الجمهورية العربية السورية
جـامعـــــة حمـــــــاه
كليـــــة الطب البيطـــــري
قســـم وظائف الأعضـــاء

Syrian Arab Republic
Hama University
Faculty of Veterinary Medicine
Departement of Physiology

محاضـرات مقـــــرر علـــــــــم الحيـــــــــاة

لطلاب السنة الأولى-طب بيطري-جامعة حماه

الفصل الأول–العام الدراسي 2022–2023

مدرس المقرر

د. حسان حسن

مدخل إلى علم الحياة An Introduction to Biology

"استكشاف الحياة و مستويات التعضي البيولوجي"

Exploring life (Hierarchy of Biological Organization)

1- مقدمة:

البيولوجيا هو علم يهتم بالدراسة العلمية للحياة و يعتبر هذا العصر الأكثر إثارة بالنسبة لعلم الحياة حيث شرعت أكبر مجتمعات العلماء في التاريخ، والمجهزة أفضل تجهيز، بحل ألغاز الحياة التي بدت يوماً ما غير قابلة للحل. إننا نقترب من فهم كيف يمكن لخلية مجهرية واحدة أن تتطور إلى نبات أو حيوان معقد، وكيف تستطيع النباتات تحويل الطاقة الشمسية إلى الطاقة الكيميائية في الطعام، وكيف يعمل العقل البشري، وكيف تتشابك أشكال مختلفة من الحياة في مجتمعات بيولوجية مثل الغابات والشعاب المرجانية coral reefs ، وكيف تطور التنوع الهائل للحياة على الأرض انطلاقاً من الميكروبات.

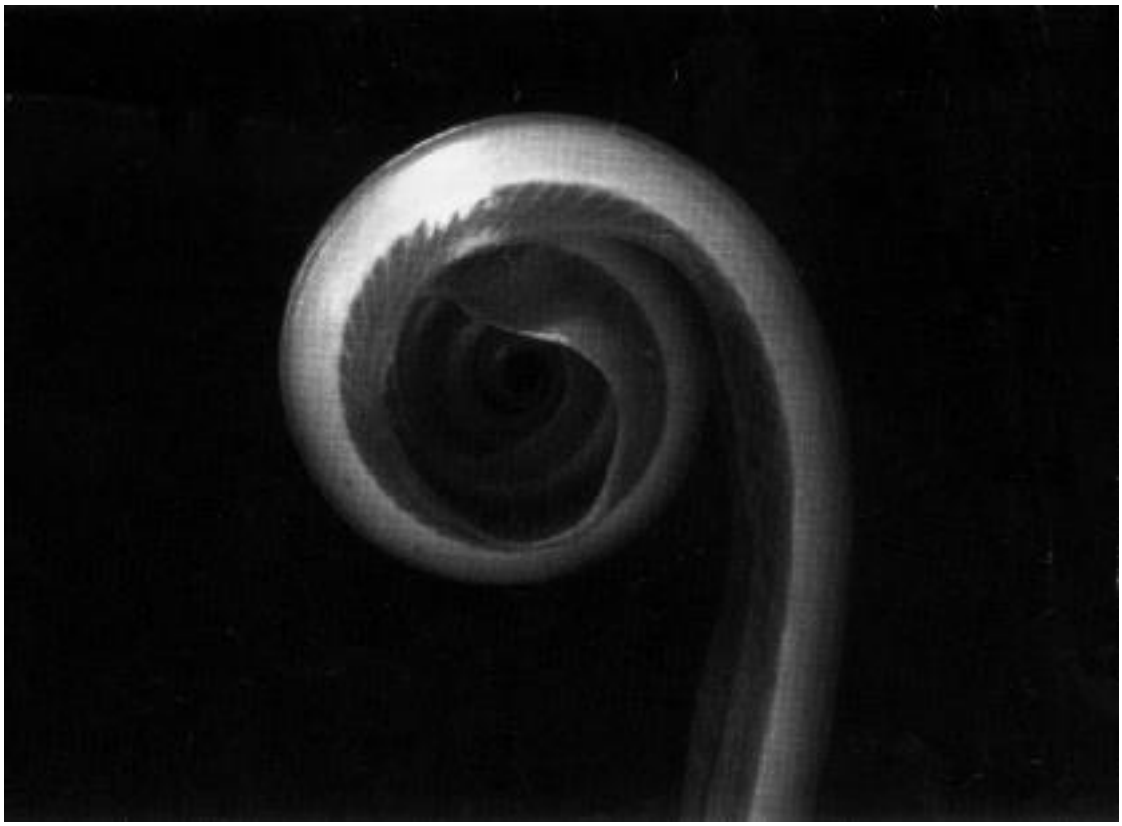
إننا كلما تعلمنا عن الحياة أكثر كلما ازدادت سحراً، لأن التقدم في مسألة ما يقود إلى أسئلة أخرى تتأثر بالعقل الفضولي لعقود آتية من الزمن. وفوق كل شيء، فإن البيولوجيا بحث وتَحَقُّق مستمر عن طبيعة الحياة.

إن البيولوجيا الحديثة مهمة بقدر ما هي ملهمة. فالبحوث والاكتشافات في مجال الوراثة والبيولوجيا الخلوية تعمل على تطوير الطب والزراعة. وكذلك تقدِّم البيولوجيا الجزيئية أدوات جديدة لاختصاصات متنوعة مثل الأنثروبيولوجيا وعلم الجريمة. وكذلك، فإن العلوم العصبية والبيولوجيا التطورية evolutionary biology تعيدان الآن تشكيل علم النفس وعلم الاجتماع.

كما أن نماذج جديدة في علم البيئة أخذت تساعد العلماء على تقييم بعض القضايا البيئية مثل أسباب الاحتباس الحراري العالمي والنتائج البيولوجية لهذه الظاهرة. هذه أمثلة قليلة عن كيفية تداخل البيولوجيا في

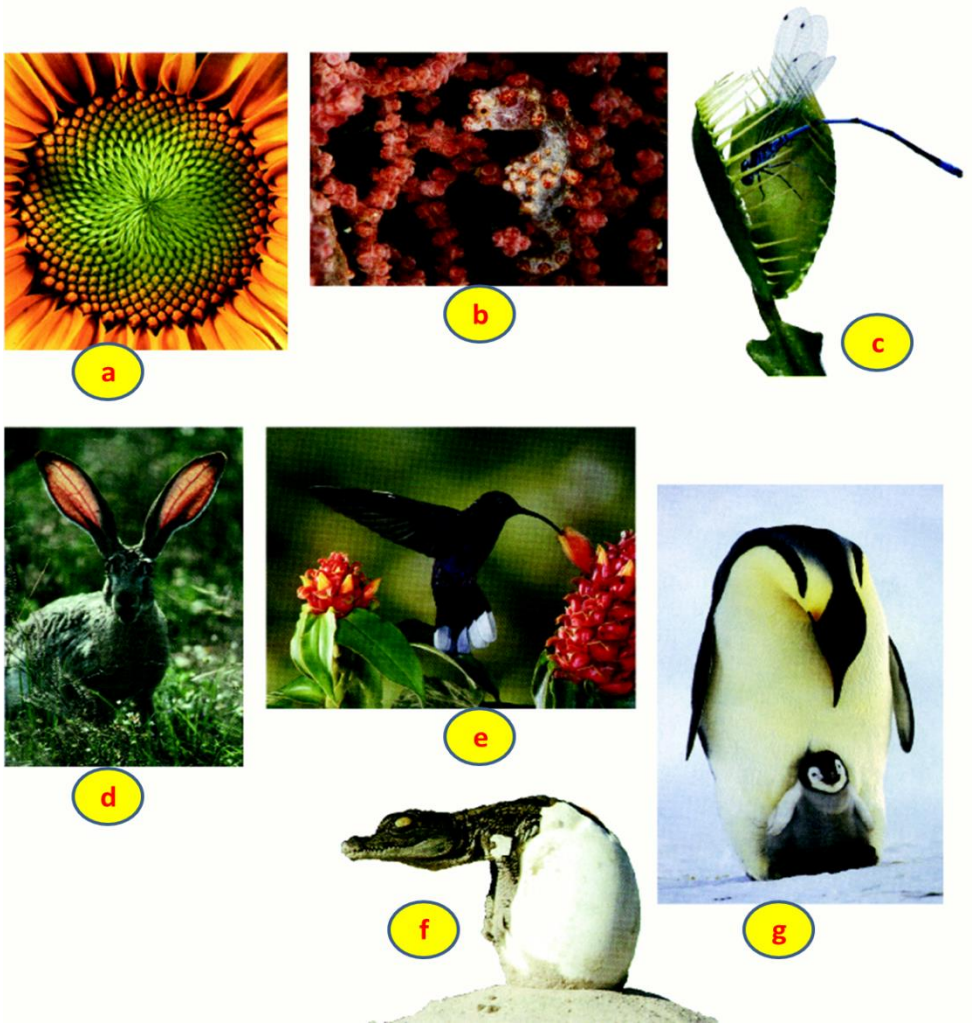
نسيج ثقافتنا أكثر من أي وقت مضى. إذ لم يسبق أن كان هناك وقت أفضل لاستكشاف الحياة من الوقت الحاضر.

إن الظاهرة التي نسميها الحياة تتحدى التعريف البسيط بجملة واحدة. إن أي طفل يدرك أن الكلب أو البقة أو النبات مثل السرخس (الخنشار) المصور في (الشكل 1) هو نوع (species) من الكائناتالحية بينما الصخرة ليست كذلك. إننا نتعرّف على الحياة من خلال معرفة ما تقوم به الكائنات الحيَّة(الشكل 2).



الشكل (1): السرخس (الخنشار)- البيولوجيا هو العلم الذي يدرس الحياة

وفيما نتأهب لاكتشاف الحياة سيكون من المفيد أن يكون لدينا صورة شمولية (بانورامية) للعلم الواسع الذي سندرسه. فهذا الجزء الافتتاحي يعرض المجال الواسع من البيولوجيا، ويلقي الضوء على تنوع الحياة، ويصف موضوعات (مثل التطور) توحد كل البيولوجيا ويفحص الطرائق التي يستخدمها البيولوجيون لاستكشاف الحياة.



الشكل (2): بعض خصائص الحياة

(a) الترتيب: تشرح هذه الصورة المقربة لزهرة عباد الشمس البنية الفائقة الترتيب التي تميز الحياة.

(b) التكيف التطوري: ان مظهر حصان البحر القزم هذا يموه الحيوان في بيئته، و تنشأ هذه التكيفات على مدى أجيال عديدة من خلال النجاح التناسلي لتلك الأفراد ذات الصفات القابلة للتوريث.

(c) الاستجابة البيئية: يغلق خانق الذباب مصيدته بسرعة استجابة للمنبه البيئي ليعسوب حط على المصيدة المفتوحة.

(d) التنظيم: ان تنظيم تدفق الدم داخل الأوعية الدموية الموجودة في كلا أذني الأرنب يساعد في صون درجة حرارة ثابتة من خلال تنظيم التبادل الحراري مع الهواء المحيط.

(e) معالجة الطاقة: يحصل هذا الطائر الطنان على وقوده من رحيق الزهور، ثم يستعمل الطنان الطاقة الكيميائية المختزنة في طعامه لغرض الطيران و لأعمال أخرى.

(f) التشكل و النمو: تتحكم المعلومات الوراثية التي تحملها الجينات في نماذج تشكل و نمو الكائنات الحية مثل تمساحالنيل.

(g) التناسل: تنجب الكائنات الحية الصنف الخاص بها. يظهر في هذه الصورة بطريق يحمي وليده.

2- استكشاف الحياة ابتداءً من المجهر وحتى مقاس الكرة الأرضية **global scale**:

تمتد دراسة الحياة من المقاس المجهري للجزيئات والخلايا التي تؤلفالكائنات الحيَّة وحتى المقاس الشمولي للكوكب الحي بأسره. ويمكننا انتقسم هذا المدى الهائل إلى عدة مستويات من الكائنات الحيَّة.

أ- تراتبية مستويات التعضي البيولوجي

تخيل محاولة رؤية الأرض بتقريب الصورة من الفضاء. لتكن وجهتنا هي غابة في مكان ما ، حيث سنقوم في نهاية المطاف باستخدام المجاهر ومعدات أخرى لاستكشاف ورقة لنبات ما عبر التصغير حتى المستوى الجزيئي(الشكل 3). إن هذه العملية تقودنا إلى المرور عبر مستويات التعضيّ البيولوجي هي:

a. المحيط الحيوي للأرض Biosphere: حالما نصبح قريبين لدرجة كافية من الأرض بحيث تتاح رؤية القارات و المحيطات. فإننا نبدأ برؤية علامات الحياة و ذلك في فسيفساء غابات الكوكب الخضراء على سبيل المثال. هذه هي النظرة الأولى للمحيط الحيوي الذي يتألف من جميع البيئات المسكونة بالحياة على الأرض. و يضم المحيط الحيوي معظم مناطق اليابسة، و المسطحات المائية كالمحيطات و البحيرات و الأنهار و كذلك الغلاف الحيوي إلى ارتفاعات تصل بضعة كيلومترات.

b. المنظومات البيئية Ecosystems: حين تقترب من الأرض بهبوط افتراضي في مكان ما من الأرض، نستطيع البدء برؤية غابة تحتوي على عدد وافر من الأشجار. و تعتبر هذه الغابة مثالا لمنظومة بيئية. كما أن المروج و الصحارى و المحيطات و الشعاب المرجانية هي منظومات بيئية أخرى. و تتألف المنظومة البيئية من جميع العناصر الحية في منطقة معينة بالإضافة إلى جميع المكونات غير الحية التي تتفاعل معهاالأحياء كالتربة و الماء و الغازات

الجوية و الضوء. هذا و تجتمع كل المنظومات البيئية الموجودة في الأرض لتشكل المحيط الحيوي للأرض.

c. المجتمعات Communities: إن جميع مصفوفة الكائنات الحية التي تعيش في منظومة بيئية معينة تسمى مجتمعا بيولوجيا. و المجتمع في منظومتنا البيئية للغابة يتضمن العديد من الأشجار و النباتات و حيوانات متنوعة و أنواعا متعددة من الفطر المشروم و فطور أخرى، بالإضافة إلى عدد هائل من الأحياء الدقيقة المتنوعة مثل البكتيريا التي لا يمكن رؤيتها بدون مجهر. و يسمى كل شكل من أشكال الحياة هذه نوعا حيا Species.

d. الجماعاتPopulations: تتألف الجماعة من كل أفراد النوع الحي الواحد الذين يعيشون في منطقة معينة. فعلى سبيل المثال، تضم غابتنا تجمعات من أشجار البلوط و جماعات من الذئاب أو من الضباع. و يمكننإعادة تعريف المجتمع بأنه مجموعة من الجماعات التي تقطن في منطقة معينة.

e. الكائنات الحية Organisms: يطلق على الأحياء اسم الكائنات الحية، فكل حيوان في الغابة مثل الضفدع و السنجاب و الدب و الحشرة تسمى كائنا حيا.

