17

التكافل الداخلي

Endosymbiosis

ذات مرة، وجدت البكتيريا نفسها تعيش بحرية داخل خلية عائل ونشأت علاقة بينهما تطورت إلى الزواج. فقدت البكتيريا بعد ذلك، شكل حياتها المستقل وأغلب انتماءاتها. لقد حدث هذا السيناريو عدة مرات خلال أصل الخلية حقيقية النوى.

تعتبر بنية الخلية حقيقية النوى معقدة حيث أن الـDNA محاط بالنواة، لذلك يتطلب انقسام الخلية عملية متعددة الخطوات من الانقسام المتساوي. تحتوي الخلية حقيقية النوى على الميتوكُندريا (المُتَقَدِّرَات) mitochondria العاكفة على التنفس والبلاستيدات الصانعة plastids في الكائنات ضوئية التركيب. حتى منتصف القرن العشرين، لم يكن مرجحًا أن هاتين البنيتين تحورتا من البكتيريا، إلى أن جاءت عالمة الأحياء الأمريكية لين مارغوليس Lynn Margulis وتبنت هذه النظرية وناصرتها. ففي عام 1966، جمعت الأدلة من علم النفس وعلم الكيمياء الحيوية وأثبتت أوجه الشبه بين البكتيريا والبنيات داخل الخلايا حقيقيات النوى. وبعد أن رُفضت هذه

الخط الزمني

1883م	1890م	1905م
اقترح شمبر Schimper أن البلاستيدات الخضراء داخل خلايا النبات تأتي من الميكروبات.	وصف ألتمان Altmann الميتوكُندريا بأنها الكائنات الأولية التي تعيش داخل الخلايا.	طرح ميريشكوفيسكي أن أصل البلاستيدات الصانعة نشأ من خلال العلاقات التكافلية.

النظرية من عشرات المجلات العلمية، وافقت أخيرًا مجلة البيولوجيا النظرية بعد عام، على نشر بحث «أصل الخلايا المنقسمة بالتساوي». بعدها تلقت لين 800 طلب لإعادة طباعة البحث.

نظرية التكافل الداخلي

ولما كانت الطفيليات داخل الخلية مثل الفيروسات غزاة غير مرغوب فيها، كان التكافل الداخلي endosymbiosis (كلمة يونانية endo تعني داخلي وsymbiosis تعني العيش معًا) هو التعايش السلمي المشترك نسبيًّا لأحد الكائنات داخل الآخر. في عام 1905، درس عالم الأحياء الروسي كونستنتين ميريشكوفيسكي Konstantin Mereschkowski الأشنات lichen (التكافل بين الفطر والطحالب أو البكتيريا ضوئية التركيب) وطرح أن البلاستيدات الخضراء chloroplasts تحورت من متعايش داخلي، وفي عام 1923 طرح عالم الأحياء الأمريكي إيفان والين Ivan Wallin نفس الأصل بالنسبة للميتوكُندريا.

يعتبر علماء الأحياء الألمان أول من قدموا فكرة أن العُضَيّات حقيقية النوى بعينها – الميتوكُندريا والبلاستيدات الخضراء – نشأت من كائنات أخرى. في عام 1883 قدم عالم النبات أندريس شمبر دراسة عن النبات صاغ فيها مصطلح «البلاستيدات الخضراء» وقال إن النباتات الخضراء تدين بأصلها إلى الاتحاد بكائن عديم اللون بالتساوي مع كائن آخر مصبوغ بمادة خضراء (كلوروفيل) chlorophyll. ثم في عام 1890 لاحظ

«تعتبر الخلية حقيقية النوى هي نتاج لتطور الخلية التكافلية».

لين مارغوليس Lynn Margulis

1923م	1967م	سبعينيات القرن العشرين
طرح والين أن أصل الميتوكُندريا نشأ من علاقة تكافلية.	جمعت مارغوليس الأدلة في نظرية التكافلية الداخلية لأصول العُضَيّات.	أثبتت المقارنات الجينية أن العُضَيّات تنحدر من البكتيريا.

ريتشارد ألتمان وجود بنية واسعة الانتشار في خلايا كبيرة وتشبه البكتيريا فأطلق عليها اسم bioblasts وطرح فكرة أنها «كائنات أولية» ذات وظائف حيوية، ثم عُرف لاحقًا أن bioblasts هي الميتوكُندريا.

