

L'organisation microstructurale de la coquille d'œuf de pintade à l'origine d'une solidité remarquable

Contact : Joël GAUTRON

Unité : BOA

Département : PHASE

Centre INRAE : Centre Val de Loire

GOS (cf. classification proposée en annexe) : 4

OS ou OP INRAE 2030 (cf. classification proposée en annexe) : OS 1.3, OS 2.3

Publication(s) DOI obligatoire(s) , DOI : <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2024.03.001>

Résumé

La coquille des oiseaux est une structure essentielle pour empêcher la pénétration des bactéries et garantir aux consommateurs un produit sain et exempt de microbes. Sa solidité doit donc être préservée et renforcée dans un contexte d'évolution des systèmes d'élevages et de prolongation de la durée de vie des pondeuses, qui fragilisent les coquilles. Dans ce contexte, nous avons étudié la coquille d'œufs de pintade qui présente des propriétés mécaniques exceptionnelles. Nous avons ainsi mis en évidence comment la matrice organique s'insérait dans les cristaux de carbonate de calcium pour orienter la morphologie et générer une bicouche cristalline particulière qui donne à la coquille sa solidité remarquable. Ce travail fournit des données fondamentales sur les processus qui contrôlent les changements de croissance des cristaux dans les structures minérales. Ces données seront utiles pour la recherche de stratégies améliorant la résistance de la coquille d'œuf et au domaine plus large de la science des matériaux. Ce travail est le fruit d'une collaboration internationale de notre laboratoire avec l'université de Grenade en Espagne, l'université McGill à Montréal et la faculté de médecine d'Ottawa au Canada.

Contexte et enjeux

La coquille des oiseaux est minéralisée pour protéger l'embryon durant son développement et pour lui fournir le calcium nécessaire à son squelette. Dans le cas des œufs non fécondés servant à la consommation humaine, la coquille est une structure physique impénétrable résistante aux chocs et à la pénétration des bactéries. De par son intégrité, elle garantit aux consommateurs un œuf exempt de microbes. Les systèmes d'élevage actuels, qui favorisent l'élevage au sol, l'accès au parcours extérieur et l'allongement de période de production, peuvent être favorables au bien-être des poules pondeuses, mais entraîner dans le même temps une fragilisation de la coquille au détriment de la qualité sanitaire des œufs et de la sécurité alimentaire du consommateur. Dans cette étude, nous avons utilisé la coquille de pintade comme modèle d'étude car elle présente des propriétés mécaniques remarquables et uniques. Bien que certaines caractéristiques de la structure de la coquille de l'œuf de la pintade aient été décrites précédemment, la présente étude va plus loin dans la connaissance de l'organisation de la matrice organique qui régule les mécanismes de cristallisation grâce à une approche interdisciplinaire mettant en œuvre une large gamme d'approches analytiques.

Résultats

Comme pour les autres coquilles d'œufs et structures calciques produites par les organismes, la formation de cristaux de calcite dans la coquille d'œuf de pintade incorpore une certaine quantité de matière organique tout en conservant son caractère monocristallin. Chez la pintade, intervient dans un second temps la conversion d'une structure à colonne unique en une structure bicouche du fait d'une incorporation plus importante de matière organique qui réduit la taille des nanodomains cristallins, lesquels forment alors des unités cristallines plus grandes, augmentant la mosaïcité des unités cristallines ou leurs désorientations internes. Ces distorsions influenceront par la suite les mécanismes de croissance des cristaux et leurs propriétés, contribuant ainsi aux propriétés mécaniques remarquables de la coquille d'œuf.

Perspectives

Sur le plan fondamental, il serait intéressant de comprendre quelles pressions évolutives (résultant des particularités de l'écologie de la pintade ou de ses habitudes de nidification) ont permis à cette espèce d'oiseau de développer une structure de coquille d'œuf aussi solide et sophistiquée. Les données acquises peuvent par ailleurs fournir des informations utiles à la science des matériaux pour la fabrication de composants aux propriétés mécaniques exacerbées. Sur le plan appliqué, nos résultats illustrent que cette espèce d'élevage possède des propriétés biologiques particulièrement intéressantes dans le contexte de la transition agro-écologique, qui pourraient lui redonner à l'avenir un regain d'intérêt économique.

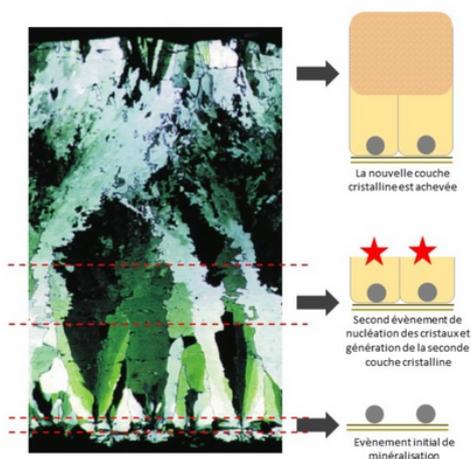
Valorisation

Article et congrès

Référence correspondant au FM

A.B. Rodríguez-Navarro, N. Domínguez-Gasca, D. Athanasiadou, N. Le Roy, A. González-Segura, N. Reznikov, M.T. Hincke, M.D. McKee, A.G. Checa, Y. Nys, J. Gautron. (2024). Guinea fowl eggshell structural analysis at different scales reveals how organic matrix induces microstructural shifts that enhance its mechanical properties, *Acta Biomaterialia*, Volume 178, 244-256, ISSN 1742-7061, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2024.03.001>.

Illustrations



Photographie en lumière polarisée montrant les changements d'orientation cristalline observés dans la coquille de pintade (partie gauche). Schémas montrant les évolutions des mécanismes de nucléation et de croissance minérale aboutissant à cette structure complexe (partie droite).

Copyright Alejandro Rodríguez-Navarro (universitat de Granada) et Joël Gautron (INRAE UMR BOA)