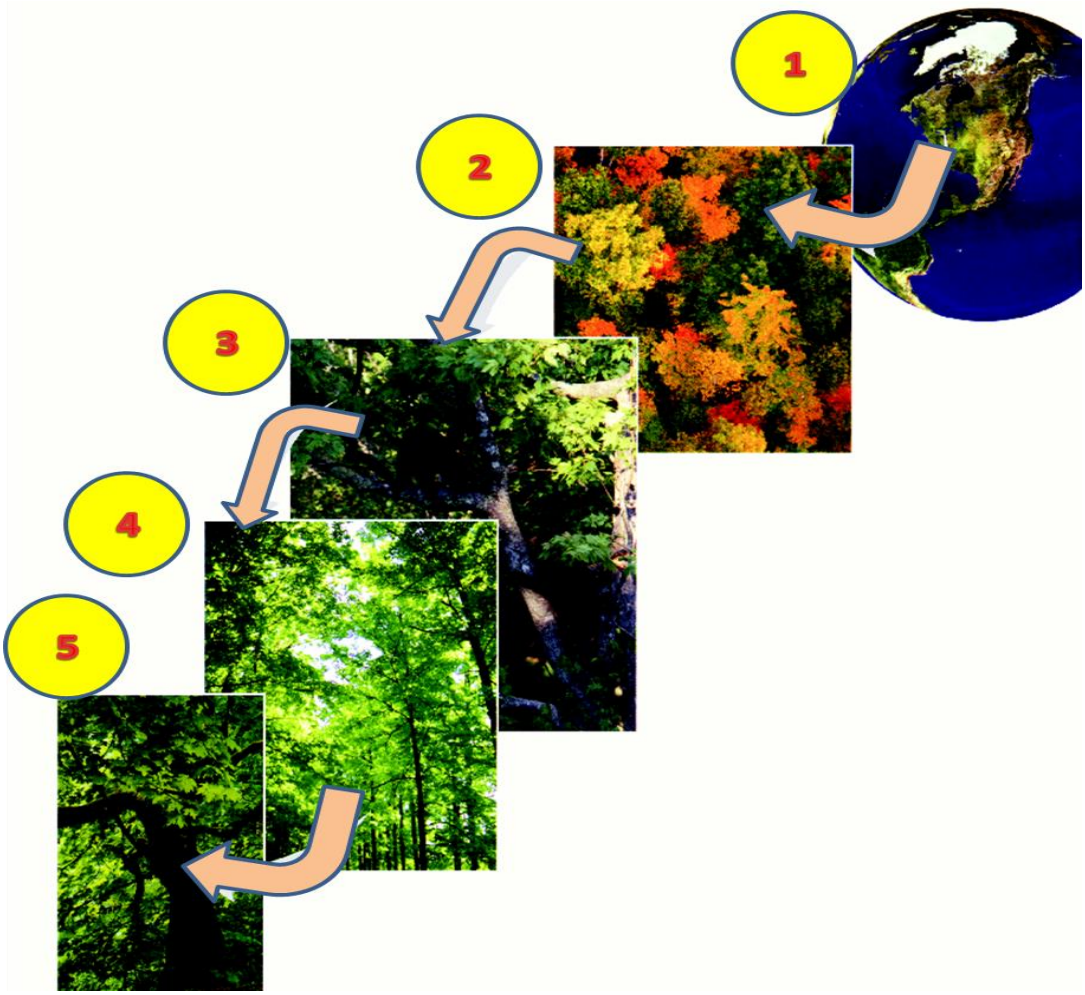
f. الأعضاء و منظومات الأعضاء Organs and Organssystems: تستمر التراتبية البنيوية للحياة بالتكشف تدريجيا كلما استكشفنا الهندسة المعمارية للكائنات الحية المعقدة. تمثل ورقة نبات ما مثالا عن عضو في كائن حي، و كذلك يمثل القلب عند الإنسان عضو في كائن حي. بمعنى أنه جزء من جسم، يتألف من نسيجين أو أكثر.

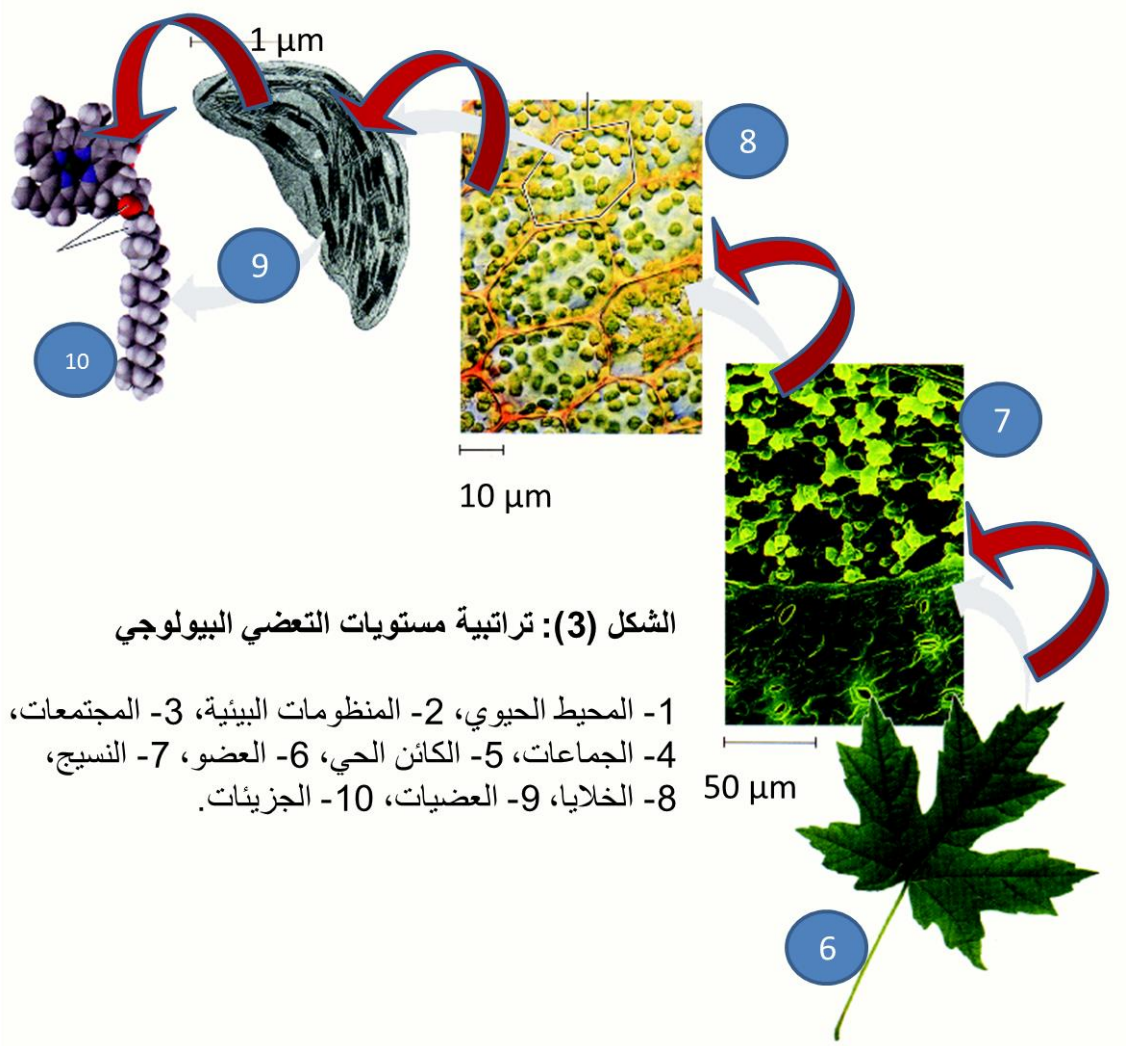
نذكر من أمثلة الأعضاء عند نوع من الحيوانات الراقية: الدماغ، القلب و الكلى. و تنتظم الأعضاء لدى الإنسان و الحيوانات المتطورة في منظومة أعضاء. و تتألف كل منظومة من فريق من الأعضاء تتعاون مفرداته في وظيفة نوعية. فعلى سبيل المثال يتضمن جهاز الهضم لدى الإنسانأعضاءمثل اللسان و المعدة و الأمعاء.

g. النسج Tissues: تتطلب رؤية نسيج في عضو من أعضاء حيوان ما استخدام المجهر. فمثلا يتألف القلب عند الإنسان من مجموعة من النسج المختلفة كالعضلات الملساء و العضلات المخططة و غيرها. و يتألف كل نسيج من بنية خلوية معينة، و في الحقيقة يتألف كل نوع من النسج من مجموعة من الخلايا المتماثلة.

h. الخلايا Cells: الخلية هي الوحدة الأساسية للبنية و الوظيفة في الحياة. بعض الكائنات الحية مثل الأميبات و معظم البكتيريا تتألف أجسامها من خلية واحدة. أما الكائنات الحية الأخرى، بما في ذلك النباتات و الحيوانات، فهي متعددة الخلايا.

و بدلا من أن تقوم خلية واحدة بكل وظائف الحياة، تقوم الخلايا في الأحياء المتعددة الخلايا بتقاسم العمل بين خلاياها المتخصصة. و يتألف جسم الإنسان من مليارات الخلايا المجهرية المتعددة الأصناف، بما في ذلك الخلايا العضلية و الخلايا العصبية، و التي تكون منتظمة في أنسجة مختصة متنوعة. على سبيل المثال، تتألفلنسجه العضلية من حزم من الخلايا العضلية.


1
2
3
4
5



الشكل (3): تراتبية مستويات التعضي البيولوجي

1- المحيط الحيوي، 2- المنظومات البيئية، 3- المجتمعات، 4- الجماعات، 5- الكائن الحي، 6- العضو، 7- النسيج، 8- الخلايا، 9- العضيات، 10- الجزيئات.

i. العضياتOrganelles: إن المصورات الحيوية (الجسيمات الكوندرية) و كذلك جهاز غولجي هي مثال عن العضيات التي هي المكونات الفعالة المختلفة التي تشكل الخلايا.

j. الجزيئات Molecules: تمثل الجزيئة بنية تتألف من وحدتين كيميائيتين صغيرتين أو أكثر تسمى ذرات Atoms. فمثلا يعتبر اليخضور جزيئة صباغ تجعل ورقة النبات خضراء اللون. و هي واحدة من أكثر الجزيئات أهمية على الأرض، إذ يمتص اليخضور أشعة الشمس خلال المرحلة الأولى من التركيب الضوئي. و تنتظم داخل كل حبيبة يخضورية ملايين الجزيئات اليخضورية و جزيئات أخرى يمكنها تحويل الطاقة الضوئية إلى الطاقة الكيميائية في الغذاء.

ب- ديناميكية (حركية) المنظومة البيئية Ecosystemdynamic

تتضمن ديناميكية أي منظومة بيئية عمليتين أساسيتين هما:

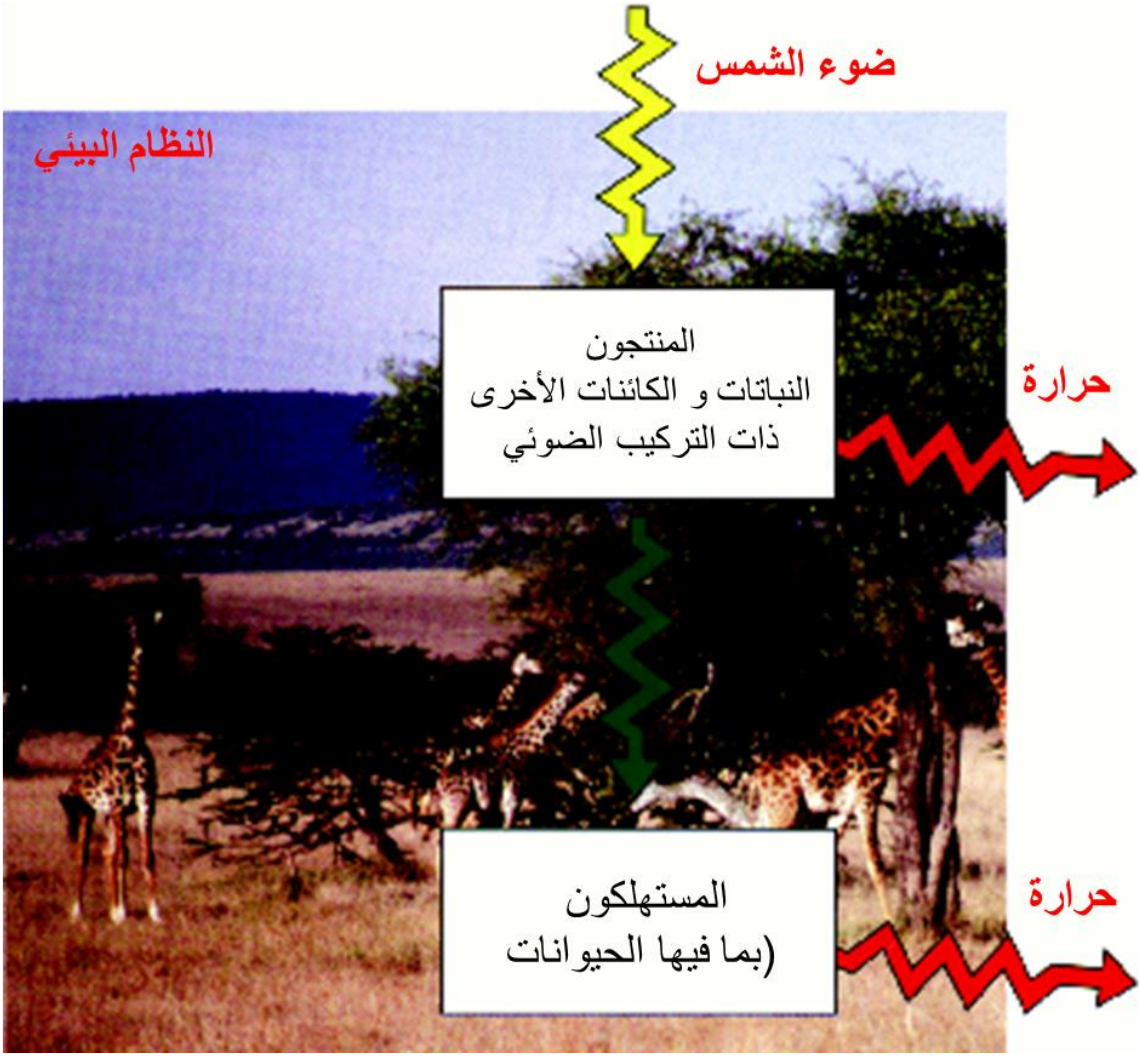
العملية الأولى: وتضم تدوير المغذيات. فعلى سبيل المثال تعاد في نهاية المطاف المعادن ليحصل عليها النبات الى التربة عن طريق الأحياء الدقيقة التي تفكك أوراق الأشجار المتساقطة و الجذور الميتة في حطام عضوي.

