

Pigmente, die mehr können

Neue Entdeckung gibt Aufschluss über die bakterielle Nutzung von Biomasse mit Potenzial für Biokraftstoffe und neue Antibiotika

Die Aufklärung der Struktur und Herkunft der so genannten „Yellow Affinity Substance“ (YAS, „Gelbe Affinitätssubstanz“) liefert neue Erkenntnisse über den Zelluloseabbau durch das Bakterium *Clostridium thermocellum* (neuer Name: *Acetivibrio thermocellus*). Es wird vermutet, dass das gelbe Pigment eine entscheidende Rolle bei der Umwandlung von pflanzlicher Biomasse in verwertbaren Zucker spielt, was neue Perspektiven für die Biokraftstoffproduktion ermöglicht. Außerdem eröffnet die Studie neue Ansätze in der Antibiotikaforschung.

Anaerobe Bakterien - Meister des Überlebens ohne Sauerstoff

Anaerobe Bakterien gehörten zu den ersten Lebensformen auf der Erde und existierten bereits zu einer Zeit, als es noch keinen Sauerstoff in der Atmosphäre gab. Während viele Organismen zum Überleben auf eine sauerstoffreiche Umgebung angewiesen sind, gedeihen Anaerobier an Orten, an denen andere nicht überleben können - in völlig sauerstofffreien Lebensräumen wie dem menschlichen Darm oder dem Meeresboden. Die Enzyme dieser Bakterien sind sogar empfindlich gegenüber Sauerstoff. Ihre bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit zieht zunehmend die Aufmerksamkeit der Forschung auf sich.

Anaerobe Bakterien produzieren oft ungewöhnliche Substanzen. Das macht sie für die Forschung und Biotechnologie besonders interessant, zum Beispiel für die Produktion von Antibiotika oder Biokraftstoffen. Außerdem sind sie unverzichtbare Akteure im natürlichen Nährstoffkreislauf, indem sie organisches Material wie Zellulose abbauen und Nährstoffe wieder an das Ökosystem abgeben.

Ein Signalstoff mit einer Schlüsselrolle

Clostridium thermocellum ist eines der bekanntesten anaeroben Mikroben, wenn es um den Abbau von Zellulose - dem Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwände - geht. Es wandelt Zellulose in Zucker um, die dann zur Herstellung von Biokraftstoffen wie Ethanol verwendet werden können. Ein auffälliges gelbes Pigment, das von dem Bakterium produziert wird (YAS - Yellow Affinity Substance), spielt bei diesem Prozess eine Schlüsselrolle. YAS lagert sich bevorzugt an Zellulosefasern an. Es wird angenommen, dass YAS dabei hilft, die abbauenden Enzyme genau dorthin zu steuern, wo Zellulose vorhanden ist.

Strukturanalyse von bakteriellen Pigmenten

Forschenden des Leibniz-Instituts für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie - Hans-Knöll-Institut (Leibniz-HKI) und des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena ist es nun erstmals gelungen, die molekulare Zusammensetzung von YAS aufzuklären. Die Wissenschaftler*innen fanden heraus, dass YAS aus mehreren Komponenten, sogenannten Celluxanthenen, besteht und bestimmten deren Molekülstrukturen durch spektroskopische Analysen (NMR, MS) und Isotopenmarkierungsexperimente. Darüber hinaus identifizierten sie durch gezielte genetische Manipulation das verantwortliche Biosynthese-Gencluster.

Ein Pigment mit medizinischem Potenzial?

Überraschenderweise zeigen die Pigmente eine Wirkung gegen bestimmte Mikroorganismen. Die Celluxanthene haben eine milde antibiotische Aktivität gegen Gram-positive Bakterien – darunter auch klinisch relevante, resistente Erreger. Das Verständnis der genetischen Grundlagen der Biosynthese eröffnet zudem die Möglichkeit, Celluxanthene in Zukunft zu produzieren oder zu verändern. Die Erstautor*innen Keishi Ishida und Jana Krabbe sehen vielversprechende Ergebnisse: „Obwohl die gelben Pigmente schon seit fast einem Jahrhundert bekannt sind, blieb ihre Struktur bisher ein Rätsel. Wir können nun damit beginnen, mögliche ökologische Funktionen zu untersuchen, zu denen auch die antibakterielle Aktivität zur Verteidigung der Nahrungsquelle (Zellulose) gegen Konkurrenten gehört.“

Ein Schritt in Richtung einer nachhaltigen Zukunft

Die Entdeckung und Charakterisierung der Celluxanthene schlägt eine Brücke zwischen unserem Verständnis des mikrobiellen Stoffwechsels und praktischen Anwendungen in der Energiebranche – und vielleicht in der medizinischen Forschung der Zukunft. Die Erkenntnisse könnten auch dazu beitragen, die Nutzung von Pflanzenbiomasse zu optimieren.

