

А. Г. АРАРАТЯН

СОПРОТИВЛЕНИЕ СТЕБЛЯ КУКУРУЗЫ ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

Первые исследования по электропроводности растений проведены Бертолоном в конце XVIII века [10] в годы знаменитого научного спора между Гальвани и Вольта об электрических явлениях у животных [2]. Почти через столетие Вяземский провел такие же опыты [4]. В дальнейшем работы по изучению электропроводности растений проводились Уоллером, Остергаутом, Гебером и другими [8—10].

Нами совместно с В. С. Бадалянном показано, что измерение сопротивления растительных тканей электрическому току может служить методом изучения ряда физиологических явлений [3]. Был выработан упрощенный способ определения сопротивления живых и умерщвленных тканей, который по сравнению с другими известными методами [1, 5, 6] оказался более удобным для определения жизнеспособности растительных объектов. Полученные нами данные в отношении 25 различных объектов послужили основанием усмотреть в так называемом индексе, т. е. в отношении сопротивлений тканей в живом и умерщвленном состояниях, электрокоэффициент жизнеспособности. Кроме того, было показано, что на основании индексов можно выяснить сравнительную степень жизнеспособности различных частей растения, как это было сделано для животных [7]. Нам удалось расположить некоторые растительные органы и их части в порядке убывания степени жизнеспособности в следующей последовательности: пластинка листа, черешок листа, стебель и корень, луковица, сочный плод, кочерыжка, клубень картофеля.

В настоящей статье приводятся результаты исследования электропроводности стебля. Мы преследовали цель—выяснить наличие в стебле ярусных различий по сопротивлению электрическому току. Другой нашей целью было изучение реакции междоузлий стебля в живом и умерщвленном состояниях на переменный ток разных частот.

В качестве объекта изучения была выбрана кукуруза. Поскольку метамеры стебля появляются в разное время (последовательно снизу вверх), то, естественно, они попадают под воздействие меняющихся условий внутренней и внешней среды и потому различны по строению и по физиологическому состоянию. Мы предположили, что на стебле кукурузы должны быть ярусные различия также в отношении электропроводности. Как будет показано ниже, предположение было подтверждено экспериментально. За 1962—1965 г. исследовано несколько десятков

стеблей. Ниже приводятся данные, полученные на наиболее типичном стебле, взятом с полевого участка в окрестностях г. Еревана в начале сентября, после уборки урожая. На этом стебле, высотой 140 см, было 11 междоузлий, из них использовано 10 (нумерованные начиная сверху). Самое нижнее, одиннадцатое, междоузлие оказалось очень коротким и в него невозможно было ввести электроды. Лишь три междоузлия из десяти (X, IX и VIII) последовательно увеличивались в длину снизу вверх, затем этот порядок нарушался, и остальные семь междоузлий по длине мало отличались друг от друга.

В нашей совместной с В. С. Бадаляном работе [3] преимущественно был использован омметр постоянного тока. Постоянный ток не совсем удобен для наших целей, так как его прохождение через растворы электролитов, а последние всегда имеются в живых и умерщвленных тканях, вызывает гальваническую, или электрохимическую, поляризацию, вследствие чего приборы показывают повышенное сопротивление. Во избежание этого можно применить переменный ток. Для настоящей работы была составлена цепь из следующих приборов: генератор переменного тока ЗГ-11 с плавной настройкой и верхним пределом частот 200 кгц, электронный вольтметр Ф-505, включенный параллельно с генератором, магазин сопротивлений Р-314. Сопротивление электрическому току определялось по падению напряжения. Сперва в цепь включался исследуемый объект и отмечалось показание луча вольтметра. Затем объект заменялся магазином сопротивлений, и с помощью последнего луч вольтметра доводился до отмеченного положения. Показание магазина и принималось за сопротивление объекта электрическому току.

В качестве электродов использовались две серебряные пластинки 5×5 мм, параллельно укрепленные на расстоянии 5 мм друг от друга. Были приготовлены также два лезвия того же размера из стали и укреплены на таком же расстоянии друг от друга. Серебряные электроды вводились в прорезы, сделанные в надлежащих местах парой стальных лезвий.