العملية الهامة الثانية: هي تدفق الطاقة من ضوء الشمس الى المنتجين Producers ثم المستهلكين Consumers. أما المنتجون فهما النباتات و الكائنات الأخرى القادرة على التركيب الضوئي و التي تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية. و أما المستهلكون فهم كائنات حية مثل الحيوانات التي تعيش على منتجين و مستهلكين آخرين.

ج- تحويل الطاقة Energy conversion

تتطلب الحركة و النمو و التناسل و الأنشطة الحياتية الأخرى من الكائنات الحية القيام بعمل، و يعتمد العمل على مصدر للطاقة. و تبادل الطاقة بين الكائنات الحية و محيطها يتضمن عادة تحول الطاقة من شكل الى آخر. فعلى سبيل المثال، عندما تنتج الورقة الخضراء السكر فانها تحول الطاقة الشمسية الى طاقة كيميائية في جزيئة السكر. و عندما تستعمل الخلية العضلية لحيوان ما هذا السكر كوقود، فانها تحول الطاقة الكيميائية الى طاقة حركية.

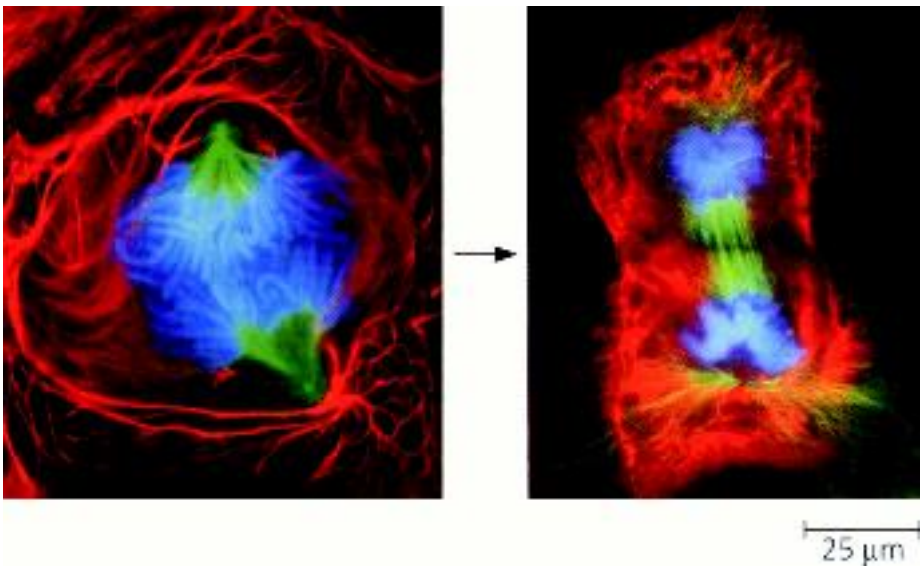
و في جميع عمليات تحول الطاقة، يتم تحويل بعض الطاقة المتوافرة هذه الى طاقة حرارية تنشرها الكائنات الحية المتحركة في محيطها على شكل حرارة. و على عكس المغذيات التي يعاد تدويرها Recycled في المنظومة البيئية، فان الطاقة تتدفق عبر المنظومة البيئية فتدخل عادة على شكل ضوء و تخرج على شكل حرارة (الشكل 4).



الشكل (4): شكل أساسي لتدفق الطاقة خلال منظومة بيئية

3- نظرة الى الخلايا

تحتل الخلية مكانا خاصا في التراتبية البنيوية للحياة بكونها أخفض مستوى في التعضي يكون قادرا على القيام بكل النشطة اللازمة للحياة. فعلى سبيل المثال، تكون قدرة الخلايا على الانقسام من أجل تشكيل خلايا جديدة هي أساس التناسل و النمو و الترميم في الكائنات الحية متعددة الخلايا (الشكل 5).



الشكل (5): خلية رئوية من سمندل الماء تنقسم الى خليتين صغيرتين و هي بدورها سوف تكبر و تنقسم مجددا.

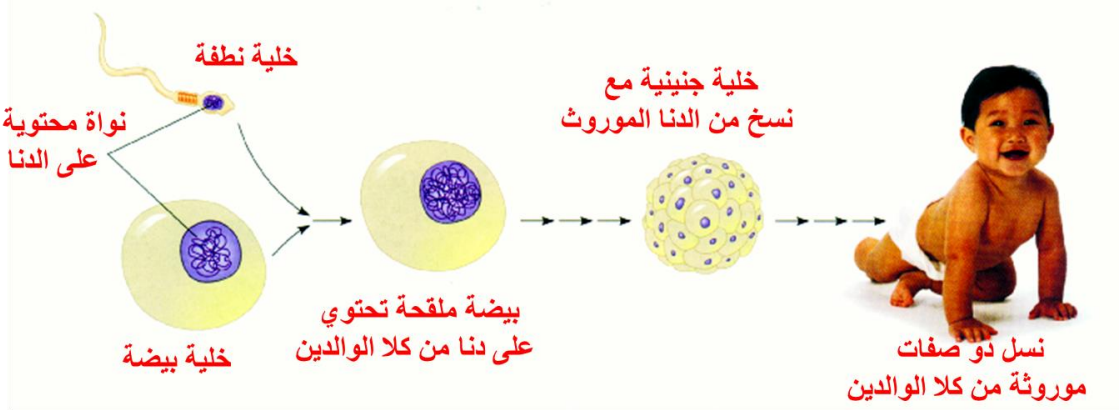
ان جميع حركات و أفكار الانسان تعتمد على أنشطة الخلايا العضلية و الخلايا العصبية. و حتى العمليات الشمولية الأرضية مثل عودة دورة الكربون و هو العنصر الكيميائي الأساسي للحياة، فهي منتج تراكمي للأنشطة الخلوية بما في ذلك التركيب الضوئي الذي يحدث في الصانعات اليخضورية الموجودة في خلايا الأوراق. و ان فهم كيفية عمل الخلايا هو عمل بحثي أساسي تركز عليه البيولوجيا الحديثة.

4- المعلومات الخلوية القابلة للتوريث

اذا ألقيت نظرة على الخلية المنقسمة، يمكن رؤية بنى ضمن الخلايا تسمى صبغيات Chromosomes. و هذه الصبغيات مصنوعة جزئيا من مركب يسمى الحمض الريبي النووي المنزوع الاكسجين (أو الدنا DNA اختصارا). و هو مادة الجينات " و التي هي وحدات الوراثة التي تنقل المعلومات من الآباء الى الأبناء. و على سبيل المثال فان زمرة الدم (A; B; AB; O) هي نتيجة جينات معينة ورثها الابن من والديه.

يتألف كل صبغي من جزيئة دنا واحدة طويلة جدا تضم مئات أو آلاف الجينات التي تنتظم على امتدادها. و تتضاعف دنا الصبغيات عندما تستعد الخلية للانقسام، و بالتالي ترث كل خلية من خلايا النسل مجموعة كاملة من الجينات.

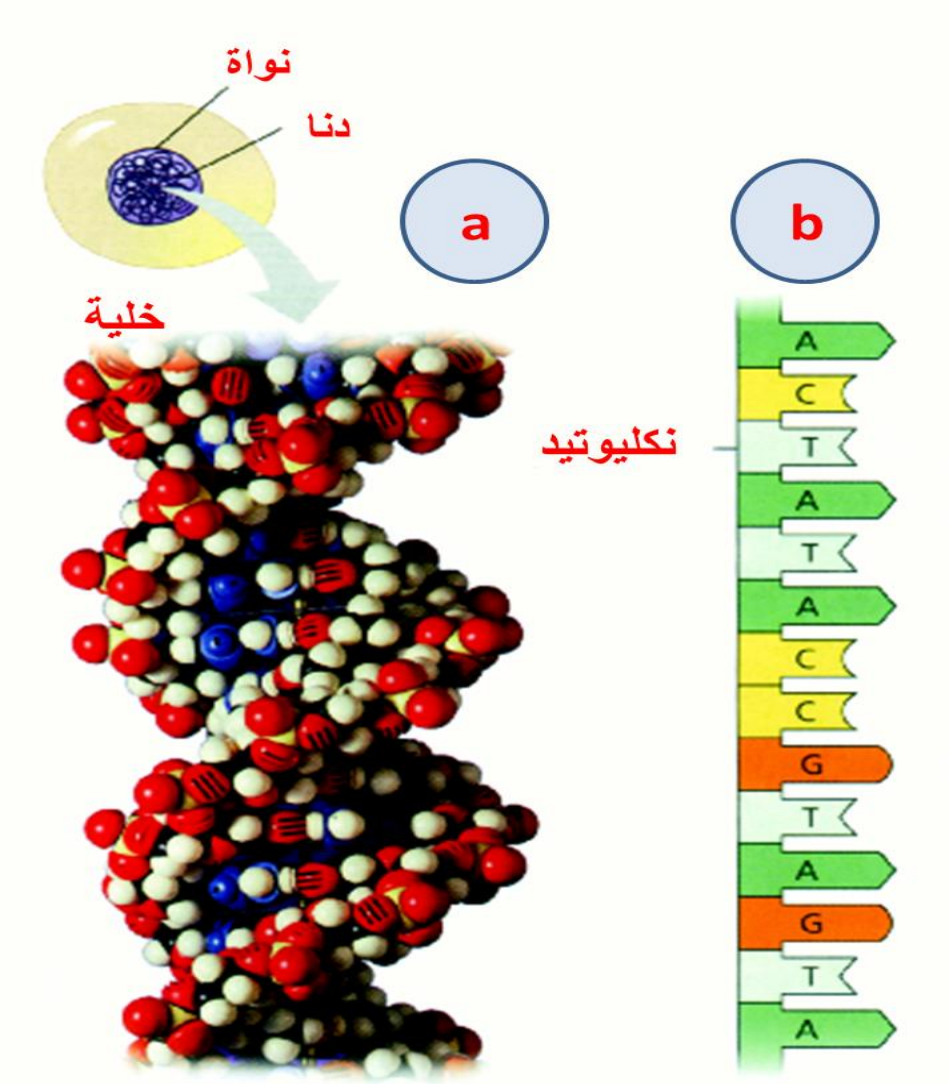
يبدأ كل شخص منا حياته كخلية واحدة مليئة بالدنا الموروثة من والديه. و تنقل الدنا المتضاعفة تلك الجينات الى خلايا أخرى تعد بالمليارات. و في كل خلية ترمز encode الجينات الموجودة على طول جزيئات الدنا المعلومات الوراثية اللازمة لبناء الجزيئات للخلايا. و بهذه الطريقة يوجه الدنا تنامي developement و صيانة Maintenance الكائن الحي بشكل كامل (الشكل 6).



الشكل(6): الحمض الريبي النووي المنزوع الأكسجين (DNA) الموروث يوجه تطور الكائنات الحية.

تفسر البنية الجزيئية للدنا غناها بالمعلومات، و تتألف كل جزيئة دنا من سلسلتين طويلتين توجد بشكل يسمى الحلزون المضاعف double helix و تمون كل حلقة من السلسلة واحدة من اربعة أنواع من البنى الكيميائية التي تسمى نكليوتيداتNucleotides(الشكل 7).

أما الطريقة التي رمز بها الدنا المعلومات الخلوية فهي مشابهة للطريقة التي نرتب فيها الأحرف الأبجدية بشكل دقيق لتعطي معنى دقيقا. فعلى سبيل المثال، تستدعي كلمة جرذ (Rat)بالإنكليزية الى الذهن صورة أحد القوارض، بينما يكون لكل من الكلمتين (Rat, Art) اللتين تحتويان نفس الأحرف معنيان مختلفان.



الشكل (7): الدنا (المادة الوراثية):

a) حلزون مزدوج للدنا

b) شريط مفرد من الدنا

و تمتلئ المكتبات بالكتب المحتوية على معلومات مرمزة بالعديد من التسلسلات و ذلك انطلاقا من 26 حرفا فقط. و يمكن أن نفكر بالنكليوتيدات على أنها أحرف الأبجدية الوراثية. فالترتيبات المتتالية النوعية لتلك الأحرف الكيميائية الأربعة ترمز المعلومات الدقيقة في الجينات التي يكون طولها مئات أو

آلاف النكليوتيدات. و يمكن أن تتم ترجمة جينة واحدة في خلية بكتيرية على شكل تكليف ببناء صبغة أرجوانية مثلا. كما يمكن أن تعني جينة بشرية معينة " صنع هرمون الأنسولين".

