

# ЛЕКЦИЯ 4

## БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ и сыра

1. Брожение молочного сахара
2. Химизм отдельных видов брожения
3. Коагуляция казеина и гелеобразование

- Брожение – это процесс глубокого распада молочного сахара под действием ферментов микроорганизмов.
- Процессы брожения лежат в основе изготовления целого ряда молочных продуктов
- Вместе с тем процессы брожения сахара могут быть причиной порчи молочных продуктов (излишняя кислотность, вспучивание творога, сметаны, сыра и т. д.).
- Существует несколько типов брожения лактозы, различающихся составом конечных продуктов.

## Начальным этапом всех типов брожения является

- расщепление молочного сахара на глюкозу и галактозу под действием лактазы. Далее брожению подвергается глюкоза.
- Галактоза не сбраживается, но при участии некоторых ферментов и после изомеризации в глюкозофосфат включается в схему превращения глюкозы.

По характеру брожения к.-м. продукты делятся на две группы:

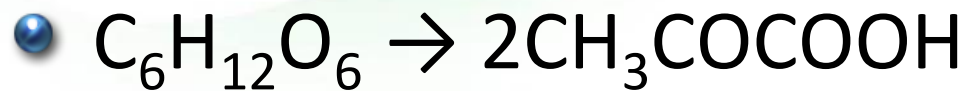
- продукты, получаемые на основе только молочнокислого брожения (гомоферментативные);
- продукты, получаемые в результате смешанного брожения (гетероферментативные).

- Все типы брожения до образования пировиноградной кислоты идут с получением одних и тех же промежуточных продуктов и по одному тому же пути.
- Далее пировиноградная кислота превращается в конечные продукты брожения – молочную, масляную, пропионовую, уксусную кислоты, спирт и др. соединения. Это зависит от особенностей микроорганизма и условий среды.
- В зависимости от образующихся продуктов различают молочнокислое, маслянокислое, спиртовое и др. виды брожений.



- В дальнейшем из каждой молекулы глюкозы образуется две молекулы пировиноградной кислоты

- 4Н

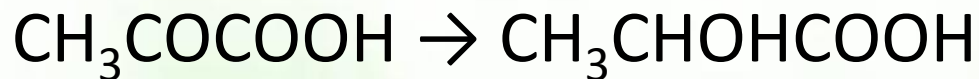
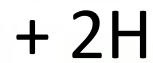


глюкоза          пировиноградная к-та

- Последующие превращения пировиноградной кислоты (в зависимости от вида брожения) идут в разных направлениях, которые определяются характером ферментативного процесса.

# Молочнокислое брожение -

- основной процесс при производстве кисломолочных продуктов и сыров.
- При молочнокислом брожении каждая молекула пировиноградной кислоты, образующаяся из молекулы глюкозы, восстанавливается с участием окислительно-восстановительного фермента лактатдегидрогеназы до молочной кислоты:



пировиноградная к-та      молочная к-та

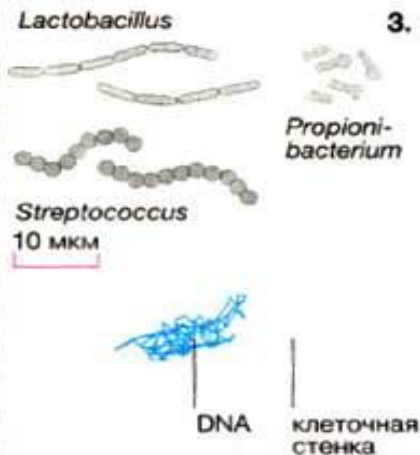
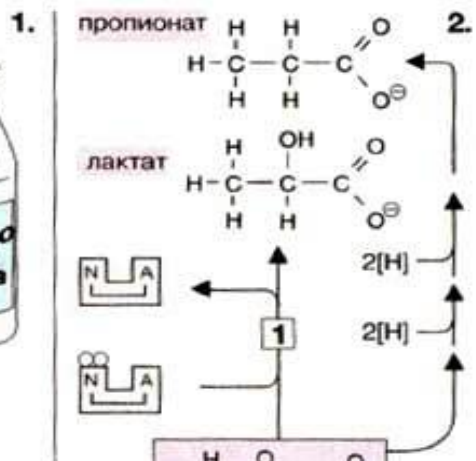
- В конечном итоге из одной молекулы лактозы образуются четыре молекулы молочной кислоты







