

УЧАСТИЕ ГАЗОТРАНСМИТТЕРОВ В РАБОТЕ ВАКУОЛЯРНЫХ ПРОТОННЫХ ПОМП

Е.В. Спиридонова, И.С. Нестеркина, В.В. Гурина, Н.В. Озолина
ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, e-mail: yatakol@mail.ru

Оксид азота (NO), монооксид углерода (CO) и сульфид водорода (H₂S) в настоящее время относят к газотрансмиттерам, которые представляют собой эндогенные газовые сигнальные молекулы. Все они имеют низкий молекулярный вес и обладают липофильными свойствами (Wang, 2002). Важная роль оксида азота и монооксида углерода, в протекании биохимических процессов, в клетке была показана многими исследователями, в то время как изучением сульфида водорода занялись сравнительно недавно (Christou et al., 2013). На сегодняшний день уже известны пути биосинтеза этих соединений в клетке и молекулярные механизмы их действия, однако основная часть этих знаний получена на животных объектах (Новицкий и др., 2011; Gusakova et al., 2017). Не смотря на это, появляется все больше работ по изучению влияния газотрансмиттеров на метаболические процессы растительной клетки. Уже известно, что они принимают участие в регуляции многих процессов протекающих в клетке, в том числе при действии стрессов (Besson-Bard et al., 2008; He, He 2014; Jin, Pei, 2015). Однако до сих пор в литературе недостаточно информации по участию исследуемых газотрансмиттеров в транспортных процессах на биологических мембранах, особенно связанных с протонными помпами (H⁺-АТФазой и H⁺-пирофосфатазой). Известно, что в присутствии сульфида водорода наблюдалось снижение токсического действия алюминия на проростки ячменя благодаря увеличению активности H⁺-АТФазы плазмалеммы (Dawood et al., 2012). Оксид азота в свою очередь способствовал увеличению экспрессии генов H⁺-АТФазы плазмалеммы и субъединицы с вакуолярной H⁺-АТФазы в условиях солевого стресса (Chen et al., 2013). Также показано, что присутствие алюминия приводило к увеличению активности митохондриальной H⁺-АТФазы (He et al., 2006). Кроме того, экзогенный оксид азота индуцировал активность H⁺-АТФазы и H⁺-пирофосфатазы плазмалеммы и тонопласта смягчая тем самым ингибирование роста растений томата вызванное медью (H. Siddiqui et al., 2011). Могут ли известные нам газотрансмиттеры оказывать регуляторное влияние на протонтранспортирующие системы вакуолярной мембраны еще предстоит установить. Работы в этом направлении ведутся, например, было выяснено, что оксид азота увеличивает активность протонных помп тонопласта в условиях солевого стресса (Zhang et al., 2006, Shi et al., 2007).

В наших исследованиях изучалось влияние экзогенных доноров NO, CO и H₂S на активность вакуолярных протонных помп (H⁺-АТФазы и H⁺-пирофосфатазы) в условиях окислительного стресса. H⁺-АТФаза и H⁺-пирофосфатаза важные компоненты вакуолярной мембраны создающие протонный и электрохимический градиент необходимый для вторичного активного транспорта (Silva et al., 2009). Было интересно посмотреть, как поведут себя протонные помпы в присутствии газотрансмиттеров и смогут ли они смягчить влияние условий окислительного стресса на растительные клетки. Результаты проведенных экспериментов показали, что в нормальных условиях газотрансмиттеры не оказывали значимого влияния на работу как H⁺-АТФазы, так и H⁺-пирофосфатазы. Уровень транспортной активности этих ферментов практически не отклонялся от нормы. Другая картина наблюдалась в условиях окислительного стресса, который создавали при помощи пероксида водорода в концентрации 50 мМ. Интересно отметить, что транспортная активность H⁺-АТФазы при этом стрессовом воздействии снижалась на 55,3% в то время как активность H⁺-пирофосфатазы изменялась не существенно. Воз-

можно в данной ситуации, пероксид водорода оказывал непосредственное влияние на сульфгидрильные группы периферического комплекса АТФ-зависимого фермента, что и приводило к снижению его активности (Seidel et al., 2012). При добавлении газотрансмиттеров на фоне стрессового воздействия происходило увеличение протон-транслоцирующей активности H^+ -АТФазы, но она не восстанавливалась полностью. Наблюдаемое увеличение отмечалось только для оксида азота и сульфида водорода, монооксид углерода наоборот усиливал негативное действие пероксида водорода.

