

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-100-108>  
УДК 663.4

## МОЛОЧНОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ РОДА *LACTOBACILLUS* В ФОРМИРОВАНИИ ВКУСОАРОМАТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ КИСЛЫХ ЭЛЕЙ

О. И. Пономарева, Е. В. Борисова\* , И. П. Прохорчик

ФГБОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт  
управления и пищевых технологий»,  
191186, Россия, г. Санкт-Петербург,  
наб. канала Грибоедова, 7

Дата поступления в редакцию: 01.03.2018

Дата принятия в печать: 21.05.2018

\* e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)



© О. И. Пономарева, Е. В. Борисова, И. П. Прохорчик, 2018

**Аннотация.** Кислые эли получили широкое распространение в Европе начиная с XVII века. Эти напитки и сегодня сохраняют популярность в Германии, Бельгии, Англии и других европейских странах. Интерес к кислым элям в последнее время неуклонно растет и в России. Цель данной работы заключалась в систематизации и обобщении научных данных литературы и результатов практического использования молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus* в технологии изготовления кислых элей и формировании вкусоароматического профиля готового напитка. Объектами исследований являлись биохимические и биотехнологические свойства молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, наиболее часто используемых в приготовлении кислых элей: *L. delbrueckii*, *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. plantarum*. Результаты изучения состава кислых элей методами газовой хроматографии, твердофазной микроэкстракции, жидкостной хроматографии, масс-спектрометрии показывают, что они имеют многокомпонентный состав. Так, в кислых элях стилей Lambic и Gueuze идентифицировано 64 летучих соединения. Для формирования вкуса и аромата кислых элей наиболее важными компонентами, синтезируемыми в процессе молочнокислого брожения, являются высшие спирты, сложные эфиры, органические кислоты, диметилсульфид и диацетил. Концентрации данных компонентов в значительной степени определяются видом молочнокислых бактерий. В статье обобщены и систематизированы литературные данные, касающиеся биохимических и биотехнологических свойств различных видов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, используемых для производства кислых элей. Приведены концентрации основных и побочных продуктов брожения, синтезируемых данными видами молочнокислых бактерий, указаны соответствующие им вкусовые и ароматические ощущения в соответствии с терминологией Европейской пивоваренной конвенции (ЕВС).

**Ключевые слова.** Кислые эли, сусло, молочнокислые бактерии, побочные продукты брожения, вкусоароматические ощущения

**Для цитирования:** Пономарева, О. И. Молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus* в формировании вкусоароматического профиля кислых элей / О. И. Пономарева, Е. В. Борисова, И. П. Прохорчик // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 2. – С. 100–108. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-100-108>.

## LACTIC ACID BACTERIA OF THE GENUS *LACTOBACILLUS* IN THE FORMATION OF SOUR ALES FLAVOR PROFILE

O.I. Ponomareva, E.V. Borisova\* , I.P. Prokhorchik

Saint Petersburg Institute of Management  
and Food Technology,  
7, kanala Griboedova nab., Saint Petersburg, 191186, Russia

Received: 01.03.2018

Accepted: 21.05.2018

\* e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)



© O.I. Ponomareva, E.V. Borisova, I.P. Prokhorchik, 2018

**Abstract.** Sour ales have become widely spread in Europe since XVII century. These drinks are still popular in Germany, Belgium, England and other European countries. Interest in sour ales has been growing steadily in Russia. The purpose of this work was to systematize and generalize scientific data and the results of practical use of lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* in sour ales production technology and in the formation of the ready beverage flavor profile. The subjects of the research were biochemical and biotechnological properties of lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* frequently used in sour ales production, namely, *L. delbrueckii*, *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. plantarum*. The results of studying sour ales composition by means of gas chromatography, solid phase microextraction, liquid chromatography, and mass spectroscopy show that they have complex compositions. Thus, sour ales of Lambic and Gueuze groups have 64 volatile compounds. Taste and aroma of sour ales are mostly formed by the most important components synthesized during lactic-acid fermentation. They are higher alcohols, complex esters, organic acids, dimethyl sulfide and diacetyl. Concentration of these components is mainly determined by the type of lactic acid bacteria. The article generalizes and systematizes scientific data concerning biochemical and biotechnological properties of different types of lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* used for sour ale production. The article reveals concentrations of the main products and by-products synthesized by the given types of lactic acid bacteria during fermentation. The author points out corresponding taste and aroma sensations according to terminology used in European Brewing Convention (EBC).

**Keywords.** Sour ales, beer wort, lactic acid bacteria, fermentation by-products, flavor sensations

**For citation:** Ponomareva O.I., Borisova E.V., Prokhorchik I.P. Lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* in the formation of sour ales flavor profile. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 100–108 (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-100-108>.

### Введение

Кислые эли, популярные в Германии, Бельгии, Англии, отличаются характерным тонким фруктовым или травяным ароматом, приятной кислинкой и ярко выраженным освежающим эффектом. В связи с развитием крафтового пивоварения кислые эли приобрели широкое распространение и во многих других странах Европы, в Америке и в России.

