

Н. В. СЕДЫХ

**О НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВОДЫ
В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 1 VII 1970)

Важнейшим звеном в молекулярном механизме водообмена растений являются структурные особенности и аномалии физических свойств внутриклеточной воды. Было показано, что состояние воды существенно влияет на ход физиологических процессов в растении и имеет важное значение для функционирования биологических структур^(1, 2). Определенные разногласия в вопросе о структуре внутриклеточной воды объясняются тем, что наиболее прямые методы изучения ее состояния в растительных тканях (и.к. спектроскопия, дифракция рентгеновских лучей) не использовались.

Измерения и.к. спектров в области 600 см^{-1} — 4000 см^{-1} проводились на спектрофотометре UR-10 при температурах $14 \pm 0,5$ и $24 \pm 0,5^\circ$. Время записи спектра 1—3 мин. Измерялись ткани русских бобов, выращенных в течение 15—20 дней на полной питательной смеси при освещении 8000 лк в лабораторных условиях. Также измерялись ткани луковички репчатого лука сорта «Каба». Обводненность исследуемых тканей определялась методом сушки. Точность регистрации полосы поглощения $\pm 10\text{ см}^{-1}$, повторность 5-кратная.

В инфракрасном спектре ткани одновременно отражаются в той или иной степени колебания всех молекул, из которых она состоит. Однако самая интенсивная валентная полоса внутриклеточной воды и значительное количественное преобладание молекул воды полностью перекрывают слабые полосы от колебаний других молекул. В этом нетрудно убедиться по и.к. спектру подсушенных растительных тканей.

Для исследованных тканей хорошо воспроизводится типичный для чистой воды контур полос. Как видно из и.к. спектра для ткани лука (рис. 1), воспроизводятся полосы валентных колебаний $3550\text{ см}^{-1} \div 3280\text{ см}^{-1}$, деформационных колебаний 1645 см^{-1} и часть либрационной полосы 740 см^{-1} . Детальный анализ большого числа спектров показал наличие ряда особенностей в валентных полосах поглощения тканевой воды по сравнению с водой *in vitro*. На рис. 2 приведены полосы валентных колебаний для ряда тканей.

Как видно из полученных полос, которые несколько асимметричны, валентная полоса состоит из ряда компонент. Была выделена полоса симметричного валентного колебания, по положению максимума которой ν_{\max} оценивалась энергия (H) межмолекулярной водородной связи согласно выражению⁽³⁾

$$\Delta\nu / \nu_{\max} = -\rho H / D.$$

Здесь

$$\rho / D = 0,017\text{ ккал}^{-1}; \quad \Delta\nu = \nu_{\max} - \nu_{\text{пар}}^{\text{H}_2\text{O}}; \quad \nu_{\text{пар}}^{\text{H}_2\text{O}} = 3750\text{ см}^{-1}.$$

Более точные значения H были получены из величин полуширин линий $\Delta\nu_{1/2}$ при двух различных температурах. Результаты расчета величин

$\Delta\nu_{1/2}$, максимумов валентных колебаний ν_v , первого обертона деформационных колебаний ν_d и энергий водородных связей в тканевой воде приведены в табл. 1.

Как следует из представленных в табл. 1 данных, положения максимумов симметричных валентных колебаний для разных тканей различны. Известно, что положение полосы поглощения определяется силой и массой связываемых атомов (⁴). Ввиду того что масса атомов в молекуле H_2O неизменна, сдвиг в высокочастотную область у валентной полосы внутривибрационной

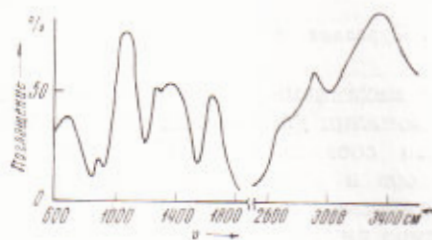


Рис. 1

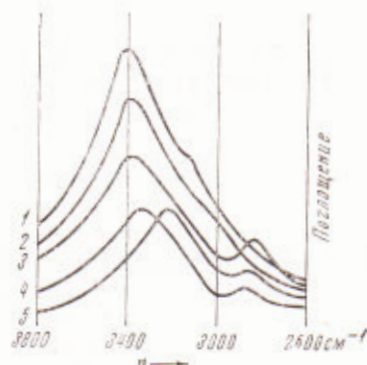


Рис. 2

Рис. 1. Инфракрасный спектр поглощения паренхимы луковицы лука обводненностью 83% от сырого веса при 24°

