Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 31 (1978)

Heft: 3

Artikel: Modèle préliminaire de régulation chimio-structurale de la croissance élongative d'hyphes fongiques végétatifs

Autor: Turian, Gilbert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739427

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MODÈLE PRÉLIMINAIRE DE RÉGULATION CHIMIO-STRUCTURALE DE LA CROISSANCE ÉLONGATIVE D'HYPHES FONGIQUES VÉGÉTATIFS

PAR

Gilbert TURIAN [1]

RÉSUMÉ

Le modèle proposé est basé sur l'observation originale d'un gradient apico-basal de pH cytoplasmique avec l'apex hyphal acidifié par l'absorption sélective des ions PO_4^{---} contrastant avec la localisation des ions Ca^{++} restreinte à la zone subapicale et ses conséquences pour le maintien d'une distribution polarisée des organites au travers d'états différentiels d'organisation cytoplasmique (plasmasol apical, gel cortical subabical), elle-même conditionnant le maintien de gradients rédox-métaboliques (extrémité réductive, glycolytique) et électrochimiques (transport vésiculaire de matériaux de paroi apicale).

SUMMARY

Preliminary model for the chemo-structural regulation of the expansion growth of vegetative fungal hyphae.

The model is based on a newly observed apico-basal gradient of cytoplasmic pH with the hyphal tip acidified through the selective entrance of PO_4^{---} ions contrasting with the subapical sequestration of Ca^{++} ions and its implication in the maintenance of a polarized distribution of the organites through differential states of cytoplasmic organization (apical plasmasol, subapical cortical gel), which distribution conditions the maintenance of redox-metabolic (reductive, glycolytic tip) and electrochemical (vesicular transport of apical wall materials) gradients.

Bien que les bases biochimiques et ultrastructurales de la croissance logarithmique des hyphes de champignons soient relativement bien connues (Burnett, 1976), il n'en est pas de même de la régulation polarisée de ce phénomène. Sur le plan ultrastructural, l'émission acropète de petites vésicules au niveau d'un système endomembranaire, par l'intermédiaire (Phycomycètes) ou non (Septomycètes) d'un appareil golgien, a été mise en évidence (Girbardt, 1969; Grove, 1978) et certains des contenus

[1] Département de Biologie végétale, Université de Genève, 1211 Genève 4.

vésiculaires identifiés par des méthodes cytochimiques ou d'isolement biochimique (Gooday, 1978).

Le mécanisme de transport polarisé de vésicules n'a trouvé que des explications hypothétiques faisant recours à des forces électrochimiques (Bartnicki-Garcia, 1973) ou de pression osmotique (Jennings, 1976). La source d'une force électrophorétique a trouvé une première base concrète dans la mise en évidence d'un pouvoir réducteur concentré à l'apex (Turian, 1976) et déterminant l'existence d'un gradient apico-basal qui pourrait se superposer sur les mesures antérieures d'un potentiel de membrane moins négatif à proximité de l'apex chez *Neurospora* (Slayman, 1962). Le pouvoir réducteur de l'apex ultime, concentré dans le « Spitzenkörper » (Turian, 1978), pourrait créer des conditions défavorables à la pénétration des mitochondries dans cette zone dite d'exclusion ou dominerait donc un métabolisme glycolytique.