دعمت عديد من السمات فكرة أن الميتوكُندريا والبلاستيدات الصانعة تحورتا من البكتيريا، فهما متساويتان في الحجم والشكل كما انقسمتا بواسطة الانشطار الثنائي البسيط وليس الانقسام المتساوي. لكن لعقود كثيرة لم يؤخذ التكافل الداخلي على محمل الجد. في عام 1962، بدأت وجهات النظر تتغير وذلك بعد أن بحث عالِما الأحياء هانز ريس Hans Ris ووالتر بلاوت Walter Plaut الطحالب الخضراء (كلاميدوموناس) Chlamydomonas تحت مجهر إلكتروني. بدت الصبغات التي صبغت المادة الوراثية جلية في البلاستيدات الخضراء تسبب هضم إنزيمات الـDNA في اختفاء اللون. في 1963، استخدمت مارجيت Margit وسيلفان ناس Sylvan Nass نفس التقنيات فأثبتتا أن تلك الألياف الغامضة في الميتوكُندريا تحتوي على الـDNA. وبعد أن نشرت لين مارغوليس بحثها عام 1967، توسعت في أدلتها من خلال نشر كتاب «أصل الخلايا حقيقيات النوى» عام 1970.

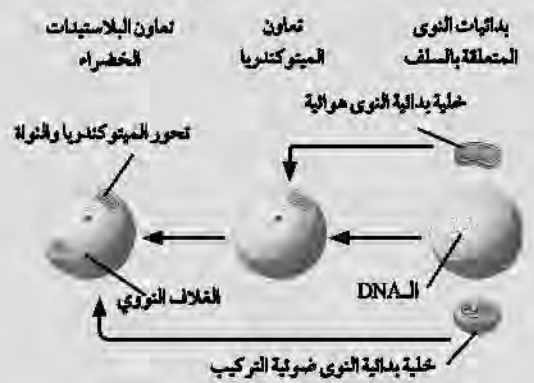
جاء الدليل القاطع من الجينات. قبل ثمانينيات القرن الماضي، كان هناك نظريات عديدة عن أصل العضيات مثل الطيّ الداخلي لغشاء الخلية أو تبرعم النواة. حيث تنبأت تلك النظريات بأنه إذا كان للعُضَيّات أصل داخلي فإن جيناتها تكون مماثلة لجينات النواة أكثر من المادة الوراثية في البكتيريا المستقلة. في عام 1975، أثبت عالما الكيمياء الحيوية الأمريكيان ليندا بونين Linda Bonen ودبليو فورد دوليتل W Ford Doolittle أن متتالية الجينات من البلاستيدات الخضراء في الطحالب الحمراء Porphyridium تشبه مادة الزراقم (البكتيريا الزرقاء) cyanobacteria في الخلايا بدائيات النوى. لاحقًا كشفت المقارنات الجينية أن الميتوكُندريا تنحدر من متقلبات ألفا alpha-proteobacteria.

الميتوكُندريا

في أغلب ـ لكن ليس كل ـ الخلايا حقيقيات النوى، تولد الميتوكُندريا الطاقة التي تحمل جزيء مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate (ATP) باستخدام الأكسجين لحرق الكربوهيدرات من خلال التنفس الهوائي. نظرًا لأن كل حقيقيات النواة هي فرع في شجرة الحياة لها بعض أنواع من الميتوكُندريا، فربما تكون تلك الأنواع المختلفة قد انحدرت من بكتيريا واحدة وتأقلمت مع بيئة عائلها. وبالمقارنة بين الجينات التي تتشارك في طاقة الأيض من المتقلبات proteobacteria المختلفة؛ قال الباحثون الإيطاليون إن أقرب الكائنات لها هي البكتيريا الميثايلية methylotrophs «الميكروبات» حيث يتشابه غشاؤها الخارجي مع الطيات داخل الميتوكُندريا عندما تتولد الطاقة.

أصل العَضَيات

تحورت الميتوكُندريا من البكتيريا التي ابتلعتها عن طريق أحدث سلف مشترك من حقيقيات النوى، وهي عبارة عن خلية أكبر اكتسبت خلية مؤخرًا. أما البكتيريا الخضراء فنشأت من اثنتين من المنافسات التكافلية على الأقل؛ واحدة تنشئ البلاستيدات الصانعة الأولية مثل البلاستيدات الخضراء في النباتات الخضراء أما البلاستيدات الصانعة الثانوية فتأتي من خلية حقيقية النوى تبتلع الأخرى.



