3

الخلايا في الطبيعة وفي النظريات

«الخلية عالم صغير للحياة لأنه يكمن في منشئها وطبيعتها واستمراريتها كامل مشكلة علم الأحياء».

دبليو. س. بيك (1)

نظرية الخلية

من خمس ممالك إلى ثلاث مقاطعات

ثلاثة مظاهر

إعادة اكتشاف العضوية

طوال القرن الثامن عشر كانت المجاهر الضوئية تتحسن في التكبير، وقدرة التبين، ونقاء العدسات. في منتصف القرن التاسع عشر، اندمجت كمية كبيرة من الملاحظات حول نسج النباتات والحيوانات المتطورة في فكرة كبيرة موحدة، «نظرية الخلية». كانوا يهللون بها، وهم محقون، في كل كتاب مدرسي على أنها حجر الزاوية لعلم الأحياء. تنص النظرية على أن جميع الأشياء الحية ، على الرغم من تنوعها الوافر، تشترك في مخطط معماري واحد: كل عضوية تتألف من الخلايا، إما عديدة أو واحدة، تشكل الوحدات الأساسية للحياة. هذه العبارة لا تعنى بجزيئات الحياة وتفاعلاتها

الكيميائية، بل بالنموذج الفراغي التي تنتظم فيه هذه الجزيئات. إن للخلية مكانة خاصة في النظام الهرمي للأحياء، لأنها هي وحدها تملك القدرة على أن تستقل ذاتياً، وأن تتكاثر بالانقسام. بالتالي فإن الخلية تمثل أبسط مستويات التنظيم التي تبدي جميع ملامح ظاهرة الحياة. سوف نفحص في هذا الفصل كيف نشأت هذه الفكرة، وكيف تطور معناها عبر القرن الماضي. إن دراستنا الصحيحة، لهذا الغرض، هي دراسة عالم الأحياء الدقيقة، التي تقدم أشكالها وأنماط حياتها المتشعبة كامل طيف الخيارات المتاحة للحياة في نمطها الأكثر بدائية.

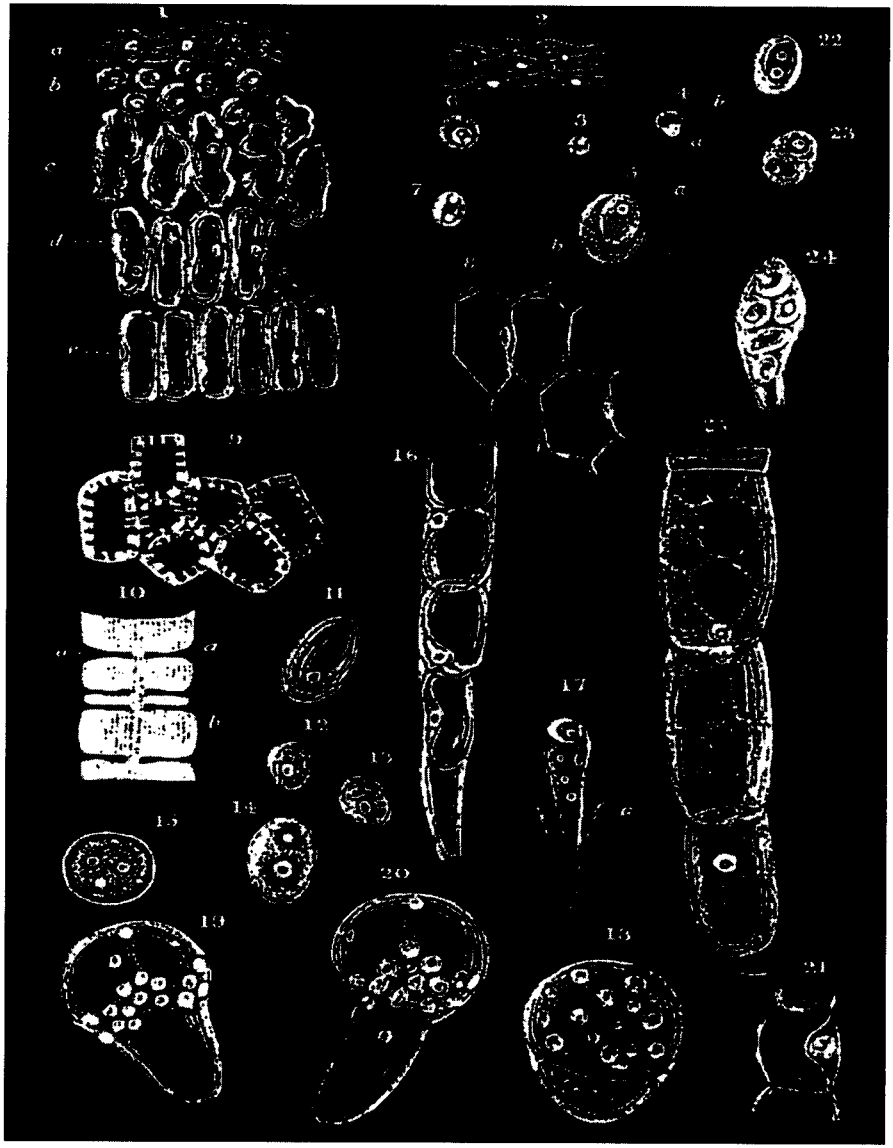
نظرية الخلية

كان أنتون فان ليبوفنهويك، التاجر والموظف المدني في ديلفت في هولندا، الهاوي من الطراز الأول في مجال صقل العدسات، هو أول من لمح حشد المخلوقات المجهرية منذ أكثر من ثلاثمئة سنة. كان مجهره، الذي هو في الواقع عدسة مكبرة قوية، يكبر الأشياء التي يمسكها في رأس دبوس كليل ما يقارب 300 مرة. سمح ذلك لفان ليبوفنهويك أن يرى الأوليات، والأسنات، وخلايا الدم والنسج، والنطف، وحتى بعض الجراثيم؛ ولقد وصف هذا العالَم في سلسلة من الرسائل المتحمسة (باللغة الهولندية) موجهة للجمعية الملكية في لندن. لقد تم الحفاظ على بعض عيناته من عام 1674، ولا يزال بالإمكان التعرف على محتواها (2). أكد المجهر الضوئي بإسهاب عبر القرنين التاليين غزارة وتنوع الحياة المجهرية. في الحقيقة، هناك أنواع من الحياة يمكن أن ترى تحت المجهر أكثر مما يرى في الغابات المطرية في مناطق الأمازون: نحن نعلم اليوم أن معظمها أحياء دقيقة .

