
ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГРОЗ НА СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕЗА ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Д.И. Орехов¹, Г.А. Калабин¹,
Л.М. Макальский²

¹Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

²Технологический факультет
Российский государственный аграрный университет —
МСХА им. К.А. Тимирязева
ул. Лиственичная аллея, 4а, корпус № 1, Москва, Россия, 127550

Рассматриваются основные изменения параметров флуоресценции фотосинтетического аппарата (TRo/RC, ETo/RC, Diо/RC, ABS/RC, Fv/Fm и PIabs) древесных пород (береза, ель) под влиянием электрических полей (ЭП) во время грозы и ЭП аналогичных грозовым, полученные искусственным путем.

Ключевые слова: флуоресценция, хлорофилл, электрическое поле (ЭП), фотосинтез, квантовый выход, гроза.

Фотосинтез, протекающий в растениях, зависит не только от наличия света, минерального питания, воды, но также и от состояния электрического поля Земли [1]. Первые исследования электрических явлений в растениях связаны с именами М. Эдинбурга (1746 г.) и М.В. Ломоносова, который в 1753 г. издал работу «Слово о явлениях воздушных от электрической силы происходящих, предложенное от Михайла Ломоносова». Первые опыты увенчались успехом, но знаний для объяснения этих удивительных явлений было недостаточно. Увлекался изучением влияния электричества известный русский естествоиспытатель, основоположник русской агрономии А.Т. Болотов. Электричество он рассматривал как особый вид материи. Основоположник русской школы физиологов растений К.А. Тимирязев считал, что главнейшими факторами в жизнедеятельности растений наряду со светом и теплом является электричество. Именно им была открыта фотосинтетическая активность красного цвета, обосновано его действие на хлорофилл с энергетической точки зрения, рассчитана амплитуда колебаний волн этой части спектра солнечного света и определены интервалы в шкале электромагнитных волн П.Н. Лебедева. Параллельно с К.А. Тимирязевым исследования в этой области проводил индийский ученый Д.Ч. Босс. Он создал множество приборов для биофизических опытов (например, микроволновый генератор) по изучению свойств электромагнитных волн и их воздействию на растения. Д.Ч. Босс установил аналогию между реакциями на внешние раздражители у растений и животных, например, что при покачивании дерева под действием ветра или при действии ударов по стеблю вол-

на распространяется вдоль растения и одновременно образуется волна радиального изменения ЭДС (электро-движущая сила). Д.Ч. Босс установил, что при подаче довольно слабого постоянного тока процесс возбуждения возникает не при его прохождении, а только в момент его включения и выключения. На примере мимозы стыдливой Д.Ч. Босс доказал существование в листьях растений электромеханических импульсов. Оказалось, что на листьях мимозы есть специальные осязательные волоски, которые улавливают раздражение из внешней среды. Сигнал к действию передают им электрические импульсные сигналы, интенсивность которых неодинакова в различных тканях черешков. Проводником для импульсов служат трубчатые клетки флоэмы. По ним импульсы распространяются вверх в 3—3,5 раза быстрее, чем вниз, и влиять на них может внешнее напряжение. При этом ток, следующий в том же направлении, что и передаваемый импульс, уменьшает интенсивность возбуждения или полностью блокирует его (при 2 В). Если направить постоянный ток против импульса, сила импульса увеличивается. Д.Ч. Босс настолько очеловечивал растения, что был уверен в наличии у растений аналога нервной системы, как у животных [6].

Не менее интересные работы проводил белорусский ученый Я.О. Наркевич-Иодко в период расцвета изучения влияния электричества на живые объекты в начале XX в. [6]. Самое интересное в работах этого ученого — то, что электричество является частью материального мира и не может не оказывать воздействия на все живые объекты, включая человека. Токи в любом живом теле тесно связаны с состоянием атмосферного электричества и солнечной активностью. При этом организм служит одновременно и генератором, и конденсатором.

