

ЭКОЛОГИЯ И ПУЛЬСАЦИЯ КЛЕТОК

В. И. Яшкичев

Московский государственный гуманитарный университет им. М. А. Шолохова, Россия

Ecology and Pulsation of Cells

V. I. Yashkichev

M. A. Sholokhov Moscow State University for the Humanities, SECTECO, Russia

Открытие метаболической составляющей в подъеме воды от корня к листьям актуализирует вопрос о механизмах превращения теплоты гидролиза АТФ в работу. Периодическое изменение объема клеток, ведущее к подъему воды, связано с пульсирующим изменением гидратации белковых молекул цитоскелета. *Ключевые слова:* гидролиз, теплота, работа, пульсации, гидратация, цитоскелет, белковые молекулы, экология.

Opening of the metabolic component in the rise of water from the root to the leaves with a new force raises the problem concerning mechanisms of heat conversion of ATP hydrolysis in the mechanical work. Periodic changes of cells volume which leads to a rise in water, connected with pulsating change of hydration cytoskeleton protein molecules. *Key words:* hydrolysis, heat, work, hydration, cytoskeleton, protein molecules, ecology.

Нарастание глобальных экологических проблем, парадоксы экологии все настойчивее ставят перед наукой, в частности перед физиологией растений, задачи, решение которых позволит более эффективно бороться с экологическим кризисом. Важнейшей экологической проблемой является вопрос обеспечения человечества продовольствием. Сокращение пригодных для сельского хозяйства земель продолжается. Достижения молекулярной биологии и генетики впечатляют, но прогресс тормозится отсутствием теории превращения теплоты гидролиза АТФ в работу. Мы предлагаем гипотезу этого превращения, основанную, в частности, на результатах экспериментов по продвижению воды из почвы к листьям [1].

Отечественные ученые хорошо продуманными и тщательно выполненными опытами показали, что и в физиологии корня и в поднятия водного раствора по стеблю важную (наряду с осмосом), а в ряде случаев определяющую роль играют автоколебания живых (паренхимных) клеток. Можаяева и Пильщикова показали, что процесс транспорта воды в корне состоит из двух фаз: поступления воды в клетки (фаза расслабления) и выталкивания воды в направлении сосудов ксилемы (фаза сокращения), то есть транспорт воды в корне обнаруживает импульсную ритмичность. При этом показано, что чередование выделения экссудата и поглощения воды сопровождается сокращением и расслаблением паренхимных клеток коры и центрального цилиндра: максимуму выделения экссудата соответствует сокращение, минимуму — расслабление клеток [2]. Принципиально сходная картина обнаружена при исследовании движения воды в стебле. Поставлен вопрос о промежуточных двигателях. С помощью специального гидравлического датчика объемных изменений установлены локальные колебания тургора паренхимных клеток стебля, внешне выражающиеся в периодических микроколебаниях диаметра стебля и тургорного давления самих паренхимных клеток [3, 4]. Каждое междоузлие ведет себя автономно (когда одно сжимается, другое расслабляется, и наоборот), с периодом колебаний 2—3 минуты. Изменения же диаметра всего стебля в целом подобны бегущей волне и отдаленно напоминают перистальтические движения кишечника [5] или стенок кровеносных сосудов [6]. Промежуточными двигателями восходящего водного тока являются паренхимные клетки стебля с пульсирующим объемом. Отметим, что из паренхимных клеток ряда растений выделены актомиозинподобные и актиноподобные белки [7—9], с которыми непосредственно и связаны сокращения клеток. При воздействии веществ, блокирующих работу сократительных белков (2,4 динитрофенол, карбонилцианид—3-хлорфенилгидразон) или нарушающих проницаемость мембран (пипольфен, абсцизовая кислота) колебания объема паренхимных клеток затухают [10].

Необходимо понять механизм колебаний живых клеток. Предлагаемая гипотеза использует уникальное свойство воды — исключительно высокую реакционную способность ее молекул. Как подчеркивал В. И. Вернадский, нет такого вещества, которое бы могло «сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов. Нет земного вещества — минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не вклю-

чало. Все земное вещество под влиянием свойственных воде частичных сил, ее парообразного состояния, ее вездесущности в верхней части планеты — ею проникнуто и охвачено».