По итогам выполненного исследования, можно сказать, что газотрансмиттеры принимают участие в снижении воздействия окислительного стресса на транспортные процессы протекающие в растительной клетке за счет изменения активности вакуолярной H^+ -АТФазы.

Литература

Новицкий В.В., Рязанцева Н.В., Старикова Е.Г., Таширева Л.А. Регуляция апоптоза клеток с использованием газовых трансмиттеров (оксид азота, монооксид углерода и сульфид водорода) // Вестник науки Сибири. – 2011. – Т. 1 – С. 635–649.

Besson-Bard A., Pignon A., Wendehenne D. New insights into nitric oxide signaling in plants Annu // Rev. Plant Biol. – 2008. – V. 59. – P. 21–39.

Chen J., Xiong D.-Y., Wang W.-H., Hu W.-J., Simon M., Xiao Q., Chen J., Liu T.-W., Liu X., Zheng H.-L. Nitric oxide mediates root K^+ / Na^+ balance in a mangrove plant, *Kandelia obovata*, by enhancing the expression of AKT1-type K^+ channel and Na^+ / H^+ antiporter under high salinity // PLOS ONE. – 2013. – V. 8. – e71543.

Christou A., A. Manganaris G., Papadopoulos I., Fotopoulos V. Hydrogen sulfide induces systemic tolerance to salinity and non-ionic osmotic stress in strawberry plants through modification of reactive species biosynthesis and transcriptional regulation of multiple defence pathways // Experimental Botany. – 2013. – V. 64. – P. 1953–1966.

Dawood M., Cao F., Jahangir M.M., Zhang G., Wu F. Alleviation of aluminum toxicity by hydrogen sulfide is related to elevated ATPase, and suppressed aluminum uptake and oxidative stress in barley // J Hazard Mater. – 2012. – V. 30. – P. 209–210.

Gusakova S.V., Smaglyi L.V., Birulina Y.G., Kovalev I.V., Nosarev V., Petrova I.V., Reutov V.P. Molecular mechanisms of action of gas transmitters NO, CO and H_2S in smooth muscle cells and effect of NO-generating compounds (nitrates and nitrites) on average life expectancy // Usp Fiziol Nauk. – 2017. – V. 48 (1). – P. 24–52.

H. Siddiqui M., H. Al-Whaibi M., O. Basalah M. Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress // Protoplasma. – 2011. – V. 248. – P. 447–455.

He H., He L. The role of carbon monoxide signaling in the responses of plants to abiotic stress // Nitric oxide. – 2014. – V. 42. – P. 40–43.

He H.Y., He L.F., Li X.F., Gu M.H. Effects of sodium nitroprusside on mitochondrial function of rye and wheat root tip under aluminum stress // Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao. – 2006. – V. 32 (2). – P. 239–44.

Jin Z., Rei Y. Physiological implications of hydrogen sulfide in plants: pleasant exploration behind its unpleasant odour // Oxid Med Cell Longev. – 2015. – V. 2015. – P. 397502.

Seidel T., Scholl S., Krebs M., Rienmuller F., Marten I., Hedrich R., Hanitzsch M., Janetzki P., Dietz K.-J., Schumacher K. Regulation of the V-type ATPase by redox modulation // Biochem. J. – 2012. – V. 448. – P. 243–251.

Shi Q., Ding F., Wang X., Wei M. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress // Plant Physiol. Biochem. – 2007. – V. 45. – P. 542–550.

Silva P., Geros H. Regulation by salt of vacuolar H^+ -ATPase and H^+ -pyrophosphatase activities and Na^+ / H^+ exchange // Plant Signaling and Behavior. – 2009. – V. 4 (8). – P. 718–726.

Wang K. Two's company, three's a crowd: can H_2S be third endogenous gaseous transmitter? // FASEB J. – 2002. – V. 16. – P. 1792–1798.

Zhang Y., Wang L., Liu Y., Zhang Q., Wei Q., Zhang W. Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na^+ / H^+ antiport in the tonoplast // Planta. – 2006. – V. 224. – P. 545–555.