

# **Пищевая микробиология 6**

## **Брожение**

Мудрецова-Висс

Глава 4

**ВАЖНЕЙШИЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ,  
ВЫЗЫВАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ,  
И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

## **Общие условия спиртового брожения.**

На развитие дрожжей и ход брожения влияют многие факторы, и в первую очередь химический состав сбраживаемой среды – ее полноценность. Имеют значение также концентрация и кислотность среды, содержание спирта, температура, наличие посторонних микроорганизмов. Большинство дрожжей способны сбраживать моносахариды, а из дисахаридов – преимущественно сахарозу и мальтозу. Пентозы могут быть использованы лишь некоторыми видами дрожжей. Крахмал дрожжи не сбраживают, так как они лишены амилолитических ферментов.

Наиболее благоприятная концентрация сахара в среде для большинства дрожжей от 10 до 15%. При повышении концентрации сахара энергия брожения' снижается, а при 30–35 % брожение обычно почти прекращается, хотя в природе встречаются дрожжи, способные вызывать

Хорошим источником азота для большинства дрожжей являются аммонийные соли; используются также аминокислоты и пептиды.

Нормально брожение протекает в кислой среде при рН 4–5. В щелочной среде, как указывалось выше, направление брожения изменяется в сторону повышения выхода глицерина.

Наибольшая скорость брожения при температуре около 30 °С, а при 45–50 °С оно прекращается, так как дрожжи отмирают. Снижение температуры замедляет брожение, но полностью оно не прекращается даже при температурах несколько ниже 0 °С.

Энергией брожения называется способность определенного количества дрожжей сбраживать за определенный промежуток времени то или иное количество сахара.

дрожжей более спиртоустойчивы и образуют 16–18 % спирта. Получены расы, продуцирующие до 20 % спирта. Спиртовое брожение протекает нормально в анаэробных условиях. В среде, богатой кислородом, дрожжи ведут себя как аэробные организмы и активно размножаются.

Практическое значение спиртового брожения. Процесс спиртового брожения лежит в основе виноделия, пивоварения, хлебопечения, производства этилового спирта и глицерина. Совместно с молочнокислым брожением оно используется при получении некоторых кисломолочных продуктов (кумыса, кефира), при квашении овощей и в других производствах. Однако спонтанно (самопроизвольно) возникающее спиртовое брожение в сахаросодержащих продуктах (в фруктовых соках, сиропах,

В производстве этилового спирта для пищевых целей используют крахмалсодержащее сырье –картофель, зерно злаков, отходы крахмало-паточных заводов и сахарсодержащее сырье – мелассу (черную патоку) –отход свеклосахарного производства, а также сахарную свеклу. Для получения технического спирта используют гидролизаты древесины и сульфитные щелока – отходы целлюлозно-бумажной промышленности.

Из крахмалсодержащего сырья путем разваривания готовят затор, который подвергают осахариванию. Источником осахаривающих (амилолитических) ферментов служит солодовое молоко, изготовляемое из проросших зерен ячменя, или грибной солод – ферментный препарат из грибов рода *Aspergillus*.

В зерновом и грибном солоде, кроме амилаз, содержатся протеолитические ферменты, вызывающие частичное превращение белков затора в растворимые азотсодержащие вещества. В результате получается жидкий сахаристый субстрат, называемый суслом, который содержит, помимо сахара, достаточное количество питательных веществ для дрожжей.

При использовании мелассы, сульфитных щелоков и гидро-лизатов древесины для улучшения питательной ценности в них вносят источники фосфора и азота.

Мелассу, кроме того, разводят водой для снижения в ней концентрации сахара, солей и других веществ и подкисляют серной кислотой. Подготовленные сахаристые заторы подвергают брожению.

Применяемые дрожжи предварительно выращивают в аэробных условиях на стерильных питательных сахарсодержащих заторах, подкисленных серной кислотой или заквашенных молочнокислыми бактериями (обычно палочкой Дельбрюка).

Для производства спирта, как и в других основанных на спиртовом брожении производствах, подбирают специальные расы дрожжей, обладающие необходимыми для данного производства свойствами.

По окончании процесса брожения дрожжи отделяют от сброженного затора (бражки), а спирт отгоняют на специальных перегонных аппаратах. Получается спирт-сырец и остается отход производства – барда. Барду используют как питательную среду для выращивания кормовых дрожжей, а спирт-сырец для технических целей или подвергают очистке от примесей, т. е. ректификации. Отработанные дрожжи выпускают в виде жидких и сухих кормовых дрожжей, а в отдельных производствах – в виде прессованных пекарских.

Основным сырьем в производстве пива является ячменный солод, изготовляемый из пророщенных зерен ячменя (процесс называется соложением). Амилазы пророщенного зерна расщепляют в нем крахмал на более простые углеводы, в основном на мальтозу и декстрины. Протеазы превращают частично белок в усвояемые дрожжами азотистые соединения. Из солода, нередко с добавлением еще несоложенных зерновых материалов (ячменя, риса, кукурузной муки), воды и хмеля изготовляют сахаристую жидкость – пивное сусло. Оно является полноценной питательной средой для дрожжей. Хмелевые вещества, переходящие при варке из хмеля в сусло, обладают антибактериальным действием и придают суслу и пиву специфическую горечь и аромат.

Сусло подвергают брожению специальными пивными дрожжами. Они должны обладать способностью быстро размножаться, бродить при низких температурах (5–10 °С), быстро оседать и придавать пиву приятные вкус и аромат. Применяют преимущественно расы *Saccharomyces carlsbergensis*– хлопьевидные дрожжи низового брожения. Для выработки некоторых специальных сортов пива используют расы верховых дрожжей.

В процессе выработки пива различают два периода брожения сусла: главное и дображивание.

В первый период (температура 6–10 °С) дрожжи активно размножаются и интенсивно сбраживают сахар.