Il resterait cependant à chercher d'autres explications, au niveau ultrastructuro-fonctionnel, à cette distribution strictement polarisée des organites dans la zone apicale d'hyphes végétatifs en active croissance élongative. Lors de l'étude du virage au jaune du rouge neutre dans l'apex ultime, nous en avons cherché l'explication au double niveau des influences respectives du pH et du rH. Nous en avons conclu (Turian, 1978) à un effet de bas rH apical et avons pu exclure le rôle du pH suite à l'observation que, chez les deux Ascomycètes étudiés, le pH était encore plus acide à l'apex ultime des hyphes (pH 5,5) qu'en zone subapicale (pH 5,8) ou distale (pH 6,0-6,2). Cette observation originale posait le problème de la base physico-chimique de cette acidification apicale. Nous pensons en avoir trouvé un motif dans la mise en évidence d'une présence accrue d'ions PO_4^{---} au niveau de la pointe apicale d'hyphes végétatifs de *Neurospora crassa* et de *Monilia fructigena*. La méthode cytochimique utilisée a été simplement celle d'une transposition au niveau cytoplasmique des hyphes de la technique colorimétrique de formation du complexe jaune des ions phosphates avec le molybdate d'NH_4 en conditions acides (selon méthode décrite dans Charlot et Bézier, 1945). Nous avons donc glissé une goutte de molybdate d'NH_4 en solution d'acide nitrique (5 N) sous la lamelle d'une préparation d'hyphes végétatifs fraîchement prélevés sur le front d'extension d'une jeune culture sur milieu nutritif solide et avons immédiatement observé le résultat au microscope optique: un net jaunissement transitoire du dôme apical des hyphes est apparu dans la première minute d'observation mais les conditions acides destructives ont prévenu toute observation prolongée et les microphotos avec filtre bleu (inédit, 1978) ont dû être prises dès la mise au point, avant toute uniformisation d'une coloration jaunâtre se développant secondairement dans les zones subapicales et distales par suite d'hydrolyse secondaire des divers composés organo-phosphorés. Il apparaît donc que les ions PO_4^{---} libres, seuls capables de se complexer immédiatement avec le réactif molybdique, sont accumulés dans la zone apicale ultime. Ces ions phosphates seraient donc « pompés » du milieu neuf et de manière active au niveau de la membrane peut-être par un mécanisme de transport actif pouvant faire

intervenir des systèmes enzymatiques tels que les phosphatases dont on sait qu'elles sont localisées dans la membrane plasmique et les vésicules apicales (Dargent dans Grove, 1978).

On peut déduire d'une accumulation locale d'ions phosphates négatifs (PO_4^{---}) que leur charge va être compensée par un afflux d'ions H positifs (H^+) conduisant à l'acidification précédemment mise en évidence dans les apex par la méthode des indicateurs colorés. Les ions H^+ peuvent en outre être disponibles pour échanges avec des ions K^+ du milieu et nous pouvons donc prédire une concentration élevée de K^+ dans l'apex ultime; celle-ci y réduirait d'autant le potentiel négatif interne en accord avec les mesures de Slayman (80 mv contre $\sim$ 200 plus en arrière).

C'est alors qu'un autre élément nouveau est intervenu dans nos observations cytochimiques. En baignant nos hyphes végétatifs de *N. crassa* ou de *M. fructigena* dans une solution aqueuse relativement concentrée de sulfonate d'alizarine (Merck), nous avons été frappés par la tonalité jaune prédominant dans les apex ultimes (avec concentration apparente dans le « Spitzenkörper ») contrastant avec la teinte jaune rosé puis rougeâtre violacé apparaissant dans les zones sous-apicales puis distales. Avec des hyphes d'*Allomyces*, un gradient progressif de tonalité violette s'est montré plus spécialement spectaculaire en direction des gros troncs hyphaux du mycélium dichotomiquement ramifié.

Il est connu que l'intensité du virage de l'alizarine au rouge violacé est proportionnelle à la concentration du milieu en ions Ca^{++}. On peut donc déduire de la franche réaction jaune donnée par les apex hyphaux testés que ces derniers sont très pauvres voire dépourvus de Ca^{++} comparés au cytoplasme des zones arrières des hyphes.

Une telle observation laisse entrevoir d'importantes conséquences dans l'organisation polarisée des apex hyphaux: a) zone apicale acidifiée par les phosphates, avec possibilité d'échange des H^+ avec des ions K^+ connus pour leur propriété de réduction de la viscosité cytoplasmique; b) zone subapicale moins acide et enrichie en ions Ca^{++} dont on sait depuis longtemps qu'ils provoquent la gélation du cytoplasme (Frédéricq, 1943). L'on peut dès lors mieux comprendre le contexte positionnel du maintien en retrait des mitochondries dans la zone périphérique subapicale « armée » de microtubules à orientation longitudinale. Il est en effet plausible de penser que les mitochondries, en pompant les ions Ca^{++} dont on sait qu'elles sont riches (Lehninger, 1965), créent une zone d'attraction pour ces ions lesquels, favorisant la formation d'un gel réticulaire probablement de fibrilles contractiles d'actine qui les enserre, les retiendrait de gagner la zone apicale relativement décalcifiée par son acidification constante (ions H^+ et PO_4^{---}) et par conséquent défavorable à une gélification. Seul resterait donc fluide le dôme apical, lequel est constamment parcouru par un courant de cytoplasme liquide (plasmasol) en écoulement central visible en provenance des zones distales de l'hyphe et en direction de l'apex en élongation. Le contenu de l'apex ultime correspondrait ainsi à une émergence en surface, cons-

tamment renouvelée par l'expansion continue du plasmalemme, d'un cytoplasme relativement liquide à l'instar de l'ectoplasme d'un pseusopode d'amibe.