На поверхности Земли существует стационарное электрическое поле, которое при спокойной ясной погоде имеет среднюю напряженность примерно 100—130 В/м. Этот показатель при грозах и ураганах меняет свою величину и может достигать 1000 В/м. С высотой напряженность электрического поля постепенно падает и на высоте 10 км не превышает нескольких вольт на метр. У электрического поля планеты имеется суточный и сезонный ритмы. Максимум напряженности электрического поля в средней полосе приходится на 22—23 ч, минимум на 7—8 ч. В других регионах, например, в США минимальные значения весной, осенью и зимой бывают в 3—6 ч, а максимальные — в 19—21 ч. Летом те же показатели наблюдаются, соответственно, в 10—15 и 16—20 ч. В грозу потенциал в тропосфере возрастает [1].

Явление поляризации поврежденных тканей играют важную роль в процессах роста и регенерации у растений и животных. Периодическое испускание импульсов определенного метаболита (цАМФ — циклический аденозинмонофосфат) из организующего центра является причиной создания структурированного морфогенетического поля и последующего ориентированного движения отдельных клеток [4]. Ответная реакция на раздражение развивается нелинейно, а в колебательном режиме. Так, например, обработка тканей нителлы 10 ммоль/л раствором хлорида натрия индуцирует осцилляции мембранного потенциала с частотой от 7 до 20 колебаний в минуту от 20 до 70 мВ [4].

Среднее время грозовой активности составляет 20—30 мин. [6]. Суммарная сила тока их составляет 1000 А. При этом больше всего гроз регистрируют в трех грозовых секторах: в Индонезийском, Африканском и Американском у экватора [6]. Средний радиус одной грозовой ячейки составляет $R = 2$ км на высоте 10—12 км. Грозы, как правило, образуются в условиях теплого и влажного климата. Грозовые облака образуются в областях сильной конвекции, где скорость восходящих движений воздуха максимальна. В воздухе всегда присутствуют аэрозольные частицы, являющиеся потенциальными ядрами конденсации водяного пара в облаке. Геометрические размеры частиц составляют примерно $5 \cdot 10^{-7}$ — 10^{-5} см. Концентрация аэрозольных частиц над континентами выше, чем над океанами. На высотах до 3 км космические и солнечные лучи, а также радиоактивные газы — радон и торон — являются основными источниками ионизации воздуха. Скорость ионообразования q связана с потоком космических лучей I уравнением $q = I \cdot \sigma \cdot M$, где σ — эффективное сечение ионизации воздуха космическими лучами, M — концентрация молекул в воздухе. Сигма обычно равна всегда $2 \cdot 10^{-18}$ см². Наибольший вклад в электризацию атмосферы вносят грозовые облака, которые обычно внизу заряжены отрицательно, а сверху — положительно [5]. Между облаками и землей образуется поле, напряженность которого может достигать 200 кВ/м. За счет создания больших индукционных зарядов на земле образуется конденсаторно-генераторная система «облако—земля». Величина напряженности при сильных порывах ветра и шквалах обычно варьирует 500—1000 В/м. При этом может также наблюдаться свечение острых и высоких предметов — «огни святого Эльма». При высокой напряженности поля заряды скапливаются на острых вершинах деревьев, башен, труб, мачт и т.д. Когда ветер начинает дуть, заряд стекает с острых вершин и наблюдается свечение. Организмы, состоящие из заряженных частиц, не могут не реагировать на высокую напряженность электрического поля в грозу.

Объект исследования и методика проведения измерений. Объектами для исследований влияния природной грозы являлась береза, произрастающая в САО г. Москвы.

Измерения параметров флуоресценции для оценки протекания фотосинтеза проводились на импульсном флуориметре с амплитудной модуляцией света РАМ типа PAR-FluorPen FP 100-MAX-LM (Photon Systems Instruments — PSI, Чехия, г. Драсов). Измерения проводились неинвазивным методом в естественных условиях на листьях деревьев. Повторность измерений для каждого дерева 10-, 15-кратная. Анализ фотосинтеза проводился по ОЖР-тесту Штрассера [7], выражающему взаимосвязь между энергетическими потоками поглощения квантов света антенным комплексом мембраны тилакоида (ABS/RC), захвата энергии реакционными центрами фотосистемы 2 (ФС2) — (TRo/RC) и дальнейшим вовлечением возбужденного экситона в электронтранспортную цепь мембраны по квантовому тоннелю (ETo/RC) и снятия излишков возбуждения посредством термической диссипации избыточной энергии возбуждения (Dio/RC). Суммарную эффективность фотосинтеза оценивали по квантовому выходу ФС2 (F_v/F_m) и по суммарному показателю работы фотосинтетического аппарата (PIabs). Формулы измеряемых параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Измеряемые основные параметры флуоресценции хлорофилла растений