Полученное «зеленое» (незрелое) пиво сливают с дрожжевого осадка и направляют на дображивание при температуре 0,5–1 °С. В этот период дрожжи, находящиеся в «зеленом» пиве, почти не размножаются и медленно сбраживают оставшийся сахар.

В результате брожения накапливается углекислый газ, 3–6 % (по массе) этилового спирта и побочные продукты (высшие спирты, органические кислоты, диацетил, эфиры), участвующие в формировании вкуса и аромата пива.

Созревшее пиво осветляют и освобождают от дрожжей путем фильтрации или центрифугирования и направляют на розлив.

Химический состав и вкусовые свойства разных сортов пива зависят от используемого сырья, применяемой расы дрожжей и технологии производства.

Часть осадочных (осевших на дно бродильных чанов) дрожжей после соответствующей обработки вновь используют для сбраживания сусла. Кроме того, их выпускают в виде жидких или сухих пивных дрожжей в качестве продукта, богатого витаминами (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, РР, пантотеновой кислотой), а также используют на корм животным.

В сусле и пиве могут развиваться и некоторые бактерии, не чувствительные к антисептическим веществам хмеля и устойчивые к спирту и повышенной кислотности среды. Таковыми являются главным образом молочнокислые гомо- и гетероферментативные бактерии и уксуснокислые бактерии.

Молочнокислые бактерии вызывают помутнение и прокисание пива.

Уксуснокислые бактерии образуют на поверхности пива пленки, снижают содержание спирта, окисляя его в уксусную кислоту; некоторые виды образуют слизь.

Опасными вредителями являются педиококки, ранее называемые пивными сарцинами. Эти кокки чаще соединены по четыре, но бывают соединенные попарно и одиночные. Педиококки придают пиву горечь, неприятный вкус и характерный медовый запах, вызывают значительное помутнение, а иногда и ослизнение пива.

В производстве вин исходным сырьем служат виноградный и плодово-ягодные соки. Они являются хорошим питательным субстратом для различных микроорганизмов. Для обеззараживания от вредной микрофлоры, главным образом от аэробных диких дрожжей, соки сульфитируют (обрабатывают  $SO_2$ ), а затем подвергают брожению. ^Сернистый ангидрид играет роль не только антисептика, но и антиокислителя. Он связывает кислород, понижая тем самым окислительно-восстановительный потенциал среды, что ограничивает развитие аэробных микроорганизмов и благоприятствует брожению. Брожение соков проводят с применением чистых культур винных дрожжей низового брожения *Saccharomycesvini*(*ellip-soideus*), а для некоторых вин (хересного типа), кроме того, дрожжей *S.oviformis*.

Различные расы *S.vini*, селекционированные для определенных типов вин, обладают различным температурным оптимумом брожения, образуют неодинаковое количество спирта (от 10 до 18%) и побочных продуктов; различен и состав побочных продуктов, что отражается на вкусовых и ароматических свойствах вин.

В процессе развития дрожжи не только сбраживают сахара, но значительно изменяют в сусле азотсодержащие вещества и состав органических кислот.

В зависимости от используемого сырья, биологических особенностей применяемой расы дрожжей и характера технологического процесса получают различные вина. В сусло и вино из внешней среды и из сырья попадают различные микроорганизмы. Однако развиваться в этих субстратах, содержащих значительное количество кислот, спирта и БОг, могут не все микроорганизмы.

Для предохранения вин от микробной порчи их пастеризуют, вводят антисептики ( $\text{SO}_2$ , сорбиновую кислоту); хороший эффект дает «холодная» стерилизация, т. е. обработка ультразвуком и ультрафиолетовыми лучами. '

Использование спиртового брожения в хлебопечении изложено в гл. 7 . Во всех указанных бродильных производствах качество и выход готовой продукции в значительной степени зависят от общего санитарного состояния производства. На заводах должны поддерживать строгий санитарный режим, своевременно выявлять очаги инфекции, регулярно проводить санитарную обработку (очистку, мойку с дезинфицирующими средствами) помещений, оборудования, аппаратуры, тары, а также санитарный микробиологический контроль на всех стадиях производственного процесса.

## МОЛОЧНОКИСЛОЕ БРОЖЕНИЕ

Молочнокислое брожение – это превращение сахара молочнокислыми бактериями с образованием молочной кислоты. Наряду с этим основным продуктом брожения в большем или меньшем количестве получают побочные продукты.

По характеру брожения различают две группы молочнокислых бактерий: гомоферментативные и гетероферментативные.

Гомоферментативные (однотипнобродящие) бактерии образуют в основном (не менее 85–90 %) молочную кислоту и очень мало побочных продуктов. Этот тип молочнокислого брожения можно представить следующим общим уравнением:



Процесс превращения глюкозы до пировиноградной кислоты у гомоферментативных молочнокислых бактерий протекает, как и у дрожжей при спиртовом брожении, по гликолитическому пути (см. с. 66). Далее ввиду отсутствия у этих бактерий фермента пируватдекарбоксилазы пировиноградная кислота не подвергается расщеплению; в этом брожении она является конечным акцептором водорода от восстановленного НАД • Н.

Пировиноградная кислота восстанавливается в молочную, а НАД • Н окисляется в НАД. Эта окислительно-восстановительная реакция катализируется ферментом лактикодегидрогеназой и



**Возбудители молочнокислого брожения.** Молочнокислые , бактерии имеют круглую, слегка овальную или палочковидную форму. Диаметр кокков у отдельных видов от 0,5 до 1,5 мкм. Кокки располагаются попарно или цепочками (стрептококки) различной длины. Размеры палочковидных бактерий колеблются от 1 до 8 мкм. Клетки одиночные или объединены в цепочки.

Все молочнокислые бактерии неподвижны, не образуют спор, грамположительны, лишены фермента каталазы, являются факультативными анаэробами, есть микроаэрофилы. Палочковидные бактерии более, чем стрептококки, предпочитают анаэробные условия.