Dépourvu de mitochondries, le dôme apical peut donc maintenir son haut pouvoir réducteur concentré dans l'agrégat microvésiculaire du « Spitzenkörper »

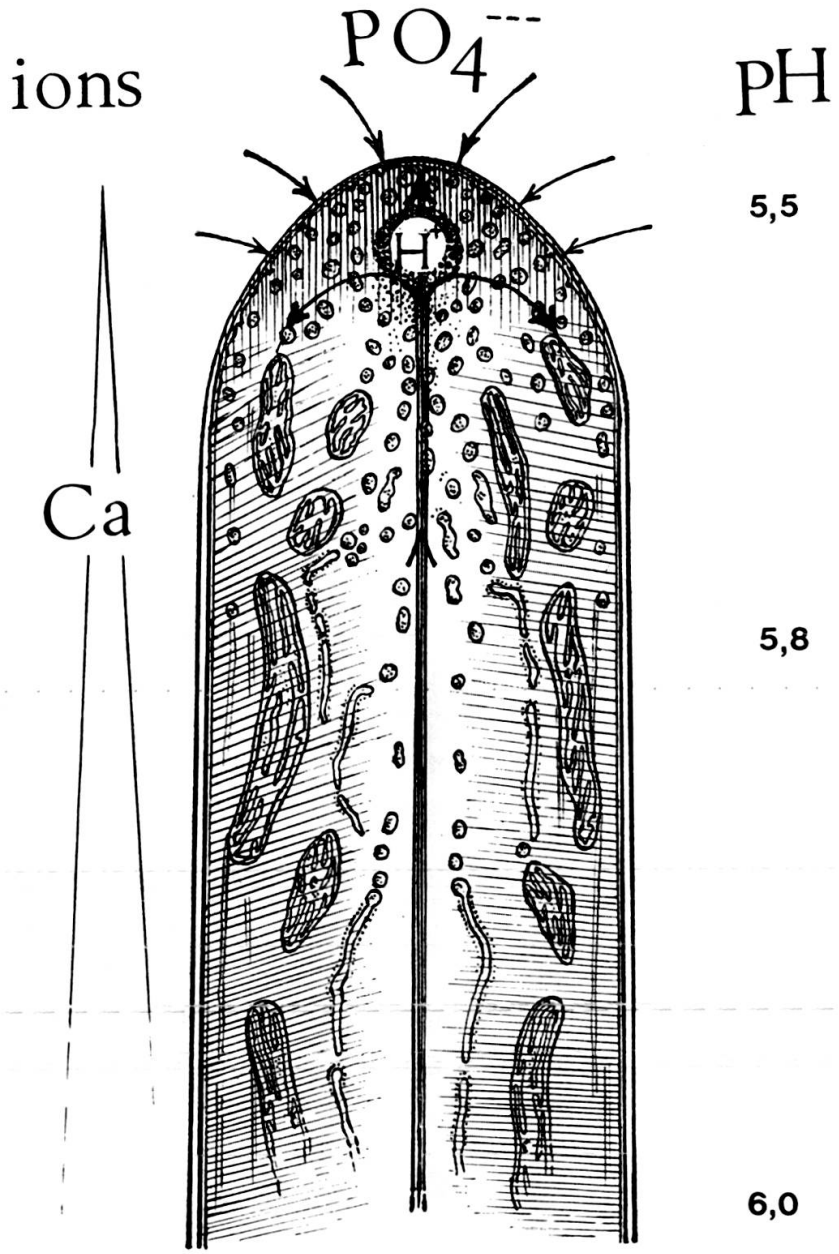

FIG. 1 — Schéma illustrant au niveau ultrastructural quelques gradients apico-basals détectés cytochimiquement dans l'hyphe végétatif de *Neurospora crassa :* décroissant pour les ions PO_4^{---} (phosphomolybdate jaune selon hachures verticales), croissant pour les ions Ca^{++} (alizarine jaune à l'apex virant au rougeâtre violacé selon hachures obliques) et le pH (progression de 5,5 à 6,0-6,2, valeurs moyennes appréciées par indicateurs selon Turian, 1978). Ecoulement central (flèche) de plasmasol en direction du dôme apical (ectoplasme sous-jacent au plasmalemme en extension continue). Le courant plasmasolique de retour se convertit au contact des ions Ca^{++} en plasmagel cortical (endoplasme) retenant les mitochondries en position subapicale. Noter la migration acropète des vésicules originaires d'éléments réticulo-endoplasmiques et la présence du « Spitzenkörper » microvésiculaire acide (H^+) et réducteur (Turian, 1978).

(Turian, 1978) et que nous pensons imposé par le métabolisme glycolytique caractéristique de la dominance de l'état végétatif. L'on sait en outre que la richesse en ions phosphates conditionne l'intensité de la glycolyse (Racker et Wu, 1959) et en conséquence la prédominance des coenzymes, surtout le NAD, sous leur forme réduite, de même que celles des groupes SH- qui sont essentiels à son fonctionnement. Ainsi s'expliquerait le maintien de la « tête réductive » du gradient rédox longitudinal garant de l'établissement et du maintien d'un champ électrochimique (apex moins négatif donc positif) moteur du transport des vésicules contenant les précurseurs des composants polysaccharidiques (à charges négatives) de parois et leurs enzymes de synthèse. Le modèle provisoire relativement cohérent auquel nous parvenons peut être schématisé dans la figure 1.