Параметр		Формула	Физический смысл
1	F_0 — начальный уровень интенсивности флуоресценции	$F_0 = F_{50}$	В момент времени $t = 50$ мкс, все реакционные центры открыты
2	F_j — интенсивность флуоресценции, соответствующая амплитуде J (при 2 мс)		В момент времени $t = 2$ мс, соответствует восстановлению Q_a
3	F_i — интенсивность флуоресценции, соответствующая амплитуде I (при 60 мс)		В момент времени $t = 60$ мс, соответствует восстановлению пула пластохинона
4	F_m — максимальный уровень флуоресценции	$F_m = F_p$	Все реакционные центры закрыты (примерно 300 мс), соответствует восстановлению ферредоксина
5	F_v — максимальная переменная флуоресценция	$F_v = F_m - F_0$	Общее количество утилизируемой энергии света
6	F_v/F_0 — начальный выход ФС2	$F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$	Эффективность улавливания света ФС2 относительно общего количества активных реакционных центров, выражает вклад световых реакций для первичных фотохимических процессов
7	F_v/F_m — квантовый выход	$F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m = (TR_0/RC)/(ABS/RC) = 1 - (F_0/F_m)$	Потенциальный (оптимальный) квантовый выход ФС2 в условиях темновой адаптации листа. Показывает потенциальную квантовую эффективность листа, индикатор здоровья растения. У здоровых растений обычно этот параметр равен 0,8. В условиях стресса данный показатель снижается в зависимости от интенсивности и характера влияния негативного фактора
8	PI_{abs} — индекс производительности всей системы	$PI_{abs} = \frac{1 - \frac{F_0}{F_m}}{M_0/V_j} \cdot \frac{F_m - F_0}{F_0} \cdot \frac{1 - V_j}{V_i}$	Индекс производительности системы основан на теории поглощения. Мультипараметрическое уравнение для трех независимых процессов фотосинтеза. PI — главный индикатор чувствительности и устойчивости растения к внешним факторам. Первый показатель (отношение) характеризует количество активных реакционных центров относительно светособирающей антенны. Второй — долю реакционных центров, участвующих в световых реакциях. Третий — связь с темновыми реакциями
9	ABS/RC — поток поглощения антенным комплексом (размер антенны)	$ABS/RC = (TR_0/RC) / (TR_0/ABS) = (TR_0/RC) / (F_v/F_m) = (M_0/V_j) / [1 - (F_0/F_m)]$	Создание возбужденных молекул хлорофилла за счет поглощения квантового потока антенным комплексом
10	TR_0/RC — максимальный удельный захваченный квантовый поток (при $t = 0$)	$TR_0/RC = M_0/V_j = ABS/RC \cdot F_v/F_m$	Количество уловленной (поглощенной) энергии света общим количеством активных реакционных центров
11	ET_0/RC — максимальный удельный транспортный поток (при $t = 0$)	$ET_0/RC = TR_0/RC - M_0 = (TR_0/RC) \cdot (1 - V_j)$	Количество переносимых электронами переносчиками Q_b общим количеством активных реакционных центров
12	DIO/RC — максимальный удельный поток диссипации энергии (при $t = 0$)	$DIO/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$	Количество диссипируемой энергии возбуждения общим количеством активных реакционных центров

Фотоиндукционные кривые ОЛР согласно ЛР-тесту представлены относительно логарифмической временной шкалы. Согласно данному измерению начальная точка F_0 соответствует временной отметке по оси X при 50 мкс, точка J плеча OJ — соответственно при 2 мс, точка I плеча JI — соответственно при 60 мс. Пик P согласно тесту соответствует максимальной флуоресценции, когда большинство реакционных центров ФС2 оказываются закрытыми в результате освещения образца листа.

Искусственные импульсные разряды (пять последовательных разрядов) были получены с помощью импульсного генератора напряжения с суммарным значением напряжения порядка $U\Sigma = 10$ МВ. Ток разряда равнялся $I_p = -30$ А отрицательной полярности $U_p = 1,5$ МВ. Напряженность электрического поля равнялась при этом $E = 500—1000$ В/м.

