

В. Д. УСПЕНСКАЯ

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОТОСИНТЕЗА

(Представлено академиком А. Н. Терениным 8 III 1951)

При освещении части листа растения между освещенным и затемненным участками ткани возникает биоэлектрический потенциал (1, 2, 8). Установлено, что для возникновения биоэлектрического эффекта освещения в нормально жизнедеятельной ткани необходимо наличие хлоропластов (3, 6) и что биоэлектрическая эффективность различных длин волн видимого света в общем соответствует спектру поглощения хлорофилла (5, 6, 9, 11). Следовательно, возникновение разности потенциалов (РП) определяется световой энергией, поглощаемой пигментной системой хлоропластов. Влияние парциального давления углекислого газа на РП освещения в листе (3, 4, 7, 10, 11) дает косвенное указание на возможность включения фотосинтеза в качестве промежуточного звена между поглощением лучистой энергии и освобождением электрической.

Настоящие опыты имеют своей целью установить корреляцию биоэлектрического потенциала освещения с фотосинтетическим процессом путем сравнения хода изменения величины РП и уровня фотосинтеза в зависимости от интенсивности освещения.

Объектом исследования служил отделенный от побега лист *Elodea canadensis*. Для измерения биопотенциала лист помещался во влажную воздушную камеру (см. рис. 1). РП отводилась от концов листа с помощью капилляров, наполненных водопроводной водой и присоединенных через соединительные сосуды с неполяризующимися электродами водопроводная вода/(PbSO₄)/амальгама свинца к квадрантному электрометру типа Комптона. Освещался ограниченный участок листа в непосредственной близости к одному из электродов.

Для относительного определения интенсивности фотосинтеза в одиночном листе *Elodea* было использовано следующее видоизменение старого метода счета пузырьков. Основание листа вдвигалось в наполненный водопроводной водой плоско-параллельный «кармашек», склеенный из двух покровных стекол (см. рис. 2). Пузырек газа, образовавшийся при освещении листа в месте его отрыва от побега, продолжал расширяться в двух измерениях. Диаметр такого сплюсненного пузырька ежеминутно измерялся с помощью окулярного микрометра и по увеличению диаметра рассчитывалась скорость прироста объема газа. Исходя из того, что до порога светового насыщения уровень фотосинтеза прямо пропорционален интенсивности освещения и что энергия дыхания не изменяется при освещении, рассчитывалась поправка на убыль кислорода при дыхании (r).

В опытах был применен следующий ряд интенсивностей освещения в люксах: I — 3000, II — 1500, III — 750, IV — 375 и V — 187. Изменение интенсивности достигалось перемещением источника света, электрической лампы накаливания мощностью 150 или 75 вт, вдоль оптической скамьи, на одном из концов которой укреплялась биоэлектрическая камера или фотосинтетическая кювета — в зависимости от задачи

опыта. Для поглощения тепловой радиации на пути светового потока помещался слой (6 см) крепкого раствора алюминиевых квасцов.

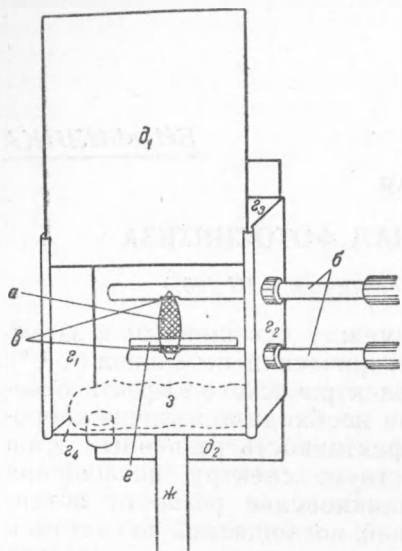


Рис. 1. Камера для определения биопотенциала освещения. Камера — металлическая зачерненная $2,5 \times 2,5 \times 0,6$ см. *a* — опытный лист *Elodea*; *б* — электродные капилляры; *в* — продольные щели в стенке капилляра для концов листа; *г* — неподвижные стенки камеры; *д* — выдвижные стенки камеры; *е* — оптическая щель; *ж* — держатель камеры, укрепляющийся на рейтере оптической скамьи; *з* — влажная вата

Постановка электрического опыта заключалась в том, что на одном листе путем повторных освещений различной интенсивности с темновыми промежутками получали серию характерных кривых биоэлектри-

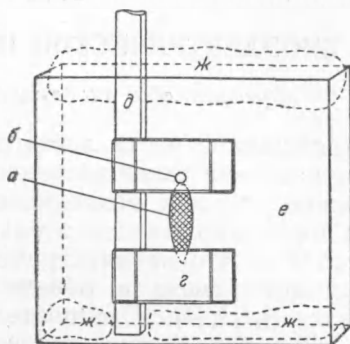


Рис. 2. Кювета (воздушная) для измерения фотосинтеза. *a* — опытный лист *Elodea*; *б* — сплюснутый пузырек газа; *в* — верхний «кармашек», склеенный из покровных стекол; *г* — нижний «кармашек» (подсобный); *д* — держатель (стеклянный); *е* — плоско-параллельная стеклянная кювета, закрепленная на подвижном столике горизонтально повернутого микроскопа, в которую опущен держатель; *ж* — влажная вата

ческого эффекта и далее рассчитывали показатели относительного изменения величины биопотенциала при удвоении силы освещения, обозначенные как $\mathcal{E}^{I/II}$, $\mathcal{E}^{II/III}$ и т. д.

