

УДК 577.151.63

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ ТЕМНОВОЙ ФАЗЫ ФОТОСИНТЕЗА РАСТЕНИЙ

А.Ф. Рахматуллин,

студент 3 курса направления «Биология», ОГУ г. Оренбург

Аннотация: В данной статье проведен анализ биологического значения ферментов темновой фазы фотосинтеза у растений. Темновая фаза фотосинтеза растений протекает в строме хлоропласта. Для ее реакций не нужна энергия света, поэтому они происходят не только на свету, но и в темноте. Реакции темновой фазы представляют собой цепочку последовательных преобразований углекислого газа (поступает из воздуха), приводящую к образованию глюкозы и других органических веществ. Процесс темновой фазы фотосинтеза регулируется двумя основными ферментами: фосфорибулокиназой и ФЕП-карбоксилазой. У C_3 растений, под действием фосфорибулокиназы продуктами фотосинтеза являются трехуглеродные (C_3) соединения, а под действием ФЕП-карбоксилазы осуществляется C_4 -фотосинтез, при котором первым продуктом являются четырехуглеродные (C_4) соединения.

Ключевые слова: фотосинтез, ферменты, цикл Кальвина, растение, энзимология

BIOLOGICAL SIGNIFICANCE OF ENZYMES OF THE DARK PHASE OF PLANT PHOTOSYNTHESIS

A.F. Rakhmatullin,

3rd year student e.g. «Biology», OSU Orenburg

Abstract: this article analyzes the biological significance of the enzymes of the dark phase of photosynthesis in plants. The dark phase of plant photosynthesis occurs in the stroma of the chloroplast. Its reactions do not require the energy of light, so they occur not only in the light, but also in the dark. Dark phase reactions are a chain of successive transformations of carbon dioxide (coming from the air), leading to the formation of glucose and other organic substances. The dark phase of photosynthesis is regulated by two main enzymes: phosphoribulokinase and FEP-carboxylase. In C_3 plants, under the action of phosphoribulokinase, photosynthetic products are three-carbon (C_3) compounds, and under the action of FEP-carboxylase, C_4 -photosynthesis is performed, in which the first product is four-carbon (C_4) compounds.

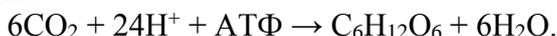
Key words: photosynthesis, enzymes of the Calvin cycle, plant, Enzymology

Фотосинтез является уникальным процессом биосферы Земли и поставляет органические вещества и энергию для абсолютного большинства живых организмов. Его исследование является традиционным для физиологии и биохимии растений. В настоящее время ведутся активные молекулярно-биологические, биофизические, молекулярно-генетические исследования биологических и искусственных систем разного уровня сложности, осуществляющих фотосинтез. Вместе с тем, растет популярность исследований фотосинтеза в глобальных масштабах в связи с исключительной ролью этого процесса в экосистемах и биосфере в целом. Современная наука о фотосинтезе – это сложный комплекс научных знаний об этом процессе, изучающих его во всех проявлениях [1].

Целью работы является изучение биологического действия ферментов темной фазы фотосинтеза у растительных организмов.

Темновая фаза фотосинтеза растений протекает в строме хлоропласта. Для ее реакций не нужна энергия света, поэтому они происходят не только на свету, но и в темноте. Реакции темновой фазы представляют собой цепочку последовательных преобразований углекислого газа (поступает из воздуха), приводящую к образованию глюкозы и других органических веществ.

Первая реакция в этой цепочке — фиксация углекислого газа; акцептором углекислого газа является пятиуглеродный сахар рибулозобифосфат (РиБФ); катализирует реакцию фермент рибулозобифосфат-карбоксилаза (РиБФ-карбоксилаза). В результате карбоксилирования рибулозобифосфата образуется неустойчивое шестиуглеродное соединение, которое сразу же распадается на две молекулы фосфоглицериновой кислоты (ФГК). Затем происходит цикл реакций, в которых через ряд промежуточных продуктов фосфоглицериновая кислота преобразуется в глюкозу. В этих реакциях используются энергии АТФ и НАДФ·Н₂, образованных в световую фазу; цикл этих реакций получил название «цикл Кальвина»:



Кроме глюкозы, в процессе фотосинтеза образуются другие мономеры сложных органических соединений — аминокислоты, глицерин и жирные кислоты, нуклеотиды. В настоящее время различают два типа фотосинтеза: С₃- и С₄-фотосинтез.

С₃-фотосинтез — это тип фотосинтеза, при котором первым продуктом являются трехуглеродные (С₃) соединения. С₃-фотосинтез был открыт раньше С₄-фотосинтеза (М. Кальвин). Характерные особенности С₃-фотосинтеза: акцептором углекислого газа является РиБФ, реакцию карбоксилирования РиБФ катализирует РиБФ-карбоксилаза, в результате карбоксилирования РиБФ образуется шестиуглеродное соединение, которое распадается на две ФГК. ФГК восстанавливается до триозофосфатов (ТФ). Часть ТФ идет на регенерацию РиБФ, часть превращается в глюкозу[2].