Измерения производились по междоузлиям, следовательно, электроды вводились в стебель не на равных расстояниях, а по метамерам (фитонам), т. е. по составляющим побег морфолого-биологическим единицам, независимо от длины последних. Для измерения брались кусочки длиной 2—3 см из средней части каждого междоузлия, на всех кусочках в живом состоянии проводилось по три группы измерений, отличающиеся друг от друга положением электродов: по ширине стебля, по длине стебля, в центре поперечного среза. В первом и третьем положениях электродов ток проходил поперек междоузлия, во втором положении—вдоль междоузлия. При тех же положениях электродов делались измерения после умерщвления кусочков междоузлий в парах воды (приблизительно +70°C). Умерщвленные кусочки предварительно охлаждались во влажной камере до комнатной температуры. В каждой из шести групп проводилось по пять измерений—при переменном токе 0,1, 1, 10, 100 и 200 кгц. Полученные данные приводятся в виде таблиц.

Обратимся к первой части табл. 1, в которой приведены сопротивления (импедансы) стебля кукурузы в живом состоянии, и рассмотрим числовые данные по столбцам. Мы увидим резкое уменьшение чисел сверху вниз. Так, в первом столбце самое верхнее (и самое большое) число почти в 16 раз больше девятого, наименьшего, а в пятом столбце в 32 раза. Во втором, третьем и четвертом столбцах отношения соответственно равны 14, 15, 23. Числовые величины килоомов, как правило, уменьшаются последовательно, т. е. каждое из них меньше находящегося выше и больше последующего. Этот порядок нарушается лишь в нескольких случаях. Например, сопротивление десятого междоузлия по всем пяти частотам больше, чем девятого, о чем еще будет сказано. Нарушения имеются также для других междоузлий, например, четвертого (10 кгц), пятого (100 кгц) и др.

Таблица 1
Сопrotивление междоузлий кукурузы переменному току при электродах,
введенных поперек стебля

№.№ междоузлий	Сопrotивление в килоомах										Индексы — отношения импеданса к активному сопротивлению, при килогерцах				
	в живом состоянии, при килогерцах					после умерщвления, при килогерцах									
	0,1	1	10	100	200	0,1	1	10	100	200	0,1	1	10	100	200
1	42,00	33,00	27,00	13,40	11,50	2,00	1,80	1,80	1,61	1,59	21,0	18,3	15,0	10,8	7,1
2	20,00	16,00	13,40	5,70	3,00	1,78	1,54	1,52	1,37	1,26	12,2	10,4	8,9	4,2	2,4
3	13,00	11,10	8,80	3,60	2,20	1,30	1,09	1,05	0,91	0,78	10,0	10,2	8,8	4,0	2,8
4	11,67	9,50	7,10	2,84	1,72	0,93	0,71	0,66	0,60	0,54	12,5	13,4	10,8	4,7	3,2
5	13,00	11,00	7,80	3,12	1,48	0,88	0,69	0,66	0,60	0,54	14,7	15,6	11,8	5,2	2,7
6	8,50	6,90	5,13	1,83	1,18	0,57	0,51	0,45	0,38	0,32	14,9	13,5	11,4	4,8	3,7
7	5,84	5,10	3,65	1,18	0,67	0,49	0,33	0,32	0,30	0,20	11,9	13,3	11,4	3,9	3,3
8	5,39	4,58	3,17	0,85	0,47	0,70	0,42	0,36	0,35	0,27	7,7	10,9	8,8	2,4	1,7
9	2,63	2,35	1,83	0,61	0,36	1,30	0,95	0,82	0,72	0,61	2,0	2,5	2,2	1,8	1,6
10	3,64	3,60	2,25	0,73	0,42	0,59	0,31	0,27	0,23	0,18	6,2	11,7	8,3	3,2	2,

Числа во второй части табл. 1, представляющие сопротивления междоузлий в умерщвленном состоянии, в несколько раз, местами до двадцати и более, меньше соответствующих чисел первой части таблицы. Как известно, живые ткани животных [7], а также растений [2, 3, 9], обладают высокой сопротивляемостью пропускаемому через них электрическому току, которая после их умерщвления резко падает. Это объясняется тем, что при умерщвлении тканей их реактивное (емкостное + индуктивное) сопротивление почти полностью исчезает и практически остается одно лишь активное (омическое) сопротивление. В остальном между первой и второй частями табл. 1 почти нет различий, за исключением того, что отношения наибольших и наименьших величин по столбцам во второй части гораздо меньше, чем у тех же междоузлий и при тех же частотах в первой части. Так, в первом столбце верхнее, наибольшее число всего в 3,4 раза больше наименьшего числа того же столбца, а в пятом столбце подобное же отношение равно 8,8, для второго, третьего и четвертого столбцов — соответственно 6, 7, 7.

