

А. В. СТАРЦЕВА, Н. Н. ИШМУХАМЕТОВА

**К ВОПРОСУ О РОЛИ СОСТОЯНИЯ ВОДЫ В ИЗМЕНЕНИЯХ
СТРУКТУРНОЙ ВЯЗКОСТИ ЦИТОПЛАЗМЫ ПРИ
ОБЕЗВОЖИВАНИИ**

(Представлено академиком М. Х. Чайлазяном 16 III 1973)

В данной работе представлен материал об изменении структурной вязкости цитоплазмы субэпидермальных клеток стеблей молодых растений гороха в зависимости от степени и скорости обезвоживания. Вместе с тем, сделана попытка выявить роль в этих изменениях состояния одного из компонентов цитоплазмы воды. Обезвоживание проводилось путем подсушивания кусочков стеблей в замкнутом объеме, на открытом воздухе и в струе воздуха, пропущенного через силикагель. Структурная вязкость определялась методом центрифугирования и выражалась через ускорение, необходимое для смещения хлоропластов в 50% клеток (¹).

Оказалось, что начальное обезвоживание стеблей сопровождается очень незначительным изменением структурной вязкости (рис. 1). В этот период потеря воды стеблями происходит, очевидно, за счет выхода ее из свободного пространства с раневой поверхности. Обезвоживания цитоплазмы при этом почти не происходит, а явления плазмолиза не наблюдается. Заметное повышение структурной вязкости начинается лишь при достижении определенного водного дефицита. По мере углубления обезвоживания степень повышения структурной вязкости цитоплазмы возрастает, а при дефиците воды в 17–22% структурная вязкость достигает максимального значения (рис. 1). Дальнейшее обезвоживание приводит к снижению степени повышения структурной вязкости. Вследствие этого при глубоком обезвоживании структурная вязкость приближается к уровню исходной, а в некоторых случаях становится ниже ее. Таким образом, при подсушивании стеблей на воздухе наблюдается примерно такая же картина, какая наблюдалась нами при обезвоживании их путем погружения в гипертонические растворы сахарозы (²).

Исследования показали также, что изменение структурной вязкости цитоплазмы при обезвоживании зависит от скорости обезвоживания. Один и тот же дефицит в зависимости от быстроты его наступления может вызывать различное изменение структурной вязкости, а именно, большее — при медленном обезвоживании и меньшее — при быстром (рис. 2).

Этот факт убедительно свидетельствует о том, что изменение структурной вязкости цитоплазмы при обезвоживании зависит не только от количества оставшейся в тканях воды, но и от состояния последней (а также состояния других компонентов). В связи с этим мы попытались установить некоторые особенности изменений состояния воды при различной степени и скорости обезвоживания стеблей. Для изучения состояния воды был использован метод диэлектрических измерений на СВЧ. Применительно к стеблям метод разработан одним из авторов настоящей статьи. На основе замеров некоторых диэлектрических постоянных на СВЧ (9580 Мгц) и исключения факторов, оказывающих влияние на них (эпидермис, межклетники), метод позволяет рассчитать количество жестко связанной (гидратной) воды (²). В табл. 1 представлены данные, характеризующие изменение диэлектрической постоянной (д.п.) количества связанной воды и коэффициента формы частиц в зависимости от глубины обезвоживания. Были взяты две степени обезвоживания. В одном случае

ткани испытывали такое обезвоживание, при котором структурная вязкость цитоплазмы находится на уровне, близком к максимальному, во-втором — обезвоживание, при котором имеет место спад степени повышения структурной вязкости.

В табл. 2 показаны изменения тех же показателей в зависимости от скорости обезвоживания.

В этом случае обезвоживание было сравнительно слабым и лежало в тех пределах, когда углубление обезвоживания сопровождается прогрессирующим увеличением структурной вязкости цитоплазмы.

Приведенные в табл. 1, 2 данные позволяют сделать следующие выводы. 1) Характер изменений связанной воды в молодых стеблях гороха

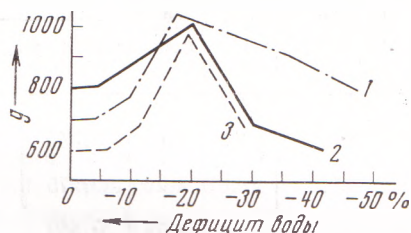


Рис. 1. Изменение структурной вязкости (g) цитоплазмы в зависимости от степени обезвоживания. 1 — 3 — результаты трех опытов

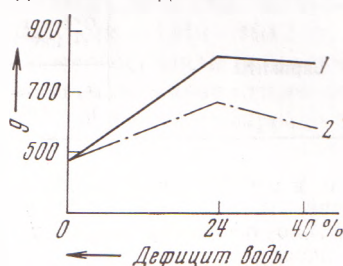


Рис. 2. Изменение структурной вязкости при медленном (1) и быстром (2) обезвоживании

при обезвоживании зависит от глубины обезвоживания. Умеренное обезвоживание приводит к повышению количества связанной воды в стеблях, сильное обезвоживание — к снижению его. 2) Один и тот же дефицит воды в зависимости от скорости наступления вызывает различные по направленности изменения связанной воды. Медленное обезвоживание сопровождается накоплением связанной воды в стеблях. При быстром обезвоживании стебля имеет место тенденция к уменьшению связанной воды. Повышение количества связанной воды при слабом медленном обезвоживании обусловлено, очевидно, конформационными изменениями, приводящими к некоторому повышению асимметрии макромолекул (табл. 2), а следовательно, к повышению упорядочивающего действия последних на воду. Эти изменения, несомненно, вносят определенный вклад в повышение структурной вязкости при медленном обезвоживании (рис. 2). То же самое имеет место при умеренном обезвоживании (рис. 1, табл. 1).