لم يبدأ المجهريون يتبينون الوحدة الموجودة خلف تنوع الأشكال الحية حتى منتصف القرن التاسع عشر. لوحظت الخلايا عدة مرات منذ أن وضع

روبرت هوك ذلك المصطلح سنة 1665 لوصف بنية الفلين، وبينما تم بالتدريج تخطي الصعوبات التي واجهها المجهريون الأوائل، أحس أكثر من عالم أحياء واحد أن الخلايا وحدات شاملة وليست وحدات متباينة. بحلول منتصف القرن كان الوقت قد نضج لظهور نظرية موحدة، بيّنها بوضوح عالم النبات ماتياس شلايدين وعالم الفزيولوجيا ثيودور شوان. بينما كانا يتبادلان الملاحظات على مائدة العشاء في يوم من أيام سنة 1838، أدركا أن نسج النباتات والحيوانات تترتب حسب مبدأ مشترك. تتكون جميعها من قطرات متمايزة من نوع من الهلام، سرعان ما سمي البروتوبلاسما، التي يحيط بها غشاء وتتضمن كتلة مركزية أكثر كثافة، أي النواة (الشكل 1.3). قدم شلايدين وشوان «عقيدة الخلية» التي وضعوها في مقالات منفصلة ظهرت سنة 1838 و1839: إن النباتات والحيوانات ليست كلاً غير قابل للانقسام بل أنها كائنات مركبة، تتكون من عدد لا يحصى من الخلايا، وكل خلية هي بحد ذاتها عضوية، قد مُنحت الصفات الأساسية للحياة. «تعيش كل خلية حياة مزدوجة: حياة مستقلة، تتعلق بتطورها الخاص على انفراد؛ وحياة عرضية، من حيث أنها أصبحت جزءاً أساسياً من نبات. مع ذلك، يسهل فهم أن العمليات الحيوية للخلايا المنفردة يجب أن تشكل أول الأسس اللازمة بالضرورة لكل من الفزيولوجيا النباتية والفزيولوجيا المقارنة عامة»(3).

اعتنق شلايدن وشوان فكرة أن المادة الحية تنشأ من تجمع أو تبلور المادة غير الحية حول النواة. سرعان ما تم التخلي عن ذلك الاعتقاد الغريب، الذي لم يعد رائجاً حتى في أيامهم؛ وأكد كتاب رادولف فيرتشو المدرسي في التشريح المرضي (1858) بشدة أن الخلايا، في الواقع، لا تنشأ أبداً بشكل عفوي، وإنما تأتي دائماً من خلايا موجودة سابقاً. قد تنقسم خلية واحدة إلى خليتين، أو قد تتحد خليتان عروسان لتصنعا خلية واحدة، لكن التنظيم الخلوي يستمر في كل من الحالتين. لا تزال عبارة فيرتشو المطلقة، كل خلية من خلية، إحدى حقائق علم الأحياء الأساسية (4).



الشكل 1.3. الخلايا النباتية كما رسمها ثيودور شوان سنة 1847. تشمل هذه على النسج الجنينية (1)، أنابيب الطلع (16، 17) «والأبواغ» المنتشرة (18 ـ 20). طبع بموافقة من مكتبة ويلكام ترست للصور الطبية، لندن.

امتدت نظرية الخلية، التي وضعت في الأساس وفي أذهان علماء النباتات والحيوانات العليا، إلى عالم الأحياء الدقيقة عندما تم إدراك (عام 1845) أن الأوليات تشارك في جميع السمات المميزة للتنظيم الخلوي: غشاء محيط ونواة. أكد هذا الاكتشاف الاقتناع المتنامي بأن الخلايا فعلاً موجودات مجهرية، وهي الوحدات الشاملة للحياة. كان للاهتمام المتزايد بالحياة المجهرية عواقب أخرى، لم يصبح أثرها على طبيعة العضويات الحية واضحاً حتى قرننا هذا. منذ عهد أرسطو، قسم العلماء والعامة على السواء العالم الحي إلى مملكتين عظيمتين، النباتية والحيوانية. التزم لينـاوس الذي وضع التسمية المزدوجة المعيارية في نهاية القرن الثامن عشر بهذه النظرية. كانت العضويات المجهرية تلقى في إحدى المملكتين أو الأخرى: وضعت الفطور والأشنات الخضراء مع النباتات، ووضعت الجراثيم والمتحولات المتحركة الناهبة مع الحيوانات. ولكن مع تجمع المعلومات حول تشريح وفزيولوجيا الأحياء الدقيقة، أصبح من الواضح أن بعض الأحياء الدقيقة تجمع صفات كل من النباتات والحيوانات ـ مثل، اليوجلينا، التي هي خضراء وتقوم بالتركيب الضوئي وهي مع ذلك تتحرك بنشاط. وهناك كائنات أخرى، مثل العفن التافه التي لا تتألف من خلايا متمايزة، ببساطة لا يمكن أن تصنف في أي من المملكتين النموذجيتين. في سنة 1866 أعاد إيرنست هاكل، تلميذ داروين ونصيره في ألمانيا، رسم شجرة الحياة بثلاثة فروع كبيرة بدلاً من فرعين. نادى بوجود مملكة ثالثة، الفرطيسات، ليفسح المجال للعضويات الدقيقة وحيدة الخلية وبعض أقربائها متعددة الخلايا مثل أشنات البحر والماء العذب. كان فصل الفرطيسات يتضمن أكثر من مجرد الراحة التصنيفية: لقد بدأ هذا الفصل جدلاً يستمر حتى اليوم حول منشأ الخلايا وتطورها المبكر.

من خمس ممالك إلى ثلاث مقاطعات

مع الوحدة، التنوع من جديد. اعتبر هاكل ومعاصروه حشد خلايا الأحياء الدقيقة تنوعات لبنية تركيبية واحدة. لكن أصبح واضحاً، بحلول نهاية القرن، مع توفر المجاهر الأكثر حدة وقوة أن خلايا الجراثيم كانت أكثر بساطة ولا تشبه بنيوياً أياً من الخلايا الأخرى. حصل التقدم الكبير التالي في مفهومنا عما تعنيه الخلية سنة 1937 من قبل عالم الخلية الفرنسي ي. تشاتون، الذي ميز نمطين من الترتيب الخلوي. اقترح المصطلح حقيقية النوى (من اليونانية ذات النوى الحقيقية) لكي يشير إلى الخلايا التي تملك نوى متميزة محاطة بغشاء خاص، والتي تحتوي على صبغيات مرئية خلال الانقسام. هذه هي الخلايا التي كانت في ذهن شلايدن، وشوان وأسلافهم:

ليس فقط خلايا النباتات والحيوانات الأعلى، بل أيضاً خلايا الفطور والكثير من الفرطيسات. تشكل هذه تجمعاً متفاوتاً لكنه في نفس الوقت متلاحماً تتضمن سماته الأساسية نواة حقيقية، وعضيّات داخل النواة، وهيكلاً خلوياً، وشبكة معقدة من الأغشية الداخلية؛ لاحظ تشاتون أن الجراثيم أصغر وأبسط وتفتقر إلى النواة الحقيقية، اقترح تسميتها بطلائعيات النوى. لم يدرك معاصرو تشاتون أهمية مساهمته؛ ترك الأمر عقدين من الزمن حين أكد بعدها ر. واي. ستانيير و سي. ب. فان نيل، على عمق التقطع الذي يجري على طول عالم الأحياء (5).