Молочнокислые бактерии сбраживают моно-и дисахариды, однако используется ими не любой дисахарид. Некоторые из них не сбраживают сахарозу, другие – мальтозу, существуют не использующие лактозу. Крахмал и другие полисахариды молочнокислые бактерии не сбраживают. Некоторые, преимущественно гетероферментативные, бактерии

Большинство молочнокислых бактерий, особенно гомоферментативные палочковидные, очень требовательны к составу питательной среды и хорошо развиваются только при наличии различных аминокислот] или еще более сложных органических соединений азота. Только редкие могут расти на минеральных соединениях азота.

Большинство нуждается и в витаминах (в частности, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, РР, пантотеновой и фолиевой кислот). Поэтому выращивают молочнокислые бактерии на сложных питательных средах.

По отношению к температуре молочнокислые бактерии можно разделить на мезофильные – с оптимумом роста 25–35 °С и термофильные – с оптимумом около 40–45 °С. Отдельные молочнокислые бактерии холодоустойчивы и могут развиваться при относительно низких положительных температурах (5°С и ниже). При нагревании до 60–80°С они гибнут в течение **30–10** мин, но имеются и термоустойчивые формы, сохраняющиеся при нагревании до 85 °С в течение нескольких минут.

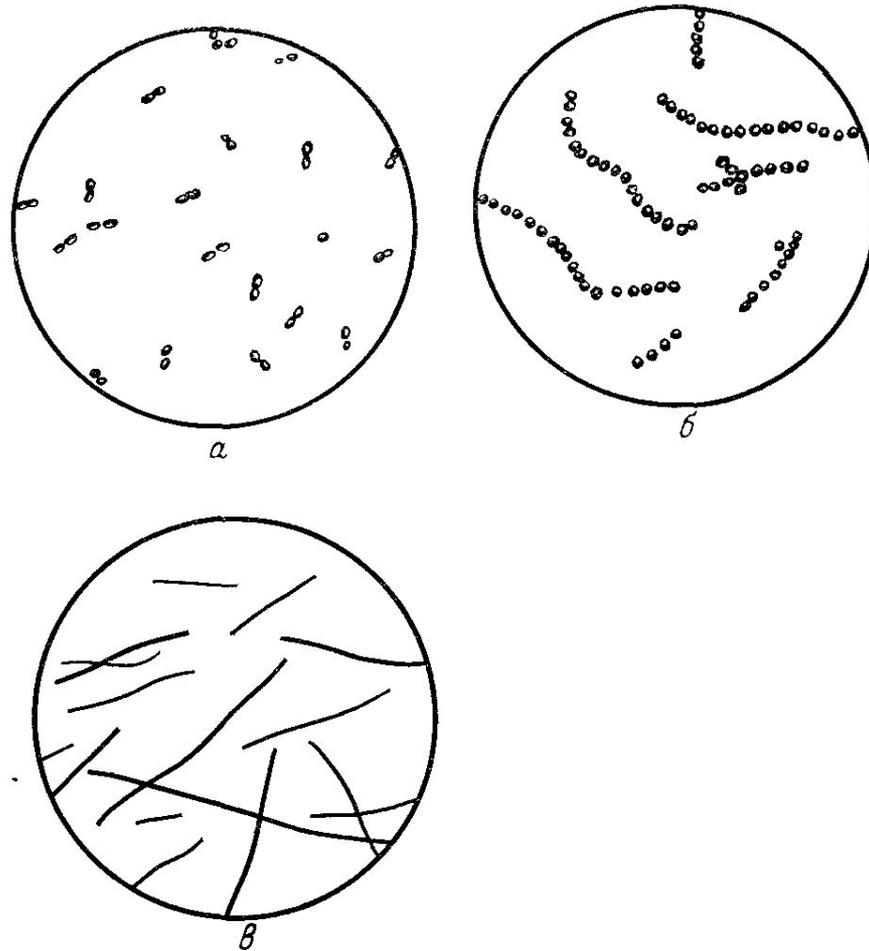
Некоторые молочнокислые бактерии образуют слизь, при их развитии жидкие "субстраты" становятся тягучими.

Установлено, что проявляемые молочнокислыми бактериями антагонистические свойства по отношению к многим сапрофитным и болезнетворным бактериям (возбудителям кишечных заболеваний, стафилококкам) обусловлены не только продуцированием кислот, но и выделяемыми ими специфическими антибиотическими веществами.

В природных условиях молочнокислые бактерии встречаются на различных растениях, в почве, на многих пищевых продуктах (плодах, овощах, в молоке, квашеной капусте и др.). В больших количествах они обнаруживаются в желудочно-кишечном тракте животных и человека. Кишечные кокковые формы называют энтерококками (фекальными стрептококками).

По новой системе классификации бактерий (см. гл. 1, с. 19, части 14, 16) кокковые формы молочнокислых бактерий отнесены к семейству Streptococcaceae, родам Streptococcus (гомоферментативные)

Рис. 28. Молочнокислые бактерии:  
а – Streptococcus «lactis; б – Str. thermophilics;  
в – Lactobacillus acidophilus



Наиболее важными в техническом отношении представителями гомоферментативных молочнокислых бактерий являются следующие.

Молочнокислый стрептококк (*Streptococcus lactis*) – кокки, соединенные попарно или короткими цепочками (рис. 28, а). Это мезофилы, лучше всего развивающиеся при температуре 30–35 °С; в этих условиях молоко свертывается через 10–12 ч. В среде накапливают до 1 % кислоты. Минимальная температура развития 10 °С, максимальная – от 40 до 45 °С. Некоторые расы образуют антибиотик низин.

Близкий по свойствам к *S. lactis* его подвида *S. lactis* subsp. *diacetylactis* способен, кроме Сахаров, сбрасывать соли лимонной кислоты с образованием ацетоина и диацетила, что обуславливает ароматичность продуктов, в которых развивается этот стрептококк.

Молочнокислые стрептококки широко используют при приготовлении разнообразных кисломолочных продуктов (см. гл. 7, с. 178–182).

