

Е. М. СОРОКИН

КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ПЕРВИЧНОГО АКТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ФОТОСИНТЕЗЕ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 4 X 1972)

В работе ⁽¹⁾, посвященной зависимости интенсивности транспорта электронов V и квантового выхода флуоресценции хлорофилла $\rho_{ст}$ при фотосинтезе от интенсивности падающего света I , было показано, что для мультицентральной модели фотосинтетической единицы (ФСЕ) соотношение между V и I может быть передано выражением

$$V = \frac{MQ}{2L_0\tau} (I\varepsilon L_0\tau + 1 - \sqrt{(I\varepsilon L_0\tau - 1)^2 + 4(1 - L_0)I\varepsilon L_0\tau}). \quad (1)$$

Здесь V — число электронов, переносимых по электронтранспортным цепям в единице объема за единицу времени; I — интенсивность падающего монохроматического излучения; $\varepsilon = ss_2/MQ$ — эффективное сечение захвата кванта возбуждающего света числом молекул хлорофилла, в среднем приходящимися на один реакционный центр; S — коэффициент поглощения света фотосинтетическими пигментами; S_2 — доля поглощенной световой энергии, попадающая в рассматриваемую фотосистему; M — число ФСЕ в единице объема, каждая из которых содержит по Q реакционных центров; L_0 — максимальный квантовый выход первичного акта преобразования энергии, т. е. максимальная вероятность превращения в реакционном центре кванта энергии электронного возбуждения пигментной матрицы ФСЕ в пару «восстановленный первичный акцептор — окисленный первичный донор электронов» электронтранспортной цепи; $\tau = 1/k_{фс}$, где $k_{фс}$ — коэффициент размерности константы скорости первого порядка, характеризующий скорость оттока электронов от восстановленного первичного акцептора к следующему переносчику.

Скорость фотосинтетического образования кислорода V_{O_2} связана с интенсивностью транспорта электронов V соотношением $4V = V_{O_2}$, которое следует из необходимости переноса от воды четырех электронов для образования молекулы O_2 .

В основу вывода (1) и зависимости $\rho_{ст}$ от I положено предположение о том, что скорость реакции, приводящая к восстановлению окисленного первичного донора электронов, намного больше скорости оттока электронов от восстановленного первичного акцептора и что эти реакции не зависят друг от друга. При выводе также принято предположение о независимости коэффициента $k_{фс}$ от интенсивности облучения при стационарных условиях.

Рассчитанные таким образом функции $V(I)$ и $\rho_{ст}(I)$ воспроизводят наблюдаемые в клетках зеленой водоросли *Chlorella pyrenoidosa* и листьях *Nyctaginia* кривые изменения квантового выхода флуоресценции хлорофилла a и скорости выделения O_2 от интенсивности падающего света I . Поскольку измеряемая флуоресценция этих объектов принадлежит фотосистеме II, то естественным является заключение о преобладающей роли этой фотосистемы в определении зависимости скорости образования O_2 от интенсивности освещения. Такое положение позволяет по кривым $V(I)$ определять параметры фотосистемы II.

С этой целью формулу (1) следует преобразовать к виду

$$\frac{V}{V_m} = \frac{1 - \frac{V}{ISS_2L_0}}{1 - \frac{V}{ISS_2}}, \quad (2)$$

где $V_m = MQk_{\text{фс}}$.

Из (2) видно, что при $V=0$ отношение V/I равно SS_2L_0 . Если теперь выразить величину I/V в относительных единицах, приняв за единицу

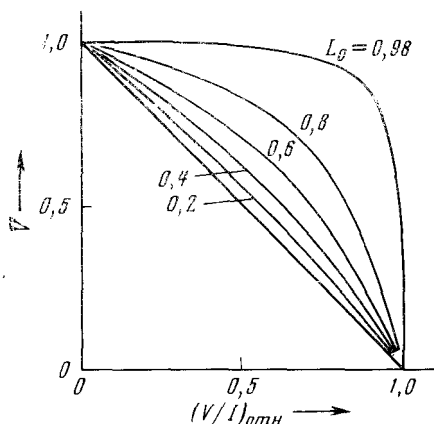


Рис. 1

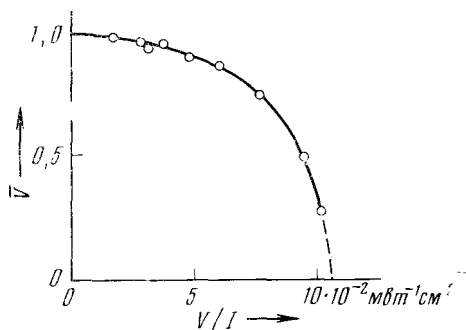


Рис. 2

Рис. 1. График уравнения (3) при различных L_0 . Прямая соответствует унитарной модели ФСЕ при всех значениях параметра L_0

Рис. 2. Кривая изменения скорости выделения O_2 клетками хлореллы при изменении интенсивности падающего света, построенная как функция отношения V/I (по данным работы (2))

измерения $(V/I)_{V=0} = SS_2L_0$, и ввести обозначение $(V/I)_{\text{отн}} = (V/I) / (V/I)_{V=0}$, то (2) примет вид

$$\bar{V} = \frac{1 - \left(\frac{V}{I}\right)_{\text{отн}}}{1 - L_0 \left(\frac{V}{I}\right)_{\text{отн}}}, \quad (3)$$

где $\bar{V} = V/V_m$.