Для приготовления кислых элей используют молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus*, обычно в сочетании с дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* или с дрожжами рода *Brettanomyces*.

Цель данной работы заключалась в обобщении и систематизации литературных данных, касающихся: биохимических и биотехнологических свойств различных видов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, используемых для производства кислых элей; синтеза основных и побочных продуктов молочнокислого брожения, формирующих вкусоароматический профиль готового напитка.

### Объекты и методы исследования

Виды молочнокислых бактерий, используемые в молочной промышленности, не рекомендуется применять для приготовления кислых элей, т. к. они синтезируют диацетил в концентрациях, превышающих порог его ощущения (100–140 мг/дм<sup>3</sup>), и напиток приобретает масляный и/или прогорклый запах [1–7].

Объектами исследований являлись биохимические и биотехнологические свойства молочнокислых бактерий видов *L. delbrueckii*, *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. plantarum*, которые наиболее часто используют в технологии приготовления кислых элей.

На основании анализа, группировки и обобщения научных данных и практического опыта получена систематизированная информация, касающаяся биотехнологических свойств молочнокислых бактерий и особенностей ферментирования ими углеводов пивного сусла в различных условиях культивирования. Приведены концентрации основных и побочных продуктов брожения, синтезируемых различными видами

молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, указаны соответствующие им вкусовые и ароматические ощущения при дегустации готового напитка в соответствии с терминологией Европейской пивоваренной конвенции (ЕВС).

### Результаты и их обсуждение

Молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus* являются хемоорганотрофными микроорганизмами, для метаболизма которых источником энергии служат внутриклеточные реакции окисления химических соединений органической природы [8–15].

Наличие растворенного в сусле кислорода ингибирует размножение молочнокислых бактерий, поэтому перед инокуляцией сусло целесообразно деаэрировать, например методом барботирования диоксидом углерода, что способствует активации синтеза молочной кислоты.

Основные биохимические и биотехнологические характеристики молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, используемых в производстве кислых элей, приведены в табл. 1–3 [1–3, 8–16].

Большинство видов молочнокислых бактерий ферментируют преимущественно гексозы. Вид *L. plantarum* обладает способностью к сбраживанию пентоз: рибозы, ксилозы, арабинозы. Особенностью молочнокислых бактерий *L. buchneri* является его способность ферментировать мелицитозу. Некоторые штаммы вида *L. delbrueckii* могут сбраживать галактозу [8–15].

В зависимости от синтезируемых продуктов метаболизма молочнокислые бактерии дифференцируют на гомоферментативные и гетероферментативные.

При гомоферментативном брожении основным продуктом метаболизма является молочная кислота, доля которой составляет более 90 % от общего количества метаболитов. В процессе же гетероферментативного брожения синтезируется значительное количество летучих кислот, участвующих в формировании вкусоароматического профиля напитка. Их доля может достигать 15 % от общего количества кислот (рис. 1) [1, 8, 10, 11, 14, 15].

Таблица 1 – Способность различных видов молочнокислых бактерий к сбраживанию основных углеводов пивного сусла  
Table 1 – Ability of different types of lactic acid bacteria to ferment the main carbohydrates in the beer wort

Углеводы	Род <i>Lactobacillus</i>				
	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. buchneri</i>	<i>L. fermentum</i>	<i>L. plantarum</i>
Глюкоза	+	+	+	+	+
Сахароза	±	±	+	±	+
Мальтоза	±	±	+	+	+
Раффиноза	–	–	+	±	+
Синтез CO <sub>2</sub> при сбраживании глюкозы					
	–	+	+	+	±

