

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. П. НОГТЕВ

СКОРОСТИ КЛЕТОЧНОГО ВСАСЫВАНИЯ ИЛИ «ВСАСЫВАЮЩИЕ СКОРОСТИ» РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК КАК ВНУТРЕННИЕ КЛЕТОЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВОДНОГО ТОКА В ТЕЛЕ РАСТЕНИЯ

(Представлено академиком А. И. Опариным 17 IX 1952)

Наши работы (1-3) приводят нас к заключению о целесообразности введения понятия о «скорости сосания» или «всасывающей скорости» растительных клеток.

Величина «сосущей силы» клетки выражается, как известно, в атмосферах и определяется общеизвестным уравнением Уршпрунга и более подробным уравнением А. М. Алексеева (5). Величина «скорости сосания» или «всасывающей скорости» растительной клетки выражается в размерности $\frac{\text{масса}}{\text{время}}$ и определяется следующим уже опубликованным (3) нашим уравнением*:

$$\frac{dm}{dt} = -K \left(\frac{s}{v} \beta \right) \left(\frac{1}{Q} \right) \frac{dc}{dx}. \quad (1)$$

Сравним две геометрически подобные (т. е. имеющие одинаковую форму) растительные клетки, которые, однако, отличаются друг от друга по своим размерам. Пусть первая клетка крупная, а вторая — мелкая, причем линейные размеры крупной клетки в n раз больше, чем линейные размеры мелкой клетки. Тогда удельная поверхность первой, крупной клетки будет s/v , а удельная поверхность второй клетки будет sn/v ; тургорный коэффициент (коэффициент упругого противодействия со стороны растянутой клеточной оболочки) у первой клетки будет Q , а у второй Q/n . Следовательно, скорость осмотического всасывания второй, мелкой клеткой будет определяться следующим уравнением, получаемым из уравнения (1):

$$\frac{dm}{dt} = -K \left(\frac{sn}{v} \beta \right) \left(\frac{n}{Q} \right) \frac{dc}{dx} = -Kn^2 \left(\frac{s}{v} \beta \right) \left(\frac{1}{Q} \right) \frac{dc}{dx}. \quad (2)$$

Уравнение (2) по сравнению с уравнением (1) получило (в правой части) новый множитель n^2 . Отсюда непосредственно вытекает следующий вывод.

При данных температуре, градиенте концентрации клеточного сока, толщине и упругости клеточной оболочки и при условии сохранения клеткой геометрического подобия скорость осмотического всасывания растительной клеткой воды изменяется обратно пропорцио-

* Обозначения см. (2, 3).

нально квадрату изменения (увеличения или уменьшения) линейных размеров клетки.

В том случае, если при тех же условиях (и без изменения первоначальных объемов) геометрическая форма малой клетки и крупной клетки не одинакова, то скорость осмотического всасывания воды этими клетками будет определяться ⁽³⁾ следующей закономерностью. При уклонении формы мелкой клетки от формы шара или изодиаметричного многогранника, свойственной сравниваемой крупной клетке, скорость осмотического всасывания мелкой клеткой будет превышать скорость всасывания крупной клеткой больше, чем в n^2 раз. При уклонении же формы крупной клетки от формы шара или изодиаметричного многогранника и при приближении мелкой клетки к этим формам, скорость всасывания мелкой клеткой будет превышать скорость всасывания крупной клеткой меньше, чем в n^2 раз.

Учитывая все эти биологически важные количественные закономерности, вскрытые и доказанные нами ⁽¹⁻³⁾, приходится внести новое понимание в ту физическую схему одностороннего тока воды по ряду

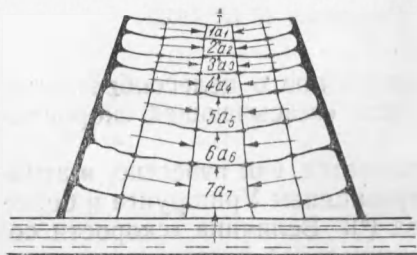


Рис. 1

не насыщенных водой паренхимных клеток, которая дана нами в работе ⁽¹⁾. Именно, в числе факторов, обуславливающих возникновение и поддержание одностороннего тока воды по какому-нибудь ряду живых паренхимных клеток, не насыщенных водой и последовательно уменьшающихся в своих размерах, надо учитывать не только последовательное увеличение удельных запасов $(s/v - s_1/v_1)$ упругой растяжимости оболочек этих клеток, но и последовательное увеличение (нарастание) скоростей осмотического всасывания воды теми же клетками, причем скорости сосания клетками увеличиваются пропорционально квадрату уменьшения линейных размеров клеток, образующих данный последовательный ряд и имеющих одинаковую геометрическую форму.