Способность воды гидратировать использовал Д. И. Менделеев при создании химической теории растворов [11]. И. А. Каблуков показал [12], что электролитическая диссоциация, разработанная С. Аррениусом [13] — это результат взаимодействия молекул электролита с молекулами воды. Для клеточных процессов, в частности для поддержания гомеостаза клетки, важное значение имеет состояние ионов натрия и калия. О. Я. Самойлов предложил характеризовать гидратацию ионов не гидратными числами, а частотой обмена ближайших к ионам молекул воды: если ион обменивает ближайшие к нему молекулы воды реже, чем молекула воды обменивает своих соседей, то это ионы с «положительной гидратацией». Если — чаще, то гидратация «отрицательная» и предложил методики для определения этих характеристик. Оказалось, что ионы натрия имеют «положительную» гидратацию, а ионы калия — «отрицательную» [14]. Можно полагать, что в присутствии ионов калия способность молекул воды гидратировать будет усиливаться (так как их связи чаще рвутся), а в присутствии ионов натрия — ослабевать.

Пульсирующее изменение гидратации цитоскелета в целом или отдельных его участков — это фон на котором разворачиваются все основные клеточные процессы. Гидратация больших молекул — белков и ДНК — это древнейший процесс, характерный как для растений так и для животных. Схематически для белковых молекул запишем:

Белковая молекул + молекулы воды = гидрат белковой молекулы; $\Delta H, \Delta S$

Гидратация идет с выделением тепла и уменьшением энтропии. Запишем изменение потенциала Гиббса:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Здесь ΔH изменение энтальпии, величина отрицательная, ΔS изменение энтропии также отрицательная величина. Гидратация больших молекул практически не изучена. Но можно утверждать, что до определенной температуры $\Delta G < 0$ и гидратация идет самопроизвольно. Смена гидратации на дегидратацию происходит, по видимому, в районе 40 — 44°C. На это указывает и известный опыт А. А. Ухтомского, когда мышечное волокно, помещенное в нагреваемую воду, сокращается при 44°C [15]. Локально в клетке эта температура достигается с помощью гидролиза АТФ.

Периодическое усиление и ослабление гидратации белковых молекул цитоскелета лежит в основе пульсации клетки. Вместе с тем это механизм перехода теплоты в работу.

Чтобы высказать гипотезу достаточно иметь результаты по метаболической составляющей поднятия воды к листьям, но чтобы доказать ее нужен эксперимент более высокого уровня. Примером такого эксперимента служит работа [16]. Для изучения родопсина — белка, который переходит в активное состояние при воздействии света, было применено сочетание двух методов: вначале воздействовали на родопсин рентгеновским излучением. Молекулы воды при этом превращались в гидроксильные радикалы, которые химически модифицировали находящиеся рядом аминокислоты белка. Затем на масс-спектрометре определяли эти химические модификации. Было обнаружено, что активация светом изменяет положение молекул воды в белке — изменяет гидратацию белка.

Рассмотрим механизм пульсации клетки как механизм поддержания ее гомеостаза [17]. В клетке находятся отрицательно гидратированные ионы калия — вне клетки положительно гидратированные ионы натрия. Поддержание такого равновесия важная составная часть гомеостаза. Гидратация белков цитоскелета при нормальной температуре — процесс самопроизвольный. Увеличение длины белковых молекул цитоскелета увеличивает объем клетки, и это понижает давление в клетке. Возникает градиент давлений, под воздействием которого в клетку поступают молекулы воды, питательные вещества, кислород и ионы натрия. Ионы натрия к тому же подгоняются градиентами концентраций ионов натрия и потенциала (внутри клетки заряд отрицательный). Накопление ионов натрия нарушает гомеостаз клетки. Восстановление исходного состояния осуществляется во второй фазе пульсаций — фазе сжатия. К теплоте гидратации присоединяется теплота гидролиза АТФ, так как с появлением ионов натрия активируется фермент натриевая АТФ-аза и запускается гидролиз АТФ. Теплота, выделяемая этими реакциями локально повышают температуру до значений, при которых гидратацию сменяет дегидратация и равновесие сил сдвигается в сторону сил сжатия. Клетка сжимается, ионы натрия выдавливаются из нее вместе с избытком молекул воды и продуктами метаболизма. Именно градиент давлений, который возникает благодаря энергии АТФ, выводит ионы натрия из клетки против градиентов концентраций и отрицательного заряда в клетке. В этом заключается механизм действия натриевого насоса. **Кроме того, еще раз подчеркнем, что это механизм превращения тепловой энергии в механическую.**