В импедансе живых тканей активное сопротивление составляет приблизительно 5—20%, остальные 95—80% — реактивное сопротивление.

По всей вероятности, наличие реактивного сопротивления в основном связано с архитектоникой протоплазмы, с ее тонким строением, в итоге обусловленном высокоцелесообразным, упорядоченным распределением весьма сложных и во многих, в том числе также в кондуктометрическом, отношениях разнообразных химических веществ. При денатурации живой протоплазмы, в нашем случае высокой температурой, строй и взаимосвязь микрочастей нарушается, вследствие чего расстраивается слаженность функционально значимых процессов, и реактивное сопротивление электрическому току почти сходит на нет.

Нужно также учесть, что стебель растения, начиная с некоторого расстояния от верхушки, состоит не только из живых, но и неживых тканей. Процентное содержание живых тканей сверху вниз уменьшается, в том же направлении они оказываются все менее и менее жизнеспособными. Процентное содержание неживых тканей, наоборот, сверху вниз увеличивается. По этим причинам изменение степени жизнеспособности вдоль по стеблю может определяться, с одной стороны, количественным отношением живых и неживых тканей, с другой стороны, физиологическим состоянием самих живых тканей.

Просмотрим те же числовые данные в первых двух частях табл. 1 в горизонтальном направлении. Здесь сравнивается реакция одних и тех же междоузлий при пропускании через них переменного тока разных частот. Ясно видно падение сопротивления как живых, так и умерщвленных междоузлий по мере повышения частоты переменного тока (в горизонтальных рядах слева направо). У живых междоузлий сопротивление при частотах с 0,1 до 200 кгц падает в зависимости от положения междоузлия на стебле до $1/3$ — $1/7$, а у умерщвленных — всего до $1/2$ — $1/3$ от наибольшей величины (в первых слева столбцах, при 0,1 кгц). Само собой понятно, что при повышении частоты до 1 мгц и больше сопротивление должно снизиться, но лишь до того, что останется почти одно активное сопротивление. Таким образом, последнее можно определить не только после денатурации живой протоплазмы, но и без умерщвления — пропусканием через живые ткани растений переменного тока высоких частот, не меньше 1 мгц [7]. Падение сопротивления с повышением частоты переменного тока также указывает на то, что реактивное сопротивление живого связано с его тонким строением.

В третьей части табл. 1 приведены индексы, т. е. отношения соответственных чисел первой и второй частей той же таблицы. Числовые величины индексов, как правило, также уменьшаются по столбцам сверху вниз и по горизонтальным рядам слева направо. Здесь также замечаются «нарушения» в последовательности чисел, особенно часто для верхних междоузлий.

Обозначим импеданс, т. е. полное сопротивление живой ткани, буквой Z , активное сопротивление — A , реактивное — B , тогда

$$Z = A + B \quad \text{и} \quad A = Z - B$$

Индекс определяется по формуле

$$I = \frac{Z}{A} = \frac{A+B}{A}$$

При последовательном повышении частоты пропускаемого через живую ткань тока величина реактивного сопротивления B , уменьшаясь, стремится к нулю. Следовательно,

$$\frac{Z}{A} \text{ при } B \rightarrow 0 = \frac{A}{A} = 1.$$

Если импедансы из табл. 1 представить в графической форме, то линии, связывающие данные, для отдельных междоузлий получатся очень близкими к прямым. При составлении графика на основании данных второй части той же таблицы линии, связывающие числа килоомов, также были бы близки к прямым и почти параллельны к оси абсцисс.

Индекс междоузлия 10 выше, чем у 9: по-видимому, с этим связана способность нижней части стебля к воспроизведению побегов.

Данные табл. 2 получены таким же путем, что и приведенные на табл. 1, но с одной разницей: как было сказано выше, здесь пара серебряных электродов вводилась в междоузлия по длине стебля, так что ток проходил вдоль стебля.