و بشكل أعم، فان معظم الجينات تبرمج الخلايا لإنتاج جزيئات كبيرة تدعى البروتينات. و يرمز تتالي النكليوتيدات على طول كل جينة بروتينا نوعيا ذا شكل و وظيفة محددتين في الخلية. كما يمكن أن يكون بروتين ثالث أنزيما يحفز (بمعنى يسرع) تفاعلا كيميائيا محددا في الخلية. و تحت معظم الأنشطة الخلوية تقريبا الى فعل بروتين واحد أو أكثر. و ان الدنا تقدم النصوص الأصلية القابلة للتوريث، أما البروتينات فإنها الأدوات التي تبني الخلية و تصونها فعليا.

تدعى "المكتبة" الكاملة للتعليمات الجينية التي يرثها كائن حينا باسم الجينوم (أو المجين) Genome و تحتوي صبغيات كل خلية بشرية على جينوم يضم حوالي 3 مليارات نكليوتيد. فاذا كانت الرموز الوحيدة الحرف في هذه المتتالية من النكليوتيدات مكتوبة بحروف من حجم الحروف التي تقرؤها أنت، فان النص الجيني يملأ حوالي 600 كتاب. و نشير الى وجود عدد من الجينات ترمز لإنتاج أكثر من 75000 نوع مختلف من البروتينات، و لكل بروتين منها وظيفة مختلفة ضمن هذه المكتبة الجينومية للمتتاليات النكليوتيدية.

5- أشكال الخلايا:

تشترك جميع الخلايا بخصائص معينة، فعلى سبيل المثال تحاط كل خلية بغشاء ينظم مرور المواد بين الخلية و محيطها. و تستعمل كل خلية الدنا لمعلوماتها الوراثية.

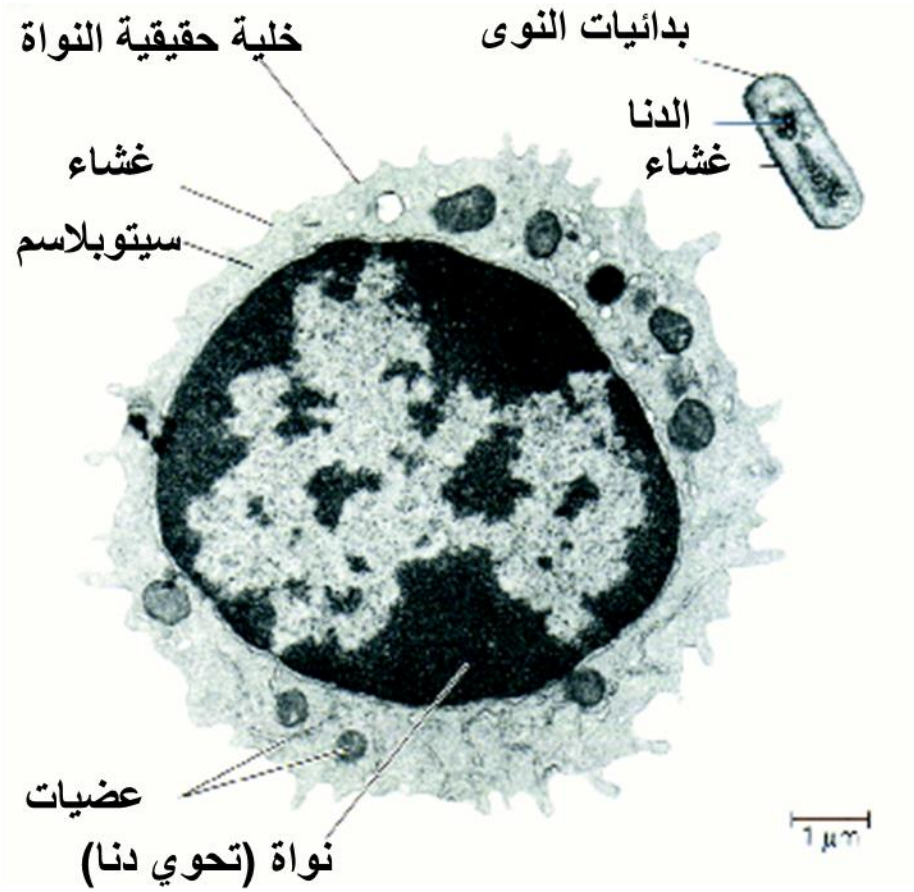
يمكننا أن نميز نوعين من الخلايا:

- خلايا بدائيات النوى Prokaryoticcells
- خلايا حقيقيات النوى Eukaryoticcells

و تعد البكتيريا و الأركيا Archaea خلايا بدائيات النوى، بينما تكون خلايا جميع أشكال الحياة الخرى (بما في ذلك النباتات و الحيوانات) خلايا حقيقيات النوى.

تعمل اغشية داخلية على تقسيم الخلايا حقيقية النوى الى عضيات محاطة بغشاء، بما فيها حبيبات اليخضور. و في معظم الخلايا حقيقيات النوى تكون أكبر عضية هي النواة التي تحتوي على دنا الخلية على شكل جزيئات صبغية Chromosomalmolecules.. اما العضيات الأخرى فإنهاتتوضع في السيتوبلازما التي تشكل جميع المنطقة الكائنة بين النواة و جدار الخلية الخارجي.

تكون الخلايا بدائيات النوى أبسط و أصغر بكثير من الخلايا حقيقيات النوى عموما (الشكل 8). و في الخلية البدائية النواة لا يوجد غشاء للنواة بحيث لا ينفصل الدنا DNA عن بقية أجزاء الخلية. و تفتقد الخلية البدائية النواة لأصناف العضيات الأخرى المحاطة بغشاء و التي تميز الخلايا حقيقيات النوى.



الشكل (8): يوضح هذا الشكل الاختلاف بين الخلايا حقيقيات النوى و الخلايا بدائيات النوى في الحجم و التعقيد.

6- طرائق التحقيق المختلفة لاستكشاف الحياة:

إن كلمة علم مأخوذة من الفعل اللاتيني "يعرف" ،فالعلم هو طريقة المعرفة, وقد تطور العلم من خلال شغفنا بمعرفة أنفسنا، وكذلك بمعرفة أشكال أخرى من الحياة والعالم والكون، ويبدو أن الكفاح من أجل الفهم يشكل أحد هواجسنا الأساسية لمتابعة التساؤل.

يحتلُّ الاستفسار أو التحقيق inquiry صميم العلم، ويتمثّل في البحث عن المعلومات والتفسيرات، ويركز عادة على سؤال محدد, وهو ما دفع داروين ليبحث عن إجابات من الطبيعة عن كيفية تكيف الأنواع مع بيئاتها, وهو الذي قاد إلى تحليل (الجينوم genome) الذي يساعدنا على فهم الوحدة والتنوع البيولوجيين على مستوى جزيئي, وفي الحقيقة فإن العقل الفضولي هو المحرك الذي يدفع التقدُّم في البيولوجيا.

لا توجد وصفة لتحقيق علمي ناجح،وليس هناك طريقة علمية واحدة ذات سجل لقواعد يجب على الباحثين التقيّد بها, وكما في كل التحقيقات يضم العلم عناصر من التحدي والمغامرة والمفاجأة جنباً إلى جنب مع التخطيط الدقيق والمحاكمة والإبداع والاستنتاج والابتكار والتعاون والتنافس والصبر والمثابرة ليتجاوز النكسات, هذه العناصر البحثية المتنوعة تجعل العلم أقل تنظيماً مما يدرك معظم الناس, وقد قيل أنه من الممكن استخلاص خصائص معينة تفيد في تمييز العلم من طرق أخرى في وصف وشرح الطبيعة.

تمزج البيولوجيا عمليتين رئيسيتين للتحقيق العلمي هما:

أولاً: علم الانكشاف:

إنه يدور غالباً حول وصف الطبيعة, يطلق عليه أحياناً اسم العلم الوصفي، فهو يصف البنى والعمليات الطبيعية بأكبر دقة ممكنة عبر المشاهدة الدقيقة وتحليل البيانات, وعلى سبيل المثال، لقد بنى علم الانكشاف بالتدريج فهمنا للبنية الخلوية الذي وسع قاعدة بياناتنا حول جينومات الأنواع المتنوعة.

الملاحظة هي استخدام الحواس لجمع المعلومات، إما بشكل مباشر أو بشكل غير مباشر بمساعدة أدوات مثل المجهر الذي يوسع حواسنا، ونسمي الملاحظات المدونة معطيات data, وبكلمات أخرى فإن المعطيات هي مفردات من المعلومات يعتمد عليها التحقيق العلمي.

ثانياً: العلم المبني على الفرضية فهو على الأغلب شرح للطبيعة:

إن المشاهدات والاستقراءات في علم الاكتشاف تشغل العقول الفضولية بالبحث عن الأسباب والتفسيرات الطبيعية لتلك المشاهدات, ومن أمثلة ذلك، ما الذي سبب التنوع في العصافير على جزر غالاباغوس؟ وما الذي سبب نمو جذور النبات إلى الأسفل ونمو الفروع التي تحمل الأوراق إلى الأعلى؟ وما الذي يفسر التعميم بأن الشمس تبزغ دائماً من الشرق؟ تتضمن مثل هذه التساؤلات في العلم اقتراحاً واختباراً لتفسيرات تقديرية أو فرضيات.

تُعرف الفرضية في العلوم بأنها جواب مؤقت على سؤال واضح المعالم (تفسير في التجريب), وهي عادة افتراض مبني على ثقافة معتمدة على كل خبرة قديمة وعلى كل المعطيات المتوفرة في علم الاكتشاف, تضع الفرضية العلمية تكهنات يمكن اختبارها عن طريق تسجيل ملاحظات إضافية أو عن طريق تصميم تجارب.

- **النظريات في العلم:**

إن استعمالنا اليومي لمصطلح نظرية (في قولنا ما هذا إلّا نظرية) يعني في العادة ضمناً مجرّد تأمل قابل للاختبار، ولكن مصطلح نظرية في العلم له معنى مختلف جداً. فما هي النظرية العلمية وكيف تختلف عن الفرضية أو عن مجرد التأمّل speculation؟

في المقام الأول تكون النظرية العلمية أوسع مدى من الفرضية:

هذه فرضية "محاكاة الأفاعي السامة هي تكيُف يحمي الأفاعي غير السامة من الضواري, أما هذه فإنها نظرية "ينشأ التكيف التطوري بالاصطفاء الطبيعي, وتفسير نظرية داروين للاصطفاء الطبيعي التنوع الهائل للتكُيفات بما في ذلك المحاكاة mimicry.

وفي المقام الثاني تكون النظرية على قدر من العمومية كاف لإعطاء عدة فرضيات علمية جديدة قابلة للاختبار:

فعلى سبيل المثال بادر بيتر وروزماري غرانت من جامعة برينستون بدافع من نظرية الاصطفاء الطبيعي إلى اختبار الفرضية النوعية التي تقول بأن مناقير العصافير في جزر غالاباغوس تطورت استجابة لتغيرات في أنماط الطعام المتوافرة.

وفي المقام الثالث بالمقارنة مع أيَّة فرضية بعينها، فإن النظرية يدعمها في العادة مجموعة من الأدلة تفوق ما يدعم الفرضية بكثير:

وإن النظريات التي تبناها العلم بشكل واسع (مثل نظرية الاصطفاء الطبيعي) تفسر تشكيلة منوّعة كبيرة من المشاهدات كما أنها مستوردة بكداسة من الأدّلة, وفي الحقيقة فإن إمعان النظر بالنظريات العامة يتواصل عبر اختبار الفرضيات النوعية القابلة للدحض التي تنتجها تلك النظريات.

وبالرغم من كمية الأدلّة التي تدعم النظرية المقبولة بشكل واسع، يجب على العلماء أن يعدلوا أو حتى أن يرفضوا نظريات عندما تعطي الطرائق البحثية الجديدة نتائج غير ملائمة.

فعلى سبيل المثال بدأت نظرية الممالك الخمس للتنوع البيولوجي شكل عندما استطاعت الطرائق الجديدة لمقارنة الخلايا والجزئيات أن تجعل بالإمكان اختبار بعض القرابات الافتراضية بين كائنات حيّة كانت قد اعتمدت على النظرية المذكورة, فإذا كان هناك من حقيقة truth في العلم فإنها تكون شرطية ومبنية على وفرة من البراهين المتاحة.

تصنيف الكائنات الحية في مجموعات Species Grouping

1- استكشاف الحياة من خلال التنوع الكبير لأنواعها الحية :

يشكل التنوع diversity سمة للحياة . و لقد حدد البيولوجيون (حتى الآن) هوية ما يقرب من مليون و نصف نوع حي و أطلقوا عليها أسماء . و يتضمن هذا التنوع الهائل للحياة حوالي 5200 نوع من بدائيات النوى و 100000 من الفطور و 52000 من الفقاريات (حيوانات ذات عمود فقري) بالإضافة 1000000 من أنواع الحشرات (أكثر من حوالي نصف أشكال الحياة المعروفة) . و يحدد الباحثون هوية آلاف الأنواع الحية الإضافية كل عام ؛ مع العلم بان التقدير الإجمالي لتعداد الأنواع الحية يتراوح ما بين عشرة ملايين و ما يفوق عن مائتي مليون . و مهما يكن العدد فان التنوع الفعلي فان التنوع الكبير في الحياة يجعل مجال البيولوجيا واسعا جدا .

2- تصنيف الأنواع الحية في مجموعات (الفكرة الأساسية) :

يبدو أن هناك نزوعا بشريا لتجميع المفردات المتنوعة diverse items طبقا لتشابهها . فعلى سبيل المثال ؛ ربما تنظم مجموعتك الموسيقية بحسب الفنان ثم ربما تجمع الفنانين المختلفين في فئات ؛ مثل فئة موسيقى الرقص أو موسيقى الحفلات أو موسيقى الرياضة أو موسيقى فترة الدراسة . و على نفس المنوال يكون من الطبيعي لنا تجميع الأنواع الحية المتشابهة بعضها مع بعض .