Результаты измерений и их обсуждение. Проведем анализ ОЛР-кривых индукции флуоресценции хлорофилла, основополагающих параметров ОЛР-теста, соотношения фотохимического и нефотохимического тушения. Сопоставим значения до грозы со значениями, полученными во время грозы, и сделаем выводы.

На рис. 1, 2 отмечен заметный подъем кривых у березы после грозы, причем самый большой подъем наблюдался в ботаническом саду, возможно, из-за лучшего режима увлажнения во время грозы. Более высокие значения флуоресценции говорят о более активно-протекающем электронном транспорте, более медленной реализации нефотохимического тушения, более сбалансированной работе фотосистем, более высоком количестве активных реакционных центров ФС2, большей энергоемкости за счет более интенсивного потребления энергетических молекул в цикле Кальвина и более интенсивном дыхании, что говорит о хорошо сбалансированной работе фотосинтетического аппарата клетки. Более высокие значения кривых относительно F_j (2 мс) означают большее количество активных переносчиков Q_a , что свидетельствует об более активном разложении молекул воды с образованием кислорода, так как фотодиссоциация молекул воды протекает параллельно с процессами переноса возбужденных электронов от ФС2 к ФС1. ФС2 находится преимущественно в гранах, а частицы ФС1 связаны в основном с ламеллами стромы внутри хлоропласта. Свежесть после грозы обусловлена не столько образованием озона ($0,01$ мг/м³), сколько увеличенным выделением кислорода листовой поверхностью, который в основном выделяется в форме отрицательного аниона в окружающую среду. Фотосинтез активируется при действии электрического поля, поляризирующего мембраны клеточных структур и самой клетки, ориентируя их по вектору напряженности из-за усиленного оттока гормона роста ауксина, и при действии смягченной воды, которая обладает более выраженной функцией активатора жизненных (метаболических) процессов в растениях. Во время грозы между деревьями и атмосферой происходит заметное увеличение напряженности электрического поля примерно в 10 раз. Сила токов, проходящих через растение, при этом увеличивается примерно в 10^6 раз. Под влиянием изменения электрического поля Земли растения интенсивнее поглощают углекислый газ в виде положительно-заряженных аэроионов.

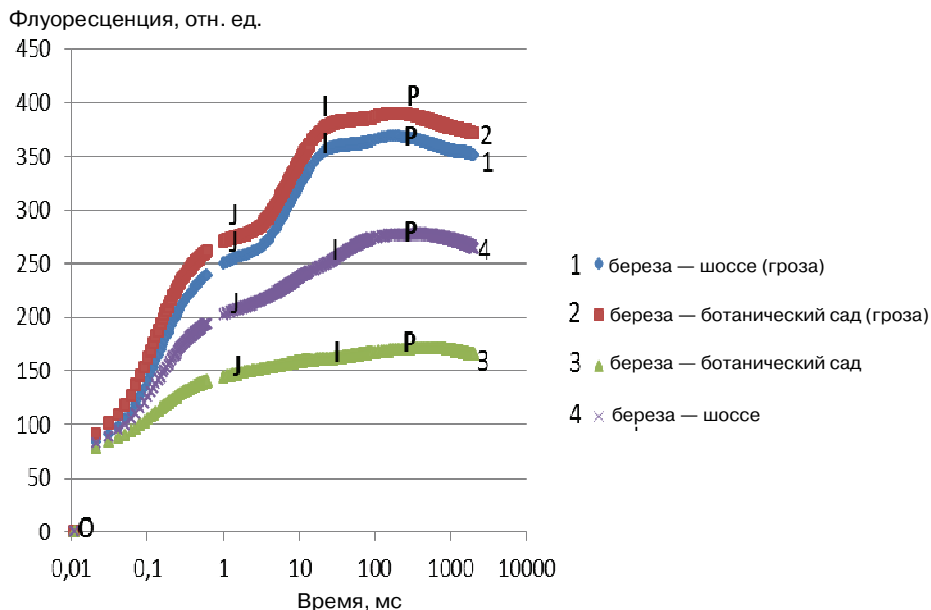


Рис. 1. Индукционные кривые, полученные во время грозы и до грозы в Москве в мае 2014 г.