Die Forschung ist Teil des Projekts „AnoxyGen“, für das Christian Hertweck mit einem der angesehenen ERC Advanced Grants des Europäischen Forschungsrats ausgezeichnet wurde. Hertweck ist Abteilungsleiter am Leibniz-HKI und Professor an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. „AnoxyGen zielt darauf ab, das verborgene Potenzial von anaeroben Bakterien zur Bildung neuer bioaktiver Naturstoffe zu erschließen“, erklärt Hertweck. „Viele dieser Mikroorganismen tragen in ihrem Genom Gene für die Produktion von wertvollen Verbindungen, die aber unter Standard-Laborbedingungen meist inaktiv bleiben.“ Das Team entwickelt neue molekularbiologische Methoden, um diese versteckten Biosynthesewege zu aktivieren – Methoden, die bisher hauptsächlich für aerobe (sauerstoffabhängige) Mikroben existieren. Ziel ist es, bisher unbekannte Naturstoffe mit medizinischem oder biotechnologischem Wert zu entdecken und nutzbar zu machen. AnoxyGen verbindet die moderne synthetische Biologie mit der Entdeckung von Wirkstoffen und könnte neue Möglichkeiten für die pharmazeutische Entwicklung eröffnen.

Das Projekt AnoxyGen trägt auch zum Exzellenzcluster „[Balance of the Microverse](#)“ bei, der die komplexen Signal- und Kommunikationsmechanismen innerhalb mikrobieller Gemeinschaften untersucht, die das Leben auf der Erde bestimmen.

Originalpublikation

Ishida K, Krabbe J, Meisinger PR, Shabuer G, Schieferdecker S, Cyrulies M, Tank C, Barnes E, Paetz C, Hertweck C (2025) Discovery and Biosynthesis of Celluxanthenes, Antibacterial Arylpolyene Alkaloids from Diverse Cellulose-Degrading Anaerobic Bacteria. *Angew Chem Int Ed* 64 (24), e202503697, <https://doi.org/10.1002/anie.202503697>

Das Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – [Hans-Knöll-Institut](#) (Leibniz-HKI) wurde 1992 gegründet und gehört seit 2003 zur Leibniz-Gemeinschaft. Die Wissenschaftler*innen des Leibniz-HKI befassen sich mit der Infektionsbiologie human-pathogener Pilze. Sie untersuchen die molekularen Mechanismen der Krankheitsauslösung und die Wechselwirkung mit dem menschlichen Immunsystem. Neue Naturstoffe aus Mikroorganismen werden auf ihre biologische Aktivität untersucht und für mögliche Anwendungen als Wirkstoffe zielgerichtet entwickelt.

Das Leibniz-HKI verfügt über acht wissenschaftliche Abteilungen und drei Forschungsgruppen,

deren Leiter*innen überwiegend berufene Professor*innen der Friedrich-Schiller-Universität Jena sind. Hinzu kommen mehrere Nachwuchsgruppen und Querschnittseinrichtungen mit einer integrativen Funktion für das Institut. Gemeinsam mit der Universität Jena betreibt das Leibniz-HKI die [Jena Microbial Resource Collection](#), eine umfassende Sammlung von Mikroorganismen und Naturstoffen. Zurzeit arbeiten etwa 450 Personen am Leibniz-HKI, davon 150 Promovierende.

Das Leibniz-HKI ist Kernpartner großer Verbundvorhaben wie dem Exzellenzcluster [Balance of the Microverse](#), der Graduiertenschule [Jena School for Microbial Communication](#), der Sonderforschungsbereiche [FungiNet](#) (Transregio), [ChemBioSys](#) und [PolyTarget](#), des Zentrums für Innovationskompetenz [Septomics](#) und des [Leibniz-Zentrums für Photonik in der Infektionsforschung](#). Das Leibniz-HKI ist zudem [Nationales Referenzzentrum für invasive Pilzinfektionen](#).

Die Leibniz-Gemeinschaft

Die [Leibniz-Gemeinschaft](#) verbindet 96 eigenständige Forschungseinrichtungen. Ihre Ausrichtung reicht von den Natur-, Ingenieur- und Umweltwissenschaften über die Wirtschafts-, Raum- und Sozialwissenschaften bis zu den Geisteswissenschaften.

Leibniz-Institute widmen sich gesellschaftlich, ökonomisch und ökologisch relevanten Fragen. Sie betreiben erkenntnis- und anwendungsorientierte Forschung, auch in den übergreifenden Leibniz-Forschungsverbünden, sind oder unterhalten wissenschaftliche Infrastrukturen und bieten forschungsbasierte Dienstleistungen an. Die Leibniz-Gemeinschaft setzt Schwerpunkte im Wissenstransfer, vor allem mit den Leibniz-Forschungsmuseen. Sie berät und informiert Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Öffentlichkeit.

Leibniz-Einrichtungen pflegen enge Kooperationen mit den Hochschulen u. a. in Form der Leibniz-WissenschaftsCampi, mit der Industrie und anderen Partner*innen im In- und Ausland. Sie unterliegen einem transparenten und unabhängigen Begutachtungsverfahren. Aufgrund ihrer gesamtstaatlichen Bedeutung fördern Bund und Länder die Institute der Leibniz-Gemeinschaft gemeinsam. Die Leibniz-Institute beschäftigen knapp 21.300 Personen, darunter fast 12.200 Wissenschaftler*innen. Der Gesamtetat der Institute liegt bei 2,2 Milliarden Euro.