فيمكننا أن نتحدث عن سناجيب أو فراشات ؛ مع كوننا ندرك أن عدة أنواع حية مختلفة تنتمي إلى المجموعة الواحدة . و يصل الأمر حتى إمكان قيامنا بتصنيف المجموعات في فئات أوسع مثل فئة القوارض (و التي تتضمن السناجب) و فئة الحشرات (و التي تتضمن الفراشات) . إن علم التصنيف

taxonomy هو فرع من علم البيولوجيا يعطي الأنواع الحية أسماء و يصنفها . أنه يصوغ هذا الترتيب للأنواع الحية في مجتمعات ذات اتساع متزايد.

أساسيات علم التصنيف:

تضم المجموعة الحيوانية جميع الكائنات الحيوانية والتي تم تسمية حوالي مليون و نصف نوع منها، ويعتقد علماء التصنيف بأن الأنواع المصنفة لا تزيد عن 20% من الأنواع الموجودة على سطح الكرة الأرضية. وانطلاقاً من ذلك أمكن وضع نظام تصنيفي لجميع الحيوانات لسهولة دراستها ومعرفتها، ففي البداية اعتمد العلماء على التكيفات في طرق المعيشة والحياة فصنفت المتعضيات إلى كائنات أرضية وهوائية ومائية، فصنفت الخفافيش مع الطيور والحيتان مع الأسماك وغيرها.

لكن سرعان ما أدرك العلماء خطورة هذا التصنيف فعملوا على وضع نظام تصنيفي حديث يتكون من سلسلة من المراتب التصنيفية ويقوم على **خطوتين:**

1- ترتيب الوحدات الأدنى المتماثلة من الكائنات في مجاميع،
2- ربط المجاميع في نظام طبقي تصاعدي،

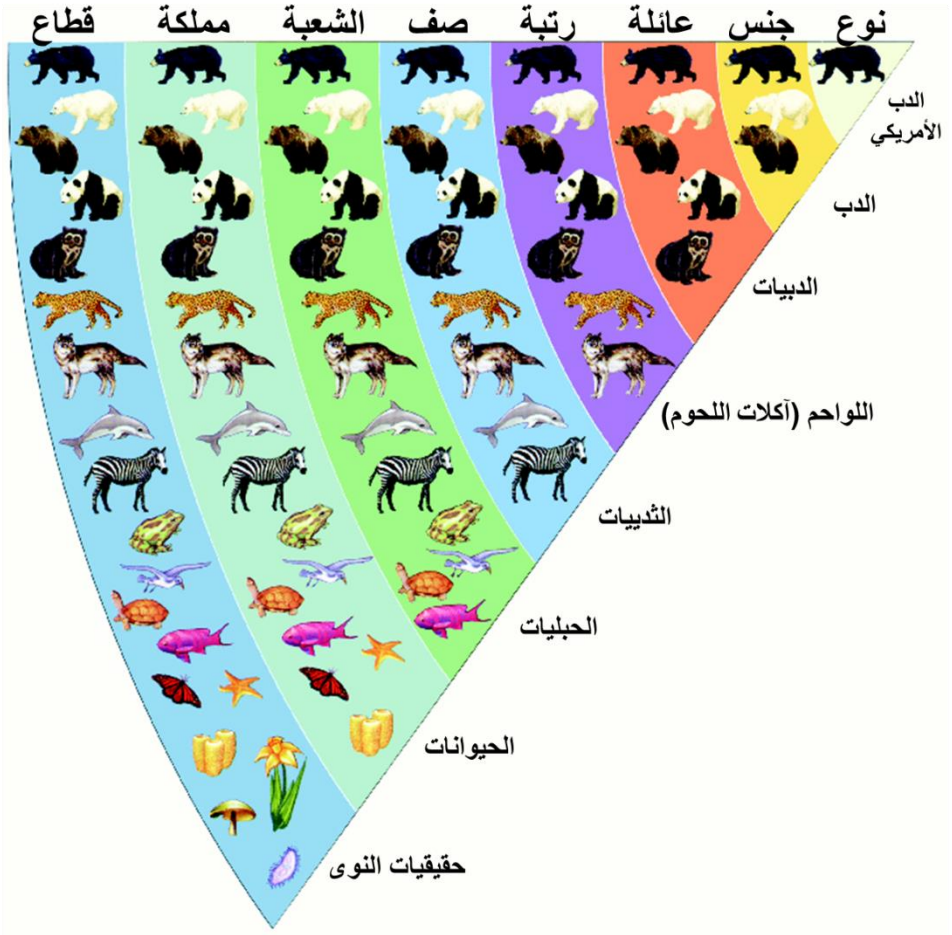
وذلك اعتماداً على الصفات الشكلية والتشريحية و الفيزيولوجية للحيوان بشكلٍ أساسي وبمساعدة الصفات البيئية والجغرافية للحيوان، وتدعى هذه الصفات **بالمعايير التصنيفية القديمة أو الكلاسيكية.**

وعليه يمكن أن نعرف الصفة التصنيفية بأنها **أية خاصة في المتعضية أو مجموعة من المتعضيات والتي بواسطتها تختلف أو تتشابه مع متعضية أو مجموعة من المتعضيات الأخرى التي تنتمي إلى نفس مرتبتها التصنيفية.**

وهكذا نجد أن أي حيوان سينتمي حتماً إلى ثماني مراتب تصنيفية إجبارية هي **القطاع** domains **و المملكة** Kingdom **والشعبة** Phylum **والصف** Class **والرتبة** Order **والفصيلة** أو العائلة

Family **والجنس** Genus **والنوع** Species (الشكل 10). وعلى هذا الأساس يعتبر **النوع** حجر الزاوية الأساسي في تصنيف الكائنات الحية ويعرف بأنه:

مجموعة من الأفراد التي تملك صفات مشتركة وتستطيع التزاوج فيما بينها لتنتج أفراداً جديدة تحمل صفات آبائها وتستمر في الحياة وقادرة على التكاثر فيما بينها. وتجمع الأنواع المتشابهة في مجموعة واحدة هي الجنس ويعرف بأنه مرتبة **تصنيفية تشتمل على نوع واحد أو عدد من الأنواع ذات أصل مشترك من الصلة الشعبية إي أنه أنظومة من الأنواع انحدرت من سلف مشترك وتكيفت لطريقة خاصة من العيش**. وتجمع الأجناس المتشابهة في الفصيلة، وتجمع الفصائل المتشابهة في رتبة، وتوضع الرتب التي تجمعها خصائص مشتركة في صف، وتجمع الصفوف المتشابهة في شعبة، والشعب المتشابهة في مملكة.



الشكل (10): تصنيف الحياة. يصنف الجدول التصنيفي الأنواع الحية في مجموعات يجري تجميعها بعد ذلك في مجموعات أوسع. حيث توضع الأنواع الحية ذات القرابة الوثيقة جدا في نفس الجنس، و يجري تجميع الأجناس في عائلات و هكذا.

وتعتبر المراتب التصنيفية الثمانية السابقة هي المراتب الأساسية المعتمدة في تصنيف الكائنات الحية، إلا أن وجود بعض الصفات الثانوية غير المتماثلة في بعض الكائنات التي تنتمي إلى مرتبة تصنيفية واحدة استوجب استحداث مراتب تصنيفية فرعية أو ثانوية كأن يقال تحت -Sub أو فوق -Super المرتبة الأساسية. هذا ويعتمد المصنف في تحيد المراتب التصنيفية التي ينتمي إليها أي كائن حي على معايير تنتمي إلى علوم الشكل والأجنة و المستحاثات والفيزيولوجيا والسلوك والكيمياء الحيوية و الخلية وغيرها من العلوم الحيوية، وتدعى هذه الصفات **بالمعايير التصنيفية الحديثة**.

وفيما يتعلق بالتسمية فقد اصطلح على إعطاء كل نوع اسم يتكون من كلمتين لاتينيتين متلازمتين، تمثل الكلمة الأولى اسم الجنس وتبدأ عادةً بحرفٍ كبير، وتمثل الثانية اسم النوع وتبدأ بحرفٍ صغير، ويكتبان بحروف مائلة أو يوضع تحتهما خط مثال الوريقة الكبدية *Fasciola hepatica* أو Fasciola hepatica. ويجب أن يتبع اسم النوع باسم الباحث الذي اكتشفه والتاريخ الذي نشر فيه اسم النوع للمرة الأولى كأن يقال *Dactylogyrus vastator* (Nybelin, 1924).

الزمر الحيوانية:

سيجد الدارس لتصنيف الزمر الحيوانية اختلافات عدة بين التصنيفات المعتمدة وذلك لتطور وظهور تقانات جديدة على الدوام كظهور المجهر الإلكتروني في الآونة الأخيرة والتفاعل التسلسلي البوليميرازي (PCR) والبصمة الوراثية وغيرها، ونطلق عل هذه الصفات **بالمعايير التصنيفية الواعدة**. ومع ذلك فإن الخطوط العامة في الاعتبارات التصنيفية للكائنات الحية واضحة حيث تضم حالياً وفقاً للتصنيف الحديث ثلاث

قطاعات هي الأركيا و البكتيريا و الايوكاريا و ست ممالك.و هنا سوف نركز على الممالك kingdoms و القطاعات domains التي تمثل أوسع وحدات التصنيف .

3 – قطاعات الحياة الثلاثة:

حتى العقد الماضية تبنى معظم البيولوجيون جدولا تصنيفيا يقسم تنوع الحياة إلى خمس ممالك بما في ذلك مملكة النبات و مملكة الحيوان. و لكن طرائق جديدة ، مثل مقارنة متتاليات الدنا DNA sequences في الأنواع الحية المتنوعة، أدت إلى مواصلة إعادة تقييم عددا من الممالك. و لكن، و فيما يستمر النقاش في مستوى المملكة، فان هناك مزيدا من الإجماع بأن ممالك الحياة يمكن جمعها في ثلاثة مستويات تصنيف عليا تدعى قطاعات Domains. و تدعى هذه القطاعات باسم: البكتيريا Bacteriaو الأركيا Archae و اليوكاريا Eukarya.أما قطاع البكتريا و قطاع الأركيا فإنهما يتألفان من بدائيات النوى prokaryotes (وهي كائنات حية ذات خلايا بدائية النوى) . و تكون معظم بدائيات النوى أحياء وحيدة الخلية و مجهرية.

و قد تم تصنيف منظومة الممالك الخمسة ؛ وضع كل من البكتريا و الأركيا في مملكة واحدة تسمى مملكة (مونيرا) Monera لأنهما تتشاركان الشكل البدائي لنواة البنية الخلوية . و لكن الأدلة الحالية تؤيد فكرة كون البكتريا و الأركيا تمثلان فرعين مستقلين جدا من الحياة البدائية للنواة ؛ إذ يتلفان في طرق رئيسية .

و هناك أيضا أدلة جزئية تشير إلى أن الأركيا هي على الأقل وثيقة القرابة بالكائنات الحية الحقيقيات النوى مثل ما هي وثيقة القرابة بالبكتريا . يتم الآن تجميع حقيقات النوى (و هي كائنات حية ذات خلايا حقيقية النوى) في الممالك المختلفة لقطاع اليوكاريا (الشكل 11) . ففي عصر مخطط الممالك الخمس ؛ كان معظم حقيقيات النوى ذات الخلية الواحدة و من ضمنها الكائنات الحية الدقيقة المعروفة

باسم الحيوانات الأولي Protozoa توضع من مملكة واحدة اسمها (الأولانيات Protista).

مملكة الحيوان: تتألف من حقيقيات نوى، **مملكة الفطريات**: تعرف جزئيا من خلال طريقة تغذية أفرادها، **الأركيا**: بدائيات نوى.

الشكل (11): قطاعات الحياة الثلاثة

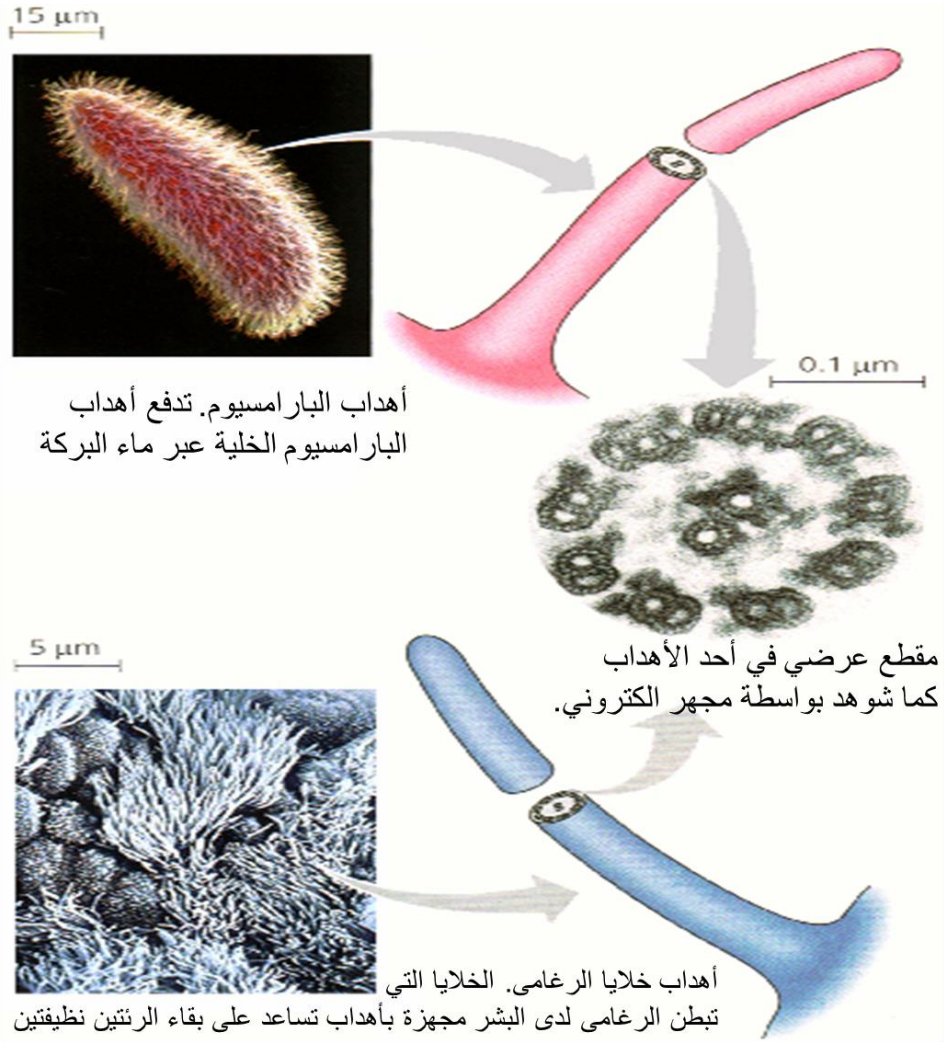
و قد وسع العديد من البيولوجيين من حدود مملكة الأولانيات لتضم بعض أشكال متعددات الخلايا Multicellular مثل الطحالب البحرية التي ترتبط بقرابة وثيقة بأولانيات معينة وحيدة الخلية Unicellular. أما المنحى التصنيفي الحديث، فقد توجه إلى شطر الأولانيات إلى بضع ممالك. و بالإضافة إلى ممالك الأولانيات هذه، يتضمن قطاع اليوكاريا Eukarya ثلاث ممالك من حقيقيات النوى المتعددة الخلايا و هي:

- المملكة النباتية Plantae
- المملكة الحيوانيةAnimalia
- مملكة الفطرياتFungi
- و هذه الممالك الثلاث تتميز جزئيا حسب طراز تغذيتها. فالنباتات تنتج سكاكرها و أغذيتها الأخرى الخاصة عن طريق الاصطناع أو التركيب الضوئي Photosynthesis. أما الفطريات

فهي على الأغلب مفككات Decomposers تمتص المغذيات عن طريق تحطيم الكائنات الميتة و فضلات عضوية مثل الأوراق الساقطة و براز الحيوانات. و أما الحيوانات فتحصل على الغذاء عن طريق الابتلاع Ingestion الذي يعني أكل كائنات حية أخرى. و هذه بالطبع هي المملكة التي ننتمي إليها.