Таблица 2.
Сопrotивление междоузлий кукурузы переменному току при электродах, введенных вдоль стебля

№ междоузлий	Сопrotивление в килоомах										Индексы — отношение импеданса к активному сопротивлению, при килогерцах				
	в живом состоянии, при килогерцах					после умерщвления, при килогерцах									
	0,1	1	10	100	200	0,1	1	10	100	200	1,0	1	10	100	200
1	6,25	5,10	3,90	2,42	1,80	1,48	1,08	1,00	0,91	0,79	4,2	4,7	3,9	2,6	2,3
2	5,45	4,70	3,25	1,73	1,27	1,36	1,05	0,97	0,90	0,78	4,0	4,5	3,3	1,9	1,6
3	4,40	3,42	2,48	1,24	0,84	0,82	0,58	0,53	0,49	0,43	5,4	5,9	4,7	4,3	1,9
4	3,73	3,29	2,25	1,05	0,67	0,69	0,50	0,47	0,43	0,37	5,4	6,2	4,8	2,4	1,8
5	3,70	3,03	2,10	0,96	0,66	0,66	0,45	0,42	0,37	0,34	5,6	6,7	5,0	2,6	1,9
6	2,22	2,02	1,36	0,65	0,45	0,45	0,30	0,27	0,24	0,21	4,9	6,7	5,0	2,7	2,1
7	2,85	2,20	1,12	0,62	0,39	0,56	0,35	0,33	0,30	0,26	5,1	6,3	3,4	2,1	1,5
8	2,35	2,02	1,34	0,50	0,32	0,44	0,29	0,21	0,24	0,20	5,3	6,9	4,6	2,1	1,6
9	2,10	1,86	1,25	0,53	0,32	0,60	0,35	0,31	0,26	0,20	3,5	5,3	4,0	2,0	1,6
10	2,10	1,92	1,30	0,58	0,37	0,48	0,27	0,25	0,22	0,18	4,3	7,1	5,2	2,6	1,9

В первой и второй частях этой таблицы, как и в табл. 1, числа килоом сверху вниз и слева направо последовательно уменьшаются. И на этой таблице встречаются «нарушения» в порядке расположения сопротивлений в килоомах.

Однако по сравнению с первой частью табл. 1 здесь мы видим очень небольшие числа. Если в первом столбце табл. 1 имеются величины от 42,00 до 2,63, во втором — от 33,00 до 2,35, то в табл. 2 соответ-

ственно имеем 6,25—2,10 и 5,10—1,86. Во вторых частях табл. 1 и табл. 2 разница по столбцам в сопротивлениях после умерщвления междоузлий очень мала: в первых двух столбцах табл. 1 имеем 2,00—0,59 и 1,80—0,31, в соответствующих столбцах табл. 2—1,48—0,48 и 1,08—0,27. Сравнение чисел остальных столбцов обеих таблиц дает приблизительно такую же картину.

Приведенные числовые величины дают основание предположить, что при поперечном и продольном положении электродов индексы должны сильно, в среднем почти втрое, различаться в большей части верхних горизонтальных рядов и почти сходиться в нижних. Так, в табл. 1 величина индексов колеблется между 21,0 и 1,6, а в табл. 2—между 7,1 и 1,5. В остальном между таблицами 1 и 2 нет принципиальной разницы.

Таблица 3

Сопротивление междоузлий кукурузы переменному току при электродах, введенных на поперечных срезах