Dans l'optique de notre intérêt pour la transition de l'apex végétatif à sa différenciation conidiogène, l'on ne peut que rappeler que l'ensemble de cette polarité apico-basale s'effondre dès l'induction pouvant résulter de la disparition des facteurs végétalisants tels que ions PO_4^{---} et glucose du milieu, élévation du taux d'O_2 ambiant, etc... Libre cours est désormais donné à l'invasion des proconidies apicales par la vague violacée de l'alizarinate de Ca, indice certain du changement de viscosité et de texture cytoplasmiques intervenu lors du déclic différenciateur.

L'auteur bénéficie de l'appui du Fonds national suisse de la Recherche scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

BARTNICKI-GARCIA, S. (1973). Fundamental aspects of hyphal morphogenesis. Symposium of the Society for General Microbiology *23*, 245-267.

BURNETT, J. H. (1976). Fundamentals of mycology. 2nd Ed. London: Edward Arnold.

CHARLOT, G. & D. BEZIER (1945). Méthodes modernes d'analyse quantitative minérale. Ed. Masson & Cie, Paris.

FREDERICQ, H. (1943). Principes de Physiologie générale. Ed. Masson & Cie, Paris.

GIRBARDT, M. (1969). Die Ultrastruktur der Apikalregion von Pilzhyphen. Protoplasma *67*, 413-441.

GOODAY, G. W. (1978). The Enzymology of hyphal growth. The Filamentous Fungi, vol. III, 51-77. Ed. London: Edward Arnold.

GROVE, S. N. (1978). The Cytology of hyphal tip growth. The Filamentous Fungi, vol. III, 29-50. Ed. London: Edward Arnold.

JENNINGS, D. H. (1976). Transport and translocation in filamentous fungi. The Filamentous Fungi. vol. II, 32-64. Ed. London: Edward Arnold.

LEHNINGER, A. L. (1965). The Mitochondrion. Ed. New York: W. A. Benjamin, Inc.

RACKER, E. & R. WU (1959). In Regulation of Cell Metabolism. Ciba Foundation Symposium. Ed. London: Churchill.

SLAYMAN, C. L. & C. W. SLAYMAN (1962). Measurement of membrane potentials in *Neurospora*. Science *136*, 876-877.

TURIAN, G. (1976). Reducing power of hyphal tips and vegetative apical dominance in fungi. Experientia *32*, 989-991.

—— (1978). The « Spitzenkörper », centre of the reducing power in the growing hyphal apices of two septomycetous fungi. Experientia *34*, 1277-1279.