Устойчивая длительность во времени одностороннего тока воды по ряду таких ненасыщенных клеток в нашей схеме (рис. 1) всецело обеспечивается испарением, удерживающим самую верхнюю клетку в состоянии стойкого и наиболее острого недосыщения водой и тем самым активизирующим ее сосущую силу.

На рис. 1 в среднем вертикальном ряду клеток, последовательно уменьшающихся в размерах в направлении снизу вверх, скорости dm/dt осмотического сосания воды последовательно увеличиваются от самой нижней 7-й клетки к самой верхней 1-й клетке*, и эти различия в скоростях осмотического всасывания клетками (вместе с различиями в их сосущей силе) создают клеточный «внутренний двигатель» одностороннего водного тока в теле растения, причем этот «внутренний клеточный двигатель» функционирует в неразрывной связи с «внешним атмосферным двигателем», действие которого сводится к испарению воды листьями (к транспирации).

Всякое движение в клетку воды можно выразить в виде количества этого движения, т. е. в виде произведения массы поступающей в клетку воды на ее скорость

$$L = mv,$$

где L — количество движения, m — масса, v — скорость.

* На рис. 1 скорости всасывания клетками обозначены через a .

Но количество движения L за единицу времени пропорционально приложенной силе F как в случае равнопеременного, так и в случае неравномерного движения. Для случая равнопеременного движения воды в клетку пропорциональная связь между количеством движения L и приложенной (из самой клетки) силой F выражается равенством

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = kF, \quad (3)$$

где ΔL — изменение количества движения, Δt — единица времени, k — коэффициент пропорциональности.

Для случая неравномерного движения воды в клетку, когда сила F всасывания клеткой воды в ходе процесса изменяется, под Δt в равенстве (3) следует понимать бесконечно малое изменение времени и, следовательно, равенство (3) принимает такой вид:

$$\frac{dL}{dt} = kF \quad (3a)$$

где вектор F — значение силы всасывания в данный момент времени.

На основании только что указанных соотношений между массой, скоростью, количеством движения и силой, вызывающей это движение, мы должны в наших уравнениях (1) и (2) рассматривать скорость dm/dt всасывания живой клеткой воды, как меру проявления силы всасывания и, следовательно, как важный внутренний клеточный двигатель односторонне направленного водного тока по рядам паренхимных клеток в теле растения.

Скорость клеточного всасывания, как мера проявления сосущей силы растительной клетки, определяется биохимизмом клетки, ее биофизикой и ее структурными особенностями (цитоморфологией). Биохимизм, обусловленный процессами ассимиляции и диссимиляции в клетке, соотношением в ней ферментативных процессов синтеза и гидролиза, дыханием, полупроницаемостью и прочими свойствами живой протоплазмы, определяет в наших уравнениях (1) и (2) величину градиента dc/dx концентрации сока в клетке. Биофизика клетки, связанная с ее биохимизмом, выражается в гидростатическом давлении сока клетки, в тургоре клетки, в удельном запасе $(s/v - s_1/v_1)$ упругой растяжимости и сократимости клеточной оболочки, а все эти биофизические величины функционально тоже взаимосвязаны и выражаются в наших уравнениях в обобщенной величине тургорного quotиента Q клеточной оболочки. И, наконец, структура клетки (цитоморфология) выражается в размерах клетки, в ее геометрической форме, в удельной поверхности s/v , в толщине оболочки. Структурные факторы (размеры, форма) клетки обобщены в величине удельной поверхности s/v . Температура, молекулярный вес осмотирующих веществ, толщина целлюлозной оболочки, определяющая ее упругие свойства, выражаются в коэффициенте k .

