

· · · · · Ä

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Воронежский государственный университет**

**ФЕРМЕНТЫ: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И РОЛЬ  
В МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Учебно-методическое пособие

*по специальности 020201 (011600) – биология*

## СОДЕРЖАНИЕ

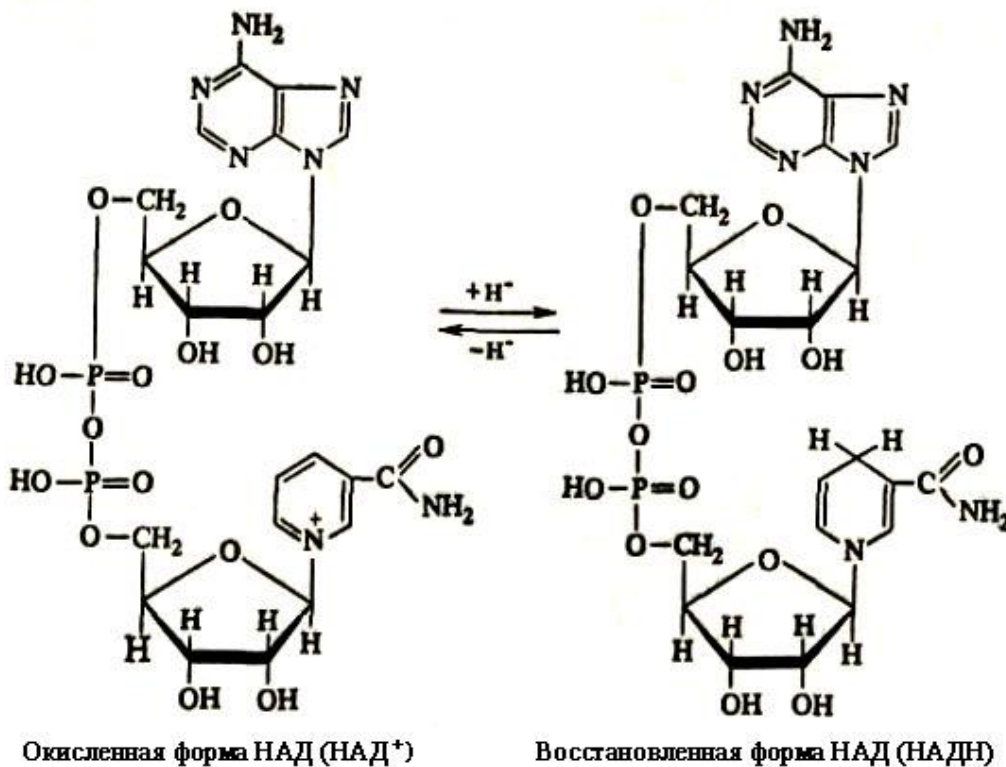
Ферменты .....	4
Метаболизм.....	34

другому без передачи их на кислородные атомы называют анаэробными дегидрогеназами или редуктазами.

Если фермент катализирует реакцию отнятия Н непосредственно от окисляемого вещества (первичного субстрата), то его называют первичной дегидрогеназой. Если фермент ускоряет снятие водородных атомов со вторичного субстрата, который получил атомы Н при посредстве первичной дегидрогеназы (вторичным субстратом может быть кофермент самой первичной оксидоредуктазы), его называют вторичной дегидрогеназой. Другая особенность оксидоредуктаз состоит в том, что, будучи двухкомпонентными ферментами с весьма ограниченным набором активных групп (коферментов), они способны ускорять большое число самых разнообразных окислительно-восстановительных реакций. Это достигается за счет того, что один и тот же кофермент способен соединяться со многими апоферментами, образуя каждый раз оксидоредуктазу, специфичную по отношению к тому или иному субстрату или акцептору.

Еще одна, пожалуй, главная особенность оксидоредуктаз заключается в том, что они ускоряют протекание химических процессов, связанных с высвобождением энергии. Последняя используется как для обеспечения синтетических процессов в организме, так и для других нужд.

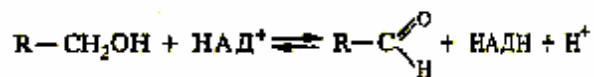
В природных объектах обнаружено около пятисот индивидуальных оксидоредуктаз. Наиболее распространены оксидоредуктазы, содержащие в качестве активной группы **никотинамидадениндинуклеотид**, или НАД<sup>+</sup>:



Более половины известных в настоящее время оксидоредуктаз содержат НАД<sup>+</sup> в качестве кофермента. Соединяясь с тем или иным специфическим белком и

образуя, таким образом, двухкомпонентный фермент, который сокращенно называют пиридинпротеином, НАД<sup>+</sup> резко усиливает свою способность восстанавливаться по ядру никотинамида. В результате пиридин-протеины способны отнимать от субстратов (спирты, альдегиды, дикарбоновые и кетокислоты, амины и др.) атомы Н в виде гидрид-ионов (Н<sup>-</sup>) и протонов (Н<sup>+</sup>), окисляя, таким образом, указанные соединения. Все пиридинпротеины являются анаэробными дегидрогеназами, т.е. не передают снятые с субстрата атомы водорода на кислород, а посылают их на ближайший в окислительной цепи другой фермент.