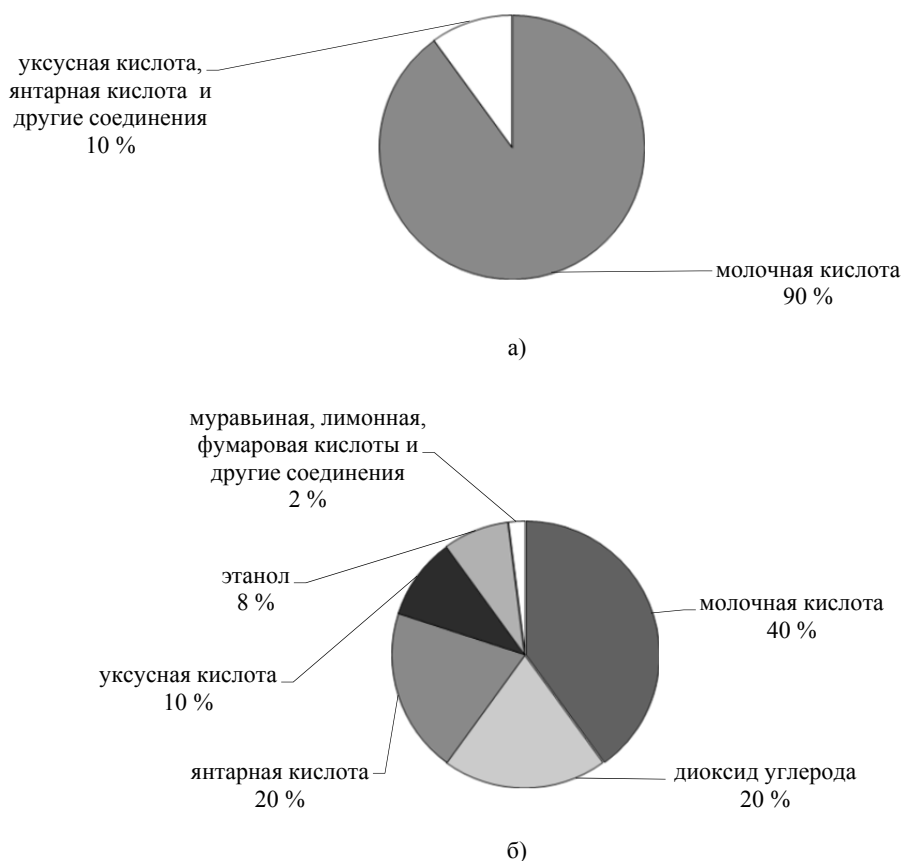


Рисунок 1 – Соотношение продуктов метаболизма молочнокислого брожения: а) гомоферментативного; б) гетероферментативного

Figure 1 – Correlation of lactic-acid fermentation metabolism products: a) homofermentative process; b) heterofermentative process

Таблица 2 – Основные биотехнологические характеристики гомоферментативных и гетероферментативных молочнокислых бактерий

Table 2 – The main biotechnological characteristics of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria

Параметры	Род <i>Lactobacillus</i>				
	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. buchneri</i>	<i>L. fermentum</i>	<i>L. plantarum</i>
Тип брожения	гомоферментативный	гетероферментативный			гомо/гетероферментативный
Оптимальная температура размножения, °С	32–50	30	37	37–40	30
Температура прекращения размножения, °С	min 20 max 65	min 15 max 45	min 10 max 45	min 15 max 45	min 10 max 45
Оптимальные значения pH	5,0–6,0	4,0–6,0	5,5–6,2	5,0–6,0	5,0–6,0
pH прекращения размножения	min 3,0 max 7,0	min 3,0 max 8,0	min 5,0 max 6,5	min 3,0 max 8,0	min 3,0 max 7,5

Таблица 3 – Некоторые биотехнологические характеристики молочнокислых бактерий, используемых для приготовления кислых элей

Table 3 – Some biotechnological characteristics of lactic acid bacteria used in sour ale production

Вид <i>Lactobacillus</i>				
<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. buchneri</i>	<i>L. fermentum</i>	<i>L. plantarum</i>
Высокая интенсивность кислотообразования. Некоторые штаммы выдерживают кратковременную пастеризацию (85–90 °С). Устойчивы к этанолу до 14 %	Диацетил не синтезируют, но образуют глицерин. Устойчивы к горьким кислотам хмеля. Некоторые штаммы устойчивы к этанолу до 15 %	Синтезируют пропионовую кислоту, пропанол. Разлагают молочную кислоту на уксусную кислоту и 1,2-пропан-диол. Чувствительны к низким температурам и этанолу	Синтезируют этиловый спирт. Размножение происходит в широком диапазоне значений pH	Синтезируют глицерин и бутандиол-2,3, янтарную кислоту. Устойчивы к этанолу до 20 %

Некоторые штаммы вида *L. delbrueckii*, отличающиеся высокой кислотообразующей способностью, используют в качестве целевого продуцента пищевой молочной кислоты, выход которой достигает 93,9–95,2 % [1, 2, 8–18].

Установлено, что отдельные виды и штаммы гомоферментативных молочнокислых бактерий способны переключать свой метаболизм с гомоферментативного на гетероферментативный в зависимости от количества растворенного в питательной среде кислорода или диоксида углерода, а также кислотности питательной среды, температуры и других параметров [1, 2, 6, 8–11, 14–16, 18]. Таким свойством обладает, например, вид *L. plantarum*, который перестраивает свой метаболизм с гетероферментативного на гомоферментативный в отсутствие растворенного в среде кислорода [1, 2, 8, 14, 15, 18].

Таким образом, для приготовления напитка с выраженным кислым вкусом и с наименьшим количеством ароматических веществ, т. е. с «чистым» ароматом, целесообразно использовать гомоферментативные культуры молочнокислых бактерий *L. delbrueckii*. Для приготовления же сортов кислого эля с более сложным ароматом и «сглаженным» кислым вкусом, используют гетероферментативные молочнокислые бактерии *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*.

