Specific cytochromes P450 and adrenodoxin-like mitochondrial ferredoxins as components of the progesterone hormone system of higher plants involved in comprehensive protection from biotic and abiotic stresses

Shpakovski D.G.¹, Shematorova E.K.¹, Babak O.G.², Slovokhotov I.Yu.¹, Spivak S.G.^{2,3}, Khaliluev M.R.⁴, Doludin Yu.V.¹, Klykov V.N.¹, Baranova E.N.⁴, Tereshonkova T.A.⁵, Kilchevsky A.V.², Shpakovski G.V.¹

¹Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry RAS, Moscow, Russia; ²Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus; ³Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus; ⁴All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia; ⁵Federal Research Center of Vegetable Growing, Moscow Region, Vereya, Russia
E-mail: yushpak57@mail.ru

Key message. In plants, along with the brassinosteroid, the older progesterone hormone system also functions. We have characterized some components of this system and shown its importance for enhancing plant immunity.

Keywords: cytochromes P450, MFDX1 and MFDX2, tobacco, tomato, abiotic and biotic stresses

Recently, it was found that in plants, along with brassinosteroid, yet another, progesterone system of steroid hormonal regulation functions [1-3]. In this work on plants of the *Solanaceae* family (tobacco, tomato, potato), using genetic (transgenesis, yeast two-hybrid system), biochemical (TLC, chromatography-mass spectrometry, organelle fractionation, ELISA), morpho-physiological (obtaining and analysis of suspension and callus cultures, seed priming, cytophotometry), instrumental (light and transmission electron microscopies) and bioinformatics (search for distant homologous proteins, phylogenetic reconstruction) approaches, the first components of the progesterone system have been characterized (a number of plant-specific cytochromes P450s, mitochondrial ferredoxins MFDX1 and MFDX2, progesterone membrane receptors and co-receptors MSBP1, MSBP2 and BIK1) and its importance for the formation of comprehensive plant protection against biotic (infection with such fungal and bacterial phytopathogens as *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp., *Oidium neolycopersici* and *Cladosporium fulvum*) and abiotic (drought, salinity, low temperatures) stresses was shown. The parallelism of action and antagonism of the brassinosteroid and progesterone systems of hormonal regulation in higher plants are discussed. The work was carried out with the financial support of the RFBR (projects # 18-04-01262 and # 18-54-00038) and the BRFR (project # B18R-135).

Специфические цитохромы и адренодоксинподобные ферредоксины митохондрий как компоненты прогестероновой гормональной системы высших растений, участвующей в комплексной защите от биотических и абиотических стрессов

Шпаковский Д.Г.¹, Шематорова Е.К.¹, Бабак О.Г.², Словохотов И.Ю.¹, Спивак С.Г.^{2,3}, Халилуев М.Р.⁴, Долудин Ю.В.¹, Клыков В.Н.¹, Баранова Е.Н.⁴, Терешонкова Т.А.⁵, Кильчевский А.В.², Шпаковский Г.В.¹

¹ФГБУН Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия; ²Государственное научное учреждение Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ³Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь; ⁴ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия; ⁵Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства (ВНИИО) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московская область, Раменский район, Верея, Россия

Аннотация. В растениях, наряду с брассиностероидной, функционирует и более древняя прогестероновая гормональная система. Нами охарактеризованы некоторые компоненты этой системы и показана её важность для повышения иммунитета растений.

Ключевые слова: цитохромы P450, MFDX1 и MFDX2, табак, томат, абиотические и биотические стрессы

Недавно установлено, что в растениях, наряду с брассиностероидной, функционирует и другая, прогестероновая система стероидной гормональной регуляции [1-3]. В данной работе на примере растений семейства *Solanaceae* (табак, томат, картофель) с помощью генетических (трансгенез, дрожжевая двухгибридная система), биохимических (ТСХ, хромато-масс-спектрометрия, фракционирование органелл, ИФА), морфо-физиологических (получение суспензионных и каллусных культур, праймирование семян, цитофотометрия), инструментальных (трансмиссионная электронная микроскопия) и биоинформационных подходов охарактеризованы первые компоненты прогестероновой системы (ряд специфичных для растений цитохромов P450, митохондриальные ферредоксины MFDX1 и MFDX2, мембранные рецепторы и ко-рецепторы прогестерона MSBP1, MSBP2 и BIK1) и показана её важность для формирования комплексной защиты растений от биотических (инфекции фитопатогенами *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp., *Oidium neolycopersici* и *Cladosporium fulvum*) и абиотических (засуха, засоление, низкие температуры) стрессов. Обсуждаются параллелизм действия и антагонизм брассиностероидной и прогестероновой систем гормональной регуляции у высших растений.

Работа поддержана грантами РФФИ (проекты № 18-04-01262 и № 18-54-00038) и БРФФИ (проект № B18P-135).

1. Спивак С.Г., Бердичевец И.Н., Литвиновская Р.П., Драч С.В., Картель Н.А., Шпаковский Г.В. Некоторые особенности метаболизма стероидов в трансгенных растениях табака *Nicotiana tabacum*, несущих кДНК *CYP11A1* цитохрома P450scs из коры надпочечников быка. Биоорганическая химия, **36** (2): 241-250 (2010).
2. Шематорова Е.К., Словохотов И.Ю., Халилуев М.Р., Бердичевец И.Н., Баранова Е.Н., Бабак О.Г., Шпаковский Д.Г., Спивак С.Г., Шпаковский Г.В. Митохондрии как возможное место инициации синтеза стероидных гормонов в растениях. Журнал стресс-физиологии и биохимии, **10** (4): 85-97 (2014).
3. Shpakovski G.V., Spivak S.G., Berdichevets I.N., Babak O.G., Kubrak S.V., Kilchevsky A.V., Aralov A.V., Slovokhotov I.Yu., Shpakovski D.G., Baranova E.N., Khaliluev M.R., Shematorova E.K. A key enzyme of animal steroidogenesis can function in plants enhancing their immunity and accelerating the processes of growth and development. BMC Plant Biology, **17** (Suppl 1): 189 (2017).