

التعددية الخلوية

Multicellularity

إن تطور النواة والميتوكوندريا في الخلايا حقيقتات النوى هو أول التحولات المهمة في تاريخ الحياة المعقدة. ربما وقعت تلك الأحداث مرة واحدة فقط بينما حدث تطور لأي جسم متعدد الخلايا عدة مرات، حتى يقدم له العديد من المزايا.

تؤدي الكائنات وحيدة الخلية المنفردة جميع المهام الحيوية ذاتياً بما فيها التحرك والحماية والتكاثر. فهي مشغولة في كل الأعمال، متعددة المهارت والمواهب. وعلى النقيض، تستطيع الأجسام ذات التعددية الخلوية أن تقسم أعمال الحياة بين الأنسجة المتخصصة. وتنقسم الخلية إلى نوعين أساسيين هما: الخلايا الجنسية لنقل المعلومات القابلة للتوريث إلى الجيل التالي، والخلايا الجسمية لكل الأشياء الأخرى.

الخط الزمني

1883م	1987م	1988م
وصف فابيان Weismann تقسيم العمل، وميّز بين الخلايا الجنسية والجسمية.	ناقش ليوبس Leo Buss انتخاب الخلايا والمجموعات في كتابه: «تطور الفردية».	طرح شاييرو Shapiro فكرة ضرورة اعتبار بعض البكتيريا كائنات متعددة الخلايا.

الأغشية الحيوية

غالبًا ما تكون البكتيريا أغشية حيوية وهي مصفوفة خارج الخلية تربط الخلايا معًا في صورة غروية. تُصنع هذه الحصيرة الميكروبية من السكريات والبروتينات والدهون والأحماض النووية حيث تقوم الخلايا بإخراج هذه المواد بعد أن تنفجر في ظروف بيئية ضاغطة. ويحفز ذلك الكائنات المجاورة على تغيير نشاطها الجيني وبالتالي تتغير سماتها وسلوكها. وتصنع الأغشية الحيوية حاجزًا يسمح لمجموعة من الخلايا بالتشارك في الأيض لكن في أغلبها تعطل الدخول بسبب المواد السامة. تتكون الأغشية الحيوية من بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* والإشريكية القولونية *E. coli* التي تحتوي على خلايا مقاومة للمضادات الحيوية. وعلى سبيل المثال، فإن لها القدرة على وقف البكتيريا المتفوقة كعدوى المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين (MRSA). ويمكن أن تتكون هذه الأغشية على أغلب الأسطح من طبقة رقيقة في واجهة الهواء أو الماء إلى أن توضع في أطباق بيتري *Petri* في المعمل. وعلى الرغم من أن الأغشية الحيوية لها العديد من سمات التعددية الخلوية (مثل الالتصاق معًا) كما تستطيع الخلايا أن تتشارك في المنافع (مثل الدفاع ضد المفترسات) إلا أنها سريعًا ما تزول. وعلى عكس الأجسام متعددة الخلايا، لا تقوم الأغشية الحيوية دائمًا بصناعة الخلايا من نفس الأصل، وربما لا تكون حتى من نفس الأنواع. ونتيجة لذلك، يوجد أكثر من تضارب في الفائدة والمنافسة داخل «المجموعة» تاركًا إياها معرضة لنشأة خلايا خادعة تصنع في النهاية حصيرة ميكروبية غير مستقرة.

تقسيم العمل

في عام 1883، كان عالم الحيوان الألماني أوغست فايسمان August Weismann أول من اقترح التمييز بين الخلايا الجنسية germ والخلايا الجسمية soma حيث طرح أن تقسيم العمل مسموح به في الكائنات وذلك لتتحور الأجسام المركبة. ومن خلال التمايز، يحفز الجسم الخلايا للقيام بوظائف مختلفة ومتخصصة في كل شيء بداية من التغذية حتى البناء الضوئي. وعندما تكون خلايا الكائن متخصصة ومندمجة

2014م

طرح كل من لبيبي Libby وراتكليف Ratcliff فكرة أن التعددية الخلوية الأساسية مستقرة بسبب التحكم في الخلايا.

2010م

كشفت البحوث عن وجود اختلافات طفيفة بين جينوم طحلب الفولفكس متعدد الخلايا وطحلب الكلاميدوموناس *Chlamydomonas* وحيد الخلية.

1999م

اكتشف ميلر Miller وكيرك Kirk الجين المسؤول عن الانقسام في طحلب الفولفكس *Volvox* متعدد الخلايا.