لكن المصنفين انتبهوا لذلك، حيث أنهم كانوا قد أدركوا مسبقاً الحاجة لإعادة تصنيف المستويات العليا من نظام التصنيف. لم يكن من المنطقي وضع عضويات ذات بنية مختلفة جداً في مملكة واحدة، وأخرجت الجراثيم سنة 1939 من الفرطيسات إلى مملكة مستقلة بذاتها. إن ما يعتبر اليوم تصنيفاً نموذجياً هو ما قدمه ر. هـ. ويتاكر سنة 1959، وهو يظهر في أطلس العالم الحي البديع الذي حضّره ل. مارغوليس و ك. في. شوارتز (6). يصنف

جميع الكائنات الحية في خمس ممالك، واحدة طلائعيات النوى (المونيرا) وأربعة حقيقيات النوى (الحيوانات، والنباتات، والفطور، والفرطيسات)؛ لاحظ عدم وجود الفيروسات، التي هي غير مكونة من خلايا. إن جميع الجراثيم، وفقط الجراثيم، من طلائعيات النوى في تنظيمها. لذلك تشتمل مملكة المونيرا على العضويات التي تسمى الأشنات الخضراء ـ الزرقاء، المألوفة لدى الجميع كغثاء يتشكل على سطح المياه الراكدة، وقد ادعاها علماء النبات تقليدياً كجزء من مرجهم. مع اختراع المجهر الإلكتروني أدرك أن هذه العضويات طلائعيات نوى ولذلك أعيدت تسميتها بالجراثيم الزرقاء. إن الفرطيسات هي أكثر أفراد مملكة حقيقيات النوى إثارة في غرضنا هنا (7)، إنها مجموعة متباينة من حقيقيات النوى السفلى، معظمها وحيدة الخلية ولكن بين أفرادها قرابة بعيدة. العفن التافه، والأوميسيتات، والهدبيات، والسوطيات ليست أسماء لأشياء تجدها في المنزل، وليس لمعظمها أي أثر في حياتنا اليومية (إلاّ عندما يسبب أحدها المرض، مثل الجياردیا). مع ذلك، فإننا نتوقع أن نجد ضمن الفرطيسات، ليس فقط أسلاف النباتات والحيوانات الأعلى، بل أيضاً الذرية الناجية من الخلايا حقيقية النوى السالفة.

إن مبدأ وجود نمطين من التنظيم الحيوي، الخلايا حقيقية النوى والخلايا طلائعيات النوى، أصبح حجر زاوية في علمنا وهو مدون بشكل مقدس في كل كتاب مدرسي. لا زلنا نحاول أن نتكيف مع الحاجة لإعادة صياغة هذا الإطار المألوف على ضوء الاكتشاف بأنه يوجد في الحقيقة ثلاثة أنواع من الخلايا، واحد من حقيقيات النوى، واثنان من طلائعيات النوى. عرف تشاتون وخلفاؤه التنظيم حقيقي النوى بصفات إيجابية، مثل الاحتواء على نواة حقيقية وأغشية داخل الخلية. يؤكد كل ما تعلمناه لاحقاً المضمون بأن حقيقيات النوى، من الفرطيسات إلى البشر، تمثل اختلافات في مجموعة عامة من الأسس الكيميائية الحيوية، والفزيولوجية، ومكونات البنية، وهي تتحد في أنها تأتي من سلف مشترك. على النقيض من ذلك، فإن طلائعيات

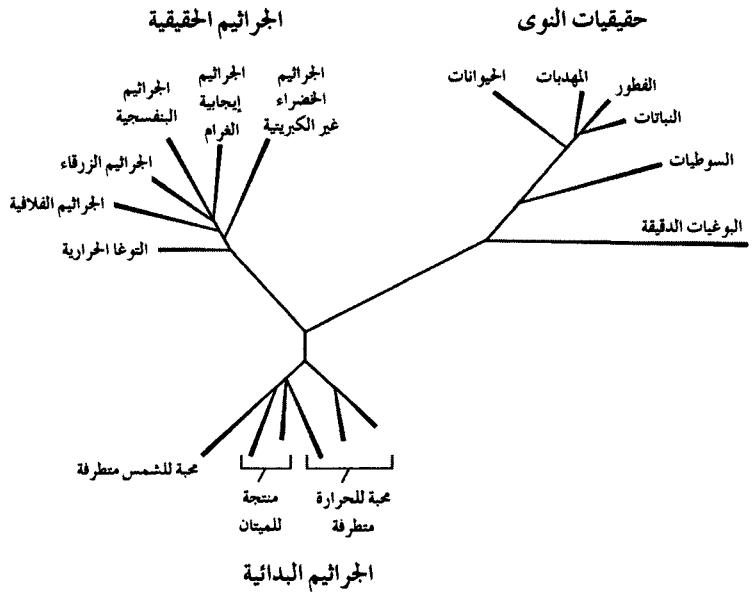
النوى عرّفت فقط بغياب الملامح المميزة لحقيقيات النوى (5). إن اكتشاف أن اصطلاح طلائعيات النوى يجمع معاً صنفين من العضويات يشتركان في مكونات البنية، لكنهما يختلفان بعمق في جميع المظاهر الأخرى تقريباً، هو أروع نتيجة لتطبيق الطرق الجزيئية على دراسة التاريخ العرقي للعضويات.