4- الوحدة في تنوع الحياة

بقدر ما هي الحياة متنوعة، توجد كذلك أدلة على وحدة Unity ملحوظة. و بخاصة على المستويين الجزيئي و الخلوي. و مثال على ذلك اللغة الجينية الشمولية للدنا DNA، التي تشترك فيها متعضيات تتفاوت من البكتيريا إلى الحيوانات. و في نطاق حقيقيات النوى تتضح الوحدة في عدة معالم من بنية الخلية (الشكل 12).



الشكل (12): مثال عن الوحدة التي تؤسس تنوع الحياة

إن تاريخ الحياة كما وثق بواسطة المستحاثات و الدلائل الأخرى يمثل ملحمة أرض تتغير، عمرها ملايين السنين، و تسكنها تركيبة من أشكال حية آخذة بالتطور. هذه النظرة التطورية للحياة تم التركيز عليها في تشرين الثاني عام 1859 عندما نشر تشارلز داروين واحدا من أكثر الكتب أهمية و جدلا على الإطلاق تحت عنوان (حول أصل الأنواع بالاصطفاء الطبيعي On the origin of species by natural selection و أصبح هذا الكتاب فورا الأفضل مبيعا، و جعل نظرية داروين مرادفة لمفهوم التطور. يبين

هذا الكتاب أصل الأنواع معتمدا على نقطتين أساسيتين أولاهما أن داروين قدم دلائل يثبت فيها وجهة نظره بأن الأنواع المعاصرة نشأت من تعاقب الأسلاف.

و قد أطلق داروين على تاريخ تطور الأنواع عنوان (ذرية ذات تحوير) و كان ذلك تعبيرا متبصرا. فقد وضع يده على مزدوجة وحدة الحياة و تنوعها (بمعنى الوحدة في القرابة بين الأنواع التي تنحدر من أسلاف مشتركة من جهة و التنوع في التحويرات التي نشأت عندما تفرعت الأنواع من أسلافها المشتركة من جهة أخرى). أما النقطة الرئيسية الثانية لداروين هي أنه اقترح آلية لموضوع الذرية ذات التحوير. و سمى الآلية التطورية هذه بالاصطفاء الطبيعي.

5– شجرة الحياة The tree of life

إذا ألقينا نظرة على معمارية هيكل أجنحة الخفاش (الشكل 13). نجد أن هذه الأطراف مع أنها تكيفت من أجل الطيران، فإنها في الحقيقة تملك جميع العظام و المفاصل و الأعصاب و الأوعية الدموية الموجودة في أطراف كائنات أخرى مختلفة جدا عنها كعضد الإنسان و رجل الحصان الأمامية و زعنفة الحوت. و في الحقيقة، فان الأطراف الأمامية Forelimbs في جميع الثدييات هي مجرد اختلاف تشريح لمعمارية مشتركة.

الشكل (13) :
شكل يلائم الوظيفة. الخفاش: انه الثدي الوحيد القادر على الطيران الفعال و لديه أجنحة مع وترات بين أصابعه الممتدة. ان الاصطفاء الطبيعي هو سبب هذا التكيف حسب رأي داروين للحياة

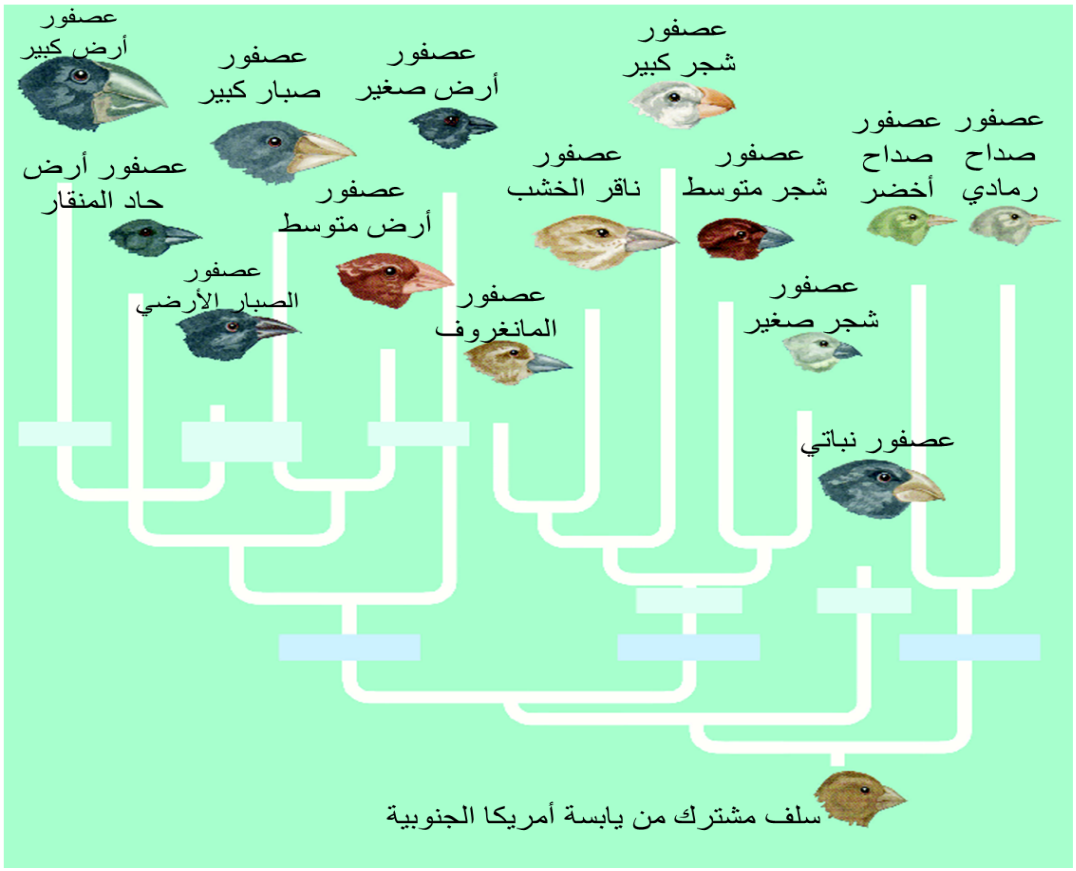
ان مثل هذه الأمثلة تربط مفهوم "الوحدة في التنوع" Unity in diversity مع المفهوم الداروينيDiscent with modification"ذرية ذات تحوير". ففي وجهة النظر هذه، تعكس وحدة تشريح الطرف لدى الثدييات وراثة تلك البنية من سلف مشترك واحد هو الثدييات الأولي النمط Prototype mammal الذي تحدرت منه جميع الثدييات الأخرى، حيث تحورت أطرافها الأماميةالمتنوعة عبر اصطفاء طبيعي فعل فعله طوال ملايين السنين في سياق بيئات مختلفة. هذا و تقدم المستحاثات (و أدلة أخرى غيرها) دعما لوجهة النظر التي تقول بأن الوحدة التشريحية Anatomical unity تعزز تحدر الثدييات من سلف مشترك.

و هكذا اقترح داروين أن الاصطفاء الطبيعي عبر تأثيره التراكمي خلال فترات زمنية طويلة قد مكن النوع السلفي من التشعب إلى نوعين أو أكثر. و يمكن أن يحدث هذا على سبيل المثال، إذا تجزأت جماعة إلى بضعة تحت جماعات Subpopulations منعزلة في بيئات مختلفة. و في حلبات الاصطفاء الطبيعي المختلفة هذه، يستطيع النوع أن يتشعب التدريج إلى أنواع أخرى على غرار تكيف الجماعات المنعزلة جغرافيا (طيلة أجيال عديدة) للطواقم المختلفة من العوامل البيئية.

توضح شجرة العائلة لأربعة عشر عصفورا Finches (الشكل 14) مثالا شهيرا للتشعب التكيفي Adaptative radiationلأنواع جديدة من سلف مشترك. فلقد جمع داروين عينات من تلك الطيور خلال زيارته في العام 1835 الى جزيرة غالاباغوس التي تبعد 900 كم عن شاطئ المحيط الهادي لأمريكا الجنوبية.

و يشار الى أن هذه الجزر البركانية الحديثة العهد نسبيا تشكل موطنا للعديد من الأنواع النباتية و الحيوانية التي لا توجد في أي مكان آخر من العالم بالرغم من أن الكائنات الحية في جزر غالاباغوس ذات قرابة وثيقة بالأنواع الموجودة على اليابسة الأساسية لأمريكا الجنوبية. و يمكن أن تكون العصافير قد تنوعت على تلك الجزر المتباينة انطلاقا من عصفور سليف وصل بالصدفة من الأرض الأساسية الى الأرخبيل بعد أن بنت البراكين جزر غالاباغوس قبل ملايين السنين.

بعد سنوات من تجميع داروين لعصافير غالاباغوس بدأ الباحثون بترتيب القرابات بين أنواع العصافير اعتمادا على المعلومات الجغرافية و التشريحية بداية، ثم حديثا بمساعدة المقارنات بين تتاليات الدنا. إن مخطط البيولوجيين للقرابات التطورية يأخذ على العموم شكل شجرة، و هذا أمر جيد.



الشكل (14): ذرية ذات تحوير: الانشعاب التكيفي في جزر غالاباغوس. لاحظ تخصص المناقير التي تكيفت لمصادر غذاء متباينة في الجزر المختلفة.

ومثلما أن لكل فرد نسبا يمكن رسمه على شكل شجرة عائلة، فكل نوع حي هو غصين من شجرة حياة متفرعة تمتد في الزمان الغابر عبر أسلاف الأنواع. وتقع الأنواع الشديدة التشابه (مثل عصافير غالاباغوس) والتي تشترك بسلف واحد عند نقطة فرع حديث على شجرة الحياة. ولكن من خلال السلف عاش في زمان أكثر بعدا، فان العصافير ترتبط بقرابة مع الصقور والبطاريق وجميع أنواع الطيور الأخرى. وكذلك تشترك الطيور والثدييات وجميع الفقاريات الأخرى (حيوانات بعمود فقري) بسلف مشترك أكثر قدما.

التركيب العام للخلية الحية (1)
General structure of the Cell (1)

1- أهمية الخلية:

تعتبر الخلية الحية أساسية للبيولوجيا مثلما هي الذرة للكيمياء، فالخلية هي لبنة بناء كل المتعضيات الحية organisms و الخلية في تراتبية التعضي البيولوجي هي أصغر تجمع لمادة قابلة للحياة. فالخلية Cellule بالتعريف هي: الوحدة البنيوية والوظيفية في الكائنات الحية سواء أكانت حيوانية أم نباتية، أو كائنات وحيدة الخلية ، و تقوم بجميع الوظائف الحيوية اللازمة لاستمرارها و بقائها على قيد الحياة، و يتراوح قطر الخلية بشكل عام بين واحد ميكرومتر مثل البكتريا، و عدة سنتيمترات كما في بيضة الدواجن.

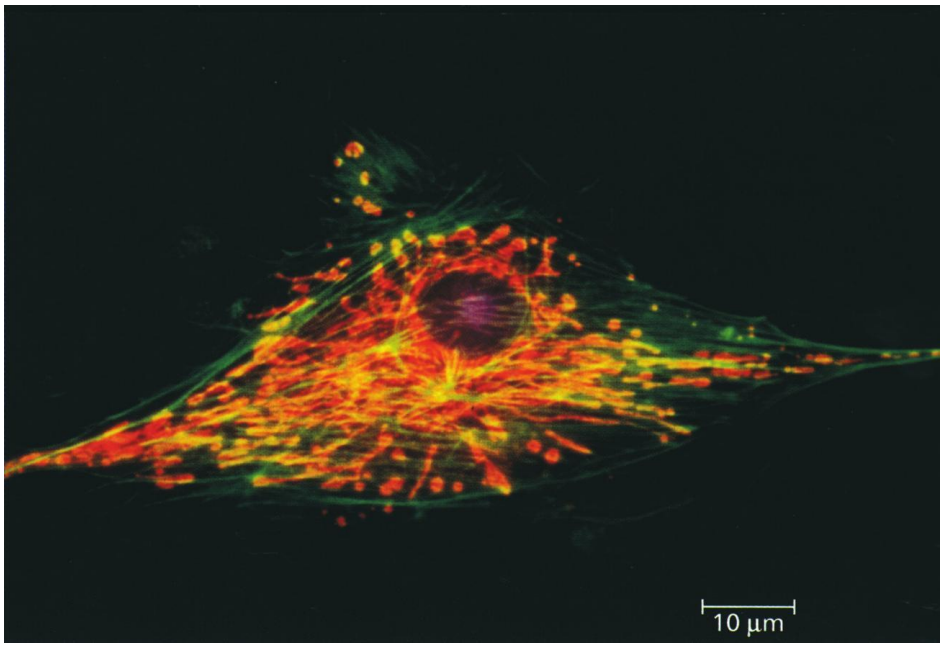
و في الحقيقة هناك أشكال متنوعة للحياة، و تقسم الكائنات الحية بحسب عدد الخلايا المكونة لأجسامها إلى مجموعتين هما :

1- كائنات وحيدة الخلية تسمى الحيوانات الأوالي Protozoa : و تتألف أجسامها من خلية واحدة مثل البارامسيوم، المتحولات و وحيدات الخلية الأخرى.
2- كائنات عديدة الخلايا و تسمى الحيوانات التوالي Metazoa : و هي كائنات أكثر تعقيدا كالحيوانات التي تتألف أجسامها من مجموعة كبيرة من الخلايا تنشأ جميعها من خلية واحدة، هي البيضة الملقحة التي تنقسم انقسامات عديدة لتعطي خلال مراحل التشكل الجنيني جميع أنسجة الجسم. وتكون هذه الخلايا متخصصة بحيث يستحيل لنوع منها أن يحيا دون سواه.