№№ междоузлий	Сопротивление в килоомах										Индексы — отношения импеданса к активному сопротивлению, при килогерцах				
	в живом состоянии, при килогерцах					после умерщвления, при килогерцах									
	0,1	1	10	100	200	0,1	1	10	100	200	0,1	1	10	100	200
1	47,00	33,00	27,00	18,00	15,00	2,70	2,45	2,35	2,22	2,28	17,4	13,5	11,4	8,1	6,3
2	20,00	20,00	16,60	11,40	5,90	2,42	2,12	2,08	1,85	1,69	8,2	9,5	8,0	6,1	3,5
3	12,00	6,50	9,50	5,46	4,16	1,70	1,52	1,45	1,35	1,26	7,1	4,3	6,5	4,0	3,3
4	13,00	11,00	8,70	3,34	2,37	1,27	1,43	1,04	0,96	0,83	10,3	7,7	8,3	3,5	2,9
5	9,80	9,10	7,80	4,46	2,82	0,88	0,65	0,61	0,56	0,51	11,1	13,8	12,9	8,0	5,5
6	10,10	8,62	7,10	3,16	2,08	0,27	0,22	0,25	0,14	0,13	37,4	39,4	28,2	22,5	16,0
7	6,00	5,43	4,58	2,19	1,36	0,55	0,40	0,37	0,34	0,32	10,8	13,6	12,4	6,4	4,2
8	4,15	3,61	2,67	0,92	0,52	0,66	0,46	0,41	0,38	0,33	6,3	8,8	6,3	2,4	1,6
9	2,70	2,66	2,05	0,54	0,29	0,38	0,25	0,23	0,20	0,17	7,1	10,7	8,9	2,7	3,2
10	2,68	2,44	1,83	0,46	0,23	0,32	0,16	0,14	0,13	0,09	8,3	15,3	13,2	3,5	2,5

Данные табл. 3 получены с тех же объектов и при тех же условиях, с той разницей, что электроды были введены со стороны поперечного среза междоузлий, перпендикулярно к срезу, в центральной его части. Здесь также, как и при поперечном положении электродов, ток проходит поперек проводящей ткани и других прозенхимных элементов, поэтому сопротивления в килоомах высокие, даже несколько выше, чем на табл. 1. Для междоузлий в живом состоянии имеется 47,00—0,23, для тех же объектов после умерщвления—2,70—0,09 килоом, а индексы колеблются между 39,4 и 1,6. Во всем остальном в табл. 3 в принципе повторяется то же, что и в предыдущих двух таблицах, особенно в табл. 1.

Нам казалось, что закономерности, выявленные при определении сопротивления стебля кукурузы электрическому току, могут быть общими для стеблей также других растений. С целью проверки этого предположения было проведено определение сопротивления в описанных выше условиях ряда травянистых и древесных растений—подсолнечника, табака, конского щавеля, винограда, черного ореха, катальпы, ясеня

и многих других. Полученные данные подтвердили сделанное предположение. У всех названных растений сопротивление стебля с морфологической верхушки к основанию последовательно уменьшается. Оно гораздо выше в живом состоянии стебля и резко падает после его умерщвления. У этих растений также сопротивление одного и того же междоузлия падает по мере повышения частоты переменного тока.

В ы в о д ы

1. Полное сопротивление (импеданс) живого стебля кукурузы переменному току последовательно уменьшается сверху вниз, по междоузлиям.

2. На самом нижнем из измеренных десяти междоузлий сопротивление несколько выше, чем на предыдущем (девятом), что связано с более высокой жизнеспособностью нижней части стебля.

3. Нарушения в порядке следования величин сопротивления наблюдаются и на других междоузлиях; в некоторых случаях эти нарушения связаны с местом прикрепления початков.

4. При введении электродов поперек стебля и на поперечных срезах междоузлий сопротивление оказывается в несколько раз больше, чем при введении их вдоль стебля. В первых двух случаях числовые величины сопротивления составляют экспоненциальные ряды.

5. Сопротивление междоузлий кукурузы после умерщвления резко падает, приблизительно до 5—20% импеданса. Эти 5—20% являются почти только активным (омическим), остальные 95—80% — реактивным (емкостным + индуктивным) сопротивлением. Наличие последнего характерно для живого состояния.

6. Сопротивление любого междоузлия в живом состоянии резко уменьшается с повышением частоты переменного тока. Аналогичное явление, но гораздо слабее, наблюдается и на умерщвленных междоузлиях.

7. По предварительным данным, такие же изменения в сопротивлении электрическому току происходят на стеблях других травянистых и избегах древесных растений — подсолнечника, табака, конского щавеля, винограда, черного ореха, катальпы, ясеня и др.

Поступило 14.IV 1969 г.