В ряде работ приведены результаты исследований влияния температуры на синтез органических кислот и других продуктов метаболизма молочнокислого брожения, выполненных методами ядерно-магнитного резонанса и газовой хроматографии [18, 19]. Температурный диапазон жизнедеятельности молочнокислых бактерий довольно широк, при температуре ниже 20 °С интенсивность метаболических процессов снижается практически у всех видов молочнокислых бактерий: уменьшается количество ДНК; нарушается репликация ДНК и РНК; происходят изменения в транскрипции и синтезе белка [17]. Некоторые виды *Lactobacillus* способны размножаться даже при температуре 2–5 °С [8, 9, 14–16].

Для размножения молочнокислых бактерий наиболее благоприятны питательные среды с начальными значениями рН 5,4–6,4. При более высоких либо более низких значениях рН скорость размножения всех видов бактерий рода *Lactobacillus* снижается [8, 11, 14, 15].

Наиболее важными побочными продуктами брожения, формирующими вкус и аромат традиционных сортов пива, а также кислых элей, являются высшие спирты, сложные эфиры, органические кислоты, диметилсульфид и диацетил.

В отличие от традиционных лагерных сортов пива (полученных в результате низового брожения с последующим дображиванием при низких температурах), в кислых элях, например стилей Lambic и Gueuze, отличительными компонентами

являются этиловые эфиры высших спиртов, жирных кислот – капроновой, каприловой и каприновой. Жирные кислоты – пропионовая и масляная – содержатся в кислых элях в более высоких концентрациях, чем в традиционных сортах пива [1–3, 5–7, 18, 19].

Важно отметить, что основное количество кислот молочнокислые бактерии синтезируют в экспоненциальной фазе размножения, в то время как в стационарной фазе и фазе затухания размножения уровень синтеза кислот снижается, причем их количество зависит от вида бактерий (рис. 2) [1, 2].

Порог ощущения молочной и уксусной кислот составляет 400 и 130 мг/дм<sup>3</sup> соответственно [20].

Молочная, уксусная, янтарная, лимонная, яблочная и другие кислоты в сочетании придают напитку эффект терпкости во вкусе. При дегустации кислых элей в первую очередь ощущается их кислотность, которая воспринимается задними краями и корнем языка, а также внутренними сторонами щек. Очень важно в начале дегустации сделать два-три глотка, чтобы привыкнуть к высокой кислотности напитка, только после этого возможно оценить сложность его вкуса и аромата [1, 2, 5–7, 21].

В формировании вкусоароматического профиля кислых элей участвуют эфиры, спирты, карбонильные соединения – альдегиды и кетоны, которые ассоциируются с запахами свежескошенной травы или листьев, ароматом ананасов, зеленых яблок, а также придают напитку масляный, сивушный или запах растворителя [12, 20, 22–26].

Этиловые эфиры, синтезируемые на стадии дображивания, дополняют сенсорный профиль готового напитка. Скорость синтеза этиловых эфиров и их количество зависят от концентраций ацил-СоА-оксидазы и сивушных спиртов, а также от активности культуры *Lactobacillus* [1, 2, 22]. Клетки *L. brevis* синтезируют этиловый эфир уксусной кислоты этилацетат в концентрациях, сопоставимых с порогом его ощущения – 25 мг/дм<sup>3</sup>, что придает напитку аромат зеленых яблок. В пиве же низового брожения содержание этилацетата в среднем составляет 18–19 мг/дм<sup>3</sup> [1, 2, 20].

Бактерии видов *L. plantarum* и *L. brevis* синтезируют глицерин, который в значительной степени отвечает за полноту вкуса напитка [1, 2, 14–16], капроновую кислоту в количестве 0,25–0,32 мг/дм<sup>3</sup>, вкусовой порог которой составляет 5,4 мг/дм<sup>3</sup> [1, 2, 4–6].

Вместе с тем бактерии *L. plantarum* синтезируют значительно больше ацетона, ацетальдегида и диацетила, чем *L. brevis* [1, 2]. Диацетил придает напитку масляный, молочный, сладко-молочный и прогорклый вкус. В незначительных количествах *L. plantarum* синтезируют летучие и нелетучие органические кислоты, спирты и некоторые другие соединения.

