

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ
ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОДОБРЕНО

Ученым советом ИФР РАН

Протокол № 7 от « 27 » октября 2022г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФР РАН

д.б.н., чл. корр. РАН

Д.А. Лось



«27» октября 2022г.

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Искусственный фотосинтез»

уровень подготовки кадров высшей квалификации

группа научных специальностей 1.5 Биологические науки

Москва – 2022

Рабочая программа дисциплины *«Искусственный фотосинтез»* является базовым методическим документом, соответствующим Федеральным государственным требованиям к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров, утвержденных Приказом Минобрнауки РФ от 20.10.2021 г. № 951 и учитывает специфику обучения аспирантов по избранной научной специальности, предусмотренной номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени:

1.5.6 Биотехнология

1.5.21 Физиология и биохимия растений.

Объем рабочей программы дисциплины *«Искусственный фотосинтез»* составляет 2 зачетные единицы (72 а.ч.).

Форма отчетности – зачет.

Программа дисциплины

Введение

Все острее встает проблема экологически чистых и неограниченных источников энергии. Одним из наиболее перспективных неиссякаемых источников энергии является солнечное излучение. Живая природа уже более 2,5млрд. лет использует этот источник для образования биомассы посредством фотосинтеза.

Фотосинтез - процесс восстановления CO_2 до сахаров при использовании энергии падающего света. Для протекания фотосинтеза в хлоропластах растений или клеток фотосинтезирующих бактерий требуется свет и источник электронов. Если источником электронов выступает вода, то побочным продуктом этого процесса является молекулярный кислород. Фотосинтез, сопряженный с выделением кислорода, называется оксигенным.

Фотосинтез происходит в три стадии:

- 1) Поглощение света молекулами пигментов (хлорофилл, бактериохлорофилл, бактериородопсин) и перенос этой энергии на реакционный центр;
- 2) Разделение зарядов на реакционном центре и активация электронного транспорта через ряд мембранных кофакторов к конечному акцептору трансмембранный перенос протонов. В ходе этих реакций образуются молекулы НАДФН и АТФ. Окисленные пигменты восстанавливаются за счет доноров электрона.
- 3) Ассимиляция атмосферного CO_2 до сахаров в цикле химических реакций. Источником протонов для протекания этих реакция является НАДФН, а источником энергии – АТФ.

Наращивание биомассы для производства биотоплива – это одна из возможностей использование естественного фотосинтеза в энергетике.

Проблемы:

- 1) Низкая эффективность – совсем незначительная доля энергии падающего на поверхность зеленого листа света запасается в углеводах;
- 2) Конкуренция с пахотными сельскохозяйственными землями.

Явление фотосинтеза само по себе вдохновляет многих исследователей в области альтернативной энергетики на создание энергетических установок, действующих по схожему принципу или использующих схожие компоненты с фотосинтетическим аппаратом.

Искусственный фотосинтез – преобразование энергии падающего света в энергию химических связей молекулярного топлива или в электроэнергию. По своей сути искусственный фотосинтез подразумевает моделирование фотохимических процессов протекающих в хлоропластах растений или в клетках цианобактерий. Но направлены эти процессы на решение человеческих нужд:

- образование молекулярного топлива: органического топлива или водорода;
- генерация электроэнергии;

Направление искусственного фотосинтеза:

- 1) Фотоэлектрохимические топливные ячейки;
- 2) Солнечные батареи на основе компонентов фотосинтетического аппарата или систем, моделирующих первичные реакции фотосинтеза;
- 3) Использование микроводорослей для производства водорода или органического топлива.

Генерация водорода

Фотоэлектрохимические ячейки обычно представляют собой системы из двух катализаторов: один катализирует расщепление воды на свету, второй катализирует образование H_2 из протонов, выделенных в ходе расщепления воды. Одной из важных, задач стоящих перед искусственным фотосинтезом является поиск дешевого, эффективного и экологичного водоокисляющего или восстанавливающего катализатора. Оксиды марганца уже давно исследуются как водоокисляющие катализаторы.

Использование оксидов на основе марганца для системы расщепления воды было подсказано природой: водоокисляющий комплекс растений и цианобактерий содержит ионы марганца. В качестве катализатора, ответственного за синтез протонов часто рассматривается растительный или бактериальный фермент гидрогеназа, которая при определенных условиях синтезирует водород из присутствующих в растворе протонов.