Ա. Գ. ԱՐԱՐԱՏՅԱՆ

ՆԳԻՊՏԱՅՈՐԵՆԻ ՑՈՂՈՒՆԻ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ն գ ի պ տ ա ց ո Ր Ե Ն Ի կ Ե ն դ ա ն Ի ց ո Ղ ո Ւ Ն Ի լ ր ի վ դ ի մ ա դ Ր ու թ Յ ՈՒ Ն Ը (Ի մ պ Ե դ ա ն ս)
է ի Ե կ տ Ր ա կ ա ն հ ո ս ա ն ք ի ն հ Ե տ Լ ո Ղ ա կ ա ն կ Ե Ր պ ո վ ը ն կ ն ու մ է ը ս ա մ ի ի չ հ ա ն գ ու չ ց -
Է Ե Ր Ի, վ Ե Ր ի ց վ ա Ր: Դ ա բ ա ց ա տ Ր վ ու մ է ի ն չ պ Ե ս կ Ե ն դ ա ն Ի և ա ն կ Ե ն դ ա ն մ ա ս Ե Ր Ի

քանակական հարաբերություններ, այնպես էլ կենդանի հյուսվածքների հասակային վիճակով:

Ամենացածր (տասներորդ) միջհանգույցի դիմադրությունը մի փոքր ավելի է, քան նախորդինը (իններորդինը)՝ հավանաբար կապված եզրպտացորենի բույսի ստորին մասերից ընձյուղներ և հավելյալ արմատներ տալու ընդունակության հետ:

Դիմադրության մեծությունների հետևողական դասավորության մեջ խախտումներ լինում են նաև այլ միջհանգույցներում, որոնք ըստ երևույթին մասամբ պայմանավորված են կողրերի դասավորությամբ:

Միջհանգույցի դիմադրությունն ընկնում է փոփոխական հոսանքի հաճախականության բարձրացմանը զուգընթաց:

Եզրպտացորենի ցողունը մեռցնելուց հետո միջհանգույցների դիմադրությունը խիստ ընկնում է. մնում է իմպեդանսի մոտավորապես 5—20%-ը, որը գլխավորապես ակտիվ (օմական) դիմադրություն է: Մնացած 95—80%-ը կազմում է ռեակտիվ դիմադրությունը, որը հատուկ է կենդանի վիճակին:

Մեռցրած միջհանգույցների մեջ նույնպես դիմադրությունը որոշ չափով ընկնում է վերից վար և փոփոխական հոսանքի հաճախականության բարձրացմանը զուգընթաց:

Դիմադրության մեծությունը կախված է նաև էլեկտրոդների դիրքից: Եթե էլեկտրոդները մտցվում են ցողունի լայնությամբ կամ միջհանգույցների լայնական կտրվածքի կողմից, նրա մեջտեղում, ապա դիմադրությունը մեծ է, իսկ ցողունի երկարությամբ մտցնելու դեպքում՝ զգալիորեն ավելի փոքր: Առաջին երկու դեպքերում որոշակի նկատվում է, որ դիմադրությունները ցողունի երկարությամբ դասավորված են էքսպոնենցիալ՝ լոգարիթմիկ կարգով:

Ինդեքսները, կամ՝ ըստ մեր առաջարկության, կենսունակության էլեկտրագործակիցները, այսինքն՝ նույն օբյեկտների կենդանի և մեռած վիճակի համապատասխան դիմադրությունների հարաբերությունները, մոտավորապես նույն կարգով են դասավորված, ինչ որ իմպեդանսները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александров В. Я. Экспериментальная ботаника, вып. 10, 1955.
2. Արարատյան Ա. Գ. Բույս և էլեկտրականություն, Երևան, 1966 (Араратян А. Г. Растение и электричество, 1966. На арм. языке).
3. Араратян А. Г., Бадалян В. С. Известия АН АрмССР (биолог. науки), т. XI, 4, 1958.
4. Вяземский Т. И. Труды физиологического института имп. Московского университета, вып. 11, 1—134, 1901.
5. Гродзинский А. М. и Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений, Киев, 1964.
6. Исаченко Б. Л. и Предтеченская А. А. Экспериментальная ботаника, вып. 2, 1936.
7. Тарусов Б. Н. Архив биологических наук, т. 52, вып. 2, 1938.
8. Трошин А. С. Проблема клеточной проницаемости, 1956.
9. Osterhout W. Physiological Rewew, 16, 1936.
10. Stern K. Elektrophysiologie der Pflanzen, 1924.