



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Inria



VILLE DE NICE

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR 

Académie en région à Nice et Sophia Antipolis

Parasitisme et co-évolution entre plantes et nématodes

Pierre ABAD

Institut Sophia Agrobiotech UMR INRA/CNRS/Université Côte d'Azur, Sophia Antipolis.

Les nématodes sont des animaux vermiformes qui forment un large phylum à la fois homogène par leurs caractères morphologiques et très diversifiés par les habitats qu'ils colonisent. Ils sont présents dans pratiquement tous les milieux, soit sous forme d'organismes libres, soit de parasites d'une grande variété d'êtres vivants tels que les mammifères, les poissons, les insectes et les plantes.

Les nématodes parasites de végétaux sont des organismes microscopiques, parasites obligatoires, se nourrissant uniquement du cytoplasme de cellules vivantes. Les stratégies de parasitisme de ces nématodes sont diverses. Certains d'entre eux sont des ectoparasites, vivant à l'extérieur de leur hôte pouvant être dans certains cas des vecteurs de viroses importantes. D'autres espèces passent la plus grande partie de leur cycle de vie à l'intérieur des racines et sont appelées endoparasites.

Les plantes infectées par les nématodes à galles, endoparasites sédentaires, montrent une croissance altérée ou/et un flétrissement, des déformations racinaires et une sensibilité accrue à d'autres agents pathogènes. Les principales modifications observées chez les plantes infectées sont la transformation des cellules du protoxylème (tissu vasculaire) des racines en cellules nourricières hypertrophiées, appelées cellules géantes, constituant la seule source d'éléments nutritifs pour le nématode (Figure 1). Le déterminisme génétique de l'induction et du maintien des cellules géantes induit par le nématode dans la plante n'est pas élucidé mais les sécrétions salivaires du nématode semblent jouer un rôle clé dans la formation et le maintien de ces structures.

1. Une morphologie et un arsenal enzymatique adaptés au parasitisme des plantes

La structure la plus caractéristique des nématodes parasites de plantes est la présence d'un stylet qui leur permet d'injecter des sécrétions salivaires, et d'absorber le contenu des cellules végétales. Ces sécrétions jouent un rôle crucial tout le long du processus infectieux.

Les premières protéines identifiées ont été les enzymes de dégradation des parois végétales. Ces enzymes codées par des familles multigéniques permettent la dégradation ou la modification de la paroi cellulaire afin de faciliter la migration du nématode à travers la racine. L'analyse de cet arsenal enzymatique adapté au parasitisme des plantes montre une diversité et une richesse qui reste inégalée à ce jour dans le règne animal [1]. La nature des gènes impliqués est également surprenante puisque ces gènes n'existent pas chez la plupart des autres animaux et présentent de très fortes similitudes avec des gènes bactériens, suggérant par-là l'existence de multiples événements de transferts horizontaux de gènes. L'acquisition de nouvelles fonctions via les transferts de gènes pourrait ainsi représenter un élément clé de l'adaptation des nématodes au parasitisme des plantes [2].

2. Des approches omiques pour identifier le rôle des protéines sécrétées dans le parasitisme

Les approches « omiques » ont permis une percée majeure dans l'identification des protéines sécrétées par les nématodes parasites de plantes. Cependant, seule la fonction d'un petit nombre d'entre elles est pour l'instant connue. Des enzymes intervenant dans l'homéostasie du potentiel redox de la cellule comme des enzymes de la famille des peroxiredoxines ont été identifiées, ces dernières jouant un rôle dans la répression de la défense oxydative de l'hôte.

D'autres protéines présentes dans les sécrétions des nématodes parasites de végétaux mais également dans celles de nématodes parasites d'animaux ont été caractérisées comme des protéines allergènes de venin ou encore la calréticuline, une protéine liant le calcium, où elles auraient une contribution générale dans le parasitisme. Au cours du processus infectieux, les sécrétions salivaires sont libérées dans l'apoplasme (espace entre les cellules végétales) lors de la migration des nématodes ou au niveau des cellules nourricières. Elles agiraient sur la paroi cellulaire ou interagiraient avec les récepteurs présents sur la membrane plasmique pour activer les cascades de signalisation déclenchant des réponses appropriées dans les cellules hôtes. Certaines d'entre elles injectées dans la cellule végétale ont été localisées dans les noyaux de ces cellules, permettant une reprogrammation cellulaire conduisant à la formation de la cellule nourricière.

