

МИКРОБИОЛОГИЯ

М. Н. МЕЙСЕЛЬ

**ИЗМЕНЕНИЕ ХОНДРИОСОМ ДРОЖЖЕВЫХ ОРГАНИЗМОВ ПРИ
ДЫХАНИИ И БРОЖЕНИИ**

(Представлено академиком А. А. Рихтером 29 VI 1938)

Хондриосомы были причислены к необходимым клеточным органоидам не столько в силу понимания их роли, сколько вследствие поразительного постоянства, с которым они обнаруживаются в протоплазме почти всех известных нам клеток.

Большинство исследований, посвященных выяснению роли хондриосом, имеет два существенных недостатка: они или наделяют хондриосомы почти всем комплексом функций, присущих клетке, оставляя на долю основной цитоплазмы незначительную роль, или пытаются приписать хондриосомам самых разнообразных клеток одну и ту же частную и неизменную функцию.

Эти взгляды основываются на представлении об одинаковом и неизменном химическом составе хондриосом.

Между тем за последнее время накопились данные, указывающие на неодинаковый химический состав хондриосом различных клеток. Особенно существенно, что такие высокоактивные вещества, как глутатион, витамины и разнообразные ферменты, присутствуют в хондриосомах различных клеток в разных сочетаниях.

Имеются основания считать, что хондриосомы представляют собой структурные приспособления, способствующие концентрации (и может быть, соответствующей пространственной ориентации) высокоактивных каталитических веществ, причем характер этих веществ зависит от рода, специфической дифференцировки и от состояния жизнедеятельности клеток.

Представление об энзиматической (в широком смысле) функции хондриосом находит в настоящее время все больше сторонников⁽¹⁻⁷⁾.

Над выяснением возможной роли хондриосом в окислительно-восстановительных процессах много работает Joyet-Lavergne^(8, 9).

Однако подавляющее большинство полученных данных имеет характер косвенных доказательств. В недавно опубликованной работе Joyet-Lavergne⁽¹⁰⁾ пытаются установить связь между количеством хондриосом в эритроцитах тритона и интенсивностью дыхания этих клеток.

Для дальнейшего выяснения роли хондриосом особенно ценными могут явиться одноклеточные организмы, допускающие прижизненное цитологическое наблюдение с одновременным точным учетом их физиологических реакций.

Весьма удобными объектами для изучения хондриосом при различных функциональных состояниях клетки оказались дрожжевые и дрожжеподобные организмы. В предыдущей работе (11) мною отмечены типичные картины хондриосом у дрожжей, соответствующие аэробному дыханию и алко-гольному брожению.

В первом случае, т. е. в условиях, благоприятствующих аэробному дыханию, хондриом у дрожжевых клеток состоит из многочисленных тонких хондриосом, рассеянных более или менее равномерно по всей цитоплазме. В условиях брожения происходит резкое изменение хондриосом, сводящееся к их слиянию, гипертрофии, перемещению к клеточной поверхности и появлению на них признаков своеобразной «секреции». В специально проведенных опытах удалось выяснить, что эта перестройка хондриосом непосредственно связана с активным участием клетки в процессе брожения и не зависит от накопления в среде продуктов обмена или от иных неблагоприятных условий.