Кривые нормированы относительно F_0 . Температура +18 °С

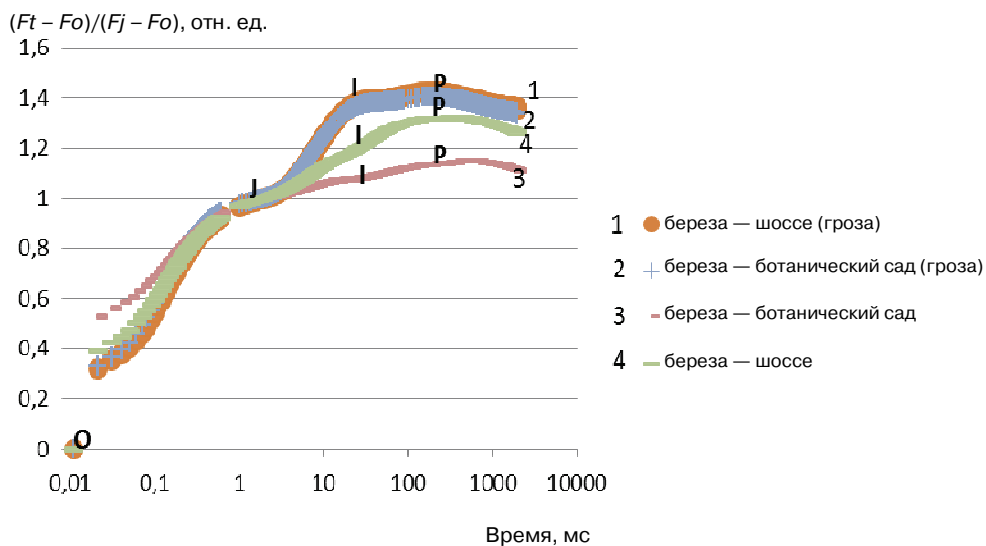


Рис. 2. Индукционные кривые, полученные во время грозы и до грозы в Москве в мае 2014 г.

Кривые нормированы относительно F_j . Температура +18 °С

В целом, значения параметров флуоресценции соответствуют благоприятному воздействию грозы на состояние растений. Нефотохимическое тушение значительно понизилось с 3,02 до 1,18 отн. ед. для группы берез в ботсаду, находящихся непосредственно под грозовыми тучами, электронный транспорт возрос с 0,72 до 1,21. Захват энергии с антенны РЦ (см. табл. 1) ФС2 также увеличился с 2,76 до 3,03. Размер антенны, наоборот, уменьшился, с 5,78 до 4,21. Заметно возрос интегральный показатель P_{abs} с крайне низкого значения 0,06 до 0,42 (почти в четыре раза) в ботаническом саду, а возле шоссе показатель возрос 0,27 до 0,51 (вдвое). Квантовый выход в контроле увеличился с 0,48 до 0,72, угол наклона уменьшился. Остальные параметры приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры OJIP-теста для березы, соответствуют значениям во время грозы и до грозы