وفقًا لعالم الأحياء التطوري الأمريكي ويليام مارتن William Martin تمد العلاقة التكافلية الأساسية خلية العائل بمصدر الهيدروجين لتوليد الطاقة بعد أن ينتهي أحدث سلف مشترك من حقيقيات النواة من توليد طاقة أكثر بكثير من تلك التي تنتجها بدائيات النوى. قال مارتن وعالم الكيمياء الحيوية الأمريكي نيك لين Nick Lane إن تلك الطاقة الفائضة تسمح لحقيقيات النوى بإضافة جينات إلى الجينوم الخاص بها، كما تسمح لها ببناء خلايا معقدة. وإذا كانت فرضية أن الحصول على ميتوكُندريا هي خطوة جوهرية في الطريق إلى خلية حقيقية النواة أي قبل أن تحصل على شكلها المحدد ـ صحيحة ـ فهذا يعني أن عُمر النواة حوالي 1.5 بليون سنة.

البلاستيدات الصانعة

تصنع البلاستيدات الكربوهيدرات باستخدام الأصباغ لالتقاط الضوء. وهناك نوعان من البلاستيدات:

حواء الميتوكُندرية

تحتوي أغلب خلايا حقيقيات النوى على اثنين من الجينوم، واحد في النواة والآخر في الميتوكُندريا (خلايا ضوئية التركيب تحتوي على DNA البلاستيدات الصانعة أيضًا) في الأنواع التي تتكاثر بأن يحمل الحيوان المنوي الـDNA من نواة الذكر بينما تحتوي البويضة على الـDNA من الميتوكُندريا ونواة الأنثى. هذا يعني أن DNA الميتوكُندريا mtDNA في الإنسان ينتقل من الأم إلى الابنة في خط أمومي غير منقطع. في عام 1987، نشر عالم الوراثة ألان ويلسون دراسة ميدانية يقارن فيها mtDNA لعدد 145 شخصًا من خمس مجموعات من مناطق جغرافية مختلفة، وأثبت أنهم ينحدرون من فرد واحد وغالبًا كان يسكن قارة أفريقيا منذ 200.000 سنة. أطلق الإعلام عليها اسم «حواء الميتوكُندرية» لكن، يفضل ويلسون اسم «الأم المحظوظة». وتعتبر حواء الميتوكُندرية أحدث سلف مشترك لكل فرد على قيد الحياة اليوم، لكن بخلاف حواء التي ذكرتها الكتب المقدسة فهي ليست الأنثى الأولى، لأن هناك إناثًا أخريات عشن في ذلك الوقت لكن لم يتركن أي أحفاد على قيد الحياة. في هذه الآونة يمكن أن تستخدم mtDNA في الاختبارات الوراثية التي تعيد بناء نسب شخص ما. كما تستطيع الميتوكُندريا أن تزيد من قدرة تحرك الحيوانات المنوية لاختراق البويضة أثناء عملية التخصيب لكنها عادة ما تتحلل، لذلك فإن توريث mtDNA الأبوية نادرًا ما يحدث.

بلاستيد أولي بغشاءين (يحتوي على البلاستيدات الخضراء الأشهر في النباتات) ويحتوي البلاستيد الثانوي على ثلاثة أو أربعة أغشية. يحتوي الغشاء المزدوج في البلاستيدات الأولية والميتوكُندريا على تكوينات جزيئية مختلفة. ويشبه الغشاء الداخلي الغشاء البكتيري أما الغشاء الخارجي فيشبه سطح خلية حقيقية النواة. ويتشابه هذا التكوين مع البكتيريا الزرقاء التي تُبتلع في فقاعة تتكون من غشاء العائل منذ حوالي 1.2 بليون سنة.

تحورت البلاستيدات الصانعة الأولية بمصاحبة عائليها إلى ثلاثة فروع في شجرة الحياة ضوئية التركيب وهما طحالب المياه العذبة (الطحالب الزرقاء ـ Glaucophytes) (والطحالب الحمراء ـ Rhodophytes) ونباتات (الطحالب الخضراء والنباتات البرية). ونظرًا لأن البلاستيدات الصانعة الثانوية تحوي ثلاثة أو أربعة أغشية ربما تكون قد نشأت من الخلايا ضوئية التركيب التي ابتلعتها خلايا حقيقية النوى أخرى قبل أن تُختزل إلى البلاستيدات الصانعة مع الأغشية الزائدة التي تأتي من عائل جديد. وربما حدث هذا التكافل الداخلي الثانوي على الأقل ثلاث مرات؛ مرتين في النباتات الخضراء ومرة أو أكثر في الطحالب الحمراء.

الفكرة الرئيسة

تحتوي خلايا حقيقيات النوى على أسلاف البكتيريا التكافلية