

ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТКА ЦИНКА НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ БЕЛКОВ ТРАНСПОРТЕРОВ В ЛИСТЬЯХ *SINAPIS ALBA* L И *BRASSICA JUNCEA* L. (CZERN)

Репкина Н. , Казнина Н.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного
бюджетного учреждения Федерального исследовательского центра «Карельский научный
центр Российской академии наук»
nrt9@ya.ru

Среди представителей семейства Крестоцветных горчица белая (*Sinapis alba* L.) и горчица сарептская (*Brassica juncea* L. (Czern)) характеризуются высоким фиторемедиационным потенциалом в отношении тяжелых металлов. Известно, что оба вида растений способны накапливать ионы металлов в высоких концентрациях и при этом успешно расти и развиваться. Однако механизмы их металлоустойчивости исследованы фрагментарно, а полученные данные довольно противоречивы. В связи с этим, целью данной работы явилось изучение влияния избытка цинка в субстрате на экспрессию генов белков транспортеров у двух видов горчиц.

Опыты проводили на проростках горчицы белой сорта Радуга и горчицы сарептской сорта Ника, выращенных в условиях гидропоники на питательном растворе Хогланда-Арнона с оптимальным содержанием цинка (5 мг - контроль) или его избытком (1000 мг - опыт). Образцы листьев (50 мкг) фиксировали в жидком азоте. В дальнейшем проводили выделение тРНК согласно протоколу к наборам компании Евrogen (Москва). Уровень экспрессии генов $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{2+}$ антипортера и белков ABC, NRAMP и YSL) анализировали методом ПЦР в режиме реального времени.

В ходе исследования было показано, что оба изученных вида растений накапливают довольно высокие концентрации цинка в подземных и надземных органах, причем практически в равной степени. При этом у опытных растений горчицы белой на 1 и 3 сутки от начала действия металла наблюдалось повышение экспрессии гена $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{2+}$ антипортера относительно исходного уровня, что, возможно, связано с недостатком других двухвалентных элементов, которое в дальнейшем (на 7-е сутки) снижалось. Экспрессия гена транспортного белка ABC в течение 7 сут снижалась относительно исходного уровня. Поскольку белки данного семейства преимущественно транспорт макромолекулы, фитогормоны, вторичные метаболиты и др., их участие в адаптации растений к избытку цинка не было необходимым. Вместе с тем данный факт может свидетельствовать о вероятных нарушениях транспорта веществ в этих условиях.

У опытных растений горчицы сарептской в течение первых трех сут действия металла повышалась экспрессия генов, кодирующих белки NRAMP и YSL, участвующих в транспорте ионов в цитоплазму. Обнаруженный эффект, возможно, связан с дефицитом других элементов минерального питания, который, как известно, может возникнуть в условиях избытка цинка.

Таким образом, устойчивость горчицы белой и горчицы сарептской к избытку цинка связана с механизмами, предотвращающими возникновение в этих условиях дефицита и дисбаланса микроэлементов.

Работа выполнена в рамках государственного задания FMEN-2022-0004.

Ключевые слова: тяжелые металлы, горчица, гены, транспортеры, ПЦР

EFFECT OF ZINC EXCESS ON THE EXPRESSION OF PROTEIN-TRANSPORTERS GENES IN THE LEAVES OF SINAPIS ALBA L. AND BRASSICA JUNCEA L. (CZERN)

Repkina N. , Kaznina N.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
nrt9@ya.ru

Among the plant species of the Brassicaceae family, white mustard (*Sinapis alba* L.) and oriental mustard (*Brassica juncea* L. (Czern)) are characterized by high phytoremediation potential in relation to heavy metals. It is known that both plant species are capable of accumulating metal ions in high concentrations and at the same time successfully growing and developing. However, the mechanisms of their metal tolerance have been studied fragmentarily, and the data obtained are quite contradictory. In this regard, the aim of this study was to investigate the effect of excess zinc in the substrate on the expression of protein-transporters genes in two mustard species.

The experiments carried out on the seedlings of the white mustard (cv. Raduga) and oriental mustard (cv. Nika), grown in hydroponics conditions on the nutrient solution of the Hogland -Arnon with the optimal zinc (Zn) content (5 mg - control) or its excess (1000 mg - experiment). Leaf samples (50 µg) were fixed in liquid nitrogen. Subsequently, tRNA was allocated according to the protocol to the sets of the Eurogen (Moscow) company. The level of genes expression ($\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{2+}$ antiporters and ABC, NRAMP, YSL proteins) analyzed the PCR method in real time.

In the course of the study, it was shown that both species of plants accumulate high concentrations of zinc in the roots and aboveground organs, and almost equally. At the same time, in plants of white mustard on 1 and 3 days of Zn exposure, an increase in the expression of the $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{2+}$ antiporter relative to the initial level was observed from the beginning of the metal effect, which may be associated with a lack of other two-glurate elements, which later (on the 7th day) was reduced. The expression of the ABC transport protein gene for 7 days has declined relative to the initial level. Since the proteins of this family mainly transport macromolecules, phytohormones, secondary metabolites, etc., their participation in the adaptation of plants to excess zinc was not necessary. At the same time, this fact may indicate probable violations of the transport of substances in these conditions.

In oriental mustard seedlings, during the first three days of metal impact, increased the expression of genes encoding NRAMP and YSL proteins participating in the transport of ions into the cytoplasm. The discovered effect may be associated with a deficiency of other elements of mineral nutrition, which, as known, can occur in conditions of excess zinc.

Thus, the stability of the white mustard and the oriental mustard to the excess of zinc is associated with the mechanisms that prevent the occurrence of a deficiency and imbalance of trace elements under these conditions.

The study financed from the federal budget under state orders (FMEN-2022-0004).

Keywords: heavy metal, mustard, genes, transporters, PCR