ومتواصلة ومعتمدة على بعضها البعض، يصبح متعدد الخلايا. وبدون تلك السمات الأربع يعتبر الجسم مجرد خلايا مستنسخة. وبالرغم من أن أسلاف الأنواع الحية لم تكن قريبة من ذلك التكوين وكانت تتسم بتفاوت أكثر قليلاً فقد استندت على خاصيتين وهما اندماج الخلايا والتواصل. لقد نشأت التعددية الخلوية عشر مرات؛ مرة في المملكة الحيوانية وثلاث مرات في الفطر وست مرات في النباتات.

الالتصاق معاً

كيف نشأت التعددية الخلوية؟ منذ ملايين السنين حدثت مجريات تسببت في وجود الأجسام الحديثة، لذلك غالباً يقارن العلماء الأنواع أحادية الخلية بأقاربها متعددة الخلايا. ويعتبر أفضل نموذج للطحالب الخضراء وحيدة الخلية هو الفولفكاسيا *Volvocaceae*، فعندما درس علماء الأحياء سلالات الفولفكس الطافرة وجدوا العديد من الجينات التي تحدد كيف تصنع الطحالب خلايا جنسية كبيرة وخلايا جسمية صغيرة أو قُنيدات *Gonidia* (أجزاء متحركة متوالدة من الجراثيم والأشنيات). وفي عام 1999، اكتشف ستيفن ميلر Stephen Miller وديفيد كيرك David Kirk جين *GonidialessA* (*glsA*) المطلوب للتقسيم المتماثل، حيث يصنع جين *glsA* خلايا متساوية الحجم. وفي عام 2003، فصل ميلر الجين المتساوي من طحلب الكلاميدوموناس *Chlamydomonas* وأعطاهما للفولفكس الطافر مسبباً كائنات متعددة الخلايا لاسترجاع خلايا مختلفة الحجم. في عام 2010، قارن علماء الوراثة بقيادة دانيال روكسار Daniel Rokhsar الجينوم لكلا النوعين بينما لاحظوا تشابه حوالي 14.500 جين فكل فولفكس يحمل أكثر من جين مشفر للبروتينات لجدران الخلية ومصفوفة جينات خارج الخلية لدمج الخلايا.

التبعية والتواصل

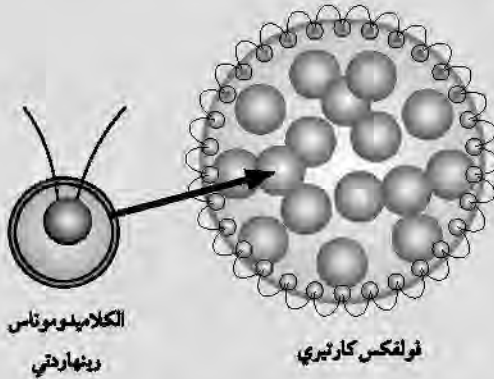
في عام 1988، نشرت مجلة ساينتفك أمريكان Scientific American مقالها الرئيسي تحت عنوان «البكتيريا ككائنات متعددة الخلايا» لعالم الوراثة جيمس شابيرو James Shapiro الذي تصدى فيه للفكرة التي تعتبر أن الميكروبات وحيدة الخلية. وكانت البكتيريا الزرقاء الأنايبنة الأسطوانية *Anabaena cylindrica* أحد أمثله. حيث تقوم البكتيريا الزرقاء بعملية البناء الضوئي وتمتص نيتروجين الغلاف الجوي في أوقات مختلفة مثل التفاعلات الأيضية لعمليتين متداخلتين واحدة داخل الأخرى. لكن يتكون الشكل الخيطي للأنايبنة من سلسلة من الخلايا تظل مترابطة معاً نتيجة للانفصال غير الكامل بعد الانقسام. ويمكن ملاحظة ذلك في الخلايا ضوئية التركيب وحوصلات تثبيت النيتروجين والأكينيتات *akinetes* أو الخلايا الساكنة والمهرموجونيا *hormogonia* التي تتحرك. لا تتكاثر أول اثنتين بينما يمكن أن تتكاثر الاثنتان الأخرى مثل انقسام الخلايا الجسمية والجنسية للكائنات المعقدة.

