

Э. Л. КЛИМАШЕВСКИЙ, Ю. А. МАРКОВА, А. С. МАЛЫШЕВА

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ Al^{3+} В КЛЕТКАХ КОРНЕЙ ГОРОХА

(Представлено академиком М. Х. Чайлахяном 26 I 1971)

Установлено (¹⁻³), что поглотительная активность корней неодинаково устойчивых к токсичности Al-ионов сортов растений, ростовые и основные метаболические процессы у них существенно различаются. Значительная часть поглощенного растениями фосфора прочно фиксируется Al^{3+} на поверхности корней (⁴). Внутри клеток корня нарушение метаболизма фосфора в результате токсического действия алюминия приводит к подавлению включения фосфора в органические соединения (⁵), в том числе более чем на 50% в гексозофосфаты, особенно Г-6-Ф (⁶), который является ключевым метаболитом в процессе дыхания. Алюминий ингибирует в корнях синтез генетической ДНК, в то время как синтез низкомолекулярных форм ДНК мало зависит от наличия Al^{3+} в растворе (⁷). АТФазная и фосфатазная активность клеток корней сильно подавлена (³). Устойчивость генотипа к низкому рН и Al^{3+} обусловлена не столько репарационными процессами, сколько компенсаторными механизмами, позволяющими растению противостоять развитию нарушения физиологических функций (^{3, 5}).

Знание мест локализации алюминия в корнях растения является существенным моментом в объяснении генотипической специфики токсического эффекта. Исследования в этом направлении отсутствуют. Поэтому данная работа была предпринята с целью выяснения возможной концентрации алюминия в клетках корней сортов гороха, контрастно к нему чувствительных.

Растения гороха (сорт Успех, устойчивый, и Тулунский зеленый, чувствительный) выращивали в условиях искусственного освещения при температуре 20—23°. Пророщенные на воде семена переносили на питательные растворы: смесь Кнопа 1/4 концентрации от полной нормы (контроль) либо на такую же смесь +10,0 мг/л Al в виде $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Смена растворов через каждые 24 час. Повторность в опытах трехкратная. Корни 15-дневных растений фиксировали по Карнуа и Бродскому (⁸). В целях предотвращения вымывания поглощенного корнями алюминия рН фиксатора доводили до 4,0. Препараты окрашивали алюминием (⁹). Клеточные структуры корней 15-дневных растений выделяли по следующему методу: митохондрии — по Машанскому с соавторами (¹⁰), клеточные стенки — по Сяляеву (¹¹), ядра — по Дмитриевой (¹²). Алюминий определяли спектрофотометрически по (¹³) с помощью 8-гидроксихинолина.

Гистохимическим анализом выяснена следующая картина распределения алюминия в тканях корней: 1) наибольшая локализация его отмечена в меристематической зоне (рис. 1А) и наименьшая — в зоне растяжения; 2) в клеточных стенках и, особенно, в ядрах клеток (рис. 1Б) концентрация алюминия максимальная; 3) в клетках корневого чехлика алюминий концентрируется главным образом в ядрах; 4) в зонах, расположенных выше корневого чехлика, алюминий интенсивно осаждался в клеточных оболочках, в поверхностных клетках корня (рис. 1В) и в ядрах клеток коры; 5) распределение алюминия в коре было весьма нерав-

номерным. Протоплазма клеток коры практически не окрашивалась алюминием, тогда как ядра ее показали четкую локализацию в них алюминия (интенсивность окраски снижалась в ядрах, расположенных ближе к центральному цилиндру); б) меристематически активные клетки зоны формирования боковых корней, расположенные на границе с эндодермой, также весьма активно фиксировали Al-ионы (рис. 1Г).