لقد كانت العلاقات التطورية تستخلص تقليدياً من التشابه التشريحي والفيزيولوجي: من الواضح أن القطط أكثر شبهاً بالنمور من الخيول. لا تناسب هذه العملية الجراثيم، التي تقدم أشكالها ووظائفها البسيطة القليل فقط من المستمسكات. ولكن تم في الستينيات إدراك أن تسلسل الحموض الأمينية في البروتينات، أو النوويدات في الحموض النووية (الفصل 4)، تحتوي على ذخيرة وافرة من المعلومات عن الأنساب. إن الجزيئات الكبيرة التي تنحدر من جزيء سالف مشترك تتباعد باطراد مع مرور الزمن، شكراً لتراكم الطفرات؛ يمكن لمقارنة التسلسل أن تعطي بصيرة في العلاقات العائلية. أدرك كارل وويس أنه، لغرض علماء الأحياء الدقيقة، فإن الجزيء الكبير المختار هو الحمض الريبي النووي للجسيمات الريبية، وهي العضيات الخلوية التي تصنع البروتينات (الفصل 4)؛ يتم الحفاظ على بنية الحمض الريبي النووي (الـ «ر.ن.أ RNA») بصرامة شديدة إلى حد أن الـ «ر.ن.أ RNA» المستخلص من العضويات التي تباعدت منذ بلايين السنين لا تزال تظهر تسلسلاً متماثلاً بشكل لا يدع مجالاً للخطأ (8). سرعان ما أظهرت مقارنة عينات من مجال واسع من الجراثيم أن طلائعيات النوى، بالحكم من تسلسل أسس «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية، تقع في مجموعتين مختلفتين بالكلية. تشمل الأولى، المسماة بالجراثيم الحقيقية، معظم العضويات المألوفة للطلاب ولعامة الجمهور: الإشريكية القولونية، والعقدية، والرئوية، والزرق والجراثيم الأخرى التي تحطم المواد الحية، وتصنع الجبن وتسبب أمراض الحيوانات والنباتات. يتألف الصنف الثاني من عضويات أكثر غرابة بكثير تميل لأن تقطن في البيئات المتطرفة: الجراثيم المحبة للحرارة،

والمحبة للحمض، والمحبة للملح، وجراثيم المعدة الأولى للحيوان. سميت هذه بالجراثيم البدائية لأنه كان يعتقد في ذلك الوقت أنها تشكل مجموعة أكثر قدماً. لقد عرف علماء الجراثيم الصفات الفريدة لهذه العضويات، معتبرين هذه الصفات تأقلماً لبيئة هذه الجراثيم القاسية. أظهر وويس وزملاؤه، على النقيض، أن هذه الاختلافات في بنية الـ «ر.ن.أ RNA» وفي ملامح أخرى عديدة تمثل تباعداً قديماً: إن الجراثيم الحقيقية والجراثيم البدائية متباعدان أحدهما عن الآخر تباعد كل منهما عن حقيقيات النوى (8).

خلال العقد الماضي أصبح تحديد تسلسل مكونات الجزيئات الكبيرة عملية روتينية، وبرز تسلسل «ر.ن.أ RNA» الأجسام الريبية كأداة القياس الأساسية التي يستعملها عالِم علم الأحياء التطوري ـ ساعة لتعقب الدهر. تلخص شجرة الأنساب التي تظهر في الشكل 2.3 أول ثمار هذه المداخلة. يفترض أن طول كل فرع يتناسب مع درجة التباعد، مقاساً ليس بعدد السنين التي انقضت بل بعدد الطفرات التي نتج عنها تبدل في تسلسل النوويدات في «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية. إن البعد التطوري بين أي عضويتين يتناسب مع طول الخط الذي يصل بينهما. تقفز الخلاصة الأساسية إلى النظر: تقع جميع العضويات الحية في ثلاثة عناقيد أساسية، أطلق عليها وويس، وكاندلر وويليس (8) فيما بعد مصطح المقاطعات: حقيقيات النوى، الجراثيم الحقيقية، والبدائيات. تتوافق هذه الوحدات التصنيفية مع، وتحل محل، المجموعات التقليدية حقيقيات النوى، والجراثيم الحقيقية، والجراثيم البدائية (9). سوف نرى في الفصل 8 أن الشجرة قد مدت جذورها (وإن كان بشكل مؤقت)، وأن البدائيات وحقيقيات النوى أقارب بعيدين لكنهم متميزين. إن المقاطعات وحدات تصنيفية أعلى من الممالك التقليدية. بالقياس بتسلسل «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية، فإن الممالك المألوفة للحيوانات، والنباتات، والفطور ليست سوى فروعاً على شجيرة كبيرة من حقيقيات النوى، مع الكثير من الأغصان الأخرى التي تتوافق مع نوع أو آخر من

الفرطيسات. إننا كبشر أقرب بكثير للفطور من الجراثيم التي تعيش ضمن أجسادنا. من الواضح، أنه إذا كانت الحيوانات والنباتات تريد أن تحافظ على حالتها التقليدية كمملكتين، فإن العدد الكلي للممالك سوف يرتفع إلى ثلاثين ضمن حقيقيات النوى لوحدها.



الشكل 2.3 شجرة النسب الشاملة المحددة بمقارنة تسلسلات «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية. يتناسب طول الخط على الشجرة مع الأبعاد التطورية المقاسة. من وويس، 1987، بإذن من الجمعية الأمريكية للأحياء الدقيقة

لم يكن لتمر مثل هذه الإعادة لتركيب النظام العالمي للتصنيف بدون تحد. جاءت إحدى الانتقادات من إيرنست ماير (10)، عميد التطوريين الأمريكيين الذي خطّأ وويس وزملاءه في مبادئ وأهداف مخططهم ذاتها. لقد نمت الشجرة الشاملة ومقاطعاتها الثلاث (الشكل 2.3) بالكلية من الاختلافات في بنية «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية، لكن الاختلافات في صفة واحدة تشكل أساساً ضعيفاً للغاية للتقسيم التصنيفي العميق. إن التنظيم العام للخلايا يمكن أن يقدم قاعدة أمتن، ومن هذه النظرة تصبح حقيقة أن

الجراثيم الحقيقية والجراثيم البدائية تتمتع بطبيعة طلائعيات النوى هي الحقيقة البارزة. إن الفوارق التي تميز بينهما، مهما كانت مهمة، لا تظهر إلاّ للأخصائيين في علم الجزيئات. على العكس من ذلك، فإن حقيقيات النوى، تظهر تقدماً تطورياً هائلاً، «هو بالتأكيد أكثر التغيرات درامية في تاريخ العالم العضوي»، وهو الذي أنتج خلايا جديدة وأكثر تعقيداً. لذلك يحث ماير على أن يبنى التصنيف العالمي بشكل متوازن اعتماداً على مستوى التنظيم الخلوي: مقاطعتان، واحدة لطلائعيات النوى (تكون فيها الجراثيم الحقيقية والجراثيم البدائية مقاطعتين ثانويتين) والأخرى لحقيقيات النوى. يروق هذا التصنيف من حيث المبدأ، وإن لم يكن في كامل تفاصيله، للكثير من طلاب حياة الأحياء الدقيقة (10)، وأجد أنا أيضاً فيه الكثير من الواقعية.