تعتبر الأشكال الخيطية والأنماط الأخرى أقل قابلية للخداع وتزيد التنافسية للموارد بسبب الكثافة العالية للخلايا، إذن لماذا يتشكل الجسم ككل؟ في عام 2006، استتبت عالماً البيئة جيانلوكا كورنو Gianluca Corno وكلاوس يورغنس Klaus Jürgens في ماء عذب بكتيريا فلاكتوباسيلس *Flectobacillus* جنباً إلى جنب مع طحلب البكتيريا المفترسة أو كروموناتس *Ochromonas* فوجدا أن أكثر من 80٪ من الفرائس تحولت إلى أشكال خيطية غير صالحة للأكل تكونت من خلايا متعددة ممدودة. لذلك، قد يكون ببساطة أحد محفزات التحول إلى الحياة متعددة الخلايا أن الأجسام الكبيرة أقل احتمالاً أن تأكلها مفترساتها.

«يؤدي مبدأ تقسيم العمل الذي ظهر بين الكائنات متعددة الخلايا بالتدرج إلى إحداث تعقيد أكثر فأكثر في بنيتها».

نموذج التعددية الخلوية

يعتبر أفضل نموذج لدراسة تطور التعددية الخلوية هو طحلب الفولفكاسيا، من عائلة الطحالب الخضراء التي تبدأ أعضاؤها من الكائنات أحادية الخلية إلى كائنات تحتوي أجسامها على آلاف من الخلايا. عادة ما يقارن العلماء بين نوعين هما: الكلاميدوموناس رينهاردتي *Chlamydomonas reinhardtii* وهي طحالب وحيدة الخلية تمتص أسواطها قبل انقسامها، والنوع الثاني هو فولفكس كارتيري *volvox carteri* الذي يحوي حوالي 16 خلية جنسية كبيرة داخل شكل كروي شفاف يشبه مصفوفة هلامية تحتوي على 2000 خلية صغيرة الحجم، كل منها مرتبط بسوط يقود الجسم الكروي في اتجاه أشعة الشمس لإجراء عملية البناء الضوئي.



الكلاميدوموناس رينهاردتي

فولفكس كارتيري

الأحادية

يعمق الانتقال من مجموعة خلايا إلى جسم متعدد الخلايا التغير البيئي من التنافس إلى التعاون. ويشمل إعادة تعريف ما المقصود بالكائن الأحادي. أثناء هذا الوقت، يحدث الانتخاب على مستويات متعددة، اعتمادًا على كيف تؤثر مجموعة الكائنات الحية على قدرة بقاء الخلية وتكاثرها. إذا رجحت التكاليف على الفوائد (كما هو موضح في الأغشية الحيوية

البكتيرية) فسوف يتجاوز انتخاب مستوى الخلية بسرعة انتخاب مستوى المجموعة.

إذن كيف يمكن للتعددية الخلوية أن تستقر؟ أحد السيناريوهات أن الانتخاب الطبيعي يمكن أن يتحيز للسلاسل التي تفيد كفاءة الخلية في مجموعة، لكن هذا الفرض مكلف إذا هاجرت الخلية. في عام 2012، اختبر ويليام راتكليف William Ratcliff هذا السيناريو مع التطور التجريبي على فطريات خميرة وحيدة الخلية *Saccharomyces cerevisiae*. فقد أعطى

45 دقيقة للخلايا حتى تستقر في أنبوب اختبار قبل تحويلها إلى قاع أنبوب جديد، وقد كرر هذه العملية 60 مرة حتى فضل الانتخاب الاصطناعي العناقيد الثقيلة متعددة الخلايا. ومن المدهش أن الخميرة قد طورت سلالة ثانية إلى جانب التصاقها معاً مما يعني ارتفاع معدلات الموت الخلوي المبرمج.

استناداً على النماذج الرياضية، اقترح راتكليف وإريك لبيي أن موت الروابط الضعيفة يسمح للخلايا بأن تغلب على القيود في أنبوب الاختبار من خلال تحطيم الروابط منتجة بذلك خلايا أصغر سريعة النمو. أما الموت الخلوي المبرمج فهو تكيف مجموعة معيشية لكنها سيئة التكيف عندما تتحرر الخلايا من العناقيد كما يجعلها معدل الانتحار المرتفع أقل تنافساً ضد الخلايا الأخرى الحية. مثل الموت الخلوي المبرمج، يمكن أن تعمل السلالات كنفقات على الرفعة التطورية محصنة الخلايا في نمط حياة مجمع وتصبّب مهمة ارتدادها إلى وجود انفرادي.

الفكرة الرئيسة

تفقد الخلايا أحاديته لتصبح أجساماً متعددة الخلايا