

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

С. Н. АЛЕШИН и М. Т. ЯСТРЕБОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КОРНЯ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ pH СРЕДЫ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 17 VIII 1949)

Многочисленные исследования акад. Д. Н. Прянишникова (1), И. Г. Дикусара (2), А. Г. Шестакова (5) и др. показали различную урожайность сахарной свеклы, льна, табака и других сельскохозяйственных культур при применении нитратных и аммонийных ионов в питательных средах с различными концентрациями водородных ионов (pH). Как правило, в кислых интервалах pH урожайность получалась от нитратов выше, чем от аммонийных ионов, с понижением же концентрации ионов водорода урожайность на нитратах понижалась, а на аммонийных ионах повышалась. Такую реакцию живого организма на взаимно противоположные по электрическому знаку заряда ионы можно объяснить различным проникновением этих ионов через стенку клеток корня, обусловленным зарядом корня, меняющимся как по знаку, так и по величине потенциала в зависимости от pH среды. С этой точки зрения было интересно установить непосредственными опытами: как будут изменяться знак и величина потенциала поверхности корня в условиях меняющегося pH. Данные Люндегорда (4) мы считаем неудовлетворительными по методике измерения, так как он измерял потенциалы отрезанных корней и поэтому получил завышенные значения потенциалов. Мы переконструировали прибор Люндегорда так, что можно было производить измерения на корнях целого проростка растения. Схема нашего прибора представлена на рис. 1.

Прибор состоит из двух электродов: верхнего и нижнего. Верхний электрод состоит из стеклянной, изогнутой под прямым углом трубки 1, на нижнем конце которой припаян держатель корня 2. При измерении потенциалов корня эта трубка наполняется 0,01 N раствором KCl, который соприкасается с поверхностью корня через тампон 3 фильтровальной бумаги, закрывающий нижний конец трубки. Верхний конец этой трубки соединяется агар-агаровым сифоном 5 с пробиркой 6, наполненной 0,01 N раствором CuSO_4 , через который электрод приключается медной проволокой к потенциометру.

Нижний электрод состоит из стеклянной крестообразной трубки, заполняемой через воронку 7 и кран 8 испытуемым раствором, вытекающим из трубки 9, с диаметром отверстия около 2 мм, в которое погружается кончик корня в момент измерения. Стекающий через эту трубку раствор собирается в резервуаре 10, из которого затем через сифон 11 этот раствор стекает по мере накопления. В резервуаре 10 находится цилиндрическая трубка 12, покрытая изнутри фильтровальной бумагой, погруженная своим нижним концом в жид-

кость и закрытая сверху корковой пробкой с отверстием для держателя корня растения; в ней, в момент измерения, создается пространство, насыщенное водяными парами, предохраняющее корень от высыхания. Третий конец трубки нижнего электрода наполняется

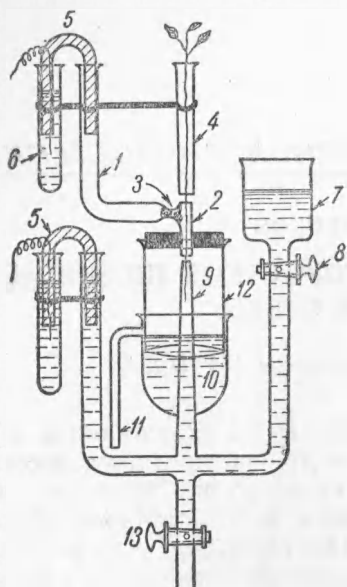


Рис. 1. Схема прибора для определения заряда корня растения

испытуемым раствором и соединяется через агар-агаровый сифон 5 и 0,01 N раствор $CuSO_4$ медной проволокой с потенциометром. Через четвертый конец трубки 13 раствор сливается при его смене или при окончании работы.

Измерение потенциалов корня производилось на обычном компенсационном потенциометре с зеркальным гальванометром Института физического приборостроения (Ленинград) чувствительностью 10^{-9} а. Материалом для измерения служили корешки проростков пшеницы (Белорусская 269А), проращиваемые на смоченной дистиллированной водой фильтровальной бумаге в чашках Петри на солнечном свете при температуре $20-23^{\circ}$. После появления стебелька и 2—3 корешков крышка с чашки Петри снималась и проростки помещались в питательную смесь Приишника и Домантовича (pH 5,4).