Семейство кривых зависимости $\bar{V}$ от $(V/I)_{\text{отн}}$, построенных по формуле (3) при различных значениях L_0 , показано на рис. 1.

Нужно отметить, что при практическом использовании (3) значения V (или V_{O_2}) и I могут быть измерены в произвольных единицах, так как это эквивалентно наличию постоянного множителя перед дробью V/ISS_2L_0 в уравнении (2), который будет автоматически исключен при переходе к относительным величинам $(\bar{V}/I)$.

Для дальнейшего подтверждения того, что в организмах, фотосинтезирующих по типу высших растений, первостепенная роль в определении зависимости стационарной скорости фотосинтетического процесса от интенсивности света принадлежит фотосистеме II, и для определения L_0 этой фотосистемы воспользуемся экспериментальными данными Пикетта и Майерса (2). Авторы приводят результаты измерения в клетках *Chlorella pyrenoidosa* относительной скорости выделения O_2 ($\bar{V}$) в функции от интенсивности падающего монохроматического света различных длин волн.

На рис. 2 показано соотношение между относительной скоростью $\bar{V}$ выделения O_2 и величиной отношения $(\bar{V}/I)$, наблюдаемое при освещении монослоя клеток хлореллы светом с $\lambda_{\text{max}} = 700$ мμ. Экстраполируя кривую до пересечения с осью абсцисс, находим значение отношения (V/I) при

$V=0$, после чего по графику определяем относительные значения величины (V/I) и строим кривую зависимости $\bar{V}$ от $(\bar{V}/I)_{отн}$.

Результаты такой обработки этой и других экспериментальных кривых $V(I)$, приведенных в работе ⁽²⁾, показаны на рис. 3.

Из рассмотрения рис. 3 можно заключить:

1. Зависимость стационарной скорости выделения O_2 от интенсивности падающего света описывается выражением (1). Отсюда следует, что действительно существует лимитирующая транспорт электронов реакция, константа скорости которой не зависит от интенсивности возбуждающего света и, как установлено цитируемыми авторами, ее величина остается постоянной при различных длинах волн.

2. Максимальный квантовый выход процесса преобразования энергии возбужденных состояний молекул пигментной матрицы ФСЕ в электронный поток в данном случае равен 0,9. Такому значению L_0 должно соответствовать десятикратное превышение максимального значения квантового выхода (ρ_∞) флуоресценции хлорофилла а фотосистемы II к его минимальному значению (ρ_0), т. е. $\rho_\infty/\rho_0 = 10$.

3. Численное значение параметра L_0 остается неизменным вплоть до 710 мμ. Это означает, что энергия возбужденных в области длинноволнового края полосы адсорбции молекул хлорофилла а столь же эффективно мигрирует к реакционным центрам, как и энергия тех молекул хлорофилла, которые возбуждаются в стоксовой области его полосы поглощения.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР
Москва

Поступило
3 IX 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. М. Сорокин, Физиол. раст., 19, 1174 (1972). ² J. M. Pickett, J. Myers, Plant Physiol., 41, 90 (1966).

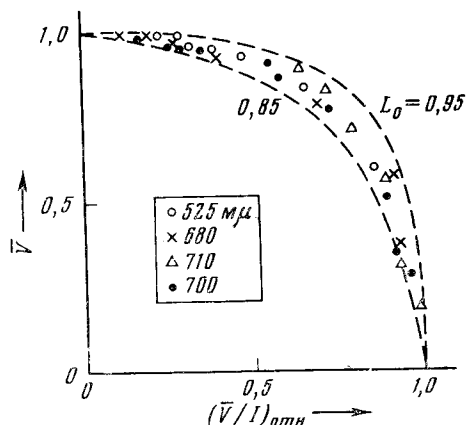


Рис. 3. Зависимость относительной скорости выделения O_2 от $(V/I)_{отн}$ в клетках хлореллы при освещении их монохроматическими световыми потоками различных длин волн (данные работы ⁽²⁾). Пунктирные кривые рассчитаны по формуле (3) для $L_0 = (0,85; 0,95)$