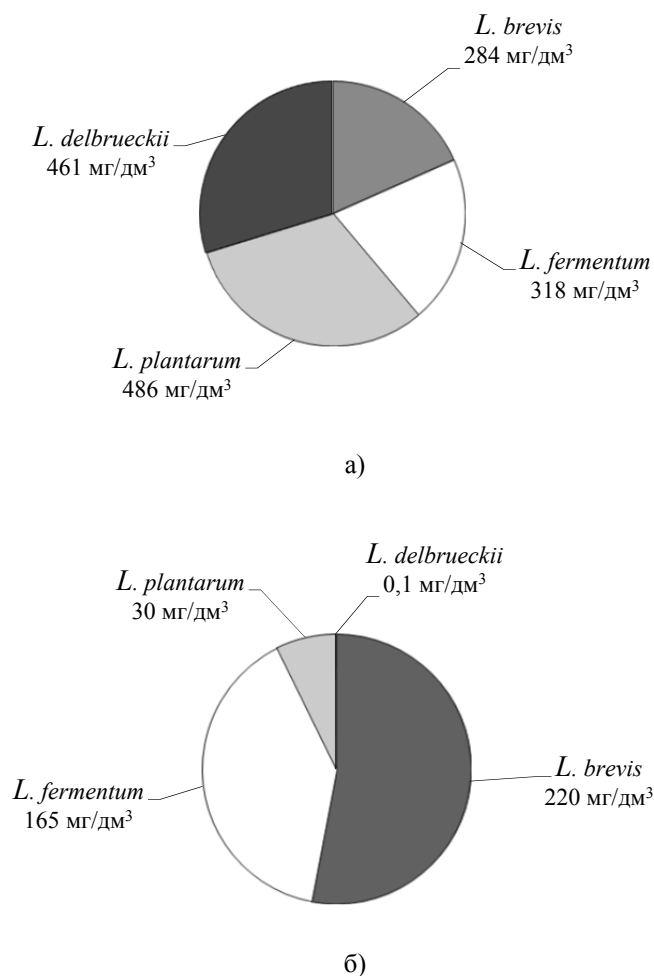


Рисунок 2 – Количество кислот, синтезируемых различными видами молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*: а) молочной; б) уксусной

Figure 2 – Quantity of acids synthesized by different types of lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus*: а) lactic acid; б) acetic acid

В табл. 4–7 приведены продукты молочнокислого брожения и соответствующие им вкусовые и ароматические ощущения, характеризующие ассоциативными терминами [1, 2, 14–16, 20, 23–26].

В процессе хранения кислых элей их вкус и аромат претерпевают существенные изменения. Например, вкус солодового суслу, сброженного бактериями *L. plantarum*, характеризуется ассоциативными терминами «масло» и «мед», а через несколько недель хранения – терминами «йогурт» и «кислый». Вкус солодового суслу после сбраживания бактериями *L. brevis* характеризуется ассоциативным термином «соевый соус», а после некоторой выдержки – терминами «дрожжевой» и «сидровый» [1–6, 23–26].

Сбраживание суслу молочнокислыми бактериями иногда сопровождается появлением нежелательных для напитка запахов – «влажного подвала», «леса после ливня», «мучного», «хлебного». Для их нейтрализации используют хмель, фрукты и/или ягоды – персики, ананасы, сливу, виноград, черную смородину, малину, вишню [1, 2, 4–6, 24–26].

С помощью методов газовой и жидкостной хроматографии, твердофазной микроэкстракции,

масс-спектрометрии установлено, что кислые эли имеют многокомпонентный состав [18, 19, 21]. Так, в составе элей стилей Lambic и Gueuze идентифицировано 64 летучих соединения [21]. При изучении побочных продуктов брожения, синтезируемых различными штаммами *L. plantarum*, в ячменных солодовых напитках были выявлены следующие соединения и определены соответствующие им вкусовые и ароматические ассоциации: фуранеол – «ананас», «земляника»; фенилуксусная кислота – «мед»; 2-фенилэтанол – «цветы», «роза»; 4-винилгваякол – «гвоздика»; сотолон – «пажитник», «карамель», «жженный сахар», «ванилин»; гваякол – «дым»; этил-2-метилбутаноат – «фрукты».

Таким образом, вкусоароматический профиль кислых элей формируется за счет основных и побочных продуктов метаболизма молочнокислого брожения, сложность состава и количество которых определяется видом молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*.

Обобщенные и систематизированные данные: биохимические и биотехнологические свойства конкретных видов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*, используемых

для производства кислых элей; состав и количественные значения основных и побочных продуктов молочнокислого брожения, синтезируемых ими; соответствующие продуктам брожения вкусовые и ароматические ощущения

помогут производителям в выборе исследованных видов молочнокислых бактерий, что, в свою очередь, позволит в значительной степени обеспечить заданный вкусоароматический профиль готового напитка.

Таблица 4 – Эфиры, синтезируемые молочнокислыми бактериями рода *Lactobacillus*, и соответствующие им ассоциативные термины

Table 4 – Esters synthesized by lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* and corresponding associative terminology

Эфиры	<i>L. plantarum</i>	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. fermentum</i>	Ассоциативные термины (воспринимаемые вкус, аромат, ощущения во рту)	Номер термина 1-го и 2-го уровней
Уксусно-этиловый	+/-	+++	+	+	фруктовый во вкусе и аромате, при высоких концентрациях похож на растворитель	0133
Уксусно-пропиловый	+	+	+	+	грушевый, легкий фруктовый	0146
Этиловый эфир пропионовой кислоты	+	+	+	+	ананас, киви во вкусе и аромате	0140