Рассмотрим строение и механизм действия одного из пиридинпротеинов - **алкогольдегидрогеназы** из печени животных. В процессе отнятия атомов Н от спирта образуется тройной апофермент-кофермент-субстратный комплекс, удерживаемый Zn<sup>2+</sup>. Непосредственно к никотинамидадениндинуклеотиду от молекулы спирта переходит один атом водорода в виде гидридного иона (Н<sup>-</sup>), т.е. атома водорода, несущего дополнительный электрон. Второй атом водорода, отнимаемый от молекулы спирта, наоборот, теряет электрон, превращаясь в протон (Н<sup>+</sup>), и поступает в реакционную среду. Поэтому уравнение реакции окисления спирта при участии НАД<sup>+</sup> записывают так:



В любом случае НАД<sup>+</sup> получает два электрона за счет присоединения гидридного иона.

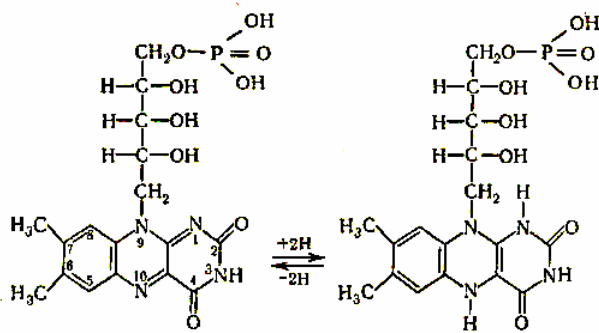
Кроме НАД<sup>+</sup> пиридинферменты содержат в качестве кофермента никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ<sup>+</sup>). Этот кофермент является производным НАД<sup>+</sup>, у которого водород ОН-группы 2-го углеродного атома рибозы аденозина замещен на остаток фосфорной кислоты.

НАДФ<sup>+</sup>, соединяясь со специфическими белками, образует большую группу пиридинпротеинов, характеризующуюся своим набором субстратов. Механизм окисления при участии НАДФ<sup>+</sup> в качестве кофермента аналогичен таковому при посредстве НАД<sup>+</sup>. Более того, НАДН и НАДФ<sup>+</sup>, равно как НАДФН и НАД<sup>+</sup>, при каталитическом участии специального фермента – **трансгидрогеназы** - способны обмениваться атомами водорода и электронами:



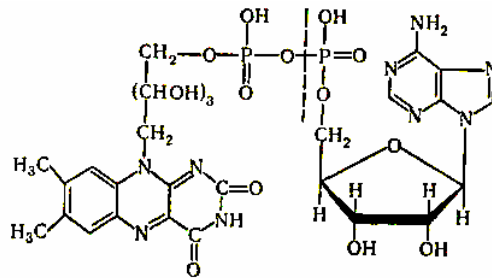
Партнером восстановленных форм пиридинпротеинов в оксидоредуктазной цепи, как правило, служат флавопротеины (ФП). Таким флавопротеином, например, является фермент, несущий в качестве активной группы фосфорилированный витамин В<sub>2</sub>. Окисленная форма этого флавопротеина окрашена. Каждая молекула фермента несет молекулу **рибофлавинфосфата**

(или флавиномононуклеотида, ФМН), способного принимать и отдавать два атома Н по атомам N изоаллоксазинового кольца:



Окрашенная форма    Бесцветная форма  
(окисленная)    (восстановленная)

Другим коферментом в флавопротеинах является **флавинадениндинуклеотид (ФАД)**:



Флавинадениндинуклеотид (ФАД)

ФМН и ФАД, соединяясь с различными апоферментами, дают начало приблизительно тридцати флавопротеинам, отличающимся различной специфичностью по отношению к субстратам.

Основная функция флавопротеинов - перенос электронов (атомов Н) от восстановленных пиридинпротеинов к другим компонентам окислительно-восстановительной цепи, т.е. ФП в большинстве случаев являются вторичными дегидрогеназами. Однако некоторые флавопротеины, особенно с ФАД в качестве кофермента, могут непосредственно снимать атом Н с субстрата.

Коферментами оксидоредуктаз являются также **хиноны**. Так, соединяясь с белком, убихиноны образуют убихинонпротеин, являющийся важной составной частью ансамбля оксидоредуктаз, при посредстве которых осуществляется перенос атомов Н и электронов.

Убихиноны являются производными бензохинона и обладают боковой цепью, составленной из большого числа изопреноидных остатков:

В растениях эту функцию выполняет похожее на убихинон соединение - пластохинон.

Число изопреноидных фрагментов в боковой цепи (и) колеблется от 6 до 10. Установлено, что убихиноны принимают участие в окислительно-восстановительных процессах в организме, осуществляя передачу атомов Н: