

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет биоинженерии и биоинформатики

УТВЕРЖДАЮ
Декан
факультета биоинженерии
и биоинформатики,
академик
_____/В.П. Скулачев /
« ____ » _____ 20 __ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Молекулярная биоэнергетика

Уровень высшего образования:
специалитет

Направление подготовки (специальность):

06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Ученым советом факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 20 ____

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 06.05.01 «Биоинженерия и биоинформатика» (программы специалитета) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2016, 2017, 2018, 2019.

© Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Цель курса - познание молекулярных механизмов преобразования энергии

Задачи курса:

- понимание основ молекулярной биоэнергетики
- понимание методов молекулярной биоэнергетики
- понимание молекулярных механизмов биологического преобразования энергии

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, курс по выбору, курс IV – семестр 8

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть): Освоение дисциплин "Общая и неорганическая химия", "Физика", "Биохимия", "Биоэнергетика"

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине:

Знать:

- особенности переноса протонов и электронов в биологических системах, понимать механизмы сопряжения между переносом(а) ионов (протонов или ионов натрия), (б) электронов и (в) конформационными изменениями
- стандартные методы обработки наблюдений

Уметь

- оценивать, исходя из имеющейся структурной информации об энергпреобразующих белках скорость переноса электронов между редокс-активными группами, возможность переноса протонов через конкретные белки, величину изменения электростатического потенциала на конкретном аминокислотном остатке в ответ на изменение электрического заряда на одном из атомов этого же белка

4. Формат обучения - лекционные занятия

5. Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 32 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

6. Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Тема 1. Перенос электронов в биологических системах.

Содержание темы: Основы теории переноса электронов в химических системах Маркуса. Применимость теории Маркуса к переносу электронов в белках. Факторы, определяющие скорость переноса электронов в белках (линейка Мёзера-Даттона). Отклонения от предсказаний теории Маркуса, наблюдаемые в биологических системах. Релаксационный контроль переноса электронов в случае биологических систем. Зависимость режима переноса электронов в белках от величины свободной энергии редокс-реакции.

Задания для самостоятельной работы: Чтение научной литературы, подготовка докладов по научным статьям

Тема 2. Перенос протонов в биологических системах

Содержание темы: Теория переноса протонов в водных растворах Гроттуса. Жизнь и деяния великого русского ученого барона Кристиана Иоганна Дитриха фон Гроттуса (Теодора фон Гроттуса). Особенности переноса протонов в биологических системах. Протон-переносящие группы, участвующие в переносе протонов в биологических системах. Механизм переноса протонов по поверхности биологических мембран. Феномен примембранного электростатического барьера для катионов. Важность примембранного электростатического барьера для эффективности преобразования энергии. В биологических системах. Понятие энергии десольватации (энергии Борна). Необходимость учета энергии десольватации при рассмотрении механизмов переноса ионов через биологические мембраны. Рассмотрение известных механизмов понижения энергии десольватации мембранными ферментами. Механизм переноса протона через мембрану сопровождающийся генерацией нескомпенсированного электрического заряда в гидрофобной части мембранного белка.

Задания для самостоятельной работы: Чтение научной литературы, подготовка докладов по научным статьям

Тема 3. Механизмы гидролиза и синтеза нуклеозидтрифосфатов в биоэнергетике

Содержание темы: Роль мембранных роторных АТФаз в клеточном метаболизме, отличия бактериальных ферментов от ферментов архей и эукариот. Na⁺ и H⁺-зависимые АТФазы, их филогенетическое дерево. Концепция первичности Na⁺-зависимой мембранной биоэнергетики. N-АТФазы как новое семейство мембранных АТФаз. Рассмотрение молекулярного механизма работы роторных АТФаз на примере бактериальной АТФазы.

Задания для самостоятельной работы: Чтение научной литературы, подготовка докладов по научным статьям

Тема 4. Фотосинтез

Содержание темы: Роль фотосинтеза в преобразовании энергии. Возможность абиотического «неживого» фотосинтеза в бескислородной атмосфере древней земли. Принцип функционирования фотореакционных центров. Биохимическая шкала окислительно-восстановительных потенциалов. Два типа фотореакционных центров. Роль цитохромных bc комплексов в фотосинтезе.

Задания для самостоятельной работы: Чтение научной литературы, подготовка докладов по научным статьям

Тема 5. Энергопреобразующие комплексы биологических цепей электронного транспорта.

Содержание темы: Типы дыхательных цепей. Бактериальные сукцинат/фумарат оксидоредуктазы как типичный пример окислительно-восстановительного фермента цепи электронного транспорта. Рассмотрение на примере бактериальной сукцинат/фумарат оксидоредуктазы различных редокс-кофакторов и их особенностей. Сукцинат-оксидаза животных (комплекс II) Мембранная NADH-оксидаза (комплекс I), структура и механизм действия. Цитохромные bc комплексы. Рассмотрение различных типов цитохромных bc комплексов и эволюционных взаимоотношений между ними. Возможные сценарии возникновения цитохромных bc комплексов. Q-цикл Митчелла как механизм функционирования цитохромных bc комплексов. Мембранные оксидазы. Цитохром оксидаза животных и человека (комплекс IV). Механизм действия цитохромоксидазы.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Тема 1. Введение. Перенос электронов в биологических системах	10	4	0	4	6

Тема 2. Перенос протонов в биологических системах	12	6	0	6	6
Тема 3. Механизмы гидролиза и синтеза нуклеозидтрифосфатов в биоэнергетике	16	8	0	8	8
Тема 4. Фотосинтез	14	6	0	6	8
Тема 5. Энергопреобразующие комплексы биологических цепей электронного транспорта	16	8	0	8	8
Промежуточная аттестация - зачет	4				4 <i>(количество часов, отведенных на промежуточную аттестацию)</i>
Итого	72	32		32	40

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Какие структурные особенности белков необходимы для обеспечения эффективного переноса электронов?

Зависимость режима переноса электронов в белках от величины свободной энергии редокс-реакции

Теория переноса протонов в водных растворах Гроттуса

Какие структурные особенности белков необходимы для обеспечения эффективного переноса протонов?

Механизм переноса протонов по поверхности биологических мембран.

Важность примембранного электростатического барьера для эффективности преобразования энергии.

Рассмотрение известных механизмов понижения энергии десольватации мембранными ферментами.

Опишите основные функциональные особенности роторных АТФаз.

Опишите известные Вам типы биологических редокс-кофакторов.

Опишите структуру и механизм действия цитохромного bc комплекса.

Сформулируйте структурные особенности, общие для всех фотореакционных центров.

В чем заключаются отличия механизмов переноса электронов и протонов в биологических системах?

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Опишите факторы, определяющие скорость переноса электронов в белках (линейка Мёзера-Даттона).

Феномен примембранного электростатического барьера для катионов.

Перечислите методы наблюдения за переносом протонов в биологических системах

Роль мембранных роторных АТФаз в клеточном метаболизме, отличия бактериальных ферментов от ферментов архей и эукариот.

Опишите известные Вам типы дыхательных цепей

Опишите структуру и предполагаемый функциональный механизм мембранной NADH-оксидазы (комплекс I).

Опишите основные особенности Q-цикла Митчелла.

Сформулируйте функциональные особенности, общие для всех фотореакционных центров.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<p>Знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - особенности переноса протонов и электронов в биологических системах, понимать механизмы сопряжения между переносом(а) ионов (протонов или ионов натрия), (б) электронов и (в) конформационными изменениями в наиболее изученных энергопреобразующих белках - стандартные методы обработки наблюдений 	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<p>Умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оценивать, исходя из имеющейся структурной информации об энергопреобразующих белках скорость переноса электронов между редокс-активными группами и возможность переноса протонов через конкретные белки, величину изменения электростатического потенциала на конкретном аминокислотном остатке в ответ на изменение электрического заряда на одном из 	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение

атомов этого же белка				
Владения:	Навыки владения отсутствуют	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. Скулачев, В.П.,. Мембранная биоэнергетика. - Москва: Издательство МГУ, 2010
 2. Скулачев, В.П... Энергетика биологических мембран. - Москва: Наука, 1989
 3. Cramer, W.A.. Energy Transduction in Biological Membranes. - Berlin: Springer, 1991
- Дополнительная литература
1. Grotthus, T. 1805. Mémoire sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique, Rome.
 2. Mitchell, P. 1961. Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemiosmotic type of mechanism. Nature 191:144-148.
 3. Mitchell, P., and J. Moyle. 1967. Chemiosmotic hypothesis of oxidative phosphorylation. Nature 213:137-139.
 4. Moser, C. C., J. M. Keske, K. Warncke, R. S. Farid, and P. L. Dutton. 1992. Nature of biological electron transfer. Nature 355:796-802.
 5. Cherepanov, D. A., A. Y. Mulkidjanian, and W. Junge. 1999. Transient accumulation of elastic energy in proton translocating ATP synthase. FEBS Lett 449:1-6.
 6. Page, C. C., C. C. Moser, X. Chen, and P. L. Dutton. 1999. Natural engineering principles of electron tunnelling in biological oxidation-reduction. Nature 402:47-52.
 7. Cherepanov, D. A., S. I. Bibikov, M. V. Bibikova, D. A. Bloch, L. A. Drachev, O. A. Gupta, D. Oesterhelt, A. Y. Semenov, and A. Y. Mulkidjanian. 2000. Reduction and protonation of the secondary quinone acceptor of Rhodobacter sphaeroides photosynthetic reaction center: kinetic model based on a comparison of wild-type chromatophores with mutants carrying Arg-->Ile substitution at sites 207 and 217 in the L-subunit. Biochim Biophys Acta 1459:10-34.
 8. Cherepanov, D. A., L. I. Krishtalik, and A. Y. Mulkidjanian. 2001. Photosynthetic electron transfer controlled by protein relaxation: analysis by Langevin stochastic approach. Biophys J 80:1033-1049.
 9. Senior, A. E., S. Nadanaciva, and J. Weber. 2002. The molecular mechanism of ATP synthesis by F1F0-ATP synthase. Biochim Biophys Acta 1553:188-211.
 10. Feniouk, B. A., M. A. Kozlova, D. A. Knorre, D. A. Cherepanov, A. Y. Mulkidjanian, and W. Junge. 2004. The proton-driven rotor of ATP synthase: ohmic conductance (10 fS), and absence of voltage gating. Biophys J 86:4094-4109.
 11. Senior, A. E., and J. Weber. 2004. Happy motoring with ATP synthase. Nat Struct Mol Biol 11:110-112.
 12. Weber, J., and A. E. Senior. 2004. Fluorescent probes applied to catalytic cooperativity in ATP synthase. Methods Enzymol 380:132-152.
 13. Mulkidjanian, A. Y., J. Heberle, and D. A. Cherepanov. 2006. Protons @ interfaces: implications for biological energy conversion. Biochim Biophys Acta 1757:913-930.

14. Mulkidjanian, A. Y., E. V. Koonin, K. S. Makarova, S. L. Mekhedov, A. Sorokin, Y. I. Wolf, A. Dufresne, F. Partensky, H. Burd, D. Kaznadzey, R. Haselkorn, and M. Y. Galperin. 2006. The cyanobacterial genome core and the origin of photosynthesis. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:13126-13131.
 15. Mulkidjanian, A. Y., K. S. Makarova, M. Y. Galperin, and E. V. Koonin. 2007. Inventing the dynamo machine: the evolution of the F-type and V-type ATPases. *Nat Rev Microbiol* 5:892-899.
 16. Moser, C. C., J. L. Anderson, and P. L. Dutton. 2010. Guidelines for tunneling in enzymes. *Biochim Biophys Acta* 1797:1573-1586.
 17. Mulkidjanian, A. Y. 2010. Activated Q-cycle as a common mechanism for cytochrome bc1 and cytochrome b6/f complexes. *Biochim Biophys Acta* 1797:1858-1868.
 18. Swierczek, M., E. Cieluch, M. Sarewicz, A. Borek, C. C. Moser, P. L. Dutton, and A. Osyczka. 2010. An electronic bus bar lies in the core of cytochrome bc1. *Science* 329:451-454.
 19. Shalaeva, D. N., D. A. Cherepanov, M. Y. Galperin, A. V. Golovin, and A. Y. Mulkidjanian. 2016. Evolution of cation binding in the active sites of P-loop nucleoside triphosphatases in relation to the basic catalytic mechanism. *Elife* 7.
 20. Bozdoganyan, M. E., A. V. Lokhmatikov, N. Voskoboynikova, D. A. Cherepanov, H. J. Steinhoff, K. V. Shaitan, and A. Y. Mulkidjanian. 2015. Proton leakage across lipid bilayers: Oxygen atoms of phospholipid ester linkers align water molecules into transmembrane water wires. *Biochim Biophys Acta Bioenerg* 1860:439-451.
- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости)
 - Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
 - Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
 - Описание материально-технического обеспечения.