

УДК 576.8

<https://doi.org/10.31016/978-5-6048555-6-0.2023.24.281-284>

НЕЙРОПЕПТИДЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В РЕГУЛЯЦИИ ЛОКОМОТОРНОГО ПОВЕДЕНИЯ ГАЛЛОВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ НЕМАТОД (ОБЗОР)

Малютина Т. А. ¹,

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник лаборатории экологии
и систематики паразитов и экспериментальной паразитологии,
maliytina@mail.ru

Аннотация

Внимание исследователей в последние несколько десятков лет привлекают эндогенные FMRФамид-подобные нейропептиды, выявленные у ряда беспозвоночных животных, включая представителей типа Nematoda. Представлен обзор зарубежной литературы о функциональном значении эндогенных FMRФамид-подобных нейропептидов в локомоциях галловых фитонематод – представителей рода *Meloidogyne* Goldi, 1982: *Meloidogyne incognita*, *M. minor*, *M. hapla* и *M. graminicola*. В России подобные исследования не проводятся. Основные характеристики нейропептидов фитопаразитов получены в результате исследования генов (*flp*-гены), кодирующих эти нейропептиды. У нематоды *M. incognita* выявлены FMRФамид-подобная положительная иммунореактивность в центральной нервной системе и 19 *flp*-генов. Гены *Mi-flp-12* и *Mi-flp-14* кодируют нейропептиды, стимулирующие локомоции, а *Mi-flp-32* кодирует нейропептид, угнетающий локомоции паразита. У нематод *M. incognita* и *M. hapla* выявлены G-протеин – связанные рецепторы (GPCR), кодируемые геном *flp-32*, установлено их сходство с рецептором 1 (C26F1) свободноживущей нематоды *Caenorhabditis elegans*. Сходные данные представлены в литературе в отношении нематоды *M. graminicola*. Пептидергическая сигнальная нервная система галловых фитонематод сходна с системой нематод позвоночных и свободноживущих, что указывает на консерватизм системы у представителей всего типа Nematoda.

Ключевые слова: галловые фитонематоды, нервная система, *flp*-гены, рецепторы, РНК-интерференция

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 33)

NEUROPEPTIDES INVOLVING IN THE REGULATION OF LOCOMOTOR BEHAVIOR OF ROOT-KNOT PLANT-PARASITIC NEMATODES (REVIEW)

Malyutina T. A. ¹,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
of the Laboratory of Ecology and Taxonomy of Parasites
and Experimental Parasitology,
maliytina@mail.ru

Abstract

In the last few decades, the attention of researchers has been attracted by endogenous FMRFamide-like neuropeptides found in a number of invertebrates, including species of the Nematoda phylum. A foreign literature review was presented for the functional significance of endogenous FMRFamide-like neuropeptides in locomotor behaviour of root-knot phytonematodes, representatives of the genus *Meloidogyne* Goldi, 1982, namely, *Meloidogyne incognita*, *M. minor*, *M. hapla* and *M. graminicola*. In Russia, such studies are not carried out. The main characteristics of phytoparasitic neuropeptides were obtained from the study of genes (*flp*-genes) that encode these neuropeptides. *M. incognita* was found to have FMRFamide-like positive immunoreactivity in the central nervous system and 19 *flp* genes. The *Mi-flp-12* and *Mi-flp-14* genes encode neuropeptides that stimulate locomotor behaviour, while *Mi-flp-32* encodes a neuropeptide that inhibits parasite locomotor behaviour. Nematodes *M. incognita* and *M. hapla* were found to have G-protein-coupled receptors (GPCRs) encoded by the *flp-32* gene, and their similarity to receptor 1 (C26F1) of the free-living nematode *Caenorhabditis elegans* was detected. Similar data were presented in the literature for *M. graminicola*. The peptidergic signaling nervous system of root-knot phytonematodes is similar to the system of nematodes in vertebrates and free-living nematodes, which indicates the conservatism of the system in species of the entire Nematoda phylum.

Keywords: root-knot phytonematodes, nervous system, *flp* genes, receptors, RNA interference

Введение. Внимание исследователей в последние несколько десятков лет привлекают эндогенные FMRFамид-подобные нейропептиды, выявленные у ряда беспозвоночных животных, включая представителей типа Nematoda. Предполагается, что эти нейропептиды связаны со всеми физиологическими системами растительных паразитиче-

¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (33, Leninsky pr., Moscow, 119071, Russia)

ских нематод, которые обеспечивают основу успешного паразитирования в организме хозяина, к которым относятся локомоции, сенсорные системы, питание и репродукция. В обзоре рассмотрены публикации, в которых показана роль пептидергической системы галловых нематод в локомоторном поведении этих животных.

