

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Л. И. СЕРГЕЕВ и К. А. СЕРГЕЕВА

**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ И ОРТО-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ  
НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОТОПЛАЗМЫ РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом 1 II 1939)

В сводной работе А. И. Потапова<sup>(2)</sup>, а также в работах главным образом американских и английских авторов указывается на токсичность иона алюминия, который в избытке содержат почвы субтропиков и тропических стран. На территории СССР такие почвы имеются в районах Закавказья, где возделываются ценнейшие культуры: чайный куст, цитрусовые, тунг и др.

Опыты показали, что при внесении сверхдоз суперфосфата или других видов фосфорнокислых удобрений удавалось подавлять токсический эффект иона алюминия. Особенно показательны в этом отношении работы А. И. Потапова<sup>(3)</sup>, получившего увеличение урожая различных культур и в том числе чайного куста в десять и большее число раз.

В связи с этими опытами вопрос о характере взаимодействия ионов алюминия и орто-фосфорной кислоты, с одной стороны, и указанных ионов и растения, с другой, — представляет несомненный интерес. Поэтому один из авторов этой статьи приступил к исследованию указанного вопроса в лаборатории А. И. Потапова в Кинельском с.-хоз. институте (1933 г.).

С самого же начала пришлось оставить предположение об осаждении активного алюминия\* растворами орто-фосфорной кислоты, так как осадок при получении смеси из указанных растворов не появлялся. Также оказалось неверным и предположение о значительном понижении активности иона алюминия по тем или иным физико-химическим причинам. Измерения удельной электропроводности показали, что «смесь»  $[Al_2(SO_4)_3 + H_3PO_4]$  имела электропроводность, примерно равную сумме электропроводностей ионов химических компонентов смеси.

Таким образом оставалось только одно предположение: подавление токсичности иона алюминия и орто-фосфорной кислоты есть результат физиологического антагонизма между ними.

Наши опыты подтвердили это предположение. Физиологический антагонизм между указанными ионами был установлен по величине надземных частей проростков, накоплению сухого вещества, а также и по количеству проросших зерновок при проведении опытов по проращиванию семян культурных злаков в приборах Бухингера. Все эти показатели по варианту опыта со смесью (раствор соли алюминия и орто-фосфорной кислоты) занимают, примерно, среднее положение в сравнении с теми же показателями по растворам соли алюминия и орто-фосфорной кислоты отдельно

\* Алюминий был взят для опытов в виде растворов сернокислой или хлористой соли.

(<sup>4,5</sup>). В этой статье мы демонстрируем антагонизм иона алюминия и орто-фосфорной кислоты лишь на фотографии (фиг. 1).

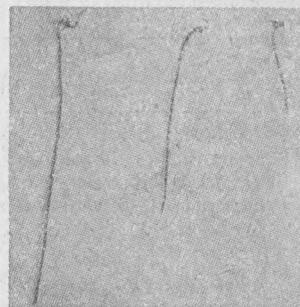
Сущность этого антагонизма угадывалась нами в характере воздействия иона алюминия и орто-фосфорной кислоты на биологические свойства протоплазмы клеток растительного организма. Ниже мы приводим некоторые данные, полученные авторами статьи в течение 1936—1937 гг.

**Динамика вязкости протоплазмы.** Метод определения вязкости протоплазмы по времени и форме плазмолиза, разработанный акад. Холодным (<sup>6</sup>) и Вебером (<sup>7</sup>), позволил установить характер влияния изучаемых ионов на внутреннее трение протоплазмы. Для этого срезы эпидермиса мясистых чешуй луковичь антоциансодержащего лука помещались на 24 часа в растворы солей алюминия (от 0.001 до 0.01 моля) и орто-фосфорной кислоты (рН=2.8—3.2). Контроль—срезы в дистиллированной воде (рН=5.8—6.0). Установление преобладающей формы плазмолиза\* в этих срезах показало, что ион алюминия повышает вязкость протоплазмы (вогнутая или даже конвульсивная форма плазмолиза), а орто-фосфорная кислота, наоборот, довольно резко снижает этот показатель (выпуклая форма плазмолиза). Результаты указанного исследования подтверждаются фиг. 2, 3, 4, показывающими преобладающую форму плазмолиза в течение 20—30 минут после начала плазмолиза.

**Динамика проницаемости протоплазмы.** Противоположным оказался и эффект изменения проницаемости протоплазмы под влиянием тех же ионов. Опыт по влиянию ионов алюминия и ортофосфорной кислоты мы провели методом электрометрического учета экзоосмирующих электролитов из живых тканей растения в дистиллированную воду. Для этого надземные части проростков пшеницы, выращенной на растворах соли алюминия и орто-фосфорной кислоты (контроль—проростки с дистиллированной водой) погружались в равных весовых количествах в пробирки (предварительно выщелоченные паром) с равными объемами дистиллированной воды на 24 часа при температуре в 10° (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что максимальный показатель получен для проростков с орто-фосфорной кислоты, а минимальный—для проростков с раствора сернокислого алюминия. Показатели проростков с дистиллированной воды и со «смеси» являются средними между ними.