В условиях данной концентрации Al^{3+} в растворе (10 мг/л) видимых различий в локализации алюминия в клетках корней у устойчивого и чувствительного сортов гороха не обнаружено. Поэтому в дальнейшей работе

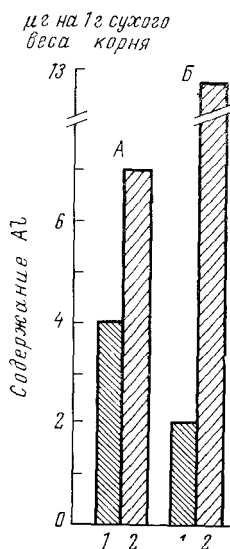


Рис. 2

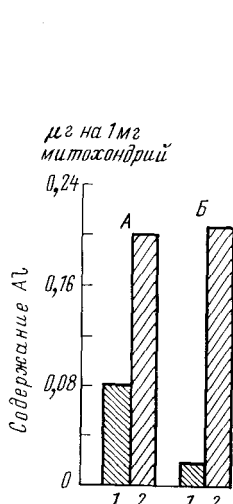


Рис. 3

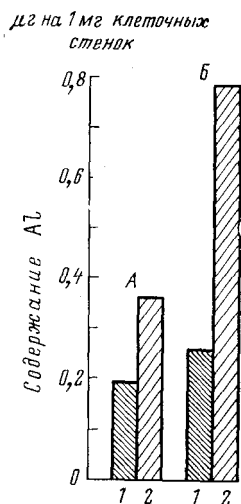


Рис. 4

Рис. 2. Влияние токсической дозы Al^{3+} в питательном растворе на поглощение корнями алюминия. Сорта: А — Успех, Б — Тулунский зеленый. 1 — без Al, 2 — с Al

Рис. 3. Действие Al-ионов на накопление алюминия в митохондриях корней. Обозначения те же, что и на рис. 2

Рис. 4. Влияние Al-ионов на локализацию алюминия во фракции клеточных стенок корней. Обозначения те же, что и на рис. 2

локализацию алюминия в тканях корней и в некоторых клеточных структурах корня определяли химическим методом.

Уже первыми опытами было показано, что количество локализованного алюминия, например в митохондриях корней гороха, у разных по степени устойчивости к Al-ионам генотипов весьма неодинаково. Так, у чувствительного сорта накопление алюминия (из расчета на сухой вес) составило 0,047 μg на 1 мг митохондрий (+170,0% по сравнению с контролем), тогда как у устойчивого сорта 0,010 μg (+115,0%).

Определением общего содержания алюминия в тканях корней (среднее из четырех опытов) установлено, что количество поглощенного алюминия в корнях опытных растений (за счет внесения его в раствор) по сравнению с контролем у устойчивого сорта гороха равно 2,53 μg (+163,0%), в корнях сорта чувствительного 10,55 μg (+600,0%) (рис. 2). Количество накопленного алюминия в митохондриях корней сорта Успех (на сухой вес фракции) составило 0,124 μg (+251,2%), в митохондриях сорта Тулунский зеленый 0,184 μg (+1068,4%) (рис. 3).

Количество локализованного алюминия во фракции клеточных стенок показано на рис. 4. Как видно, у устойчивого сорта содержание Al (на 1 мг сухого веса) на вариантах контроль — опыт равно 0,198—0,359 μg ; у ра-