Г Сливочный стрептококк (*S. cremoris*) – сферические клетки, образующие длинные цепочки. Этот мезофильный стрептококк не активный кислотообразователь. Лучше растет при 25 °С; минимальная температура развития 10 °С, максимальная 36–38 °С. Применяется в заквасках вместе с молочнокислым стрептококком<sup>^</sup> Некоторые штаммы вырабатывают антибиотик диплококцин.

Термофильный стрептококк (*S. thermophilus*) – длинные цепочки кокков, хорошо развивающийся при 40–45 °С. Накапливает около 1 % кислоты. Применяется вместе с палочковидными бактериями при изготовлении ряженки, южной простокваши, варенца <(рис. 28,б).

Болгарская палочка (*Lactobacillus bulgaricus*) – крупные палочки (иногда зернистые), часто образующие длинные цепочки. Не сбраживает сахарозу. Термофильная бактерия, оптимальная температура ее развития 40–45 °С, минимальная – 15–20 °С. Это активный кислотообразователь, накапливающий в молоке 2,5–3,5 % молочной кислоты. Используется при изготовлении южной простокваши, кумыса.

Ацидофильная палочка (*L. acidophilus*) – термофильная бактерия (рис. 28, в). Температурный оптимум роста 37–40 °С, минимум – около 20 °С. При сквашивании в молоке накапливается до 2,2 %, кислоты. Некоторые виды этой бактерии способны к слизиобразованию. Используется в производстве ацидофильных кисломолочных продуктов.

Ацидофильные палочки вырабатывают антибиотические вещества, активные по отношению к возбудителям кишечных заболеваний.

**Из гетероферментативных молочнокислых бактерий наиболее важными в техническом отношении являются следующие.**

*L. brevis* – палочковидные бактерии, сбраживающие сахара при квашении капусты и огурцов с образованием кислот (молочной и уксусной), этилового спирта и углекислого газа.

*Leuconostoc cremoris* – удлиненные кокки, которые могут быть одиночными, парами или в виде коротких цепочек. При сбраживании лимонной кислоты образует диацетил. Температурный оптимум 20–25 °С. Этот лейконосток вводят в закваски для ароматизации продуктов.

Некоторые виды *Leuconostoc* являются активными слизи-образователями. В субстратах, содержащих сахарозу, образуют много «клейкого» полисахарида декстрана. При этом субстрат приобретает густую слизистую консистенцию.

Практическое значение молочнокислого брожения. Молочнокислые бактерии широко применяют в различных отраслях народного хозяйства. Особенно велика их роль в молочной промышленности (см. гл. 7, с. 175).

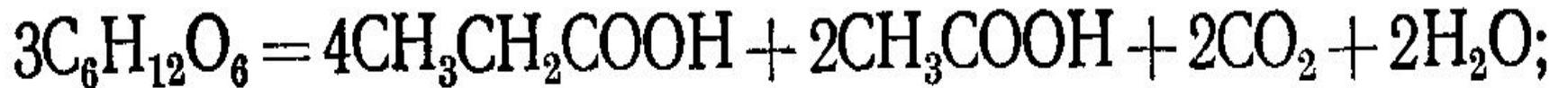
Большое значение эти бактерии имеют при квашении овощей (см. с. 236), силосовании кормов (растительной массы) для животных, в хлебопечении, особенно при изготовлении ржаного хлеба. В последние годы с положительными результатами ведутся исследования по использованию молочнокислых бактерий при изготовлении некоторых сортов колбас (см. с. 200), а также в процессе созревания слабосоленой рыбы для ускорения процесса и придания продуктам новых ценных качеств (вкуса, аромата, консистенции и др.).

| Промышленное значение имеет также применение молочнокислого брожения для получения молочной кислоты, которую используют в консервной, кондитерской

Сырьем для производства молочной кислоты брожением служат патока, крахмал и другое крахмал- и сахарсодержащее сырье. Крахмал предварительно осахаривают. Вырабатывают молочную кислоту также из молочной сыворотки за счет сбраживания содержащейся в ней лактозы. В первом случае для брожения применяют палочку Дельбрюка, во втором – *L.bulgaricus* и *S.lactis*. \*

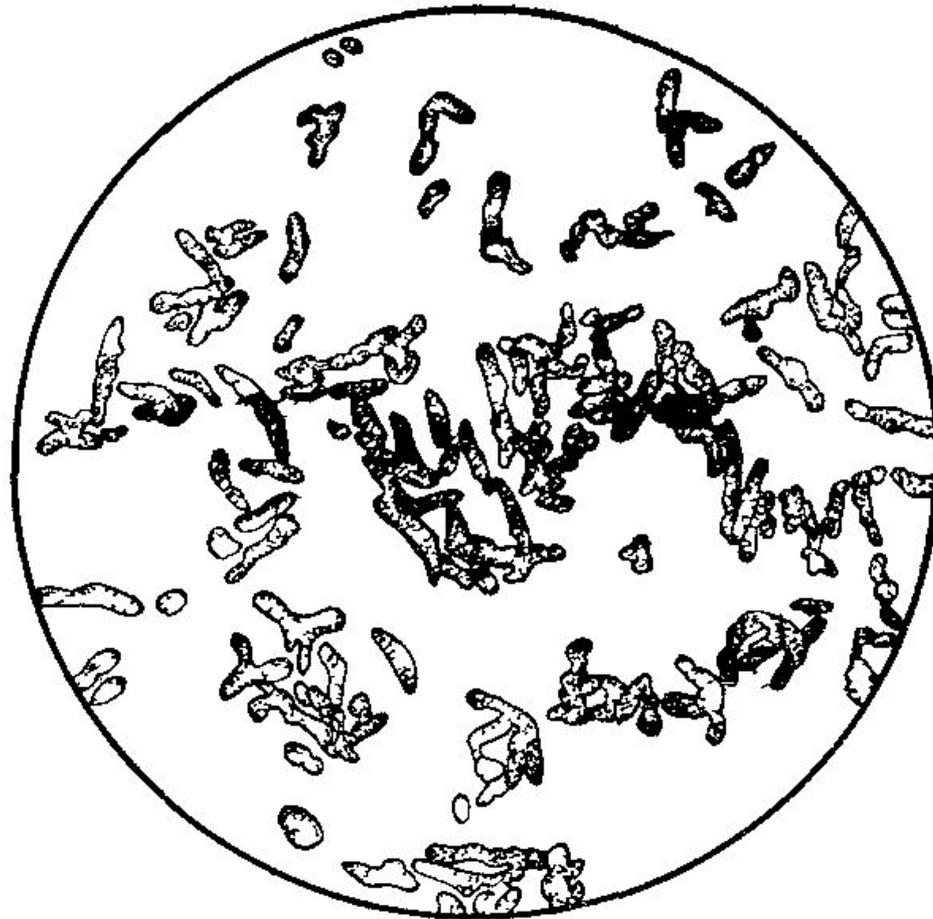
Спонтанно (самопроизвольно) возникающее молочнокислородное брожение в продуктах (молоке, вине, пиве, безалкогольных напитках и др.) приводит к их порче (прокисанию, помутнению,