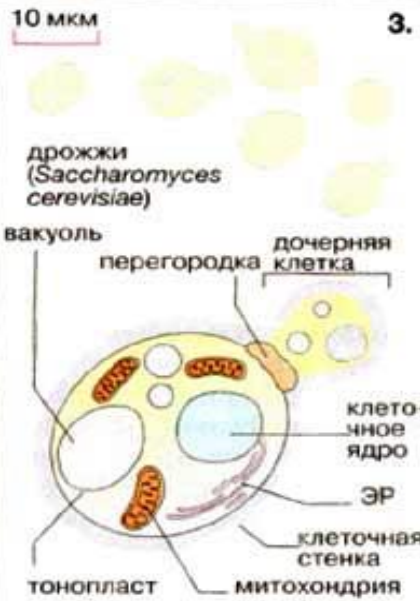
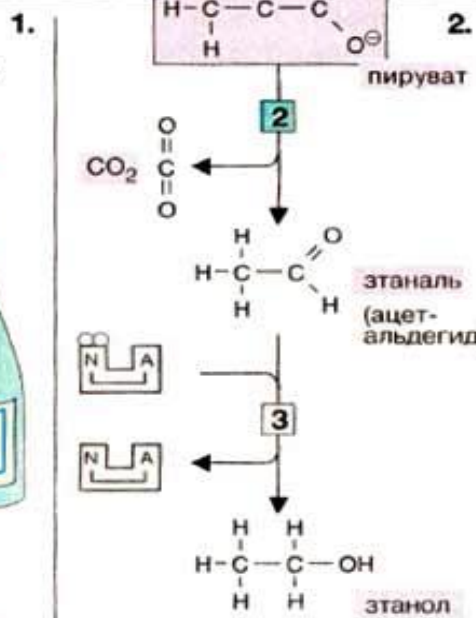
**А. Молочнокислое и пропионовокислое брожение**



1. лактатдегидрогеназа  
1.1.1.27
2. пируватдекарбоксилаза  
[TPP] 4.1.1.1
3. алкогольдегидрогеназа  
[Zn<sup>2+</sup>] 1.1.1.1



**Б. Спиртовое брожение**



# Схема 1. Гликолитический путь расщепления глюкозы молочнокислыми бактериями

Глюкоза



Глюкозо-6-фосфат



Фруктозо-6-фосфат



Фруктозо-1,6-дифосфат



Глицеральдегид-3-фосфат- Диоксиацетонфосфат

# Продолжение схемы

1,3-Дифосфоглицерат



3-Фосфоглицерат



Фосфоенолпируват



Пируват



D-Лактат

## Механизм гомоферментативного молочнокислого брожения:

- глюкоза → фруктовые кислоты → молочная кислота (из 1 моль глюкозы образуется 2 моль молочной кислоты).
- Превращение глюкозы в пировиноградную кислоту происходит при участии десяти ферментов, на конечном этапе реакцию катализирует *лактатдегидрогеназа*

# Гетероферментативное молочнокислое брожение

- Бактерии этой группы *Leuc. citrovorum*, *dextranicum*, *brevis* не могут сбраживать глюкозу по гликолитическому пути, так как у них отсутствует фермент альдолаза, необходимый для расщепления фруктозо-1,6-дифосфата на две молекулы триозофосфата
- Брожение идет по пентозофосфатному пути, то есть из каждого моля глюкозы образуются моль молочной кислоты, моль этанола и  $\text{CO}_2$ .
- Побочные продукты — летучие и нелетучие органические кислоты, глицерин, спирты, ацетон, ацетоин, диацетил, бутиленгликоль и пр.
- Бифидобактерии сбраживают глюкозу до уксусной и молочной кислоты (уксусной в 1,5 раза больше, чем молочной).

# Спиртовое брожение

- Имеет место при выработке кефира, кумыса, курунги и других кисломолочных продуктов.
- Возбудителем являются дрожжи, они сбраживают глюкозу с образованием этанола, углекислоты и других веществ: изобутил, глицерин, уксусная, янтарная, пропионовая кислоты, ацетоин и диацетил.
- На первой стадии превращение глюкозы в пировиноградную кислоту идет по гликолитическому пути, аналогично гомоферментативному молочнокислому брожению, затем она подвергается декарбоксирированию под действием пируватдекарбоксилазы с образованием  $\text{CO}_2$  и уксусного альдегида, из него образуется этанол.