Рис. 2. Полосы валентных колебаний. 1 — чистой воды; 2 — клеточного сока; 3 — проводящей ткани стебля боба; 4 — эпидермиса листа боба; 5 — мезофилла листа боба

ной воды мезофилла листа боба определяется упрочнением водородных связей. Об этом же свидетельствуют и величины энергий водородных связей. Состояние воды в проводящей ткани в эпидермисе листа не отличается от воды *in vitro*, а энергии водородных связей в паренхиме лука несколько слабее, чем в чистой воде, для которых $H = 4,5$ ккал/моль. Наряду с упрочнением связей в мезофилле листа возможно и увеличение их количества. Прочность межмолекулярных водородных связей зависит от угла, под которым она образуется. Более прочные связи соответствуют молекулам, находящимся в ажурной квазикристаллической структуре. Интересно отметить, что длина сильной водородной связи равна 2,4 Å, а слабой 2,7 Å (⁵). Известно, что положение валентной полосы для льда 3200 cm^{-1} , жидкой воды при 25° 3400 cm^{-1} и водяного пара 3750 cm^{-1} . Если полостных молекул во льду 0%, а в паре 100%, то в воде мезофилла листа их должно быть около 15—20% против 31% для воды *in vitro* при 24°.

Таким образом, можно отметить повышение структурированности воды (усиление водородных связей и увеличение молекул в льдоподобном

Таблица 1

Параметры полосы валентных колебаний и энергии водородных связей тканевой воды

Вид ткани, $t = 24^\circ$	ν_v, cm^{-1}	$\Delta\nu_{1/2}, cm^{-1}$	ν_d, cm^{-1}	$H,$ ккал/моль	Обводненность, % от сырого веса
Эпидермис листа боба	3350	350	3150	4,9	74
Проводящая ткань стебля боба	3400	350	3200	4,5	86
Мезофилл листа боба (верхний ярус)	3300	450	3150	6,0	81
Паренхима луковицы лука	3500	400	3300—3940	3,7	83

каркасе) в мезофилле листа, наиболее физиологически активной растительной ткани. Обнаружено повышение структурированности воды в тканях мозга позвоночных животных и желтке куриного яйца из и.-к. спектров (⁶). Установили (⁷), что при температурах от -8° до -28° наблюдается наибольшая скорость ряда биохимических реакций. По мнению Гранта, структура воды в замерзшем состоянии, когда ее молекулы находятся в наивысшей степени взаимной упорядоченности, определяет особо благоприятные условия для взаимодействия находящихся в ней компонент. К этому следует добавить особенности биологического действия талой воды, структура которой близка к льдоподобной (⁸). Таким образом, можно считать, что увеличение структурированности тканевой воды способствует интенсификации биохимических процессов. Согласно Гуману (⁹), процесс усвоения воды организмом прежде всего определяется количеством затрачиваемой энергии. Но затраты энергии определяются работой, необходимой для приведения структуры потребляемой организмом воды до состояния, пригодного для ее дальнейшего усвоения. Поэтому вода с более высокой степенью структурированности должна усваиваться живым организмом быстрее и лучше, чем вода, структура которой менее упорядочена.

Автор благодарит Т. С. Явишеву за помощь в снятии и.-к. спектров и проф. Н. А. Гусева за обсуждение результатов.

Казанский государственный университет
им. В. И. Ульянова-Ленина

Поступило
7 VII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. М. Алексеев, Г. И. Пахомова, Физиология и биохимия культурных растений, 1, в. 1, 1969, стр. 16. ² А. И. Сидорова, Автореф. докторской диссертации, Л., 1969. ³ Н. Д. Соколов, УФН, 57, 247 (1955). ⁴ К. Наканиси, Инфракрасные спектры и строения органических соединений, М., 1965. ⁵ Н. Д. Соколов, В сборн. Водородная связь, «Наука», 1964. ⁶ А. И. Сидорова, Л. В. Моисеева, В сборн. Тепловое движение молекул и молекулярное взаимодействие в жидкостях и растворах, Самарканд, 1969. ⁷ N. H. Grant, D. E. Clark, H. E. Alburn, J. Am. Chem. Soc., 83, № 21, 4476 (1961). ⁸ А. М. Влох, Структура воды и геологические процессы, М., 1969. ⁹ А. К. Гуман, В сборн. Структура и роль воды в живом организме, Л., 1966.