Пропионовокислое брожение – это превращение сахара или молочной кислоты и ее солей в пропионовую и уксусную кислоты с выделением углекислого газа и воды: |



Некоторые пропионовокислые бактерии образуют, кроме того, немного других кислот (муравьиновую, янтарную, изова-лериановую). При пропионовокислом брожении превращение глюкозы до пировиноградной кислоты аналогично протекающему при спиртовом и гомоферментативном молочнокислом брожениях. В дальнейшем восстановление пировиноградной кислоты в пропионовую происходит сложно и изменяется в зависимости от условий. Это брожение вызывают бактерии, относящиеся к семейству Propionibacteriaceae, роду Propionibacterium. Это неподвижные, бесспорные, грамположительные палочки, слегка искривленные. В неблагоприятных условиях развития клетки нередко принимают

Рис. 29. Пропионовокислые бактерии



Пропионовокислые бактерии по ряду свойств близки к молочнокислым и часто развиваются совместно с ними. Они весьма требовательны к пище (источникам азота и витаминов). Большинство не развиваются при рН среды ниже 5,0–4,5.

Пропионовокислые бактерии – факультативные анаэробы, но могут выносить лишь низкое парциальное давление кислорода. Оптимальная температура их развития 30–35 °С, но они хорошо растут и при 15–25 °С и отмирают при температуре 60–70 °С.

Эти бактерии, помимо Сахаров и молочной кислоты, способны сбраживать пировиноградную кислоту, глицерин и некоторые другие вещества. Они разлагают (дезаминируют) аминокислоты, при этом выделяются жирные кислоты.

Пропионовокислое брожение является одним из важных процессов при созревании сыров. При развитии пропионово-кислых бактерий в сырной массе образуемая молочнокислыми бактериями кислота (точнее, ее кальциевая соль) превращается в пропионовую кислоту, уксусную кислоту и углекислый газ. Выделение последнего вызывает образование сырных «глазков» – пустот. Присутствие пропионовой и уксусной кислот в сыре обуславливает его своеобразные острый вкус и запах. Пропионовая кислота и ее соли являются ингибиторами плесеней и могут быть использованы для предотвращения плесневения продуктов

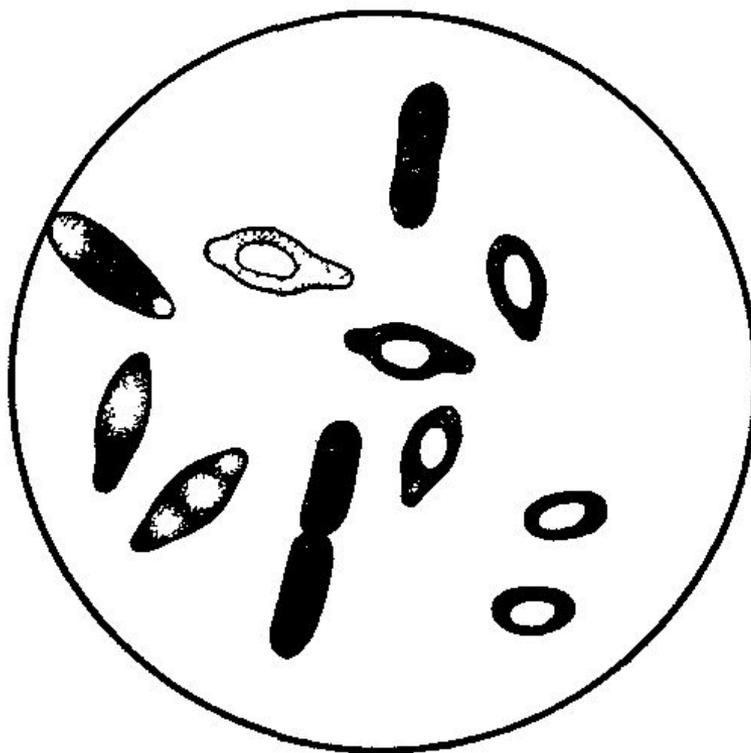
**Химизм маслянокислого брожения.** В этом виде брожения сахар претерпевает те же превращения, как при спиртовом и гомоферментативном молочнокислом брожениях, вплоть до образования пирувиноградной кислоты. Пирувиноградная кислота расщепляется до ацетилкоэнзима А ( $\text{CH}_3\text{COCoA}$ ),  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ . Две молекулы образовавшегося, двууглеродного соединения конденсируются, и из синтезированного при этом четырехуглеродного соединения в сложном цикле последовательных превращений через ряд промежуточных продуктов образуется масляная кислота.