عندما تنتظم الخلايا في الكائنات كثيرات الخلايا في مستويات أعلى من التعضي، كالنسج و الأعضاء، فإنها تبقى لبنات بناء الكائن الحي كيانا و وظيفة، فمثلا إن تقلص الخلايا العضلية يحرك عينيك و أنت تقرأ هذه الجملة و إذا انتقلت إلى صفحة أخرى، نقلت خلاياك العصبية ذلك القرار من دماغك إلى

الخلايا العضلية في يدك. إن كل شيء تفعله المتعضية إنما يحدث بشكل أساسي على المستوى الخلوي.

إن الخلية بنية مجهرية، حيث تنشأ الحياة على المستوى الخلوي من أمر بنيوي يعزز موضوع التخصص لدى و الخلايا و الارتباط بين البنية و الوظيفة. فعلى سبيل المثال، تعتمد حركة الخلية الحيوانية على التفاعل المعقد للبنيات التي تؤلف الهيكل الخلوي Cellular skeleton (الشكل 15). كما أن تفاعل المتعضيات الحية مع بيئاتها هو موضوع آخر مطروق في البيولوجيا. فالخلايا تستشعر تقلبات البيئة و تستجيب لها. كذلك التطور، فمع أن الخلايا بكليتها تنتسب في أصلها إلى خلية سليفة لها، إلا أنها تحورت بطرائق مختلفة خلال التاريخ الطويل لتطور الحياة على الأرض.



الشكل (15): الخلية و هيكلها كما يبديه المجهر المفلور

2– دراسة الخلايا باستعمال المجاهر و أدوات الكيمياء الحيوية:

إن الفهم الدقيق للتركيب العام للخلية و تعقيده قد يكون صعبا، فهي أصغر من أن تراها العين المجردة،

وبالتالي كان لابد للباحثين و البيولوجيين من إيجاد وسائل و أدوات تساعده في دراسة الخلية و التعرف على مكوناتها الداخلية بشكل دقيق.

أ- **المجهر: Microscopy**:

إن التقدم في أي حقل من العلوم يواكبه اختراع أدوات و أجهزة تجعل الإنسان قادرا على التعرف على نواح جديدة ذات حدود لا تدركها الحواس بشكل مجرد. فلولا اختراع المجهر سنة 1590 لما أمكن من اكتشاف الخلية و دراستها بشكل مفصل. و لا تزال المجاهر بأنواعها المختلفة أدوات لا غنى عنها في دراسة الخلية.

إن أولى المجاهر التي استخدمها العلماء، و كذلك المجاهر المستخدمة في المختبرات عادة ، جميعها مجاهر ضوئية. يمر الضوء المرئي من خلال عدساتها العينية إلى عدسات زجاجية فتعكس الضوء بطريقة يتم فيها تكبير صورة العينة حين ترتسم داخل العين.

في الواقع ، للمجهر ثابتان أساسيان هما:

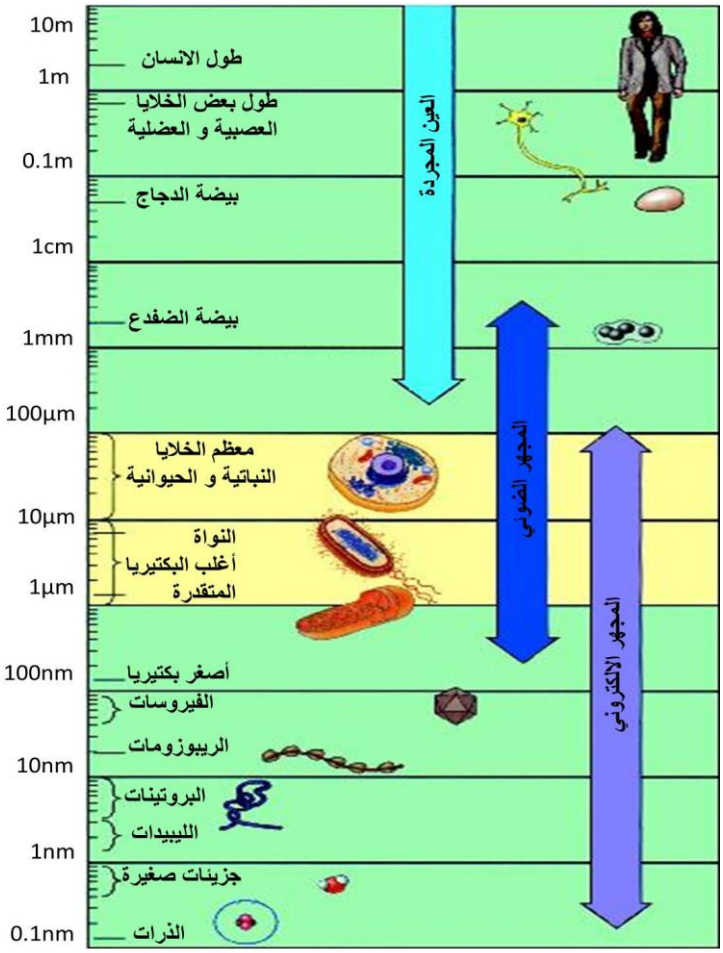
- التكبير magnification: و هو نسبة الصورة إلى حجمها الحقيقي.

- القوة الفاصلة أو الدقة (الميز) resolution: و هي قياس صفاء الصورة، و أدنى مسافة بين نقطتين يمكنه الفصل بينهما لتبقيا متميزتين كنقطتين مختلفتين.

إن المجهر الضوئي عاجز عن رؤية الأشياء التي تكون أصغر من 0.2 ميكرومتر أو 200 نانومتر أي ما يعادل حجم بكتيريا صغيرة (الشكل 16). إن معظم الطرائق التحسينات التي لقيها المجهر الضوئي منذ بدايات القرن العشرين تضمنت طرائق جديدة لتحسين التباين، الأمر الذي يوضح التفاصيل التي يمكن

رؤيتها و تمييزها (الشكل 17). و كذلك طور العلماء طرائق تلوين أو وسم مكونات خلوية معينة لتتسنى رؤيتها.

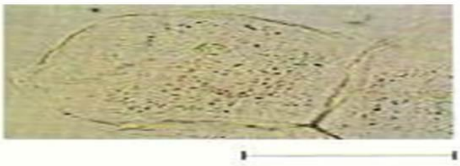
لقد تم اكتشاف الخلية في العام 1665 على يد العالم روبرت هوك، غير أنه لم يتم التعرف على مكوناتها و تركيبها حتى منتصف القرن الماضي (القرن العشرين). حيث أن المجهر الضوئي لم يكن متطورا بشكل كافي يجعله قادرا على تمييز البني تحت خلوية أو ما يسمى بالعضيات Organelles. و مع اكتشاف المجهر الالكتروني في الخمسينيات من القرن العشرين، تسارع التقدم في مجال البيولوجيا الخلوية. إن المبدأ الأساسي في عمل هذا المجهر هو أنه يرسل عبر العينة أو على سطحها حزمة مركزة من الالكترونات بدلا من الضوء.



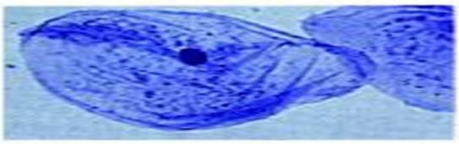
الشكل (16): **حدود حجم الخلايا**. تتراوح أقطار الخلايا بين 1 و 100 ميكرومتر. و بذلك لا يتسنى رؤيتها بدون مجهر.

إن القوة الفاصلة في المجهر الضوئي ترتبط عكسيا بطول موجة الإشعاع المستخدمة للتصوير، لكن طول موجات الحزم الالكترونية أقل بكثير من طول موجات الضوء المرئي. و تستطيع المجاهر الإلكترونية الحديثة نظريا تحقيق قوة فاصلة في حدود 0.002 نانومتر، غير أن الحد العملي للبنى البيولوجية Biological structures يتعدى 2 نانومتر. و هذا يبقى تحسنا يفوق المجهر الضوئي بمائة مرة. و نشير إلى أن البيولوجيين يستخدمون مصطلح البنية الفائقة Ultrastructure للتعبير عن تشريح الخلية حسبما يبدي المجهر الالكتروني.

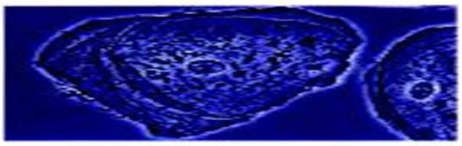
- **طريقة البحث باستخدام المجاهر الضوئية**



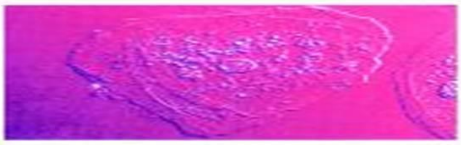
أ- **ساحة مضاءة** (عينة غير ملونة). يعبر الضوء العينة مباشرة. و ما لم تكن الخلية ذات صبغة طبيعية أو صنعية. فان تباينها يكون ضئيلا. (تبدي الصورتان أ و ب خلية ظهارية لشدق إنسان) Human cheek



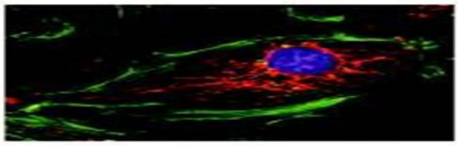
ب- **ساحة مضاءة** (عينة ملونة). يحسن التلوين بالصباغات المختلفة من التباين، لكن معظم عمليات التلوين تتطلب تثبيتا للخلايا (بمعنى الحفظ).



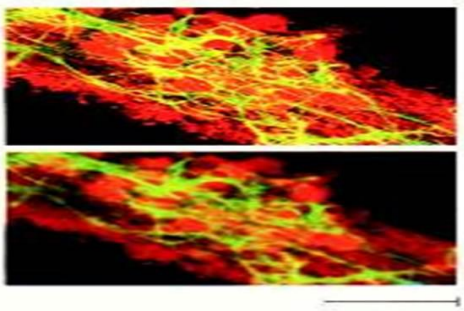
ت- **تباين الأطوار** : انه يعزز التباين في الخلايا غير الملونة بتضخيم الاختلافات في الكثافة داخل العينة، و هو نافع لفحص الخلايا الحية غير المصبوغة بشكل خاص.



ث- **التباين التفاضلي المتداخل**: على غرار المجاهر المتباينة الأطوار، فإنها تستخدم تحويرات بصرية للمبالغة في فروق الكثافة، بحيث تجعل الصورة تبدو و كأنها ثلاثية الأبعاد.



ج- **الفلورة:** إنها تبين مواضع جزيئات معينة في الخلية بوسمها بأصبغة أو أضداد مفلورة. تمتص هذه المواد المتفلورة الأشعة فوق البنفسجية، و تصدر ضوءا مرئيا، حسبما يظهر هنا في خلية من شريان.



ح- **المبائر**: انه يستخدم الليزر و عدسات خاصة للتقطيع الضوئي للعينات المصبوغة فلوريا. و هنا تتم إنارة مستوى واحد من البؤرة. أما ما هو خارج البؤرة فوق المستوى و تحته فانه يشتت بواسطة حاسوب. تظهر الصورة عالية الدقة كما تراها في نسيج عصبي ملون. في العلى الخلايا العصبية خضراء، و الخلايا الداعمة حمراء و مناطق التراكب صفراء. في الأسفل صورة مكروية مفلورة معيارية لهذا النسيج السميك نسبيا حيث تبدو مشوشة.

الشكل (17): طريقة البحث باستخدام المجاهر الضوئية

- **طريقة البحث باستخدام المجاهر الإلكترونية**

هناك نوعان رئيسيان من المجاهر الالكترونية و هما:

- المجهر الالكتروني الماسح: يستخدم بشكل خاص لدراسة مفصلة لسطح العينة (الشكل18-أ) حيث تمسح الحزمة الالكترونية سطح العينة و التي غالبا ما تكون مطلية بطبقة رقيقة من الذهب.
- المجهر الالكتروني النافذ: يستخدم هذا النوع بشكل أساسي لدراسة البنية الفائقة الداخلية للخلايا بشكل رئيسي (الشكل 18-ب). حيث يصوب هذا المجهر حزمة الكترونية نحو مقطع في غاية الرقة من العينة.