	Береза — шоссе (гроза)	Станд. откл.	Береза — бот. сад (гроза)	Станд. откл.	Береза — бот. сад	Станд. откл.	Береза — шоссе	Станд. откл.
Fo	19 046,429	386,217925	21 805,286	594,8463987	16 287,625	1 745,03548	17 945,667	1 476,503261
Fj	50 373	5 448,06577	55 296,286	3 821,172844	27 800,5	4 720,91256	39 904,167	4 857,124343
Fi	69 963,143	4 281,88395	76 006	1 734,20587	30 137,5	5 635,93704	48 376	6 238,936098
Fm	71 876,714	4 248,76773	77 715	1 947,579609	31 966,125	6 283,36826	52 751,417	6 680,405642
Fv	52 830,286	3 955,31013	55 909,714	1 752,80192	15678,5	4 616,12299	34 805,75	5 497,982955
Vj	0,59	0,08	0,60	0,06	0,74	0,03	0,63	0,03
Vi	0,96	0,01	0,97	0,02	0,89	0,02	0,87	0,02
Fm/Fo	3,77	0,17	3,57	0,10	1,95	0,19	2,93	0,23
Fv/Fo	2,77	0,17	2,57	0,10	0,95	0,19	1,93	0,23
Fv/Fm	0,73	0,01	0,72	0,01	0,48	0,05	0,66	0,03
Mo	1,70	0,19	1,82	0,20	2,05	0,12	1,75	0,12
Area	11 792 222	1 408 926,58	13 233 136	1 777 765,757	15 475 092	3 001 905	17 568 551	4 477 341,605
Fix Area	70 423 364	4 164 655,01	76 341 754	1 947 667,516	31 693 806	6 177 769,43	52 134 255	6 601 168,304
Sm	222,84014	16,1451506	236,08586	26,31702796	1 018,3314	136,555949	516,26467	149,0386927
Ss	0,3478571	0,00975412	0,3302857	0,005089672	0,362375	0,01469633	0,3620833	0,017510819
N	640,81743	49,9260587	714,43329	74,7211141	2 809,706	367,223064	1 415,3054	371,1051665
Phi Po	0,73	0,01	0,72	0,01	0,48	0,05	0,66	0,03
Psi o	0,41	0,08	0,40	0,06	0,26	0,03	0,37	0,03
Phi Eo	0,30	0,06	0,29	0,05	0,13	0,03	0,24	0,03
Phi Do	0,27	0,01	0,28	0,01	0,52	0,05	0,34	0,03
Phi Pav	970,18	5,36	974,45	5,20	984,12	3,23	974,97	8,57
Pi Abs	0,51	0,17	0,42	0,13	0,06	0,02	0,27	0,06
ABS/RC	3,92	0,14	4,21	0,10	5,78	0,60	4,22	0,22
TRo/RC	2,88	0,08	3,03	0,05	2,76	0,11	2,77	0,13
ETo/RC	1,18	0,26	1,21	0,19	0,72	0,09	1,02	0,10
Dlo/RC	1,04	0,08	1,18	0,06	3,02	0,60	1,45	0,18

При возрастании квантового выхода скорость ассимиляции углекислоты также возросла в контроле. Большее нарастание нефотохимического тушения и более быстрый его спад выявлен во время грозы у шоссе, а в ботаническом саду — более медленное нарастание нефотохимического тушения при освещении насыщающими вспышками (рис. 3).