С₄-фотосинтез — фотосинтез, при котором первым продуктом являются четырехуглеродные (С₄) соединения. В 1965 году было установлено, что у некоторых растений (сахарный тростник, кукуруза, сорго, просо) первыми продуктами фотосинтеза являются четырехуглеродные кислоты. Такие растения называли С₄-растениями. В 1966 году австралийские ученые Хэтч и Слэк показали, что у С₄-растений практически отсутствует фотодыхание и они гораздо эффективнее поглощают углекислый газ. Путь превращений углерода в С₄-растениях стали называть путем Хэтча-Слэка.

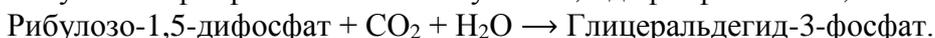
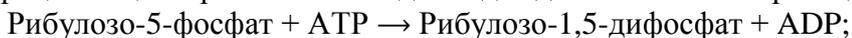
Для С₄-растений характерно особое анатомическое строение листа. Все проводящие пучки окружены двойным слоем клеток: наружный — клетки мезофилла, внутренний — клетки обкладки. Углекислый газ фиксируется в цитоплазме клеток мезофилла, акцептор — фосфоенолпируват (ФЕП, 3С), в результате карбоксилирования ФЕП образуется оксалоацетат (4С). Процесс катализируется ФЕП-карбоксилазой. В отличие от РиБФ-карбоксилазы ФЕП-карбоксилаза обладает большим сродством к СО₂ и, самое главное, не взаимодействует с О₂. В хлоропластах мезофилла много гран, где активно идут реакции световой фазы. В хлоропластах клеток обкладки идут реакции темновой фазы.

Оксалоацетат (4С) превращается в малат, который через плазмодесмы транспортируется в клетки обкладки. Здесь он декарбоксилируется и дегидрируется с образованием пирувата, СО₂ и НАДФ·Н₂[3].

Пируват возвращается в клетки мезофилла и регенерирует за счет энергии АТФ в ФЕП. СО₂ вновь фиксируется РиБФ-карбоксилазой с образованием ФГК. Регенерация ФЕП требует энергии АТФ, поэтому нужно почти вдвое больше энергии, чем при С₃-фотосинтезе.

Включение СО₂ в конструктивный метаболизм у фототрофов осуществляется в последовательности реакций. Она называется циклом автотрофной фиксации углекислоты, или циклом Кальвина, который сходен с пентозофосфатным циклом катаболизма сахаров у хемоорганогетеротрофов[4].

Для синтеза одной молекулы глюкозы здесь требуется 6 «оборотов» цикла (фиксация 6 молекул СО₂). В цикле Кальвина, по сравнению с пентозо-фосфатным циклом, для регенерации акцептора СО₂ необходимы две дополнительные реакции:



Дальнейшая последовательность реакций представляет собой «обращение» гликолиза, где в качестве восстановителя используется NADPH, что приводит к образованию глюкозы.

У растений начальные ферменты цикла Кальвина локализованы в хлоропластах. В клетках фототрофных бактерий рибулозодифосфаткарбоксилаза найдена в карбоксисомах, хотя не исключено, что там она пребывает в латентном состоянии.

В процессе функционирования цикл Кальвина подвергается строгой метаболической регуляции. Особенно тонко регулируется активность фосфорибулокиназы, в частности, чувствительной к энергетическому заряду клетки и к степени восстановленности NAD. Цикл работает эффективно только в условиях нормального снабжения энергией и восстановителями[5].

Вывод. Процесс темновой фазы фотосинтеза регулируется двумя основными ферментами: фосфорибулокиназой и ФЕП-карбоксилазой. У C_3 растений, под действием фосфорибулокиназы продуктами фотосинтеза являются трехуглеродные (C_3) соединения, а под действием ФЕП-карбоксилазы осуществляется C_4 -фотосинтез, при котором первым продуктом являются четырехуглеродные (C_4) соединения.

Список литературы

1. Кольман Я., Рем К.-Г. Наглядная биохимия: Пер. с нем.- М.: Мир, 2000.-469 с.
2. Комов, В. П. Биохимия [Текст]: учебник для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова.- 2-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2006. - 638 с. - (Высшее образование: Современный учебник). - Предм. указ.: с. 620. - ISBN 5-358-01012-2.
3. Комов, В. П. Биохимия [Текст] : учеб. для вузов / В. Т. Комов, В.Н. Шведова.- 3-е изд., стер. - М.: Дрофа, 2008. - 640 с. - (Высшее образование: Современный учебник). - Предм. указ.: с. 620-630. - ISBN 978-5-358-04872-0.
4. Чиркин, А.А. Биохимия: Учебное руководство/ А.А. Чиркин, Е.О. Данченко.- М.: Мед.: Мед. Лит., 2010.-624 с.: ил.
5. Плакунов, В.К. Основы энзимологии.- М.: Логос, 2001.-128 с.: ил. – ISBN 5-94010-027-9.

© А.Ф. Рахматуллин 2020