Материалы и методы. Исследования проведены на представителях рода *Meloidogyne* Goldi, 1982: *Meloidogyne incognita*, *M. minor*, *M. hapla* и *M. graminicola* при использовании непрямого иммунофлуоресцентного метода и метода *in situ* гибридизации; метода быстрой амплификации концов комплементарной ДНК в сочетании с ПЦР (полимеразная цепная реакция); ПЦР в реальном времени; метода обратной генетики, а также биоинформатического и филогенетического методов [1-5].

Результаты исследований. У личинок 2-ого возраста нематоды *M. incognita* выявлена FMRФамид-подобная положительная иммунореактивность в различных отделах центральной нервной системы [2]. Специфическое окрашивание обнаружено в циркумфарингальном (окологлоточном) нервном кольце, в латеральных ганглиях вентрального нервного ствола, в вентральных и дорзальных фарингальных нервах, что подтверждает наличие пептидергической нервной системы у галловых нематод.

У нематоды идентифицировано 19 генов (*flp*-гены), кодирующих различные FMRФамид-подобные нейропептиды [5].

Обнаружено, что гены *Mi-flp-12* и *Mi-flp-14* кодируют нейропептиды КНКFEFIRФамид, КНЕYLRФамид и КНЕFVRФамид, которые могут воздействовать на двигательную активность нематоды. Отмечается, что у нематоды *Meloidogyne minor* обнаружен *flp*-ген *Mm-flp-12*, который кодирует нейропептид КNNKFEFIRФамид, физиологические свойства которого сходны с нейропептидами, кодируемыми геном *Mi-flp-12*.

Выявлен физиологический эффект нейропептида КНЕYLRФамида, кодируемого генами *Mi-flp-12* и *Mi-flp-14*, на двигательную активность нематоды *M. incognita*, который выражается в увеличении частоты движений головного конца личинки после экспозиции паразита в растворах этого нейропептида разной концентрации [4].

С помощью метода обратной генетики получена функциональная характеристика *flp*-гена – *Mi-flp-32* нематоды *M. incognita* и определена физиологическая функция нейропептида AMRNALVRФамида,

кодируемого этим геном [1]. Установлено, что после предварительного выключения гена *Mi-flp-32*, скорость миграции личинок в экспериментальной колонке значительно увеличивается. Поэтому можно предположить, что нейропептид AMRNALVRFамид является ингибитором локомоций нематоды.

В работе отмечается, что у нематод *M. incognita* и *M. hapla* выявлены предполагаемые G-протеин связанные рецепторы (GPCR), кодируемые геном *flp-32* и являющиеся близкими гомологами родопсин-подобного рецептора 1 (C26F1) свободноживущей нематоды *Caenorhabditis elegans*.

В литературе представлены сведения о выявлении у галловой фитонематоды *Meloidogyne graminicola*, облигатного паразита риса и пшеницы, 9 *flp*-генов, а также даны молекулярные и функциональные характеристики этих *flp*-генов и гена, кодирующего нейропептид G-протеин-связанного рецептора *Mg-flp-18* GPCR [3].

Заключение. Анализ литературы показал, что галловые фитонематоды имеют хорошо развитую пептидергическую нервную систему. Предполагается, что основной функцией сигнальной пептидергической нервной системы у галловых нематод является регулирование локомоторного поведения паразитов. Сходство функциональной характеристики пептидергической нервной системы галловых нематод, а также паразитических нематод позвоночных животных и свободноживущих нематод указывает на консерватизм пептидергической сигнальной нервной системы представителей типа Nematoda в целом.

Список источников / References

1. Atkinson L. E. et al. *Flp-32* Ligand/receptor silencing phenocopy faster plant pathogenic nematodes. *PLoS pathogens*. 2013; 9(2): e1003169.
2. Johnston M. J. G. et al. FMRFamide-like peptides in root knot nematodes and their potential role in nematode physiology. *Journal of Helminthology*. 2010; 84(3): 253-265.
3. Kumari C. et al. Molecular characterization of FMRFamide-like peptides in *Meloidogyne graminicola* and analysis of their knockdown effect on nematode infectivity. *Gene*. 2017; 619: 50-60.
4. Masler E. P., Nagarkar A., Edwards L., Hooks C. R. Behaviour of *Heterodera glycines* and *Meloidogyne incognita* infective juveniles exposed to nematode FMRFamide-like peptides *in vitro*. *Nematology*. 2012; 14(5): 605-612.
5. McCoy C. J. et al. New insights into the FLPerGic complements of parasitic nematodes: Informing deorphanisation approaches. *EuPA Open Proteomics*. 2014; 3: 262-272.