

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

Молекулярная эволюция стероидных гормональных систем у животных и высших растений

¹ФГБУН «Институт биоорганической химии имени академиков
М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН», г. Москва, Россия
²ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», г. Минск,
Беларусь
³ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной биотехнологии», г. Москва, Россия
⁴УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Беларусь

Как важнейшие компоненты плазматических мембран, непосредственно контактирующих с внешней средой, стероидные соединения (стерины и их производные) чрезвычайно важны в регуляции клеточной активности. В отличие от животных и дрожжей, у которых практически единственными стеринами (стероидными липидами) являются соответственно холестерин и эргостерин, в растениях в заметных количествах присутствуют по крайней мере четыре вида фитостеринов: β -ситостерин, кампестерин, стигмастерин и холестерин. Хотя в начале 80-х годов прошлого века у растений был открыт свой особый класс стероидных фитогормонов – brassinosteroids, целый ряд стероидных гормонов, свойственных прежде всего животным (pregnenolone sulfate, progesterone, 17-hydroxypregesterone, 16-dehydropregesterone, androstenedione), в них также присутствуют [Simerský R. et al., *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 28, No. 3, p. 125–136 (2009); Pauli G.F. et al., *Journal of Natural Products*, v. 73, No. 3, p. 338–345 (2010)].

Для детального сравнения стероидогенных систем Plantae и Animalia, мы впервые получили и всесторонне охарактеризовали трансгенные растения табака *Nicotiana tabacum* L., наперстянки *Digitalis purpurea* L. и томата *Solanum lycopersicum* L., эффективно экспрессирующие кДНК гена *CYP11A1* млекопитающих, который кодирует цитохром P450 холестерингидроксилазу/20,22-лиазу или P450sc (от англ. «side-chain-cleaving») – ключевой фермент стероидогенеза, отсутствующий у представителей царства растений, убедительно продемонстрировав, что даже самые эволюционно отдалённые элементы стероидогенных систем Plantae и Animalia функционально совместимы *in vivo* [Спивак С.Г. и др., *Генетика*, т. 45, № 9, с. 1217–1224 (2009); Спивак С.Г. и др., *Биоорганическая химия*, т. 36, № 2, с. 241–250

(2010); Shpakovski G.V. et al., BMC Plant Biology, v. 17 (Suppl 1), p. 119–131 (2017)].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что у высших растений сохранены в первозданном виде (по-крайней мере до стадии синтеза прогестерона и его первичных производных) начальные этапы впервые описанной для животных и ставшей уже «классической» схемы синтеза стероидных гормонов [Miller W.L., Molecular and Cellular Endocrinology, v. 379. No. 1-2, p. 62–73 (2013)] – одних из первичных биорегуляторов, свойственных всему живому. Дальнейшие наши исследования показали, что эта прогестероновая система гормональной регуляции важна у высших растений для неспецифической защиты от биотических (инфекции такими патогенами, как *Botrytis cinerea*, *Alternaria spp*, *Oidium neolycopersici*, *Cladosporium fulvum* и *Phytophthora infestans*) и абиотических (засуха, засоление) стрессов и используется у лекарственных растений в том числе для синтеза таких важных метаболитов медицинского назначения, как, например, сердечные гликозиды в случае наперстянки.

Важным отличием стероидных гормональных систем растений (и брассиностероидной, и прогестероновой) является то, что при их функционировании используются только мембранные рецепторы (система быстрого, «немедленного» ответа), в то время как в клетках животных для каждого класса стероидных гормонов (прогестины, кортикостероиды, андрогены, эстрогены) в процессе эволюции появились высокоспецифичные ядерные рецепторы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-04-01262 и № 18-54-00038) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б18Р-135).