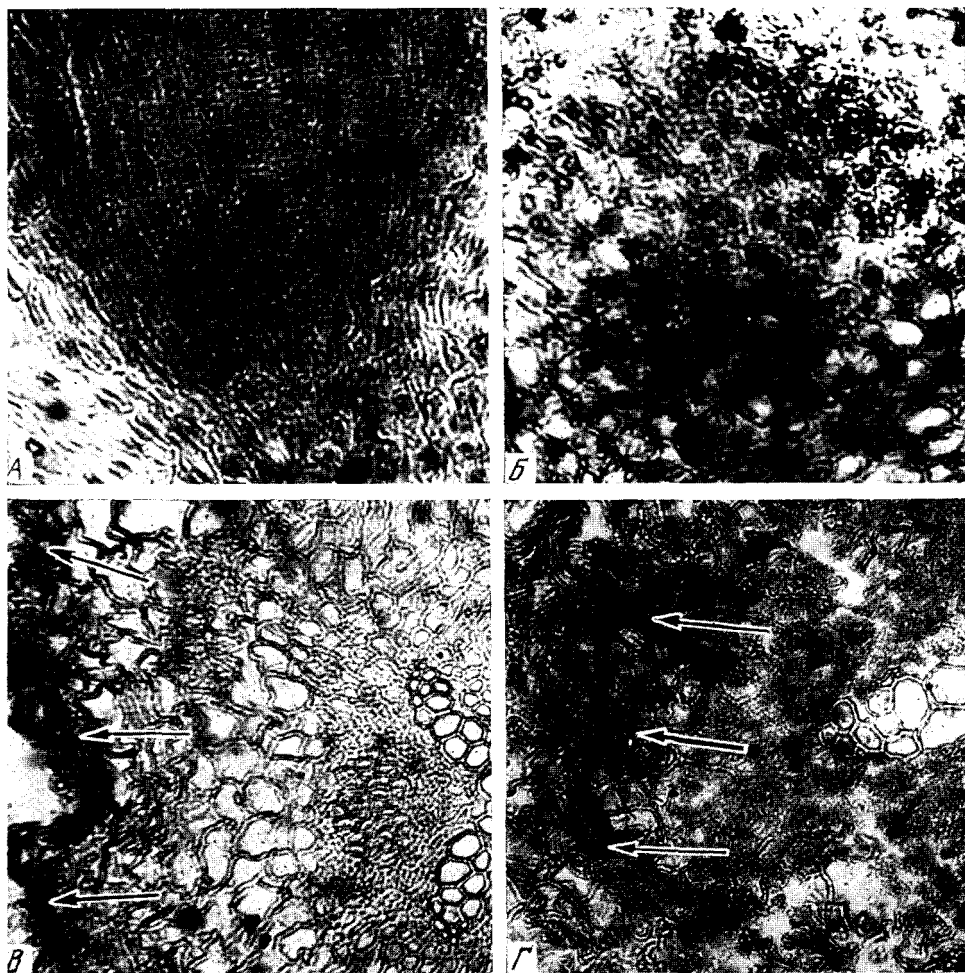


Рис. 1. Распределение алюминия в тканях корней гороха, сорт Тулунский зеленый. А — темная часть среза: локализация Al^{3+} в меристематической зоне, внизу — корневой чехлик; Б — в нижней части среза — концентрация Al^{3+} в ядрах; В — осажденный Al^{3+} на поверхности корня и в клеточных стенках (показано стрелками); Г — локализация Al^{3+} в меристематически активных клетках зоны формирования боковых корней (показано стрелками)