Перед каждым измерением потенциала корня верхний электрод приводился в контакт с нижним погружением держателя корня 2 в отверстие 9; находимая точка компенсации принималась за нулевой отсчет. После этого производилось измерение потенциала корня следующим образом: стебелек 4—5-дневного растеньица с отрезанными корешками, кроме одного, вставлялся в держатель 2, с выступающим из него корешком длиной в 20 мм; кончик этого корешка погружался в отверстие 9 на глубину 10 мм. Таким образом измерялась разность потенциалов двух зон корешка, стоящих друг от друга примерно на 10 мм. Наконеч, электроды включались в цепь и находилась точка компенсации. Для вычисления электродвижущей силы этого „живого“ элемента бралась разность отсчетов точек компенсации элемента без корешка и элемента с корешком. Как правило, потенциал устанавливался в течение 3—4 мин. Измерения производились в марте 1948 г. при дневном свете и температуре $22-27^{\circ}$.

Измерение знака и величины потенциала корня в средах с различным значением pH производилось следующим образом. Корешки проросшего растения тщательно отмывались от питательной среды и вставлялись в держатель корня, как было упомянуто ранее; через нижний электрод пропускаться непрерывный ток 0,1 N раствора ацетатного буфера с значениями pH , изменяющимися от 3,0 до 7,3. Полученные значения потенциалов для трех измерений приведены в табл. 1.

На рис. 1 приведено графическое изображение изменения потенциалов корня в зависимости от pH , измеренных 12 марта, которое показывает, что в этом опыте зависимость их в пределах pH от 4,0 до 6,5 была линейная, причем перемена знака потенциала с положительного на отрицательный приходится на область pH , близкую к 5,5. За пределами линейного изменения потенциалов в щелочной области намечается снижение потенциалов, в кислой же области потенциал не изменился.

Сравнивая полученные данные по величине потенциалов с данными Люндегорда, полученными им при протекании через нижний электрод раствора соляной кислоты, следует отметить слишком высокие значения потенциалов отрицательного знака, полученные им; так например, при рН 5 измеренный им потенциал достигал 130 мв, в то же время

Таблица 1

Изменение потенциала корня пшеницы в зависимости от рН

рН среды в электроде	Потенциалы корня в милливольтгах		
	9 марта	12 марта	18 марта
3.0	—	+15	+9
4.0	+17	+15	+8
5.0	-10	+4	+6
6.5	-13	-10	-11
7,3	—	-7	—

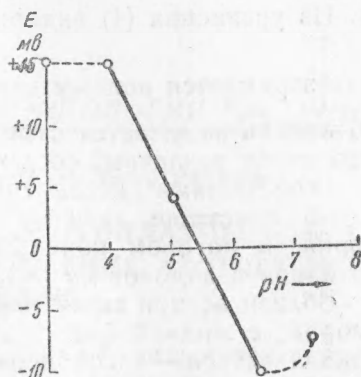


Рис. 2. Изменение потенциала корня пшеницы в зависимости от рН

область положительных потенциалов сдвигалась в кислый интервал значений рН, примерно от рН 2 до рН 3.

Такая аномалия обусловлена, вероятно, тем, что он производил измерения потенциалов на отрезанных корешках. На отрезанных или даже слегка поврежденных корешках нам также пришлось наблюдать резкое повышение отрицательных потенциалов.

Образование электрического заряда на поверхности корня растения обусловлено белком протоплазмы корневых клеток. Белок — амфополин; он имеет в своем составе как кислотные группы, способные отщеплять водородные ионы (ацидоидная часть), так и основные группы, способные присоединять водородные ионы (базоидная часть). В зависимости от количества тех и других групп и прочности связи этих групп с водородными ионами в водном растворе белок будет иметь положительный или отрицательный эффективный заряд. В водном растворе можно создать такую концентрацию водородных ионов, при которой количество положительных зарядов на частицах белка будет равно количеству отрицательных; такое состояние белка называют изоэлектрическим. Соответствующая этому значению концентрация водородных ионов, как известно, будет равна:

$$[H^+]_i = \sqrt{\frac{K_b}{K_o} K_a}, \quad (1)$$

где K_a , K_b и K_o — константы диссоциации воды, кислотных и основных групп белка, соответственно.