Таблица 5 – Спирты, синтезируемые молочнокислыми бактериями рода *Lactobacillus*, и соответствующие им ассоциативные термины

Table 5 – Alcohols synthesized by lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* and corresponding associative terminology

Спирты	<i>L. plantarum</i>	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. fermentum</i>	Ассоциативные термины (воспринимаемые вкус, аромат, ощущения во рту)	Номер термина 1-го и 2-го уровней
предельные одноатомные спирты						
1-гексанол	+	+	+	+	свежескошенной травы, легкий фруктовый	0230
1-гептанол	+	–	–	–	зеленой травы	0231
1-октанол	–	–	+/-	–	фруктово-цветочный, апельсиновый, сладкий, сладко-мыльный	0140
1-пропанол	*	*	–	–	апельсин, абрикос, банан; при высоких концентрациях – жжение, запах алкоголя	0110
высшие спирты						
2-метил-1-пентанол	*	*	+	–	землистый, затхлый, грязный	0840
3-гексен-1-ол	*	*	–	–	вкус и аромат свежескошенной зеленой травы и листьев	0231
3-метил-1-бутанол	+	–	–	–	запах алкоголя, изоамилового спирта, винный	0112

Таблица 6 – Альдегиды, синтезируемые молочнокислыми бактериями рода *Lactobacillus*, и соответствующие им ассоциативные термины

Table 6 – Aldehydes synthesized by lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* and corresponding associative terminology

Альдегиды	<i>L. plantarum</i>	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. fermentum</i>	Ассоциативные термины (воспринимаемые вкус, аромат, ощущения во рту)	Номер термина 1-го и 2-го уровней
Ацетальдегид	+	+	+	+/-	во вкусе и аромате зеленые яблоки, яблочная кожура	0150
Бензальдегид	*	–	–	–	миндальный, запах и привкус марципана и миндального масла	0224
Гексаналь	+++	+/-	+	+	травянистый	0230
3-метил-гексаналь	+/-	–	*	*	сильный фруктовый запах и вкус	0140
Гептаналь	+	–	+	+/-	маслянистый	0140
Транс-2-гептаналь	+	–	+	–	плесневый, сырого картофеля	0840
Октаналь	+	+	+	+	фруктовый, цитрусовый во вкусе и аромате	0141
Нонаналь	+	+/-	+	+	овощной, переспелых овощей	0730

Таблица 7 – Диацетил и алканы, синтезируемые молочнокислыми бактериями рода *Lactobacillus*, и соответствующие им ассоциативные терминыTable 7 – Diacetyl and alkanes synthesized by lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* and corresponding associative terminology

Вещества	<i>L. plantarum</i>	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. brevis</i>	<i>L. fermentum</i>	Ассоциативные термины (воспринимаемые вкус, аромат, ощущения во рту)	Номер термина 1-го и 2-го уровней
кетон						
Диацетил	+/-	+/-	-	-	масляный, молочный, сладко-молочный, прогорклый	0620
алканы						
Гексан	+	+	+	+	растворитель, сладкий	0130
Гептан	+	+	+/-	+/-	растворитель, сивушный	0130
Октан	+	+	*	*	растворитель, сивушный	0130

+ средний уровень синтеза вещества;

+/- следовые количества вещества;

- вещество не синтезируется;

\* данные в литературе отсутствуют.

+ average level of substance synthesis;

+/- trace amounts of the substance;

- the substance is not produced;

\* the data are not available in the considered literature.