Все эти факторы в диалектической связи друг с другом и во взаимодействии с внешней средой (с температурой, составом внешнего раствора) определяют и сосущую силу и всасывающую скорость клетки как меру проявления ее сосущей силы.

Количественные соотношения и закономерности, вскрытые нами в работах (1-3) и в настоящей работе, заставляют нас отклонить как ошибочную, широко распространенную теорию корневого давления, данную Пристлеем. Основой этой теории является положение о том, что воду из почвы сосут не корневые волоски, граничащие с почвенной влагой, а находящийся в сосудах корня раствор (летняя пасока и весенняя пасока), а весь ряд живых паренхимных клеток корня,

идуший от корневого волоска к сосуду центрального цилиндра, лишь пассивно профильтровывает воду через себя в направлении от корневого волоска к сосуду.

Присасывающее действие раствора, находящегося в сосудах корня, действительно проявляется, но представление о пассивной «профильтровывающей» роли живых паренхимных клеток корня является ошибочным по следующим причинам.

1. Ряды живых паренхимных клеток, идущие от корневых волосков к сосудам центрального цилиндра корня, состоят из клеток, не одинаковых по размерам и по форме: величина клеток коры возрастает в направлении от наружного волосконосного слоя к середине коры, а дальше обычно уменьшается в направлении к эндодерме; наиболее крупные клетки в средней части поперечного разреза коры корня (4); в центральном цилиндре паренхимные клетки, непосредственно примыкающие к сосудам, наиболее мелкие.

2. При такой структуре паренхимы и при таком соотношении размеров паренхимных клеток общая скорость движения воды из почвы в сосуды центрального цилиндра корня определяется на пути этого движения не только сосущей силой самих сосудов корня, но и местными клеточными скоростями осмотического всасывания, т. е. местными клеточными двигателями, зависящими от градиентов концентрации тургоргонов как продуктов биохимической деятельности живых клеток корня, а также от размеров и формы живых клеток, находящихся на пути передвижения воды и активно участвующих в этом передвижении; зависимости эти математически выражены нами в уравнениях (1) и (2).

3. Так как пояс наиболее крупных живых клеток находится в средней части корневой паренхимы корня, то здесь, в этом среднем поясе коры, происходит наибольшее уменьшение скорости центростремительного тока воды, и крупные клетки этого пояса относительно наиболее насыщаются водой, принимая тем самым на себя роль промежуточного запасного резервуара, в котором вода несколько задерживается и накапливается, чтобы затем под влиянием присасывающего действия со стороны сосудов и с прогрессивно нарастающими скоростями, обусловленными последовательным уменьшением размеров клеток, двинуться к сосудам (через пропускные клетки эндодермы и через перидерму).

Таким образом, живые паренхимные клетки, по рядам которых движется центростремительный водный ток от корневых волосков к сосудам корня, являются не пассивными «фильтрами», а активными внутренними двигателями водного тока, действующими в одном и том же направлении и совместно с присасывающим действием пасоки в сосудах.

Всасывающая работа корня осуществляется через его клеточные структуры (ткани) и обеспечивается всей совокупностью постоянно происходящих в нем процессов обмена веществ и превращений энергии, включая сюда превращения химической энергии электролитов и неэлектролитов в осмотическую энергию (возникновение осмотических градиентов), а этой последней — в механическую энергию переноса воды и корневого давления. Детали клеточных структур оказывают мощное влияние на темпы обмена веществ и на работу тканей и органов растения.

Горьковский
сельскохозяйственный институт

Поступило
20 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. П. Ногтев, ДАН, 74, № 1 (1950). ² В. П. Ногтев, ДАН, 79, № 2 (1951).
³ В. П. Ногтев, ДАН, 82, № 6 (1952). ⁴ В. Ф. Раздорский, *Анатомия растений*, М., 1949. ⁵ А. М. Алексеев, *Водный режим растения и влияние на него засухи*, Казань, 1948. ⁶ Н. А. Максимов, *Краткий курс физиологии растений*, М., 1948.