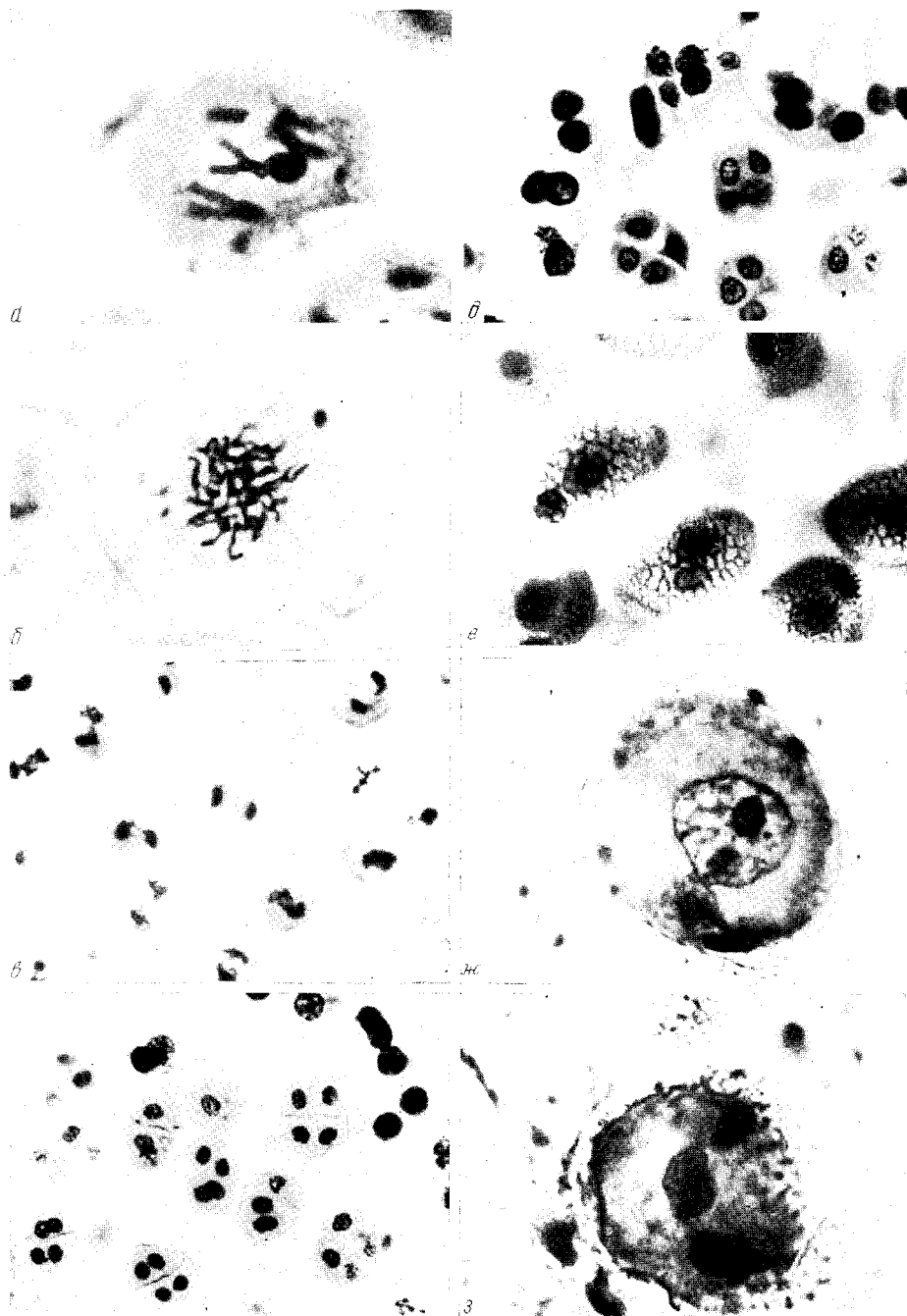


Рис. 1. Микроспорогенез у *Lilium candidum* L. in vitro. Эксплантация в ранней лептосме: *a* — биваленты с пониженным числом хиазм, 630 ×; *b* — отсутствие коъюгации, MI, 630 ×; *c* — деспирализация хромосом, AI, 350 ×; *d* — тетрады с редуцированной каллозной оболочкой, 350 ×. Эксплантация в зиготе: *e* — правильные тетрады, 350 ×. Эксплантация на стадии одноклеточных микроспор с заметной оболочкой: *f* — двухклеточные пыльцевые зерна, 350 ×; *g* — два вегетативных ядра и генеративная клетка, 630 ×; *h* — две генеративных клетки и генеративное ядро, 630 ×

стений чувствительного сорта соответственно 0,268—0,778 мкг. Следовательно, количество поглощенного алюминия фракцией клеточных стенок у сорта Успех составило 0,161 мкг (+181,3%), у сорта Тулузский зеленый 0,520 мкг (+301,5%).