### Список литературы

1. American Sour Beers: innovative techniques for mixed fermentations / M. Tonsmeire ed. – Boulder : Brewers Publications, 2014. – 424 p.
2. Geuze & Kriek: The Secret of Lambic Beer / J. Van den Steen ed. – Tiel : Lannoo Publishers, 2012. – 192 p.
3. Martens, H. Microbiological aspects of a mixed yeast – bacterial fermentation in the production of a special Belgian acidic ale / H. Martens, D. Iserentant, H. Verachtert // Journal of the Institute of Brewing. – 1997. – Vol. 103. – P. 85–91. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1997.tb00939.x>.
4. Heath, H. V. Source Book of Flavors / H. V. Heath // Dordrecht : Springer Netherlands, 1981. – 864 p.
5. More beer – beer making kits and home brewing supplies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.morebeer.com/articles>. – Дата доступа: 15.02.2018.
6. Sour Beer Blog-sour beer and brewing education for both home and craft brewers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sourbeerblog.com/category/brewing-topics>. – Дата доступа: 15.02.2018.
7. A Ph.D. in Beer – A Study of Beer and Fermentation Science [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://phdinbeer.com>. – Дата доступа: 15.02.2018.
8. Квасников, Е. И. Молочнокислые бактерии и пути их использования / Е. И. Квасников, О. А. Нестеренко. – М. : Наука, 1975. – 384 с.
9. Красникова, Л. В. Микробиология молока и молочных продуктов / Л. В. Красникова, П. И. Гунькова, В. В. Маркелова. – СПб. : НИУ ИТМО ; ИХиБТ, 2013. – 85 с.
10. Исаева, В. С. Краткий атлас посторонних микроорганизмов в пивоваренном производстве / В. С. Исаева, Н. Н. Раттель, Т. Н. Волкова. – М. : 1997. – 96 с.
11. Яруллина, Д. Р. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними / Д. Р. Яруллина, Р. Ф. Фахруллин. – Казань : Казанский университет, 2014. – 51 с.
12. Афанасьева, О. В. Микробиологический контроль хлебопекарного производства / О. В. Афанасьева. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 145 с.
13. Беспоместных, К. В. Исследование биохимических и морфологических свойств штаммов бактерий рода *Lactobacillus* / К. В. Беспоместных, А. Г. Галстян, Е. В. Короткая // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 2. – С. 94–98.
14. Handbook of Brewing / F. G. Priest, G. G. Stewart eds. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – 872 p.
15. Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects / S. Lahtinen [et al.] eds. – 4th ed. – Boca Raton : CRC Press. – 2012. – 798 p.
16. Lactic Acid Bacteria Fundamentals and Practice / H. Zhang, Y. Cai eds. – Dordrecht : Springer, 2014. – 535 p.
17. Biochemistry and physiology of sour dough lactic acid bacteria / M. Gobbetti [et al.] // Trends in Food Science and Technology. – 2005. – Vol. 16. – P. 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.013>.
18. Quantification of organic acids in beer by nuclear magnetic resonance (NMR)-based methods / J. E. Rodrigues [et al.] // Analytica Chimica Acta. – 2010. – Vol. 674 (2). – P. 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.029>.
19. Rodrigues, J. E. NMR methods for beer characterization and quality control / J. E. Rodrigues, A. M. Gil // Magnetic Resonance in Chemistry. – 2012. – Vol. 49. – P. 37–45. <https://doi.org/10.1002/mrc.2844>.
20. Меледина, Т. В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация / Т. В. Меледина, А. Т. Дедегкаев, Д. В. Афонин. – СПб. : Профессия, 2011. – 220 с.
21. Brewing. New technologies / Bamforth C.W. ed. – Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2006. – 500 p.

22. Thompson, K. A. Characterization of aroma and flavor compounds present in lambic (gueuze) beer : diss. ... dr. of philosophy in food science and technology / Katherine A. Thompson. – Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012. – 157 p.
23. Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer / K. J. Verstrepen [et al.] // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2003. – Vol. 96 (2). – P. 110–118. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(03\)90112-5](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(03)90112-5).
24. Wort composition and its impact on the flavour-active higher alcohol and ester formation of beer – a review / H. Yang [et al.] // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2014. – Vol. 120. – P. 157–163. <https://doi.org/10.1002/jib.145>.
25. Lorenzo, C. P. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages / C. P. Lorenzo, E. Zannini, E. K. Arendt // *Trends in Food Science & Technology*. – 2016. – Vol. 54. – P. 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.009>.
26. Key volatile aroma compounds of lactic acid fermented malt based beverages – impact of lactic acid bacteria strains / S. Nsonging Dongmo [et al.] // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 229. – P. 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.091>.