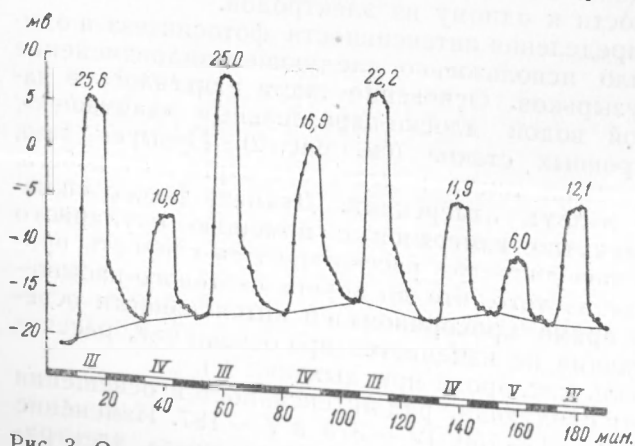


Рис. 3. Опыт № 6. Заземлено основание листа. Освещена верхушка листа. $T = 28,0^\circ$. Результат: при 750 л. 24,3 мв; при 375 л. 12,9 мв; при 187 л. 6,0 мв; $\mathcal{E}^{III/IV} = 1,88$; $\mathcal{E}^{IV/V} = 2,15$

На рис. 3 изображен график одного из опытов. Постановка и расчет фотосинтетического опыта были вполне аналогичны электрическому с той лишь разницей, что интенсивности освещения сменялись без темновых интервалов и освещалась не часть, а вся поверхность листа (см. табл. 1).

Биоэлектрический эффект освещения состоял в значительном сдвиге РП (до 70 мв

фотосинтеза (в наших условиях опыта 1500—2000 люкс), начинает в той же мере отставать от света, что и фотосинтез, и далее все больше выходит из-под контроля освещения, в соответствии с классической кривой зависимости фотосинтеза от напряженности света (12).

Таблица 2

Зависимость биоэлектрического потенциала и фотосинтеза от интенсивности освещения (в относительных показателях при удвоении освещения)

Освещенность в люксах					
187—375	375—750	750—1500		1500—3000	
$\mathcal{E}^{IV/V}$	$\mathcal{E}^{III/IV}$	$\mathcal{E}^{II/III}$	$\Phi^{II/III}$	$\mathcal{E}^{I/II}$	$\Phi^{I/II}$
1,61	2,60	1,53	1,61	1,03	1,06
1,86	1,70	1,58	1,69	1,06	1,20
1,87	1,88	1,65	1,85	1,11	1,25
1,99	1,95	1,79	1,88	1,23	1,28 ₅
2,00	1,97	1,88	1,90	1,28	1,29
2,02	2,08	2,12	1,91	1,29	1,30
2,04	2,09	2,22	1,94	1,43	1,37
2,05	2,45	2,27	1,99	1,45	1,50
2,15				1,45	
2,32				1,50	
$M \pm m$					
1,99 \pm 0,06	1,96 \pm 0,09	1,88 \pm 0,10	1,85 \pm 0,04	1,28 \pm 0,05	1,28 \pm 0,04

Значительные расхождения цифр внутри каждой группы относительных показателей не только в фотосинтетических, но и в биоэлектрических опытах связаны с варьированием индивидуальных кривых фотосинтеза — свет от листа к листу. В этом убеждают нас параллельные опыты на супротивных листьях побега, в которых биоэлектрические и фотосинтетические показатели вполне удовлетворительно совпадают друг с другом, например:

№№ опытов	$\mathcal{E}^{II/III}$	$\Phi^{II/III}$	$\mathcal{E}^{I/II}$	$\Phi^{I/II}$
2	1,79	1,85	1,11	1,06
3	1,53	1,61	1,28	1,25

Из изложенных экспериментальных данных следует, что основная составляющая биоэлектрической реакции листа на свет — устойчивый сдвиг РП в сторону положительного знака — изменяется прямо пропорционально уровню фотосинтетического процесса.

Последнее свидетельствует о том, что возникновение и величина биопотенциала обуславливаются именно фотосинтетическим процессом, а не каким-либо иным процессом, связанным с поглощенным хлоропластами светом, но не зависящим от фотосинтеза. Этот вывод дал основание ныне покойному проф. Д. Л. Рубинштейну, в лаборатории которого была выполнена настоящая работа, назвать биоэлектрический ответ листа на освещение биоэлектрическим потенциалом фотосинтеза и отнести его к группе метаболических потенциалов (13).

Поступило
25 I 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ O. Haake, Flora, 75, 455 (1892). ² A. D. Waller, C. R. Soc. Biol., 52, 342 (1900). ³ A. D. Waller, Proc. Roy. Soc., 67, 129 (1900). ⁴ A. D. Waller, Journ. Physiol., 25, XVIII (1900). ⁵ A. D. Waller, C. R. Soc. Biol., 52, 1093 (1900). ⁶ J. C. Waller, Ann. of Bot., 39, 515 (1925). ⁷ J. C. Waller, New Phytologist, 28, 291 (1929). ⁸ H. B. Glass, Plant Physiol., 8, 263 (1933). ⁹ G. Marsh, Carnegie Inst. of Washingt. Yearbooks, 35, 88 (1936). ¹⁰ G. Marsh, ibid., 36, 99 (1937). ¹¹ L. R. Blinks, Journ. Gen. Physiol., 23, 495 (1940). ¹² К. А. Тимирязев, Избр. соч., 1, 1948, стр. 660. ¹³ Д. Л. Рубинштейн, Общая физиология, М., 1947, стр. 526.