

УДК 581.14

**ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА АВТОКОЛЕБАНИЙ ТРАНСПОРТА ВОДЫ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ
КУКУРУЗЫ ПРИ БЛОКИРОВАНИИ КАЛЬЦИЕВЫХ КАНАЛОВ****Н.В. Будаговская***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Кальциевые каналы играют важную роль в передаче сигналов в растениях [1]. Блокирование кальциевых каналов вносит нарушения в сигнальную сеть и регуляцию функциональной активности растений. Исследования действия блокаторов кальциевых каналов проводилось, в основном, на субклеточном, мембранном уровне. Менее изучено влияние блокаторов кальциевых каналов на функциональную активность целого растения или отдельных его органов. В данной работе представлены результаты экспериментов, связанных с исследованием влияния блокатора кальциевых каналов верапамила на процессы транспорта воды в корнях растений.

Объектами исследования являлись растения кукурузы гибрида Пионер. Водонагнетающую активность корней оценивали по интенсивности экссудации, которую определяли по методу Anderson и House [2] с некоторыми модификациями на изолированных корнях (пятисантиметровая апикальная часть) 6-дневных проростков, помещенных в растворы верапамила (1,0 мМ и 6,0 мМ), в контрольных вариантах использовалась водопроводная вода без добавления верапамила. Измерения проводили с интервалом в 20 мин в течение нескольких часов при 30° С, применялось термостатирование. Биологическая повторность опытов шестикратная.

На рис. 1 представлены типичные результаты экспериментов, характеризующие водонагнетающую активность индивидуальных корней кукурузы: в отсутствие блокатора кальциевых каналов верапамила (контроль) и при его добавлении (опытный вариант). Динамика процесса носит автоколебательный характер. В контрольном варианте хорошо выражены гармонические колебания с околочасовым периодом. В опытном варианте при добавлении верапамила колебательный режим изменяется по сравнению с контрольным вариантом: в первые 2 ч эксперимента регистрируются гармонические колебания с более высокой частотой, чем в контрольном варианте, при этом средние значения интенсивности экссудации за этот период превышают значения экссудации контрольного варианта, что может указывать на усиление водонагнетающей активности корня. Далее отмечается быстрое падение интенсивности экссудации до нулевых значений и, начиная с третьего часа эксперимента, кривая интенсивности экссудации переходит в отрицательную область координат, что означает прекращение водонагнетающей деятельности корня и самопроизвольный отток воды из корня в наружное пространство в результате вызванных верапамилом деструктивных процессов в тканях корня. Как было показано ранее в наших экспериментах, блокатор кальциевых каналов верапамил вызывает дефицит кальция и усиление процессов свободнорадикального окисления в тканях растений, следствием чего могут быть структурные нарушения мембран и корня в целом (3, 5). Этим может быть обусловлена потеря водонагнетающей активности корней и отток воды из них при увеличении времени действия верапамила. Не только длительное воздействие верапамила на корни вызывает снижение водонагнетающей активности в них, но и действие повышенных концентраций этого соединения. При концентрации верапамила 6,0 мМ отмечается лишь слабая экссудация корней в самом начале эксперимента, которая сменяется оттоком воды из них из-за нарушения целостности тканей. Отток воды из корней в данном случае начинается значительно раньше (через 1 ч эксперимента), чем при концентрации верапамила 1 мМ (через 3 ч).

Неоднозначность ответной реакции корней на действие верапамила (увеличение активности экссудации в начале эксперимента и в дальнейшем снижение ее до полной потери активности этого процесса, рис. 1) может объясняться изменением концентрации кальция в растениях в процессе эксперимента. В первые часы эксперимента вызываемые верапамилом деструктивные изменения в тканях еще не выражены, о чем свидетельствует наличие водонагнетающей активности корня. При этом небольшое снижение концентрации кальция в тканях, вызванное верапамилом, может усиливать водный транспорт в корне. Кальций участвует в регуляции проницаемости водных каналов и уменьшение его концентрации усиливает трансмембранные водные потоки [4]. Возможно, кальциевые и водные каналы функционально связаны, что обеспечивает регуляцию трансмембранного транспорта воды.

Как было показано нами ранее [5], использование верапамила в меньших концентрациях (0,25 мМ, 0,5 мМ) вызывало большее увеличение водонагнетающей активности корней (обратнопропорционально концентрации) в начале эксперимента, чем при концентрации 1,0 мМ (рис. 1). При высокой концентрации верапамила (6,0 мМ) начального всплеска активности экссудации не наблюдалось. Вероятно, это связано с концентрационными зависимостями регуляции водных потоков в корнях: вызванное верапамилом небольшое снижение концентрации кальция имело больший эффект на усиление транспорта воды в корнях, чем более значительное при повышенных концентрациях верапамила.

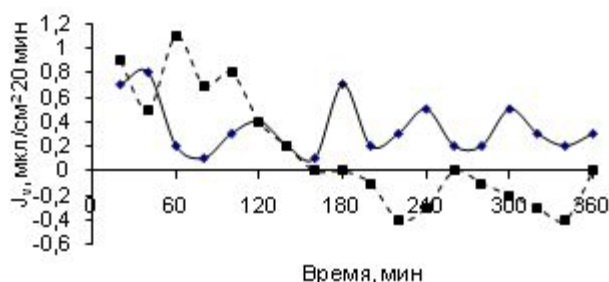


Рис. 1. Влияние верапамила (1,0 мМ) на интенсивность экссудации корней кукурузы. Сплошная линия – контроль, штриховая линия – опыт

Таким образом, блокатор кальциевых каналов верапамил, снижая проницаемость кальциевых каналов и концентрацию кальция в тканях растений, влияет на водонагнетающую активность корней. Активирующее или подавляющее действие верапамила на этот процесс зависит от используемой концентрации верапамила или от времени его действия. По-видимому, существует функциональная кооперативность между кальциевыми и водными каналами, способствующая тонкой регуляции водного транспорта в растениях. Зарегистрированы автоколебательные режимы транспорта воды в корнях растений кукурузы в отсутствие блокатора кальциевых каналов верапамила и при его воздействии на корни. Автоколебательный режим характеризует временную структурированность, упорядоченность исследуемого процесса. Изменение режима колебаний, включая изменение частот колебаний, является диагностическим показателем функциональной активности растений.

Литература

1. White P.J. Calcium channels in higher plants // *Biochim. Biophys. Acta.* 2000, 1465, p. 171–189.
2. Anderson W.P. A correlation between structure and function in the root *Zea mays* L. / W.P. Anderson, C.R. House // *J. Exp. Bot.* 1967, vol. 18, p. 544–555.
3. Будаговская Н.В. Исследование влияния антиоксиданта амбиола и блокатора кальциевых каналов верапамила на рост растений гороха и кукурузы. // В сб.: Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов, ОАО «Центрально-черноземное книжное издательство», Воронеж. 2013, с. 44–51.
4. Chaumont F. et al. Regulation of plant aquaporin activity // *Biol. Cell.* 2005, 97, p. 749–764.
5. Будаговская Н.В. Снижение водонагнетающей активности корней и скорости роста растений кукурузы при блокировании кальциевых каналов // *Актуальная биотехнология.* № 2, – 2017, С. 131–133.