## **Возбудители маслянокислого брожения.**

Маслянокислые бактерии представляют собой подвижные довольно крупные палочки. Они образуют споры, которые располагаются центрально или ближе к одному из концов клетки, придавая ей форму веретена или теннисной ракетки (рис. 30). Споры довольно термоустойчивы, выдерживают кипячение в течение нескольких минут. Характерной особенностью этих бактерий является наличие в клетках крахмалоподобного полисахарида гранулезы (в виде зернышек –гранул), окрашивающегося от йода в синеватый или коричневато-фиолетовый цвет. Эти бактерии –строгие анаэробы. Оптимальная температура их развития 30–40°С. Они чувствительны к кислотности среды, оптимум рН 6,9–7,4; при рН ниже 4,5–4,9 прекращают развиваться. >

Маслянокислые бактерии относятся к семейству Bacillaceae, роду Clostridium. Типичным их представителем является *C1. butyricum.* /

## Рис. 30. Маслянокислые бактерии



**Практическое значение маслянокислого брожения.** В природе это брожение имеет положительное значение как звено в цепи многообразных превращений органических веществ. В народном хозяйстве оно часто приносит значительный ущерб. Маслянокислые бактерии могут вызвать массовую гибель картофеля и овощей, вспучивание сыров, порчу консервов (бом-баж), прогоркание молока, увлажненной муки и т. д. Они вызывают порчу квашеных овощей при замедленном молочнокислом брожении; образующаяся при этом масляная кислота придает продукту острый прогорклый вкус, резкий и неприятный запах. Маслянокислое брожение применяют для производства масляной кислоты, которая широко

## АЦЕТОНОБУТИЛОВОЕ БРОЖЕНИЕ

Близким к маслянокислому является ацетонобутиловое брожение, в процессе которого образуется значительно большее количество бутилового спирта и ацетона, чем при обычном маслянокислом брожении. При этом образуется также этиловый спирт, масляная и уксусная кислоты, выделяются углекислый газ и водород.

Возбудители ацетонобутилового брожения представляют собой подвижные спорообразующие палочки, анаэробы.

# БРОЖЕНИЕ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Этот вид брожения близок к маслянокислому. Под воздействием пектолитических ферментов микроорганизмов, развивающихся в растительном пищевом сырье и в продуктах его переработки, протопектин превращается в растворимый пектин. Пектин разлагается с образованием галактуроновых кислот, углеводов (ксилозы, галактозы, арабинозы), метилового спирта и других веществ. Сахара сбраживаются бактериями по типу маслянокислого брожения с образованием уксусной и масляной кислот, углекислого газа и водорода. Все эти процессы приводят к мацерации (распаду) пораженных объектов и к другим видам их порчи.

Возбудителями брожения являются- спорообразующие анаэробные, подвижные бактерии.

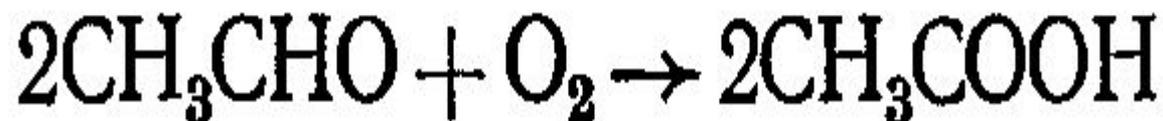
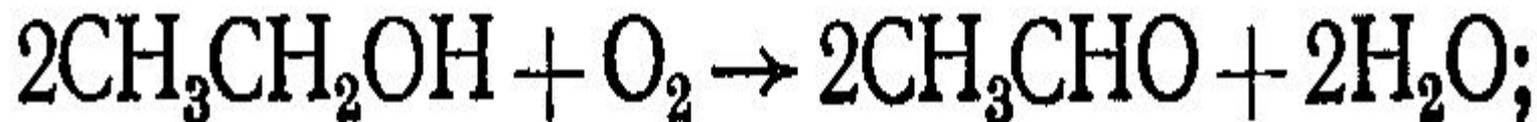
В природе (в воде, почве) пектиноразрушающие бактерии играют большую роль в процессе разложения растительных остатков.

Пектиновое брожение лежит в основе процесса мацерации

# УКСУСНОКИСЛОЕ БРОЖЕНИЕ

Уксуснокислое брожение – это окисление бактериями этилового спирта в уксусную кислоту

**Химизм уксуснокислого брожения.** При уксуснокислом брожении реакция окисления этилового спирта протекает в две стадии. Сначала образуется уксусный альдегид, который затем окисляется в уксусную кислоту:



**Возбудители уксуснокислого брожения.** Уксуснокислые бактерии представляют собой грамотрицательные, палочковидные, бесспорные, строго аэробные организмы. Среди них есть подвижные и неподвижные бактерии. Они кислотоустойчивы и некоторые могут развиваться при pH среды около 3,0; оптимальное значение pH 5,4–6,3.

Уксуснокислые бактерии отнесены к двум родам: *Glucobo-bacterium*– палочки с полярными жгутиками, неспособные окислять уксусную кислоту, и *Acetobacter*– перитрихи, окисляющие уксусную кислоту до углекислого газа и воды.