Таким образом проницаемость протоплазмы от орто-фосфорной кислоты повышается, а от иона алюминия понижается.



Фиг. 1.—10 дневные проростки яровой пшеницы 341. 1) Проросток с раствора сернокислого алюминия, 2) с «смеси»  $[Al_2(SO_4)_3 + H_3PO_4]$  и 3) с раствора орто-фосфорной кислоты.

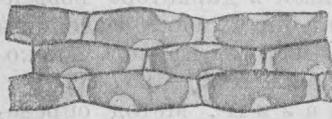
Таблица 1

Удельная электропроводность ( $K \times 10^{-10}$ ) дистиллированной воды после экзоосмоса электролитов из десятидневных проростков пшениц (среднее из трех)

Вариант опыта	Удельная электропроводность
Контроль (дистиллированная вода, рН=6.2) . . . . .	454
0.005 моля $Al_2(SO_4)_3$ (рН=3.9) . . . . .	327
Раствор орто-фосфорной кислоты (рН=5.3) . . . . .	727
«Смесь» $[Al_2(SO_4)_3 + H_3PO_4]$ (рН=3.9) . . . . .	631

\* Плазмолитик—1.0 моля сахаразы, а также 0.5—1.0 моля  $NaCl$  или  $Na_2SO_4$ .

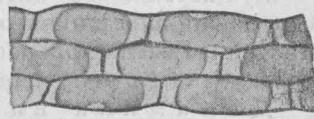
Динамика водоудерживающей способности. Изменения вязкости и проницаемости протоплазмы тесно связаны с дина-



Фиг. 2.—Срез из aqua destillata (контроль).



Фиг. 3.—Срез из раствора сернокислого алюминия.



Фиг. 4.—Срез из раствора орто-фосфорной кислоты.

микой коллоиднохимических процессов в протоплазме (6). Это подтверждается нашими данными по водоудерживающей способности (метод Ничипоровича) и по процентному содержанию воды в живых тканях, полученными на тех же растениях (табл. 2 и фиг. 5).

Таблица 2  
Содержание воды в живых тканях проростков озимой пшеницы в % от общего веса (среднее из четырех)

Вариант опыта	% воды от общего веса
Контроль (дистиллированная вода, pH=6.1)	88.5
Раствор сернокислого алюминия (pH=3.8)	85.3
Раствор орто-фосфорной кислоты (pH=2.8)	89.6

Из табл. 2 и фиг. 5 видно, что повышение вязкости и падение проницаемости протоплазмы от иона алюминия шли параллельно с уменьшением процентного содержания воды в тканях и увеличением их водоудерживающей способности. Наоборот, орто-фосфорная кислота обусловила повышение процентного содержания воды в тканях проростков и понижение их водоудерживающей способности.



Фиг. 5.—Водоотдача от общего содержания воды в проростках.

Имеются также данные об изменении знака или величины электрического заряда клеточного сока. Эти изменения мы констатировали при проведении специальных опытов по электрофорезу.

Таким образом сущность антагонизма иона алюминия и орто-фосфорной кислоты по нашим исследованиям сводится к диаметрально-противоположному влиянию указанных ионов на биологические свойства протоплазмы растений: вязкость, проницаемость, водоудерживающую способность и др. Динамика этих свойств протоплазмы определяет интенсивность физиологических процессов и степень устойчивости растительного организма к обезвоживающим воздействиям среды.

Кафедра ботаники.  
Балашовский учительский институт.

Поступило  
1 II 1939.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Buchinger, Fortschr. d. Landwirts., N. 6 (1927). <sup>2</sup> А. И. Потапов, Основы удобрения субтропических почв под чайную культуру (1932). <sup>3</sup> А. И. Потапов, ДАН, II, № 5 (1934). <sup>4</sup> Л. И. Сергеев, ДАН, I, № 7—8 (1935). <sup>5</sup> Л. И. Сергеев, Тр. комис. по ирриг. Заволжья Акад. Наук СССР, в. 8 (1936). <sup>6</sup> Л. И. Сергеев, Изв. Акад. Наук СССР, № 4 (1936). <sup>7</sup> Strüger, Practicum der Zell- und Gewebephysiologie der Pflanzen (1935). <sup>8</sup> Szücs, Jahrb. f. wiss. Bot., 52 (1913). <sup>9</sup> Cholodny u. Sankewitsch, Protoplasma, 20 (1933).