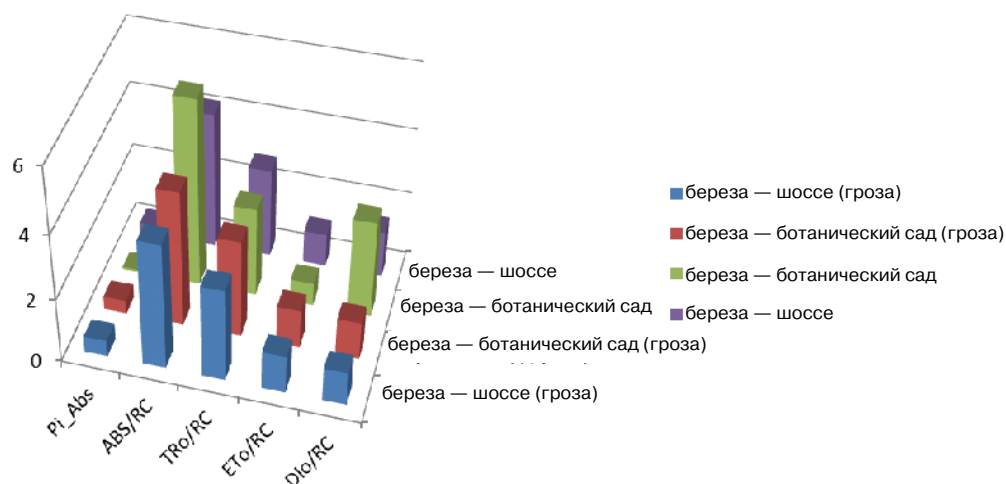


Рис. 3. Основные параметры OJIP-теста для примера с грозой

ABS также связан с содержанием хлорофилла и выражает размер светособирающей антенны. *Fv/Fm* — максимальный квантовый выход, выражает общую эффективность усвоения энергии ФС2, подобный данному параметру *Fv/Fo* — начальный выход, достаточно чувствительный параметр флуоресценции и поэтому часто применяется в качестве стресс-индикатора. Пожалуй, самый чувствительный параметр, который объединяет несколько энергетических потоков, — PI (Performance Index — индекс производительности) — своего рода КПД фотосинтетической единицы, он выражается суммированием всех трех энергетических составляющих: плотности реакционного центра, поглощения квантов и переноса по ЭТЦ. Этот параметр еще обозначают как *PIabs*, согласно теории поглощения включает структурно-функциональный индекс, определяющий размер антенны. Начальный угол наклона — *Mo* — определяет количество «закрытых» реакционных центров ФС2, что связано со скоростью восстановления *Qa*, находящегося в окисленном состоянии (см. табл. 1). Параметры *ET₀/RC*, *TR₀/RC*, *DI₀/RC* выражают те же параметры, о которых речь шла выше, только относительно всего количества фотоактивных реакционных центров в начальный период времени. Таким образом, OJIP-тест — систематический метод, практический инструмент для получения экспрессной, строго структурированной информации о фотосинтетической активности, в частности работы фотосистемы 2 (ФС2) под влиянием различных факторов окружающей среды, что имеет большую актуальность в экофизиологических исследованиях, где объектом исследования являются растительные организмы.

После воздействия искусственными разрядами береза показала увеличение активности фотосинтетического аппарата, относительные амплитуды J-I-P выше, чем в контрольном измерении (рис. 4). Количество реакционных центров увеличилось, что отражает более медленное нарастание ступени I-P, обозначающей более медленную степень восстановления пула пластохинона и ферредоксина ФС1.

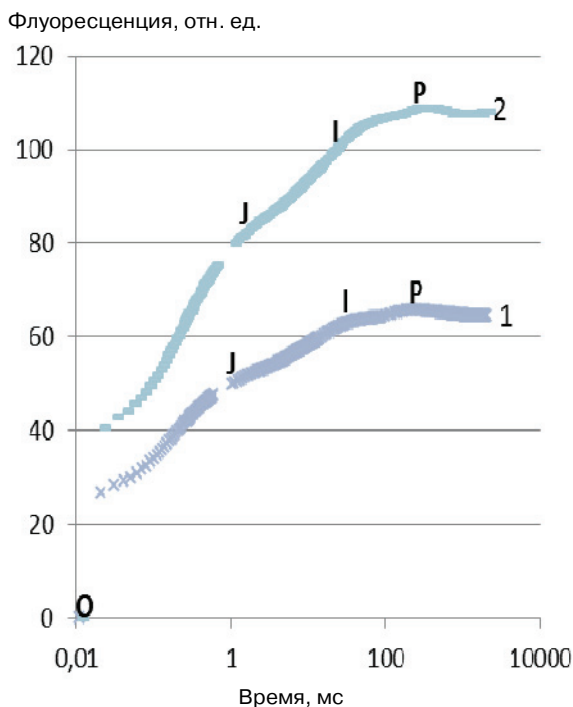


Рис. 4. Типичные индукционные кривые для березы при воздействии молнии, нормированные по F_0 . Температура в сентябре +13 +16 °С
1 — береза-контроль (разряд); 2 — береза-опыт (разряд)

Таким образом, удалось подтвердить на практике эффект стимуляции фотосинтеза у растений посредством электрического поля во время грозы. Безусловно, гроза имеет важное значение в жизни растений: в активации метаболических процессов, усилении выделения кислорода, ассимиляции углекислого газа, более эффективном использовании молекул воды в первичных процессах разделения зарядов в ФС2. Эффект стимуляции имеет пролонгированный характер во времени, т.е. даже после короткой грозы эффект усиления фотосинтеза за счет поляризации мембран электрическим полем, увеличения оттока ауксина, обеспечивающего процессы роста и развития, более интенсивного поглощения воды во время грозы сохраняется на несколько часов. В районах, где грозы образуются чаще всего, к примеру на экваторе, самая обильная и продуктивная растительность. Даже в полярных широтах во время северных сияний, сопровождающихся увеличением напряженности электрического поля, растения имеют более яркую окраску листьев за счет более интенсивного образования хлорофилла. В наших умеренных широтах грозы активизируют фотосинтез растений, после гроз в Москве всегда воздух более чистый и насыщенный кислородом за счет усиления фотосинтеза. Листья, насыщенные водой, под действием света активируют образование кислорода, накопление кислорода в тилакоидах ведет к закономерному возрастанию тушения

