio-preservative effect against *Aspergillus flavus* // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 345. Article 128787. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128787
- 17 De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Leroy F. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation // *Advances in Applied Microbiology*. 2017. Vol. 100. P. 49–160. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003

18 Ramos Magalhães A.E., Landim Neves M.I., Dos Reis Gasparetto B., Oliveira Júnior F.D., Ribas Fonseca L., Joy Steel C., Lopes da Cunha R. Organic acids in bread-making affecting gluten structure and digestibility // Food Research International. 2023. Vol. 174. Part 1. Article 113520. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113520

19 Евглевский А.А., Рыжкова Г.Ф., Евглевская Е.П., Ванина Н.В., Михайлова И.И., Денисова А.В., Ерыженская Н.Ф. Биологическая роль и метаболическая активность янтарной кислоты // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 67–69.

20 Sahoo K.K., Datta S., Nayak A., Mohanty B., Gouda G., Pradhan S.R., Samantaray S., Mohapatra P.K., Shaw B.P. Biological production of succinic acid: state of the art and future perspectives // Industrial Microbiology and Biotechnology. 2022. P. 427–461. doi: 10.1007/978-981-16-5214-1_15

References

1 Zharkova I.M., Roslyakov Yu.F., Ivanchikov D.S. Starters of spontaneous (natural) fermentation: technological features and role in modern bakery production. Technique and technology of food production. 2023. vol. 53. no. 3. pp. 525–544. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2455 (in Russian).

2 Chen A., Pan C., Chen J. Comparative Analysis of Bread Quality Using Yeast Strains from Alcoholic Beverage Production. Microorganisms. 2024. vol. 12. no. 12. article 2609. doi: 10.3390/microorganisms12122609.

3 Chervotkina D.R., Borisova A.V. Antimicrobial preparations of natural origin: review of properties and prospects of application. News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2022. vol. 12. no. 2. pp. 254–267. doi: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267 (in Russian).

4 Mohsen S.M., Aly M.H., Attia A.A., Osman D.B. Effect of Sourdough on Shelf Life, Freshness and Sensory Characteristics of Egyptian Balady Bread. Journal of Applied Environmental Microbiology. 2016. vol. 4. no. 2. pp. 39–45.

5 Shi Y., Pu D., Zhou X., Zhang Y. Recent Progress in the Study of Taste Characteristics and the Nutrition and Health Properties of Organic Acids in Foods. Foods. 2022. vol. 11. no. 21. article 3408. doi: 10.3390/foods11213408.

6 Su X., Wu F., Zhang Y., Yang N., Chen F., Jin Z., Xu X. Effect of Organic Acids on Bread Quality Improvement. Food Chemistry. 2019. vol. 278. pp. 267–275. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.025.

7 Pshenishnyuk G.F. Influence of organic acids and salt on the process of structure formation, rheological properties of dough and bread quality. News of universities. Food technology. 1990. no. 2-3. pp. 39–42. (in Russian).

8 Seyedzadeh-Hashemi S., Khanniri E., Khorshidian N., Mohammadi M. Mitigation of acrylamide in bread: Insights into formulation and technological approaches. Food Chemistry. 2025. vol. 498. part 2. article 147164. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.147164.

9 Mollakhalili-Meybodi N., Khorshidian N., Nematollahi A., Arab M. Acrylamide in bread: a review on formation, health risk assessment, and determination by analytical techniques. Environmental Science and Pollution Research. 2021. vol. 28. no. 13. pp. 15627–15645. doi: 10.1007/s11356-021-12775-3.

10 Wang Y., Wang X., Li M., Li L., Ma S. Multi-scale changes of starch in type I sourdough fermentation system induced by wheat bran dietary fiber: from thermal properties, crystal structure, and in vitro digestibility behavior. Food Research International. 2025. vol. 222. part 2. article 117697. doi: 10.1016/j.foodres.2025.117697.

11 Patent no. 2169761, Russian Federation, IPC C12N1/16, A21D8/04. Method for improving the quality of baker's yeast. Parfenova V.V., Golobokova L.P., Dalheeva K.G., Krasovska I.V., Krasovskaya I.V., Koptelova L.Ya., Makarova G.V.; applicant and patent holder Voronezh State Technological University. no. 99127384/13; filed 31.12.1999; publ. 27.06.2001, Bull. no. 18. (in Russian).

12 Zharkova I.M., Ivanchikov D., Efremov D.P., Plotnikova I.V., Ageeva N.M., Kozhanova L.V. Evaluation of Phytochemical Composition of Tomato Serum as a Promising Ingredient for the Production of Healthy Food Products. Current Research in Nutrition and Food Science. 2025. vol. 13. no. 2. pp. 733–748. doi: 10.12944/CRNFSJ.13.2.13.

13 Mujdeci G.N., Ozbas Z.Y. Technological and enzymatic characterization of the yeasts isolated from natural fermentation media of Gemlik olives. Journal of Applied Microbiology. 2021. vol. 131. no. 2. pp. 801–818. doi: 10.1111/jam.14979.

14 Păucean A., Șerban L.R., Chiș M.S., Mureșan V., Pușcaș A., Man S.M., Pop C.R., Socaci S.A., Igual M., Ranga F., Alexa E., Berbecea A., Pop A. Nutritional composition, in vitro carbohydrates digestibility, textural and sensory characteristics of bread as affected by ancient wheat flour type and sourdough fermentation time. Food Chemistry: X. 2024. vol. 22. Article 101298. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101298.

15 Gobbetti M., Gänzle M. (Eds.) Handbook on Sourdough Biotechnology. New York: Springer, 2013. pp. 105–154. doi: 10.1007/978-1-4614-5425-0_5.

16 Jin J., Nguyen T.T.H., Humayun S., Park S.H., Oh H., Lim S., Mok I.K., Choi Y.H., Kim D., Kim S.B., Kim M. Characteristics of sourdough bread fermented with *Pediococcus pentosaceus* and *Saccharomyces cerevisiae* and its bio-preservative effect against *Aspergillus flavus*. Food Chemistry. 2021. vol. 345. article 128787. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128787.

17 De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Leroy F. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. Advances in Applied Microbiology. 2017. vol. 100. pp. 49–160. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003.

18 Ramos Magalhães A.E., Landim Neves M.I., Dos Reis Gasparetto B., Oliveira Júnior F.D., Ribas Fonseca L., Joy Steel C., Lopes da Cunha R. Organic acids in bread-making affecting gluten structure and digestibility. Food Research International. 2023. vol. 174. part 1. article 113520. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113520.

19 Evglevsky A.A., Ryzhkova G.F., Evglevskaya E.P., Vanina N.V., Mikhailova I.I., Denisova A.V., Eryzhenskaya N.F. Biological role and metabolic activity of succinic acid. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2013. no. 9. pp. 67–69. (in Russian).

20 Sahoo K.K., Datta S., Nayak A., Mohanty B., Gouda G., Pradhan S.R., Samantaray S., Mohapatra P.K., Shaw B.P. Biological production of succinic acid: state of the art and future perspectives. Industrial Microbiology and Biotechnology. 2022. pp. 427–461. doi: 10.1007/978-981-16-5214-1_15.

Сведения об авторах

Ирина М. Жаркова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zharir@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Данил С. Иванчиков магистрант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ivanchikov_99@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Irina M. Zharkova Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Danil S. Ivanchikov master student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ivanchikov_99@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/11/2025	После редакции 28/11/2025	Принята в печать 12/12/2025
Received 14/11/2025	Accepted in revised 28/11/2025	Accepted 12/12/2025