С коллоидо-химической точки зрения ионы водорода играют роль потенциал-определяющих ионов, в зависимости от адсорбции которых потенциал будет изменяться по уравнению:

$$E = E_0 + \mathcal{J} \lg [H^+]_i, \quad (2)$$

где E — потенциал корня, E_0 — нормальный потенциал, принятый за 0 при изоэлектрической концентрации водородных ионов $[H^+]_i$, \mathcal{J} — постоянная, зависящая от температуры. Значение E_0 выяснится из следующих преобразований: пусть концентрация водородных ионов в растворе такова, что $E = 0$, т. е. корень изоэлектричен, тогда

$$-E_0 = \mathcal{J} \lg [H^+]_i; \quad (3)$$

подставляя (1) и (3) в (2), получим:

$$E = - \mathcal{J} \lg \sqrt{\frac{K_k}{K_o} K_o} + \mathcal{J} \lg [H^*]. \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно: 1) Если $[H^*] > \sqrt{\frac{K_k}{K_o} K_o}$, то корень растения заряжается положительно, если же, наоборот, $[H^*] < \sqrt{\frac{K_k}{K_o} K_o}$, то корень заряжается отрицательно. 2) Каждое растение, поскольку оно имеет различный состав белка, характеризуемый, в данном случае, его константами диссоциации как кислоты и как основания, будет иметь присущее данному растению изоэлектрическое значение pH корня, в котором корень не будет влиять на скорость поступления катионов и анионов из питательного раствора.

Вблизи всякой заряженной поверхности, соприкасающейся с раствором, в жидкой фазе будут в силу электростатического притяжения накапливаться — адсорбироваться — по типу обменной адсорбции ионы противоположного знака, образуя так называемый слой противоионов, кинетически более подвижный, чем слой потенциал-определяющих ионов. Слой противоионов извне граничит с почвенным раствором, изнутри — с протоплазмой клетки. Если скоро данный ион является необходимым элементом питания растения, он, вступая во взаимодействие с белком протоплазмы, необратимо удаляется из слоя противоионов; тем самым понижается концентрация этого слоя внутри клетки по сравнению с концентрацией его, обращенной к почвенному раствору. Так как скорость диффузии пропорциональна градиенту концентрации dc/dx , то в случае положительного заряда корня должна преобладать скорость диффузии анионов над скоростью диффузии катионов. Соотношение скоростей становится противоположным при отрицательном заряде корня. Подтверждением сказанного могут служить опыты В. С. и В. В. Буткевич³⁾, показавших, что диффузия через отрицательно заряженную коллоидную мембрану из раствора азотнокислого аммония регулируется pH: при повышении pH лучше диффундируют ионы аммония, при понижении pH увеличивается диффузия нитрат-иона. При pH ~ 3 диффузия обоих ионов выравнивается. Надо полагать, что большая скорость диффузии того или иного иона в корень не может не отразиться на урожае данного растения. Поэтому при объяснении результатов урожаев, полученных Дикусаром и др., различающихся своей величиной в зависимости от реакции среды по аммонийным и нитратным удобрениям, нельзя оставлять без внимания электрические свойства корневой системы растения.

Московская сельскохозяйственная академия
им. К. А. Тимирязева

Поступило
11 VIII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Н. Прянишников, *Агрохимия*, 1940. ² И. Г. Дикусар, Из результатов вегетац. опытов и лаборат. работ агрохим. опытной станции ТСХА, 14 (1928). *Тр. ВИУА*, в. 3 (1934). ³ В. С. и В. В. Буткевич, *Biochem. Zs.*, 204 (1929). ⁴ Lundegårdh, *ibid.*, 300 (1928). ⁵ А. Г. Шестаков, Питание растений зольными элементами и применение удобрений, Диссертация, ТСХА, 1947.