Пульсации важнейший атрибут клеток. Нормальная жизнь клетки во многом зависит от пульсаций, а следовательно от правильной работы мембранных каналов. Через каналы, образованными транспортными белками, погруженными в мембрану, проходят в клетку многие ионы, сахара, аминокислоты и нуклеотиды. Показано, что каналы спонтанно и с высокой частотой меняют свое состояние от открытого к закрытому. Белки, таким образом, являются динамичными, очень подвижными структурами, а канал, проходящий через белок, не просто жесткая, наполненная водой трубка, но лабиринт быстро двигающихся молекулярных групп и зарядов [6].

Даже на примере механизмов пульсации клетки и работы мембранных каналов можно видеть уязвимость живого организма, будь то растение или животное. Одна из серьезных глобальных экологических проблем заключается в возрастающем загрязнении окружающей среды. Это относится и к атмосфере и к гидросфере и к почвам. Последствия появления в живом организме чужеродных молекул могут быть самые печальные. Это усиливает значимость науки экологии и требует самого пристального внимания к задачам, которые она ставит.

Литература

1. Жолкевич В. Н. Транспорт воды в растении и его эндогенная регуляция. М., Наука, 2001.
2. Можяева А. В., Пильщикова Н. В. О природе процесса нагнетания воды корнями растений. Изв. ТСХА, 1972, №3. С. 3—15.
3. Зялалов А. А. Физиолого-термодинамический аспект транспорта воды по растению. М., Наука, 1984. 135с.
4. Зялалов А. А. Состояние воды и автокорреляционный анализ объемных колебаний стебля по межаузлиям// Докл. АН СССР, 1981. Т. 256. №1. С. 247—250.
5. Лебедев Н. Н. Биоритмы пищеварительной системы М: Медицина, 1987, 256 с.
6. Физиология человека. Т3. Кровь, кровообращение. Дыхание/Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса — М., Мир, 1976. 560с.
7. Можяева А. В., Бульчева Е. М. Свойства сократительного белка, выделенного из корней тыквы// Изв. ТСХА, 1971. №2. С. 3—9.
8. Жолкевич В. Н., Синицына З. Ф., Пейсахзон Б. И. О природе корневого давления// Физиология растений, 1979. №5. С. 978—993.
9. Абуталыбов В. Ф., Жолкевич В. Н. Выделение актомиозиноподобного белка из корней подсолнечника// Докл. АН СССР, 1982. №5. С. 275—277.
10. Glinka Z. Abscisic acid effect on root exudation related to increased permeability to water// Plant Physiol. 1973, V. 51, №1. P. 217—219.
11. Менделеев Д. И. Растворы М., Л., Изд-во АН СССР, 1959.
12. Каблуков И. А. //ЖРФХО, ч. Хим., 1901. 23: 388.
13. Arrhenius S. // Ztschr. Phys. Chem., 1887. V. 1: 631.
14. Самойлов О. Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР, 1957.
15. Ухтомский А. А. Собрание сочинений. Л., ЛГУ, 1952. Т. 3.
16. Angel T., Gupta S. J. // Proc. of Nat. Acad. Of Sciences 34, 1467, 2009.
17. Яшкичев В. И. Вода и мы. — М.: РИЦ МГТУ им. М. А. Шолохова, 2012.

Сведения об авторе

Яшкичев Владимир Иванович — доктор химических наук, профессор кафедры естествознания МГТУ им. М. А. Шолохова