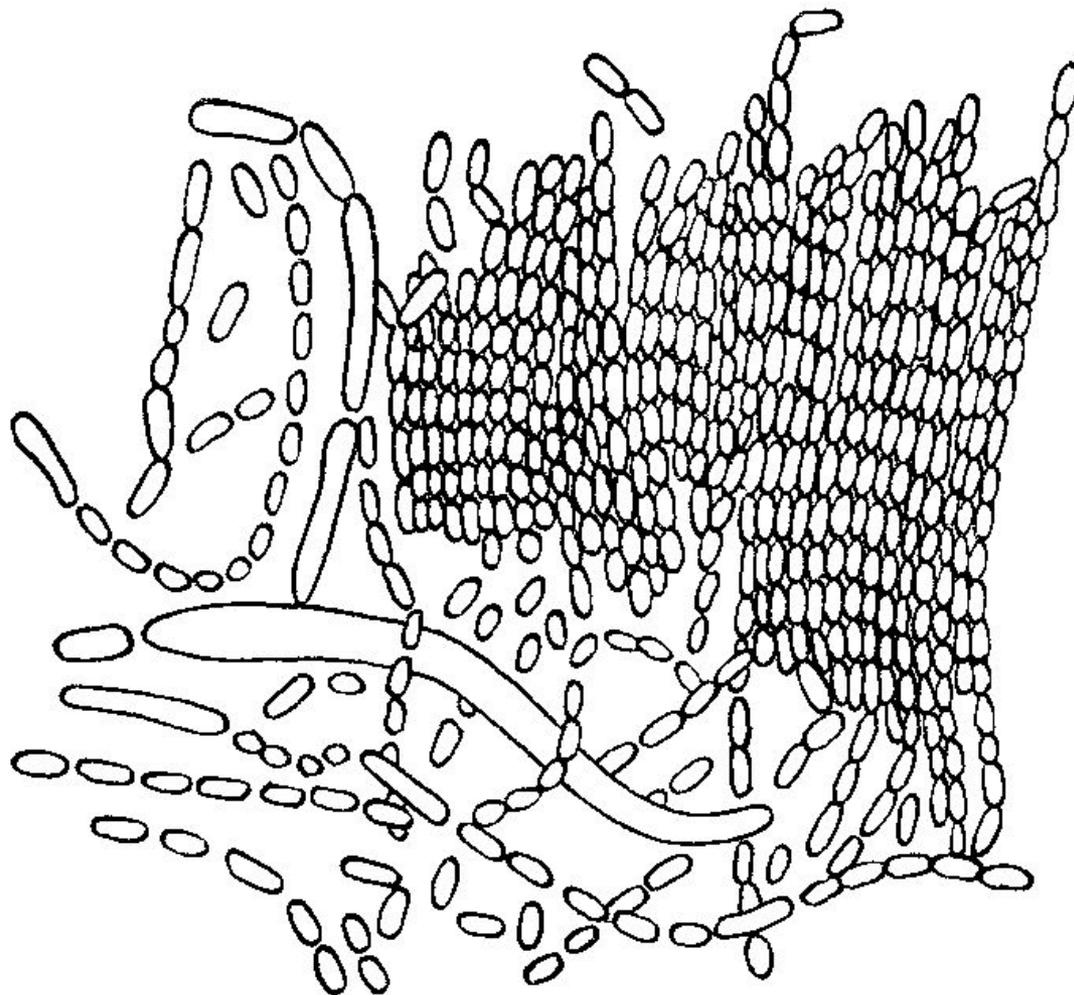
Эти бактерии различаются размерами клеток, устойчивостью к спирту, способностью накапливать в среде большее или меньшее количество уксусной кислоты и другими признаками. Например, *A. acetі* накапливает в среде до 6 % уксусной кислоты, *A. acetі subsp. orleanensis*– до 9,5, а *A. acetі subsp. xylinum*– до 4,5 %. *A. acetі* выдерживают

**Практическое значение уксуснокислого брожения.** На уксуснокислом брожении основано промышленное получение уксуса для пищевых целей.

Процесс ведут в специальных башневидных чанах (генераторах), внутри которых неплотно заложены боровые стружки. В верхней части генератора имеется приспособление для равномерного орошения стружек перерабатываемым спиртосодержащим субстратом. Исходным сырьем служит уксусноспиртовой раствор с питательными (для бактерий) солями или разбавленное подкисленное вино.

Подкисление субстрата необходимо для того, чтобы предотвратить развитие вредителей производства – пленчатых дрожжей и слизиобразующих непродуцируемых видов уксуснокислых бактерий, которые могут попасть извне. Производственной культурой чаще служит *A. aceti*. В стенках генератора имеются отверстия для засасывания (или вдувания)

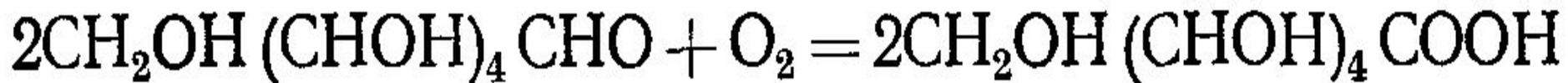
**Рис. 31. Пленка уксуснокислых бактерий**



В настоящее время процесс производства уксуса стали вести «глубинным» способом в герметично закрытых аппаратах, в которых спиртосодержащий субстрат с введенными в него уксуснокислыми бактериями аэрируется и перемешивается непрерывно подаваемым в аппарат воздухом. Этот метод имеет ряд преимуществ: меньше требуется производственных площадей, процесс автоматизирован и протекает значительно быстрее, исключена инфекция извне: Самопроизвольное развитие уксуснокислых бактерий в вине, пиве, квасе, безалкогольных напитках и других продуктах приводит к их порче (прокисанию, помутнению, ослизнению).

**Окисление других спиртов и сахара уксуснокислыми бактериями.** Уксуснокислые бактерии могут окислять и другие одноатомные спирты, например пропиловый спирт в пропионовую кислоту, бутиловый – в масляную. Метиловый спирт и одноатомные высшие спирты эти бактерии не окисляют.

Некоторые уксуснокислые бактерии окисляют глюкозу в глюконовую кислоту:



Превращение глюкозы в глюконовую кислоту известно как глюконовокислое брожение. Глюконовая кислота применяется в медицине, ветеринарии и в фармацевтической промышленности. Кроме уксуснокислых бактерий, глюконовую кислоту в глюкозосодержащих субстратах образуют некоторые флуоресцирующие бактерии (например, *Pseudomonas fluorescens*) и некоторые плесневые грибы из родов *Aspergillus* и *Penicillium*, которые также используют в промышленности.

Особый интерес представляет окисление некоторыми уксуснокислыми бактериями многоатомных спиртов в кетоспирты или кетосахара. Эти процессы и вызывающие их бактерии называют кетогенными.