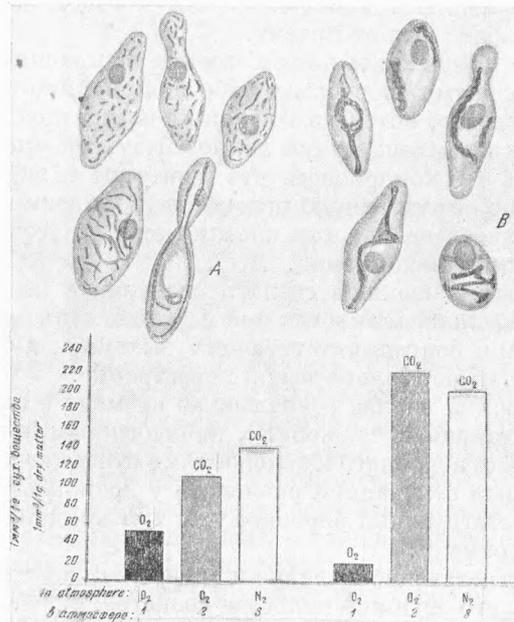
Дальнейшие исследования показали, что ту же перестройку хондриосом, которую мы наблюдали при брожении на жидкой сахаросодержащей среде, можно получить и на твердой питательной среде (например на сусло-агаре), поместив культуры в условия относительного вакуума или пониженного содержания кислорода. В этих случаях, так же как и при брожении в жидкой питательной среде, происходит резкая гипертрофия отдельных хондриосом и их слияние. Цитологическая картина дрожжевых организмов, развивающихся в условиях анаэробно-брожения, чрезвычайно напоминает таковую при активном брожении (накопление метакроматина в вакуолях, увеличение ядер, их прижизненная окрашиваемость и т. д.). В отсутствие сбраживаемых углеводов или при низкой температуре, угнетающей брожение, хондриом клеток даже в жидкой питательной среде сохраняет тип, характерный для дышащих дрожжевых клеток. Это показывает, что характер строения хондриома зависит от условий жизнедеятельности дрожжевых клеток и тесно связан с преобладающим типом обмена. Связь между состоянием хондриома и дыхательной и бродильной функциями клеток удалось вполне отчетливо обнаружить на одной и той же культуре дрожжевых организмов при параллельном цитологическом исследовании их и учете дыхания и брожения в аппарате Варбурга. Оказалось, что дрожжи одного и того же штамма, но развивавшиеся или в условиях, благоприятствующих дыханию, или в условиях брожения, приобретают не только типичную для каждого из этих условий цитологическую структуру, но также и соответствующие этим условиям физиологические особенности. Так, дрожжевые клетки *Saccharomyces Ludwigii*, развивавшиеся в течение 48 час. на твердой питательной среде (сусло-агар), дышат в два с половиной раза интенсивнее и сбраживают в два с лишним раза меньше глюкозы, чем клетки того же штамма, развившиеся на такой же, но только жидкой среде (пивное сусло).

Эти особенности сохраняются дрожжами в течение нескольких часов после промывания их стерильной водой (или фосфатным буфером) и совершенно одинаковой последующей обработкой проб для исследования дыхания и брожения. Параллельное изучение цитологической структуры клеток обнаруживает полное совпадение строения хондриосом с соответствующими, отмеченными выше физиологическими особенностями.

На фигуре изображены клетки *Saccharomyces Ludwigii* как с твердой питательной среды (условия, благоприятствующие дыханию), так и с жидкой среды (условия, благоприятствующие брожению) и соответствующие диаграммы, иллюстрирующие интенсивность дыхания и брожения этих культур после трехкратного промывания их и исследования в 2% растворе глюкозы.

Аналогичные данные получены нами при исследовании культур, развивавшихся на твердых средах в условиях относительного вакуума или недостатка кислорода. В этих случаях дрожжи цитологически и физиологически соответствовали броющим культурам.

Морфологическая перестройка хондриосом при переходе клеток от дыхания к брожению сопровождается и функциональными их изменениями.



A—хондриом у *Saccharomyces Ludwigii*, развивавшихся в условиях хорошей аэрации; *B*—хондриом у *Saccharomyces Ludwigii* в условиях брожения. Внизу диаграмма, иллюстрирующая величины дыхания (1), аэробного (2) и анаэробного (3) брожения для соответствующих культур (*A* и *B*).

Так, опыты с прижизненной окраской (янусгрюн) показали, что способность хондриосом адсорбировать краску и восстанавливать ее неодинаково выражена у клеток, преимущественно дышащих, и клеток, преимущественно броющих; у последних повышена способность адсорбировать янусгрюн, вследствие чего у них хондриосомы окрашиваются более полно и интенсивно.