Быстрое обезвоживание, несмотря на то, что было слабым, оказывает примерно такое же действие, как глубокое. Последнее сопровождается резким сворачиванием макромолекул и снижением упорядочивающего действия их на воду (табл. 1). Эти изменения должны способствовать снижению структурной вязкости цитоплазмы.

Таблица 1

Изменение д. п., коэффициента формы и количества связанной воды в зависимости от степени обезвоживания

Варианты	Общее содержание воды		Дефицит воды на 1 г сухого веса, %	Д. п.	Коэффициент формы	Количество связанной воды	
	% от сырого веса	г на 1 г сухого веса				г на 1 г сухого веса	% от общего количества
1. Ткани в исходном состоянии	95,0	19,0	0	54,6	2,24	0,515	2,7
2. Умеренно обезвоженные ткани	93,5	14,3	25	52,5	2,12	0,540	3,9
3. Глубоко обезвоженные ткани	91,0	10,1	47	54,5	1,5	0,215	2,1

Таким образом, наблюдаемые при обезвоживании изменения связанной воды, равно как конформационные изменения макромолекул, гидратно связывающие воду, могут играть определенную роль в изменениях структурной вязкости цитоплазмы.

В области СВЧ релаксируют только часть молекул свободной воды. Однако любое изменение д. п. тканей должно отражать изменения находящейся в них свободной жидкой воды. Данные табл. 1 и 2 показывают, что

Таблица 2

Изменение д. п. стеблей, коэффициента формы, связанной воды в зависимости от скорости обезвоживания

Варианты	Общее содержание воды		Дефицит воды на 1 г сухого веса, %	Д. п.	Коэффициент формы	Количество связанной воды	
	% от сырого веса	г на 1 г сухого веса				г на 1 г сухого веса	% от общего количества
1. Ткани в исходном состоянии	94,0	15,7	0,0	53,0	2,08	0,545	3,4
2. Медленно обезвоженные ткани	93,0	13,3	15,7	51,0	2,26	0,575	4,3
3. Быстро обезвоженные ткани	93,0	13,3	15,7	53,7	1,74	0,540	4,0

д. п. стеблей при различных условиях обезвоживания меняется неодинаково. Особый интерес представляет изменение д. п. в равной степени, но с различной скоростью обезвоженных стеблей. При медленном обезвоживании стеблей имеет место довольно значительное снижение д. ц. — при быстром — повышение д. п. (табл. 2). Было высказано предположение (3), что в диэлектрической релаксации принимают участие только молекулы воды с одной водородной связью. Если это так, то снижение д. п. стеблей при медленном обезвоживании свидетельствует об уменьшении в них доли молекул воды с одной водородной связью, т. е. о большей упорядоченности структуры свободной воды. Повышение д. п. при быстром обезвоживании, наоборот, говорит об увеличении доли молекул воды с одной водородной связью и, следовательно, о некотором разупорядочивании структуры свободной воды. Эти изменения можно попытаться объяснить. При любом обезвоживании тканей прежде всего теряется наиболее подвижная вода, т. е. вода с меньшим количеством Н-связей. При этом структурированность оставшейся воды повышается. Именно это и происходит, по-видимому, при медленно идущем слабом (и умеренном) обезвоживании. В случае быстрого обезвоживания дело может обстоять иначе: возникает сильное поступательное (однонаправленное) движение воды, действующее, по-видимому, аналогично усиливающемуся тепловому движению молекул, т. е. «размывающее» структуру воды. Изменения структуры свободной воды должны, естественно, вносить свой вклад в изменения структурной вязкости цитоплазмы. В случае медленного обезвоживания они способствуют повышению ее, в случае быстрого обезвоживания — снижению. Возможно, что меньшее повышение структурной вязкости при быстром обезвоживании (рис. 2) связано в какой-то мере с разупорядочиванием структуры свободной воды. Таким образом, имеются основания полагать, что в изменениях структурной вязкости цитоплазмы при обезвоживании определенную роль играют и изменения структурированности свободной воды.

Казанский биологический институт
Академии наук СССР

Поступило
8 I 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. С. Баславская, О. М. Трубецкова, Практикум по физиологии растений, М., 1964. ² А. В. Старцева, Ю. Н. Шкляев, ДАН, 193, № 1, 239 (1970); 200, № 4, 996. ³ Н. В. Чекали, М. И. Шахпаронов, Структурная химия, 9, № 5, 896 (1968).