ксантофилловым комплексом антенны и антиоксидантными веществами (токоферол). Активацию фотосинтеза во время грозы удалось подтвердить с помощью современного биофизического метода анализа, основанного на регистрации флуоресценции хлорофилла растений. Возрастающее нефотохимическое тушение выражает в данном случае положительный эффект грозы, это говорит о том, что фотохимическое тушение на свету протекает интенсивнее, а в темноте немного снижается за счет усиления ассимиляционных процессов синтеза необходимых растению веществ. Поэтому нефотохимические процессы поддерживают, защищая клетку, фотосинтез. При стрессах обычно возрастание нефотохимического тушения сопровождается ослаблением фотохимического тушения за счет уменьшения количества фотохимически активных реакционных центров из-за общего ослабления растения и ингибирования ростовых процессов. Гроза же является не просто очищающим генератором, но и обладает стимуляционным, оздоравливающим эффектом на растительные сообщества — экофитоценозы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гордеев А.М., Шешнев В.Б. Электричество в жизни растений. — М.: Наука, 1991.
- [2] Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозových облаков. Препринт 2. РАН. — М., 2004. — С. 39.
- [3] Киселев В. Опередивший время // Техника — молодежи. — 1983. — № 11. — С. 46—52.
- [4] Медведев С.С. Электрофизиология растений: Учеб. пособие. — Санкт-Петербургский государственный университет, 2012.
- [5] Рајзер Ю.П. Физика газового разряда. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Наука, 1992.
- [6] Chaudhuri A., Chattopadhyay. Jagadish Chandrs Bose: The first Indian Biophysicist. Center of cellular and molecular biology, India. Asian agri-history vol. 13, № 4, 2009 pp.312—319;
- [7] Strasser R.J., Srivastava A., Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, in: M. Yunus, U. Pathre, P. Mohanty (Eds.), Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation, Taylor and Francis, London, UK, 2000, pp. 443—480.

LITERATURA

- [1] Gordeev A.M., Sheshnev V.B. Jelektrichestvo v zhizni rastenij. — М.: Nauka, 1991.
- [2] Ermakov V.I., Stozhkov Ju.I. Fizikagrozovyhoblakov. Preprint 2. RAN. Moskva, 2004. — S. 39.
- [3] Kiselev V. Operedivshij vremena // Tehnika — molodezhi. — 1983. — № 11. — S. 46—52.
- [4] Medvedev S.S. Jelektrofiziologija rastenij: Ucheb. posobie. — Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet. 2012,
- [5] Rajzer Ju.P. Fizika gazovogo razrjada. Izd. 2-oe, ispr. i dop. — М.: Nauka, 1992.
- [6] Chaudhuri A., Chattopadhyay. Jagadish Chandrs Bose: The first Indian Biophysicist. Center of cellular and molecular biology, India. Asian agri-history vol. 13, № 4, 2009, pp. 312—319.
- [7] Strasser R.J., Srivastava A., Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, in: M. Yunus, U. Pathre, P. Mohanty (Eds.), Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation, Taylor and Francis, London, UK, 2000, pp. 443—480.

FLUORESCENCE ANALYSIS OF INFLUENCE OF IMPACTION OF ELECTRIC FIELDS FROM THUNDERLIGHTINGS TO THE STATE OF PLANT'S PHOTOSYNTHESIS

**D.I. Orekhov¹, G.A. Kalabin¹,
L.M. Makalsky²**

¹Ecological Department
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

²Faculty of Food Technology
Russian Timiryazev State Agrarian University
Listvenichnaya str., 4/1a, Moscow, Russia, 127550

In the article are considered the study of fundamental changes in the parameters of fluorescence (TRo/RC, ETo/RC, DiO/RC, ABS/RC, Fv/Fm и PIabs) of the photosynthetic apparatus of trees (birch, fir) in conditions of electric lighting's fields and of electric fields like in nature but making by technology. The content of article focuses on the monitoring of stress in the different environments and uses analysis by JIP-test, the light curves and non-photochemical quenching, etc. The content of this article will demonstrate the possibility of the technique and will hopefully encourage the development of new uses that are not reported in other articles.

Key words: fluorescence, chlorophyll, electric field, photosynthesis, quantum yield, thunder-lighting.