Генерация электричества

Сейчас большое внимание уделяется так называемым сенсibilизированным красителем солнечным ячейкам, в которых практически реализован первичный этап фотосинтеза только на неббиологической основе. Солнечные батареи на основе компонентов фотосинтетического аппарата исследуются и разрабатываются в связи с тем, что эффективность разделения зарядов в этих пигмент-белковых комплексах на свету близка к 100%. Разделение зарядов в современных кремниевых и других полупроводниковых ячейках имеет значительно более низкий предсказываемый теорией предел.

Использование микроводорослей

Цианобактерии при определенных условиях могут синтезировать молекулярный кислород. Сейчас проводится много работ направленных на создание фотобиореакторов, в которых поддерживаются как раз такие условия, при которых бактерии генерируют молекулярный водород на свету или в темноте.

К недостаткам искусственного фотосинтеза можно отнести малое время жизни органических компонентов энергетических установок и их не очень высокую эффективность. Первая проблема может быть решена за счет использования различных стабилизирующих агентов или использования самовосстанавливающихся материалов. Вторая проблема может быть решена путем оптимизации конструкции таких установок.

Лаборатория управляемого фотобиосинтеза в Институте физиологии растений РАН является одной из немногих лабораторий в России, которая занимается работами в области искусственного фотосинтеза.

В лаборатории проводится экспериментальное исследование термо- и фоторезистивности солнечных батарей на основе тилакоидных мембран с использованием различных стабилизирующих агентов. В сотрудничестве с учеными из Ирана, Германии, Японии была

проведена работа по синтезу композитных материалов с оксидами марганца, обладающих водоокислительной активностью.

Литература:

Основная:

- Кузнецов Вл.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений в 2 т. Москва, Юрайт, 2016.
- Алехина Н.Д. и др. Физиология растений. Под ред. И.П.Ермакова. М. Академия. 2007. Издание 2-е. 640 с.
- Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Кузманова М.А., Аллаhverдиев С.И. (Книга) Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. (Variable and Delayed Chlorophyll a Fluorescence-Basics and Application in Plant Sciences) (ISBN 978-5-4344-0180-7), Изд: Институт компьютерных исследований, Москва-Ижевск: (2014), 220 с.

Дополнительная:

Kalaji H.M., Schansker G., Ladle R.J., Goltsev V., Bosa K., Allakhverdiev S.I., Brestic M., Bussotti F., Calatayud A., Dąbrowski P., Elsheery N.I., Ferroni L., Guidi L., Hogewoning S.W., Jajoo A., Misra A.N., Nebauer S.G., Pancaldi S., Penella C., Poli D., Pollastrini M., Romanowska-Duda Z.B., Rutkowska B., Serôdio J., Suresh K., Szulc W., Tambussi E., Yannicari M., Zivcak M. (2014) Frequently asked questions about *in vivo* chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynth. Res.* 122(2):121-58

Гольцев ВН, Каладжи ХМ, Паунов М, Баба В, Хорачек Т, Мойски Я, Коцел Х, Аллаhverдиев СИ (2016) Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений. *Физиология Растений.* 63 (6): 881-908

Najafpour MM, Renger G, Hołyńska M, Moghaddam AN, Aro EM, Carpentier R, Nishihara H, Eaton-Rye JJ, Shen J-R, Allakhverdiev SI (2016) Manganese Compounds as Water-Oxidizing Catalysts: From the Natural Water-Oxidizing Complex to Nanosized Manganese Oxide Structures. *Chem Rev.* 116(5):2886-936.

Najafpour MM, Heidari S, Balaghi SE, Holynska M, Sadr MH, Soltani B, Khatamian M, Larkum AW, Allakhverdiev SI (2017) Proposed mechanisms for water oxidation by Photosystem II and nanosized manganese oxides. *Biochim Biophys Acta.* 1858(2): 156–174

Дополнительная литература рекомендуется лектором в зависимости от тематики лекций с учетом новейшей периодической литературы.

Составитель: дбн, чл.-корр. РАН Аллаhverдиев С.И.