## References

1. Tonsmeire M. ed. *American Sour Beers: innovative techniques for mixed fermentations*. Boulder: Brewers Publications, 2014. 424 p.
2. J. Van den Steen ed. *Geuze & Kriek: The Secret of Lambic Beer*. Tielt: Lannoo Publishers, 2012. 192 p.
3. Martens H., Iserentant D., Verachtert H. Microbiological aspects of a mixed yeast – bacterial fermentation in the production of a special Belgian acidic ale. *Journal of the Institute of Brewing*, 1997, vol. 103, pp. 85–91. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1997.tb00939.x>.
4. Heath H.B. *Source Book of Flavors*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1981. 864 p.
5. *More beer – beer making kits and home brewing supplies*. Available at: <https://www.morebeer.com/articles>. (accessed 15 February 2018).
6. *Sour Beer Blog – sour beer and brewing education for both home and craft brewers*. Available at: <http://sourbeerblog.com/category/brewing-topics>. (accessed 15 February 2018).
7. A Ph.D. in Beer – A Study of Beer and Fermentation Science. Available at: <https://phdinbeer.com>. (accessed 15 February 2018).
8. Kvasnikov U.I., Nesterenko O.A. *Molochnokislye bakterii i puti ikh ispol'zovaniya* [Lactic acid bacteria and the ways of their application] Moscow: Nauka Publ., 1975. 384 p.
9. Krasnikova L.V., Gun'kova P.I., Markelova V.V. *Mikrobiologiya moloka i molochnykh produktov* [Milk and dairy products microbiology]. St.Petersburg: NIU ITMO; IKhiBT Publ., 2013. 85 p.
10. Isaeva V.S., Rattel' N.N., Volkova T.N. *Kratkiy atlas postoronnikh mikroorganizmov v pivovarennom proizvodstve* [Brief list of extraneous microorganisms in beer production]. Moscow, 1997. 96 p.
11. Yarullina D.R., Fakhnullin R.F. *Bakterii roda Lactobacillus: obshchaya kharakteristika i metody raboty s nimi* [Bacteria of the genus *Lactobacillus*: general description and ways of their application]. Kazan: Kazanskiy universitet Publ., 2014. 51 p.
12. Afanas'yeva O.V. *Mikrobiologicheskiy kontrol' khlebopekarnogo proizvodstva* [Microbiological control in bread making]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976. 145 p.
13. Bepomestnykh K.V., Galstyan A.G., Korotkaya E.V. Issledovaniye biokhimicheskikh i morfologicheskikh svoystv shtammov bakteriy roda *Lactobacillus* [Study of biochemical and morphological properties of strains of bacteria genus *Lactobacillus*]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and Technology of Food Production], 2011, no. 2, pp. 94–98.
14. Priest F.G., Stewart G.G. eds. *Handbook of Brewing*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 872 p.
15. Lahtinen S., Ouwehand A.C., Salminen S., et al. eds. *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. 798 p.
16. Zhang H., Cai Y. eds. *Lactic Acid Bacteria Fundamentals and Practice*. Dordrecht: Springer, 2014. 535 p.
17. Gobbetta M., De Angelis M., Corsetti A., et al. Biochemistry and physiology of sour dough lactic acid bacteria. *Trends in Food Science and Technology*, 2005, vol. 16, pp. 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.013>.
18. Rodrigues J.E., Erny G.L., Barros A.S., et al. Quantification of organic acids in beer by nuclear magnetic resonance (NMR)-based methods. *Analytica Chimica Acta*, 2010, vol. 674(2), pp.166–175. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.029>.
19. Rodrigues J.E., Gil A.M. NMR methods for beer characterization and quality control. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 2012, vol. 49, pp. 37–45. <https://doi.org/10.1002/mrc.2844>.
20. Meledina T.V., Dedegkaev A.T., Afonin D.V. *Kachestvo piva: stabil'nost' vkusa i aromata, kolloidnaya stoykost', degustatsiya* [Beer quality: taste and flavor stability, colloidal stability, degustation]. St.Petersburg: Professiya Publ., 2011. 220 p.
21. Bamforth C.W. ed. *Brewing. New technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006. 500 p.
22. Thompson K.A. *Characterization of aroma and flavor compounds present in lambic (gueuze) beer*. Dr. phil. sci. diss. Blacksburg, 2012. 157 p.
23. Verstrepen K.J., Derdelinckx G., Dufour J.-P., et al. Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2003, vol. 96 (2), pp. 110–118. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(03\)90112-5](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(03)90112-5).




24. Yang H., Dong J., Yin H., et al. Wort composition and its impact on the flavour-active higher alcohol and ester formation of beer – a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 2014, vol. 120, pp. 157–163. <https://doi.org/10.1002/jib.145>.
25. Lorenzo C.P., Zannini E., Arendt E.K. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, vol. 54, pp. 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.009>.
26. Dongmo S.N., Sacher B., Kollmannsberger H., et al. Key volatile aroma compounds of lactic acid fermented malt based beverages – impact of lactic acid bacteria strains. *Food Chemistry*, 2017, vol. 229, pp. 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.091>.

**Пономарева Ольга Ивановна**

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт управления и пищевых технологий», 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 7, тел.: +7 (812) 314-18-45, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)

**Борисова Екатерина Валерьевна**

канд. техн. наук, заведующая сектором микробиологии лаборатории микробиологии, технологии и биохимии дрожжей, ФГБОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт управления и пищевых технологий», 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 7, тел.: +7 (812) 312-33-32, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-5488-6474>


**Прохорчик Игорь Петрович**

канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией микробиологии, технологии и биохимии дрожжей, ФГБОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт управления и пищевых технологий», 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 7, тел.: +7 (812) 312-33-32, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)

**Olga I. Ponomareva**

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Saint Petersburg Institute of Management and Food Technology, 7, kanala Griboedova nab., Saint Petersburg, 191186, Russia, phone: +7 (812) 314-18-45, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)

**Ekaterina V. Borisova**

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Microbiology Sector in Laboratory of Microbiology, Biochemistry and Technology of Yeast, Saint Petersburg Institute of Management and Food Technology, 7, kanala Griboedova nab., Saint Petersburg, 191186, Russia, phone: +7 (812) 314-18-45, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-5488-6474>

**Igor P. Prokhorchik**

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Microbiology, Biochemistry and Technology of Yeast, Saint Petersburg Institute of Management and Food Technology, 7, kanala Griboedova nab., Saint Petersburg, 191186, Russia, phone: +7 (812) 312-33-32, e-mail: [bio@hlebspb.ru](mailto:bio@hlebspb.ru)