3. Les fonctions végétales manipulées lors de la formation des cellules nourricières

Des modifications importantes de la plante hôte sont observées au cours du processus infectieux, affectant des processus aussi divers que la réorganisation du cytosquelette [3], le transport cellulaire et le métabolisme général, la modulation de l'action des phytohormones comme l'auxine ou encore la défense. Une analyse générale de l'expression des gènes chez la plante infectée par les nématodes a montré que la majorité des gènes des voies de défense est réprimée dans les sites nourriciers, comme par exemple la famille de facteurs de transcription WRKY, connue pour activer des défenses végétales, ou des gènes codant pour des protéines de pathogénèse.

Les profonds changements morphologiques et métaboliques qu'entraîne l'induction des cellules géantes impliquent également que des fonctions nucléaires de la cellule hôte, telles que la régulation de l'expression des gènes ou le cycle cellulaire, soient manipulées par des effecteurs du nématode.

Afin de sélectionner les effecteurs qui ciblent des fonctions nucléaires au sein de la cellule végétale, des analyses *in silico* ont été réalisées sur les génomes des nématodes afin d'identifier les protéines qui possèdent des motifs/domaines leur permettant d'être sécrétées, de cibler le noyau ou l'ADN de la cellule. D'autre part, les cellules géantes étant induites durant les stades parasitaires précoces du nématode, des analyses l'expression des gènes ont permis d'effectuer la sélection des gènes spécifiques de ces stades parasitaires. Sur les plus de 20 000 protéines prédites dans les génomes, plus d'une centaine pourraient être sécrétées et cibler le noyau des cellules géantes. Des analyses fonctionnelles ont permis d'identifier celles dont les gènes sont exprimés dans les glandes salivaires du nématode et qui se localisent également dans le noyau des cellules végétales. En identifiant les cibles végétales

des effecteurs du parasitisme des nématodes à galles nous aurons accès aux fonctions de la plante manipulées lors du développement de la maladie mais également au rôle de ces gènes lors des processus développementaux. Ces recherches contribueront également à mieux comprendre le dialogue moléculaire qui s'établit entre les protagonistes de l'interaction et à identifier de nouveaux mécanismes exploitables pour améliorer de façon plus durable la résistance des plantes à ce groupe important de ravageurs des cultures.

Références

1. Abad, P., et al.....Weissenbach, J., and Wincker, P., (2008).- Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Nature Biotechnology (US)*, 26: 909-915.
2. Danchin E.G.J., Rosso M-N., Vieira P., de Almeida-Engler J., Coutinho P, Henrissat B., Abad P. (2010).- Multiple lateral gene transfers and duplications have promoted plant parasitism ability in nematodes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 107, 17651-17656.
3. Caillaud, M.C., Lecomte, P., Jammes, F., Quentin, M., Pagnotta, S., Andrio, E., de Almeida Engler, J.D., Marfaing, N., Gounon, P., Abad, P., and Favery, B. (2008).- MAP65-3 microtubule-associated protein is essential for nematode-induced giant cell ontogenesis in *Arabidopsis*. *Plant Cell (US)*, 20: 423-437.

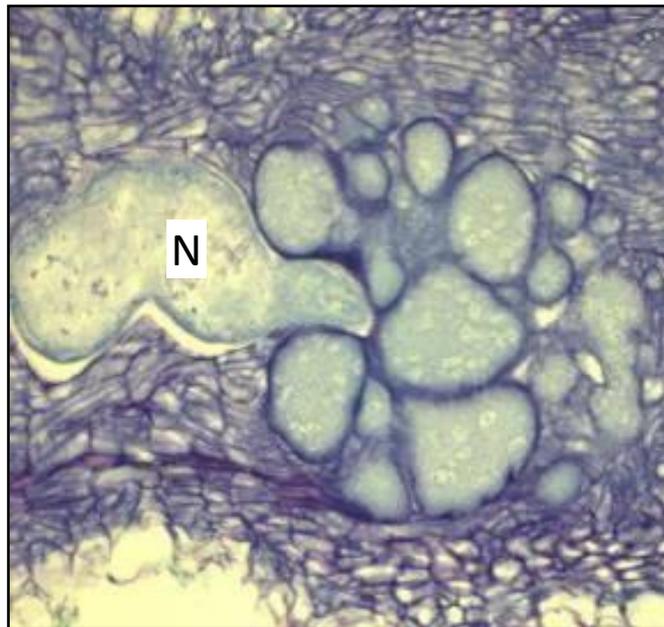


Figure 1. Cellules nourricières hypertrophiées et polynucléées induites par les nématodes à galles. Une larve parasitaire renflée du nématode à galle *Meloidogyne incognita* (N) s'alimentant sur plusieurs cellules géantes chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*.