في جواب عنيف على نقاده، أشار ويليس أن تسلسل النوويدات يجب ألاّ يعتبر كصفة منفردة (11): إن التسلسل الجزيئي، كخيط طويل من الوحدات التي يمكن أن يختلف كل منها بشكل مستقل، أغنى بكثير بالمعلومات عن الأنساب من الصفات التقليدية للتشريح والفزيولوجيا. كما أنه أقرب للب التنوع: «إنه على مستوى الجزيئات (خاصة تسلسل الجزيئات) بحيث هو حقاً في كنف عمل العملية التطورية. يمكن للتسلسل الجزيئي أن يظهر العلاقات التطورية بطريقة وبدرجة لا يمكن أن تظهرها الصفات النمطية الظاهرة، ولا حتى وظائف الجزيئات؛ وإن ما يرى فقط بشكل خافت، إن كان يرى على الإطلاق، في المستويات العليا من التنظيم يمكن أن يرى بوضوح على مستوى البنية الجزيئية وتسلسل الجزيئات. لذلك فإن النظم في المستقبل سوف تبنى بشكل أساسي على تسلسل الجزيئات وبنيتها والعلاقات بينها، حيث ستستعمل الصفات العيانية التقليدية للخلايا والعضويات فقط لتؤكدها وتزينها». لا يحتاج المرء لسماع كل هذه الخطابة لكي يتفق في الرأي أن مخطط ماير ثنائي المقاطعات يضع التقاليد والملائمة قبل المعطيات، التي أهميتها واضحة جداً. إذا صدقنا الفكرة الأساسية بأن تسلسل

«ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية يتتبع التطور، ليس فقط تطور الجسيمات الريبية بل أيضاً العضوية، فإن ذلك يعني أن التصنيف «الطبيعي» الذي يعكس خطوط النسب، يجب أن يفسح المجال لثلاثة عناقيد رئيسية.

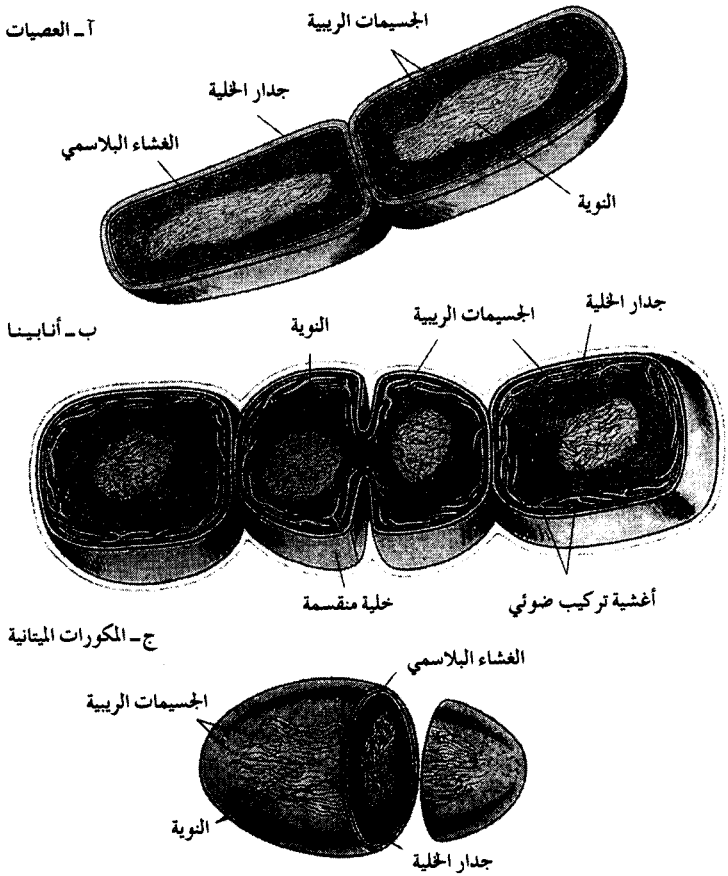
باعتبار غرضنا من هذا الكتاب، فإنه لا يتوجب علينا أن ننحاز إلى أي من الجانبين في المناقشة حول الرتبة المناسبة التي يجب أن نعطيها لكل عنقود، لكن يجب علينا أن ندرك أنه، كما تفهم الأمور اليوم، توجد ثلاثة من هذه العناقيد. إن ذلك يبدو لي ذا أهمية كبيرة بحيث ينسخ الاعتبارات الأخرى، ولذلك ففي بقية الكتاب سنفترض التقسيم الثلاثي للعالم الحي. إن تعبير «حقيقيات النوى» يبقى مفيداً، لكنه يصف درجة من التنظيم الخلوي وليس مجموعة من العضويات ذات القرابة فيما بينها. لقد حمل الرقم ثلاثة نغمة خاصة، لكنه في الحالة الراهنة مجرد رقم مبدئي، لأنه من الممكن جداً أن تُكتشف مقاطعات أخرى عندما يسبر علماء الأحياء البيئات البعيدة غير المألوفة. من يستطيع أن يتنبأ بأنواع العضويات التي تسكن الصدع والشقوق في حرف وسط الأطلسي، تحت قاع المحيط بأميال عدة؟

ثلاثة مظاهر

خلص ستانيير وفان نيل في مقالتهم الكلاسيكية عن مفهوم الجراثيم (5) إلى أن «الصفة المميزة للجراثيم والأشنات الخضراء ـ الزرقاء هي الطبيعة طلائعية النوى لخلاياها». عددا سلسلة من الصفات التي تميز الجراثيم من الفرطيسات حقيقية النوى، مؤكدين على بساطة شكل وبنية طلائعيات النوى، لكن لم يكن لديهما فكرة بأن هذه الدرجة من التنظيم الخلوي تصف كلاً من الجراثيم الحقيقية والبدائيات (الشكل 3،3). لا تملك طلائعيات النوى سوى صبغي وحيد، أو جسيم جيني، يكون، كقاعدة، دائري الشكل. تحاط الخلايا بغشاء بلاسمي لكنها تفتقر إلى غشاء نووي و (مع بعض الاستثناءات) إلى أغشية داخلية عامة. إن إنتاج الطاقة هو عادة وظيفة الخلية ككل، وليس