Следует отметить и то, что генотип, чувствительный к алюминиевой токсичности, содержит в тканях корней (рис. 2) в контрольном варианте алюминия меньше, но поглощает его в условиях вредно действующих доз Al^{3+} значительно больше, чем растения устойчивого генотипа. Алюминий, адсорбированный клеточными стенками, может быстро «блокировать» их активные центры, существенно нарушая ионный обмен⁽¹¹⁾, поглощение элементов питания⁽²⁾, угнетать активный перенос. Возможно, что различия в свойствах (например, ионообменных) и в структуре пекто-целлюлозных мембран корней разных по степени чувствительности к алюминиевой токсичности сортов растений, в большой мере определяют генотипическую специфику устойчивости к Al -ионам.

Приведенные данные о локализации поглощенного алюминия в некоторых клеточных структурах клетки и зонах корня гороха свидетельствуют также о том, что внутри клетки может быть, по-видимому, два основных участка ингибирующего действия Al -ионов; ядро и митохондрии, где, вероятно, и начинается нарушение метаболических процессов растений. Можно допустить, что у устойчивых к Al^{3+} форм растений существуют механизмы, препятствующие продвижению алюминия к месту его основного действия, либо механизмы, не допускающие алюминий в клетку в концентрациях, способных вызвать нарушения процессов, ответственных за рост и нормальный ход биохимических и физиологических реакций.

Нашими и другими ранее выполненными исследованиями установлено, что катионнообменная способность корней растений кукурузы⁽¹⁾ и ячменя⁽¹²⁾ имеет прямую связь с устойчивостью генотипа к Al -ионам. Осаждение значительного количества алюминия на поверхности корня⁽⁴⁾, происходящее в результате влияния гидроксильных ионов, у устойчивых форм растений протекает, по-видимому, так быстро оттого, что здесь локализуется большая часть токсически действующего алюминия.

Сибирский институт физиологии
и биохимии растений
Сибирского отделения Академии наук СССР
Иркутск

Поступило
20 V 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. Л. Климашевский, *Агрохимия*, № 4, 98 (1966). ² Э. Л. Климашевский и др., *Информ. бюлл. Коорд. Совета по физиол. и биохим. раст.*, Иркутск, в. 5, 74 (1969); в. 6, 74 (1970); в. 7, 41 (1970). ³ Э. Л. Климашевский, Ю. А. Маркова и др., *Физиол. раст.*, 17, в. 3, 458 (1970); E. L. Klimashevsky, *Agrochimica*, 14, 232, (1970). ⁴ D. T. Clarkson, *Plant and Soil*, 27, 347 (1967). ⁵ Э. Л. Климашевский, Ю. Н. Журавлев, З. С. Попова, *Физиол. раст.*, 15, в. 2, 343 (1968); Э. Л. Климашевский, Ю. А. Маркова, И. Л. Бернацкая, *Растениеведни науки (Болг.)*, 7, № 2, 3 (1970). ⁶ D. T. Clarkson, *Ecol. Aspects Mineral Nutr. of Plants*, Oxford, 1969, p. 390. ⁷ M. Sampson et al., *Science*, 148, 1476 (1965). ⁸ З. А. Паушева, *Практикум по цитологии растений*, М., 1970. ⁹ Э. Пирс, *Гистохимия*, ИЛ, 1962. ¹⁰ В. Ф. Машанский и др., *Бот. журн.*, № 5, 639 (1965). ¹¹ Р. К. Салеев, *Информ. бюлл. Коорд. Совета по физиол. и биохим. раст.*, Иркутск, в. 6, 50 (1969); *Поглощение веществ растительной клетки*, «Наука», 1969, стр. 185. ¹² Н. Н. Дмитриева, *Клетка и клеточные структуры*, «Наука», 1968, стр. 48. ¹³ C. R. Frink, D. E. Peaslee, *Analyst*, 93, 469 (1969). ¹⁴ P. V. Vose, P. J. Randall, *Nature (London)*, № 196, 85 (1962).