В промышленности используют окисление шестиатомного спирта сорбита в сорбозу:



Сорбоза применяется при синтезе аскорбиновой кислоты (витамина С).

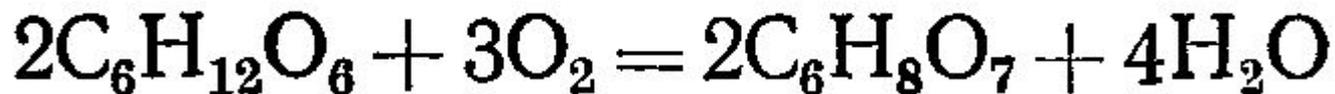
## ЛИМОННОКИСЛОЕ БРОЖЕНИЕ

Плесени в процессе дыхания также нередко окисляют углеводы, **но не** до углекислого газа и воды, поэтому в среде

накапливаются продукты неполного окисления – различные органические кислоты (щавелевая, янтарная, яблочная, лимонная и др.).

Образование грибами лимонной кислоты применяется в промышленности.

Лимоннокислым брожением называется окисление глюкозы грибами в лимонную кислоту. Конечный результат брожения можно представить следующим сумм:



Возбудителем брожения является гриб *Aspergillus niger*. Основным сырьем служит меласса – черная патока. Раствор ее, содержащий около 15 % сахара, в который добавляют необходимые для гриба питательные вещества (различные минеральные соли), стерилизуют и наливают невысоким (8–12 см) слоем в плоские открытые сосуды-кюветы и засевают спорами гриба. Кюветы помещают в растительные камеры, которые хорошо аэрируются. Процесс продолжается 6–8 дней при температуре около 30 °С. Гриб развивается на поверхности сброживаемой жидкости. Выход лимонной кислоты достигает 60–70 % израсходованного сахара. По окончании брожения раствор из-под пленки гриба сливают. Лимонную кислоту выделяют из раствора и подвергают очистке и кристаллизации. При отсутствии в растворе сахара эта кислота может быть окислена грибом до более простых продуктов – щавелевой и уксусной кислот, углекислого газа и воды.

## РАЗЛОЖЕНИЕ КЛЕТЧАТКИ И ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Разложение клетчатки и пектиновых веществ в аэробных условиях происходит под действием микроорганизмов, которые имеют пектолитические ферменты и целлюлазу.

Сначала микроорганизмы гидролизуют клетчатку и пектиновые вещества, а затем окисляют продукты гидролиза до углекислого газа и воды. Такой способностью обладают многие грибы и некоторые бактерии (цитофаги, некоторые миксобактерии и актиномицеты, см. с. 21).

Аэробное разложение клетчатки и пектиновых веществ широко распространено в природе и имеет огромное значение в процессах минерализации растительных остатков. Однако целлюлозо- и пектинразлагающие микроорганизмы могут значительно снизить качество различных промышленных материалов, содержащих клетчатку, а также растительного пищевого сырья (плодов, овощей). Гидролиз пектиновых веществ приводит к разрыхлению мякоти плодов и овощей, вплоть до распада тканей (появляется мокрая гниль), а гидролиз клетчатки – к разрушению стенок клеток мякоти и

## РАЗРУШЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

В древесине находится главным образом клетчатка (до 50– 55%), инкрустированная лигнином, содержание которого доходит до 30%. Кроме клетчатки и лигнина, в древесине имеется до 15 % гемицеллюлозы и некоторое количество смолистых и других веществ. Сухая древесина стойка и может длительно сохраняться без изменения, но во влажном состоянии она сравнительно легко поражается различными грибами, преимущественно трутовыми, относящимися к базидиальным грибам (см. с. 35).

Все трутовые грибы обладают экзоферментом целлюлазой и вызывают деструктивное разрушение древесины, при этом она крошится, темнеет, растрескивается.

Некоторые трутовики обладают, кроме того, ферментами, действующими на лигнин. Они вызывают коррозионное разрушение древесины, которая при этом размягчается, становится волокнистой.

Продукты ферментативного разрушения древесины являются для грибов источником питания и энергии.

Наиболее активными, поражающими заготовительную древесину в складских помещениях и обработанную, используемую в постройках, а также тару являются грибы семейств пориевых и кониофоровых. Из последних особо опасен настоящий домовый гриб (*Serpulalacrymans*).

## РАЗЛОЖЕНИЕ ЖИРОВ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Жиры представляют собой сложные эфиры глицерина и высших жирных кислот. Под действием различных физико-химических факторов внешней среды, а также микроорганизмов жиры могут подвергаться значительным изменениям.

Воздействие микроорганизмов на жир начинается обычно с гидролиза его под влиянием ферментов липаз на глицерин и свободные жирные кислоты. Жирные кислоты накапливаются в субстрате, поэтому нередко о снижении качества жира судят по изменению его «кислотного числа» — показателю содержания свободных жирных кислот.

Продукты гидролиза подвергаются превращениям.

Глицерин используется многими микроорганизмами и может быть полностью окислен до углекислого газа и воды.

Жирные кислоты разрушаются медленнее, но и они, в первую очередь ненасыщенные, постепенно окисляются.

Возбудителями процессов разложения жира и жирных кислот являются различные бактерии, многие плесени, некоторые дрожжи и актиномицеты. Из бактерий очень активны бактерии рода *Pseudomonas*, особенно флуоресцирующие (продуцирующие пигменты). Из плесеней значительной липолитической активностью обладают *Oidium lactis*, *Cladosporium herbarum*, многие виды *Aspergillus* и *Penicillium*.

Порча пищевых жиров и жира, содержащегося в различных продуктах (рыбных, молочных, крупяных и др.), очень распространена и нередко наносит большой ущерб народному хозяйству.

Многие жирорасщепляющие микроорганизмы являются психротрофами, способными развиваться при низких положительных температурах.

При длительном хранении жиров в условиях, не допускающих развитие микробов, порча жира может быть результатом химических процессов под влиянием света,