وظيفة عضيات متخصصة. إن البلاسما عادة عديمة الملامح عدا عن الجسيمات الريبية الكثيرة وأحياناً بعض المشتملات الخلوية؛ إن الجسيمات الريبية هذه أصغر من الجسيمات الريبية في حقيقيات النوى وتتحسس لمجموعة معينة من المضادات الحيوية. لا تظهر طلائعيات النوى هيكلاً خلوياً دائماً، وتفتقر خاصة إلى الأنابيب الدقيقة (التيوبولين) والخيوط الدقيقة (الأكتين). لا تشاهد أبداً عضيات الحركة الموجودة في حقيقيات النوى. بدلاً من ذلك، تسبح طلائعيات النوى بمساعدة سوط دوّار؛ يتألف كل سوط من مواحيد من البروتين، تنتظم في سوط حلزوني مغروس ضمن الغشاء البلاسمي. إن لمعظم الخلايا من طلائعيات النوى جداراً. إن المكوّن المميز للجدار هو الغليكوجين الببتيدي، وهو مكثور مشترك من السكاكر والحموض الأمينية ، وليس من الأكتين والسللوز اللذين يميزان جدران خلايا حقيقيات النوى. وأخيراً، فإن طلائعيات النوى لا تحتوي داخلها أبداً كائنات متعايشة. تتناقض بنيتها البسيطة بشدة مع تنوعها الاستقلابي: لقد تطورت طلائعيات النوى لكي تستغل مجالاً كاملاً من مصادر الطاقة المتوفرة على الكرة الأرضية. نجد ضمنها هوائيات ولا هوائيات، وجميع أنواع التركيب الضوئي نجد بما فيها أنماطاً فريدة، والقدرة على أكسدة الهدروجين H2 وكبريت الهدروجين H2S والحديدي +Fe2 وعلى أن ترجع الكبريت إلى كبريتي وثاني أكسيد الكربون CO2 إلى ميتان، وأيضاً الآلية اللازمة لتثبيت النتروجين.

نظهر في الشكل 3.3 رسوم لجراثيم تمثل كلاً من الجراثيم الحقيقية والجراثيم البدائية لكي نوضح أن الملامح التي تجعل المرء يعتبرها عضويات مختلفة بشكل أساسي لا تظهر على مستوى البنية الدقيقة؛ ولكن الفوارق واسعة على المستوى الجزيئي. يختلف «ر.ن.أ RNA» الجسيمات الريبية بين المقاطعتين، ليس فقط في تسلسله ولكن في نوع التسلسلات التي يحتويها. تقدم اللغات أمثلة توضيحية. تنتمي اللغات الإنكليزية، والإيطالية، والفارسية لعنقود اللغات الهندية الأوربية؛ فهي لا تشترك فقط في الكلمات بل أيضاً في



الشكل 3.3 .الخلايا طلائعيات النوى. (آ) العصوية، جرثومة حقيقية نموذجية لها حد أدنى من البنية السيتوبلاسمية. (ب) الجرثومة الزرقاء أنابينا التي لها أغشية سيتوبلاسمية بارزة. (ج) العقديات الميتانية، جرثومة بدائية محبة للحرارة من فجوات براكين أعماق البحر. طول الخلية 1–5 ميكرون.

القواعد. تبنى اللغة الصينية على قواعد مختلفة تماماً، والعربية على قواعد مختلفة أخرى. إضافة لتسلسل الـ «ر.ن.أ RNA»، الذي كان الأساس الأصلي لتمييز الجراثيم الحقيقية عن البدائية، لدينا الآن صفات إضافية تدعم التمييز. تحتوي جدران الجراثيم الحقيقية دائماً على نوع معين من الغليكوجين الببتيدي، يعرف عادة بالميورين. تفتقر جدران خلايا البدائيات للميورين؛

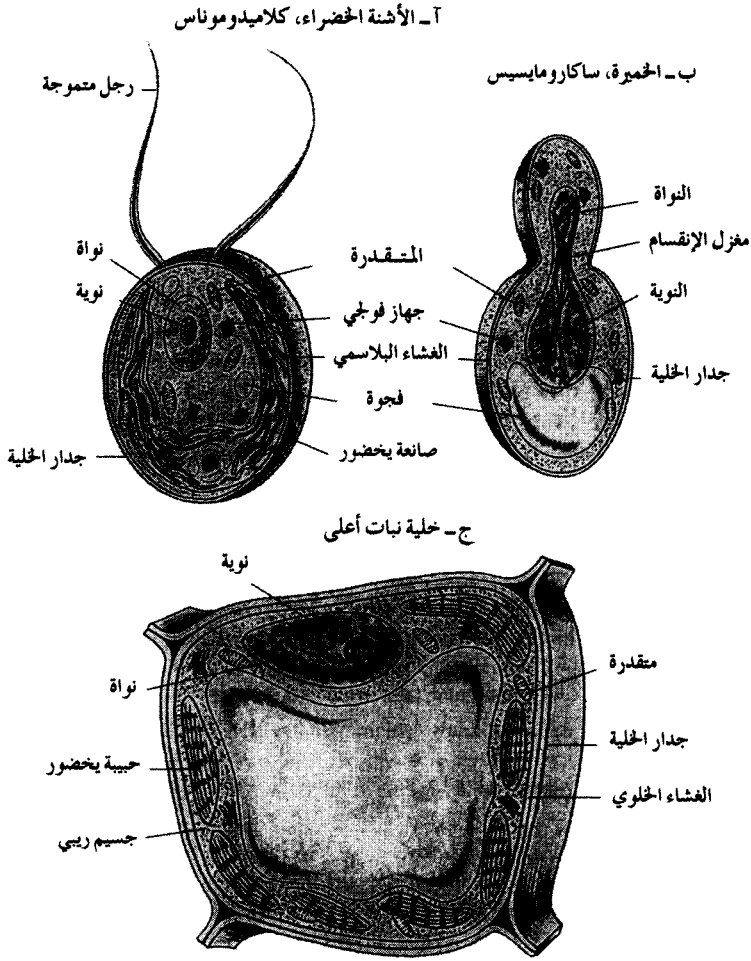
تحتوي بعضها على غليكوجين ببتيدي قريب، بينما تتشكل جدران بعضها من البروتين. يتكون الغشاء البلاسمي للجراثيم الحقيقية من الشحوم الفوسفورية، بينما يحتوي في البدائيات بدلاً من ذلك على شحوم الإيتر المتشعبة. تفتقر الجسيمات الريبية للبدائيات على بروتينات معينة توجد في الجسيمات الريبية للجراثيم الحقيقية، ويوجد في أنزيم «ر.ن.أ RNA» بوليميراز في البدائيات عدد أكبر من الوحدات الثانوية بالمقارنة مع الأنزيم في الجراثيم الحقيقية. هناك اختلافات على مستوى الطرق الاستقلابية، وتمائم الأنزيم، وبروتينات النقل في الخلايا، وهي تظهر كلها بشكل أوضح مع تقدم تحديد تسلسل المزيد من المجينات بكامل تسلسلها (12). هناك أيضاً الكثير من التشوش (الفصل 8)، وليس من السهل أبداً تحديد الصفات التي تميز جميع البدائيات من جميع الجراثيم الحقيقية. ظهرت فوارق ثابتة في منطقتين، لكل منهما أهمية جوهرية: كيمياء الغشاء والآليات اللبية التي يعبر فيها عن المعلومات الجينية.