# Пропионовокислое брожение

- возбудителем являются пропионовокислые бактерии, которые превращают глюкозу или молочную кислоту в пропионовую и уксусную кислоты, одновременно образуется небольшое количество янтарной кислоты.
- Суммарное уравнение:  
$$3 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- Важную роль играет это брожение в процессе созревания сыров с высоким вторым нагреванием.

# Маслянокислое брожение

- Происходит под действием маслянокислых бактерий, которые сбраживают глюкозу и молочную кислоту.
- Известно несколько типов этого брожения, которые различаются по образуемым продуктам. При одном типе образуются масляная, уксусная кислоты, углекислота и  $H_2$ .
- При другом типе — образование бутилового, изопропилового спиртов, этанола и ацетона, которые обладают резким, неприятным запахом, а также образуется большое количество газов.
- Это брожение — нежелательный процесс при производстве молочных продуктов, вызывает пороки сыров: вспучивание, неприятный вкус и запах.



# Уксуснокислое брожение

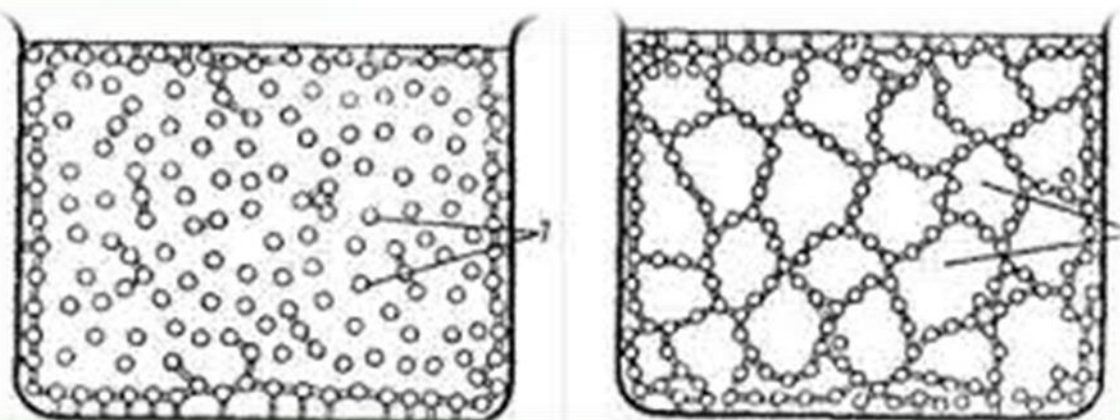
- Под действием уксуснокислых бактерий этиловый спирт окисляется в уксусную кислоту, уксуснокислые бактерии как типичные аэробы появляются на поверхности молочных продуктов и часто являются спутниками дрожжей.

# Сущность кислотной коагуляции

- Образующаяся молочная кислота снижает отрицательный заряд казеиновых мицелл, так как  $\text{H}^+$ -ионы подавляют диссоциацию карбоксильных групп казеина, а также гидроксильных групп фосфорной кислоты: группы  $\text{COO}^-$  переходят в  $\text{COOH}$ , а  $\text{PO}_2^{--}$  в  $\text{H}_2\text{PO}_3$ .
- В результате этого перехода достигается равенство положительных и отрицательных зарядов в изоэлектрической точке казеина (рН 4,6 – 4,7).

- Помимо этого от казеинаткальцийфосфатного комплекса отщепляется фосфат кальция, в результате чего казеин теряет устойчивость в растворе и агрегирует с образованием цепочек или нитей, которые образуют пространственную сетку, то есть происходит гелеобразование.
- При рН 5 и ниже наступает полное разрушение мицеллярной структуры казеина, снижение степени его гидратации и агрегирование гидрофобных частиц.

- Далее процесс агрегирования частиц преобладает и наступает процесс структурообразования с формированием единой пространственной сетки молочного сгустка (геля), в петли которого захватывается дисперсионная среда с шариками жира и другими составными частями молока.



- Этот процесс происходит в изоэлектрической точке казеина (рН 4,6—4,7).

# Сычужное свертывание молока

- Под действием сычужного фермента казеин превращается в параказеин, имеющий изоэлектрическую точку в менее кислой среде (рН 5—5,2).