Дрожжи, культивируемые на средах, содержащих вещества, угнетающие дыхание или брожение, в значительных концентрациях (цианистый калий, этиловый спирт, хлорал-гидрат, моно-под-уксусную кислоту), имеют редуцированный хондриом. Отдельные хондриосомы становятся мелкими, тонкими, иногда пылевидно рассеянными по цитоплазме. Попытки окрасить хондриом в таких клетках прижизненно даже после тщательного их промывания обычно или не удаются или окраска получается очень бледная, едва различимая.

При действии наркотиков (спирт, эфир, хлороформ), даже в слабых сравнительно концентрациях, когда резких морфологических изменений хондриосом еще не наблюдается, способность хондриосом адсорбировать и концентрировать на своих поверхностях краску янусгрюн подавляется и даже прекращается.

После удаления наркотиков окраска хондриосом в этих клетках появляется снова.

Такая же раскраска прижизненно окрашенных хондриосом наступает и в том случае, если клетки поместить в жидкую питательную среду (пивное сусло). Непрерывное наблюдение за такими предварительно окрашенными клетками показывает, что через 1—1½ часа наступает постепенная раскраска хондриосом, после чего дрожжевая клетка приобретает способность участвовать в брожении, а в дальнейшем и в размножении. Клетки, у которых поверхность хондриосом блокирована прижизненной краской, не способны к брожению и должны, прежде чем начать полноценно функционировать, освободиться от краски.

Освобождение хондриосом живой клетки от краски может, как показали опыты, идти двумя способами: либо повышением восстановительных процессов, в результате которых зеленовато-синяя краска янусгрюн переходит в розовую, а затем бесцветную лейкоформу, либо понижением адсорбционной способности хондриосом, что приводит к перемещению краски с их поверхности в окружающую цитоплазму. Выяснилось, что в различных условиях жизнедеятельности клетки может действовать то один, то другой из указанных механизмов.

Все эти данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Хондриом дрожжевых клеток при переходе этих организмов от условий существования, благоприятствующих дыханию, к брожению подвергается существенной морфологической перестройке.

2. Эта перестройка вполне совпадает во времени с изменением соотношения между дыханием и брожением, наблюдаемым при переходе дрожжевых организмов от аэробного к анаэробному существованию. Таким образом можно с полным основанием различать у дрожжевых организмов тип хондриома, соответствующий аэробному, и тип хондриома, соответствующий анаэробному обмену.

3. Факторы, угнетающие дыхание и брожение, действуют на хондриом, изменяя сначала его функциональные свойства (способность восстанавливать, окислять и аккумулировать краски), а при более значительном воздействии и его морфологическую структуру.

Институт микробиологии.
Академия Наук СССР.
Москва.

Поступило
1 VII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Robertson, Austral. Journ. of Exper. Biology and Medic., **3**, 97 (1926).
² Marston, *ibid.*, 233 (1926). ³ Cowdry, American Naturalist, **60**, № 667 (1926).
⁴ Horning, Austr. Journ. exp. Biol. and Medic., **3** (1926). ⁵ Horning
a. Petri, Proc. Roy. Soc., Ser. B., **102**, 188 (1927). ⁶ Bourne, Austr. Journ.
Exp. Biol. and Medic., **8**, 239 (1935). ⁷ Smith, Journ. Morph. and Physiol., **52**,
485 (1931). ⁸ Joyet-Lavergne, La Cellule, **43** (1934). ⁹ Joyet-Lavergne,
C. R. Acad. Sci., Paris, **203**, 1020 (1936). ¹⁰ Joyet-Lavergne, *ibid.*,
203, 1291 (1936). ¹¹ Мейсель, Бюлл. эксперим. биологии и медицины, **5** (1938).