قد يتوقف القارئ من غير علماء الأحياء أو الكيمياء الحيوية عند الإدعاء بأن مثل هذه الصفات التي هي جزيئية بالكلية تبرر إحداث مقاطعة مستقلة للبدائيات، تماثل في الصف التصنيفي المقاطعة التي تشمل جميع حقيقيات النوى من البارامسيوم إلى الحيتان الزرقاء. لكن التحفظات حول حالتها التصنيفية الصحيحة يجب ألاّ تعمينا عن حجم هذا الاكتشاف. بما أن الصفات الشكلية والفزيولوجية لا تفيدنا كدليل في المراحل الأولى من التطور الخلوي، فإننا مجبورون على الاعتماد على الصفات الجزيئية، ومن الواضح أن البدائيات تظهر ابتعاداً شاسعاً عن بعض الأسلاف المبكرة في الحياة الخلوية. كما أنه لم يعد بالإمكان استبعاد البدائيات على أنها سكان أخاديد غامضة وضيقة لا تلعب إلاّ دوراً ضئيلاً في الكرة الحية ككل. تحتوي الأقسام العميقة من القشرة الأرضية على الكثير من المناطق الممكنة السكن التي تناسب الأحياء الدقيقة التي تتأقلم مع الحرارة، والضغط العالي،

والأحماض، والمصادر غير العضوية من الطاقة الكيميائية (13)؛ وتساهم جراثيم بدائية لم تعرف ولم تعزل حتى الآن مساهمة كبيرة في العوالق المجهرية في أعالي المحيطات. تؤكد حسابات حديثة (13) ما شك به علماء الأحياء الدقيقة لفترة طويلة، من أن طلائعيات النوى تشكل «الأغلبية غير المرئية» للحياة إذا قيست بالكتلة الحية أو بعدد الخلايا؛ ربما كانت نسبة كبيرة من هذه الأغلبية تتكون من البدائيات.

على العكس من عوالم طلائعيات النوى، التي لا تزال حالتها التصنيفية موضع جدل، لا يوجد أي شك في أن حقيقيات النوى تمثل تجمعاً موحداً، مع أنه شديد التنوع. أكد تشاتون أن امتلاك نواة حقيقية، مع غشاء نووي وصبغيات مميزة، هو المظهر التشخيصي لها. أصبح واضحاً، مع اختراع المجهر الإلكتروني، أن الفوارق بين حقيقيات النوى وطلائعيات النوى أوسع وأعمق (14): إنهما يمثلان طريقتين متميزتين من التنظيم الخلوي. رسم في الشكل 4.3 ثلاث خلايا حقيقية النوى، فرطيسة وحيدة الخلية، وخلية خمائر وخلية نباتية لكي نبين أنه مهما كانت هذه الخلايا مختلفة في شكلها العام وعاداتها، فإنها كلها مصنوعة من مجموعة من أجزاء معيارية.

(1) إن الخلايا حقيقية النوى أكبر بكثير من خلايا طلائعيات النوى، وهي عادة في مقياس 10 ميكرومترات أو أطول في قطرها. وبما أن الحجم يزداد متناسباً مع مكعب القطر، فإن ذلك يعني أن حجم الخلية من حقيقيات النوى أكبر بشكل اعتيادي بألف مرة من خلية طلائعيات النوى. قد يكون ذلك هو أكبر فارق أساسي بينهما. تزداد مساحة السطح مع مربع القطر، بينما يتناسب الحجم مع مكعبه؛ بالتالي، تبدي الخلايا الأكبر معدلاً أقل للسطح إلى الحجم. يبدو محتملاً أن البنية المعقدة للخلايا حقيقية النوى، خاصة نظامها الواسع من الأغشية الداخلية، يمثل تأقلماً مع حجمها الأكبر. تبدو المناقشة أفضل بالطريقة المعاكسة: تجعل الأغشية الداخلية بالإمكان أن تصبح الخلايا أكبر (15).



الشكل 4.3 .الخلايا حقيقية النوى، مع توضيح العضيات الشائعة. (آ) الأشنات الخضراء كلاميدوموناس. (ب) خلية خمائر متبرعمة، فطور. (ج) خلية نبات أعلى. أجسام الخلايا، 10 ميكرونات (5 ميكرونات للخمائر).

(2) إن استقلاب الطاقة في الخلايا حقيقية النوى هو عمل عضيات داخل خلوية متخصصة ومتميزة. إن المتقدرات وحبيبات اليخضور أمثلة مألوفة. من الأمثلة الأقل وضوحاً الجسيمات الهيدروجينية، وهي عضيات

توجد ضمن الفرطيسات اللاهوائية، والتي تحتوي على أنزيمات الاستقلاب اللاهوائي.

(3) إن حركة السيتوبلاسما في الجزيئات الكبيرة لا تعتمد على الانتشار كما هي الحال في طلائعيات النوى، بل أنها تشتمل على نظام من عضيات من الأغشية الداخلية متصلة بحويصلات متحركة. إن الشبكة البلاسمية الداخلية، وجهاز غولجي، والجسيمات الحالة، والفجوات هي أجزاء من هذا النظام.

(4) إن عضيات الحركة الموجودة في الخلايا حقيقيات النوى تختلف كثيراً عن نظيرتها في طلائعيات النوى. إن الأقدام المتموجة (مصطلح يشير بالخاصة إلى أنواع حقيقيات النوى من السياط والأهداب) هي تراكيب معقدة مبنية من أنابيب دقيقة، تنتظم في نموذج مميز مكون من تسعة أنابيب محيطية وأنبوبين مركزيين. تنتج الحركة من الانزلاق المنسق لأحد خيوط الأنابيب الدقيقة على جاره، ويتوسط ذلك بروتين محرك يسمى الداينين. تملك معظم حقيقيات النوى (وربما جميعها) نظاماً ثانياً للحركة، يعتمد على الخيوط الدقيقية والميوزين. ربما كان الفارق الأساسي هو أن الخلايا حقيقية النوى تحتوي على أنزيمات ميكانيكية تحول الطاقة الاستقلابية (حلمأة الأدنين ثلاثي الفوسفات؛ الفصل 4) إلى عمل ميكانيكي؛ إن هذه الأنزيمات معدومة في طلائعيات النوى، أو على الأقل نادرة.

(5) في طلائعيات النوى، إن السلامة الميكانيكية للخلية من عمل الغشاء البلاسمي وجدار الخلية. على سبيل المثال، تنفصل حوامل الجينات عند انقسام الخلية بارتباطها بجدار الخلية المتوسع. تملك الخلايا حقيقية النوى هيكلاً خلوياً معقداً، يعتمد على الأنابيب الدقيقة والخيطات الدقيقة، التي تعمل كسقالة، ودعائم، وحبال وبكرات. تجدر ملاحظة أن وحدات البناء الجزيئية للهيكل الخلوي، وهي التيوبولين والأكتين، لا توجد في

طلائعيات النوى، على الرغم من أنه يمكن تحديد جزيئات ذات قرابة بعيدة لها.

(6) إن مجين حقيقيات النوى أكبر من مجين طلائعيات النوى بدرجة أو أكثر من سلم القياس، وهي ترمّز لعدد موافق أكبر من البروتينات. تنفصل جينات الخلايا حقيقية النوى عادة بتسلسل غير مرمّز، وتتوضع امتدادات طويلة مما يبدو دنا لا معنى له بين الجينات الفعالة؛ وهو نموذج يمكن وصفه بجزر من الـ «د.ن.أ DNA» الفاعل في بحر من الـ «د.ن.أ DNA» غير الفعال. ينقسم المجين إلى صبغيات مميزة مبنية حول بروتينات تسمى الهستونات؛ يكون توزعها الدقيق أثناء انقسام الخلية من مهمة جهاز الانقسام. بالإضافة إلى ذلك، فإن معظم، ولكن ليس كل، الخلايا حقيقية النوى تحتوي على مجينات متعددة: تحتوي المتقدرات وحبيبات اليخضور على مجينات صغيرة خاصة بها، وقد تكتشف أمثلة أخرى بعد.

إعادة اكتشاف العضوية

تشكل النظريات العلمية وفق غرض، في محاولة «لشرح الحوادث المرئية بقوى غير مرئية، لربط ما هو مرئي مع ما هو مفترض،» حسب قول فرانسوا جاكوب يوماً من الأيام (16). تقدم نظرية داروين للتطور بالانتقاء الطبيعي مثالاً واضحاً على هذه النقطة، في حين أن نظرية بيتر ميتشل الكيمائية الحلولية عن ازدواج الطاقة مثال أقل شيوعاً (الفصل 5). إن نظرية الخلية من هذه الناحية شاذة نوعاً ما. بداية، على الأقل، فإن «الخلية» تبدو ليس أكثر من مجرد وصف مختصر لمواضيع خلوية متكررة، مجردة عن قوة الشرح. لكن الفكرة قد صمدت عبر السنين: نعترف اليوم أنها أول إدراك لوحدة الحياة على الأرض. فخلف تنوع الأشكال والوظائف التخصصية، تتشارك الخلايا بتكوين سنة يمتد حتى إلى المخلوقات مثل العفن التافه، الذي لا يملك بعضها أية خلية بالمعنى الشائع. تتكون جميعها من عدد

محدود من أقسام معيارية ـ الجسيمات الريبية، الصبغيات، الأغشية ـ المرتبة في عدد لا حصر له من التباديل المختلفة. بدأ العلماء يشعرون بوجود جسم جديد في الأفق البعيد. «بالخلية، اكتشف علم الأحياء ذرته... لكي نصف الحياة، كان لا بد من الآن فصاعداً أن ندرس الخلية ونحلل بنيتها: لكي نظهر الصفات المشتركة، الضرورية لحياة كل خلية. أو، بدلاً عن ذلك، لتحديد الفوارق المترافقة مع أداء وظائف خاصة» (16).

خلال نصف القرن الماضي، تتابع برنامج تحليل بنية الخلايا بحثاً عن صفاتها المشتركة إلى المستوى الجزيئي مع تحقق نجاح ملحوظ وبحماس متزايد. تم هذا التركيز الوحيد ـ التفكير على المشاكل التي يسهل نسبياً تعقبها للبنى والتفاعلات الكيميائية على حساب إهمال المستويات العليا من النظام الحيوي، إلى حد الإغفال تقريباً. بالتأكيد، إن أحد الدروس البسيطة التي تؤخذ من شيوع البنية الخلوية هو أن التعقيد المنظم هو أحد الصفات الجوهرية للحياة. من وجهة النظر هذه، فإن أهمية الخلية هي كونها تمثل الحد الأدنى من التنظيم القادر على إظهار النشاطات المترافقة مع الحياة، بما فيها التكاثر الذاتي. بحجمها الصغير، تكون الخلايا أبسط أنظمة التكوين الذاتي في نمطنا من العالم. لقد كان ذلك واضحاً تماماً لجيه. هـ. وودجير، الذي كتب منذ أكثر من سبعين سنة خلت. لقد اعتبر أنه «من قبيل الفضيحة» أن علماء الأحياء ليس لديهم مفهوم كاف عن التنظيم: «إن عدم أخذ التنظيم على محمل الجدية ربما كان عواقب أخرى للتطور السريع للفيزياء و الكيمياء بالمقارنة مع العلوم الأخرى، وما تبع ذلك من تأثير مبهر للبصر على النظرة الحيوية» (17). إن نظرية أن الخلايا يمكن أن تفهم فقط كأنظمة منظمة، وأن المستويات الفزيولوجية والجزيئية من البحث مكملة بالضرورة، هو أحد الأفكار الرئيسية المتكررة في هذا الكتاب. يدهشني أن هذا الاقتراح الواضح بديهة لا يزال تفكير الأقلية من العلماء.

يبدو أنه يصح على النظريات ما يصح على البشر، من أننا عندما نتقدم

في السن يصبح العالم أكثر غرابة، والنموذج أكثر تعقيداً. إن ما بدأ كنظرة منوّرة للخلية كذرة من الحياة، يبدو اليوم كائناً خرافياً على مفترق الطرق يعطي الكثير من الأحاجي الصعبة. لماذا، على سبيل المثال، يجب أن يكون هنالك ثلاثة أنواع من النماذج الخلوية؟ ما هي الضغوط الانتقائية التي أدت إلى تفضيل ظهور الخلايا حقيقية النوى المنمقة في بعض الحالات والخلايا طلائعيات النوى البسيطة في حالات أخرى؟ ما الذي يجعل الخلايا طلائعيات النوى تنجح في الأوساط الشديدة المختلفة؟ هل جميع مظاهر التكوين الخلوي نتاج للانتقاء الطبيعي، أم هل ينم بعضها عن قوانين أعمق للنظام تتحكم بالنماذج المعقدة؟ ما هي طبيعة ذلك السلف الشامل الذي أعطى جميع الأشكال الموجودة من الحياة؟ يوجد بعد ذلك لغز الألغاز، وهو كيف نشأت الخلايا قبل أن يكون هناك خلايا؟ تشير هذه الأسئلة إلى ما وراء كل من العلوم الجزيئية والفزيولوجية إلى عالم من المصادفات التاريخية؛ ومعظم هذه الأسئلة لا نعرف حتى كيف نسألها.