ب- تبدي الصورة المأخوذة بالمجهر الالكتروني الماسح الأبعاد الثلاثة لسطح العينة. تبين هذه الصورة سطح خلية من رغامى أرنب مغطاة بعضيات متحركة تسمى الأهداب

أ- يبين المجهر الالكتروني النافذ مقطعا رقيقا من العينة، يمثل هذا المقطع خلية رغامية، حيث تتجلى بنيتها الفائقة. أثناء تحضير هذا المحضر، تقطعت بعض الأهداب طولا، فظهرت مقاطعها الطولية. و في حين تقطعت بعض الأهداب عرضا، فظهرت مقاطعها العرضية

الشكل (أ +ب 18): طريقة البحث باستخدام المجاهر الالكترونية

أ– المجاهر الالكترونية الماسحة: تبدي الصورة المأخوذة بالمجهر الالكتروني الماسح الأبعاد الثلاثة لسطح العينة. تبين هذه الصورة سطح خلية من رغامى أرنب مغطاة بعضيات متحركة تسمى الأهداب، و يفيد ضرب الأهداب هذه بدفع المخلفات المستنشقة إلى الحلق.

ب– المجاهر الالكترونية النافذة: يبين المجهر الالكتروني النافذ مقطعا رقيقا من العينة، يمثل هذا المقطع خلية رغامية، حيث تتجلى بنيتها الفائقة. أثناء تحضير هذا المحضر، تقطعت بعض الأهداب طولا، فظهرت مقاطعها الطولية. و في حين تقطعت بعض الأهداب عرضا، فظهرت مقاطعها العرضية.

ب– عزل العضيات بواسطة التجزئة الخلوية

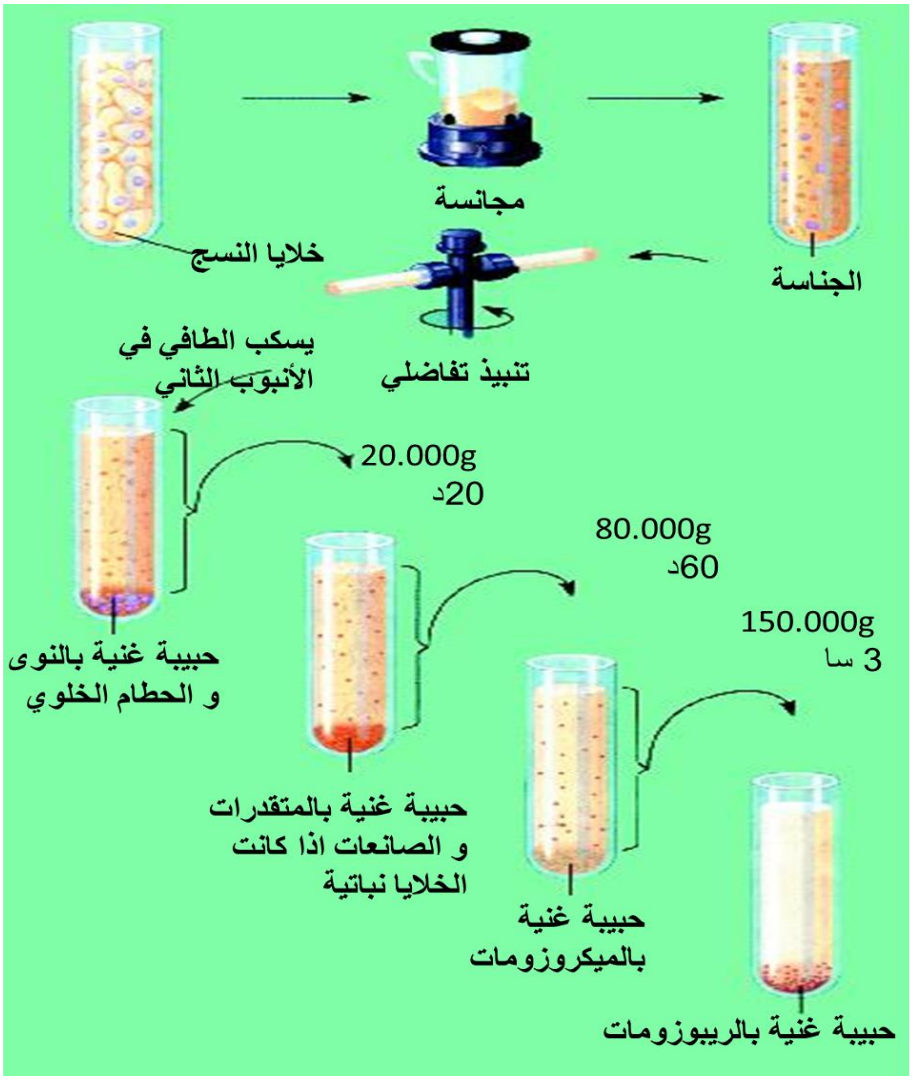
تستهدف التجزئة الخلوية إلى عزل الخلايا و فصل العضيات الكبيرة بعضها عن بعض (الشكل 19) . و تستخدم المثفلة لهذه المهمة ، و هي أداة تستطيع تدوير أنابيب اختبار تحتوي على مزائج غير متجانسة من الخلايا بسرعات مختلفة. تفصل القوة النابذة مكونات الخلية حسب أحجامها و كثافاتها. و يمكن لأقوى آلاتها المسماة المنابذ الفائقة أن تدور 130 ألف دورة في الدقيقة، و أن تطبق على الجسيمات قوى تفوق قوى الجاذبية الأرضية بمليون مرة.

تتيح التجزئة الخلوية للباحث تحضير مكونات معينة من الخلايا بكمية تسمح بدراسة تركيبها ووظائفها. و باتباع هذه المقاربة، أصبح البيولوجيون قادرين على أن ينسبوا الوظائف المختلفة للخلية إلى عضياتها المختلفة، و هي مهمة يصعب تحقيقها في الخلايا السليمة.

3– التعضي العام للخلايا حقيقيات النوى

تتمثل اللبنة الأساسية الوظيفية البنيوية لكل متعضية حية في واحدة من نمطين من الخلايا هما:

- الخلايا بدائية النواة Prokaryotic :و هي تشتمل على البكتيريا و الأركيا فقط.
- الخلايا حقيقية النواة Eukaryotic : و هي تشتمل على النباتات و الحيوانات و الفطريات و الأولانياتProtists.



الشكل (19): طريقة البحث باستخدام التجزئة الخلوية. عزل المكونات الخلوية على أساس الحجم و الكثافة.

مقارنة بين الخلايا حقيقيات النوى و الخلايا بدائيات النوى

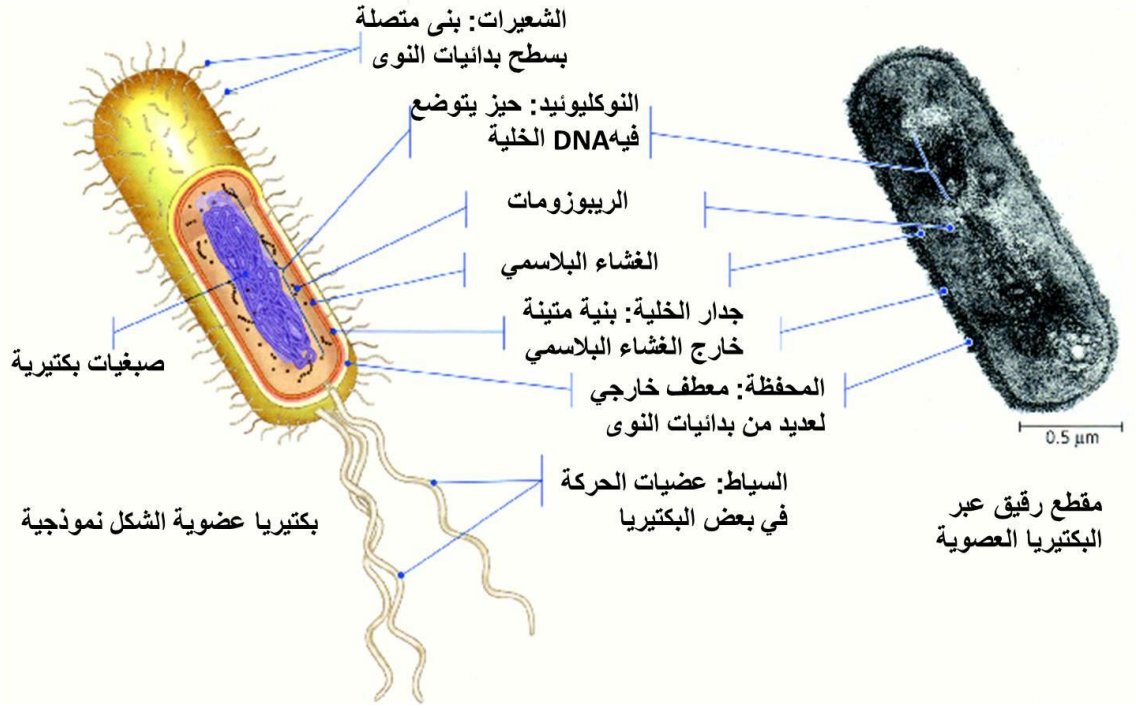
تشترك جميع الخلايا بنمطيها بدائي و حقيقي النواة بمعالم أساسية عديدة و هي:

- إن جميع الخلايا محاطة بغشاء سيتوبلاسميPlasma membrane.
- وجود مادة نصف سائلة داخل الغشاء السيتوبلاسمي تدعى العصارة الخلوية تجتمع فيها العضيات.
- تحتوي جميع الخلايا على خيوط تحمل جينات على شكل دنا DNA.

- تمتلك جميع الخلايا جسيمات ريبية و هي عضيات دقيق تصنع البروتينات و فق تعليمات من الجينات.

إن الفرق الكبير بين حقيقيات النوى و بدائيات النوى يستدل عليه من تسمية هذه الخلايا و يمكن توضيح الفروق الأساسية بين هذين النمطين من الخلايا بالنقاط التالية:

1- تتوضع صبغيات الخلايا حقيقيات النوى في عضية يكتنفها غشاء تسمى النواة، أما في الخلايا بدائية النواة (الشكل20) ، يتركز ال DNA في منطقة نووية دون غشاء يفصلها عن بقية الخلية، في المقابل تمتلك الخلية حقيقية النواة نواة حقيقية .



الشكل (20): خلية بدائية النواة. تفتقر إلى النواة الحقيقية و إلى العضيات الأخرى المحاطة بأغشية و الموجودة في الخلية حقيقية النواة.

2- تحتوي سيتوبلاسما الخلايا حقيقيات النوى عضيات متنوعة ذات أشكال ووظائف متخصصة، محاطة بأغشية، و معلقة في العصارة الخلوية، الأمر الذي تفتقد إليه الخلايا بدائية النوى.

3- تكون الخلايا حقيقيات النوى عموما أكبر قليلا من نظيراتها بدائيات النوى. و يعد الحجم معيارا للبنية الخلوية يتعلق بوظيفتها.

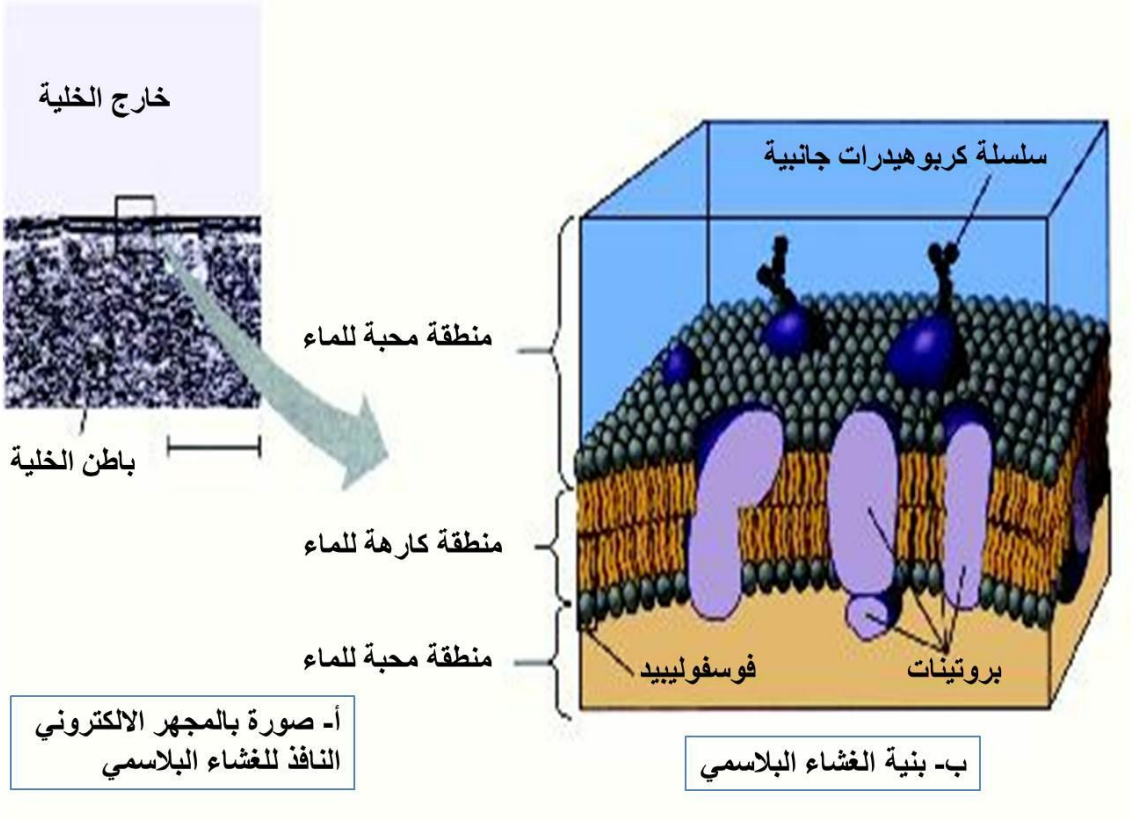
4- الجسيمات الريبية كبيرة حرة و مرتبطة إلى قنيات الشبكة البلاسمية الداخلية عند الخلايا حقيقيات النوى. و تتألف من تحت وحدتين:S 60 وS 40بينما تكون الجسيمات الريبية صغيرة وحرة في الخلايا بدائيات النوى. و تتألف من تحت وحدتين:S50 وS 30.

5-تتراوح أبعاد الخلاياحقيقيات النوى مابين 10-100 ميكرون و يمكن أن تصل إلى عدة سنتمترات. بينما تتراوح أبعاد الخلايا بدائيات النوى مابين 1-10 ميكرون.

4- نظرة بانورامية على الخلية حقيقية النواة:

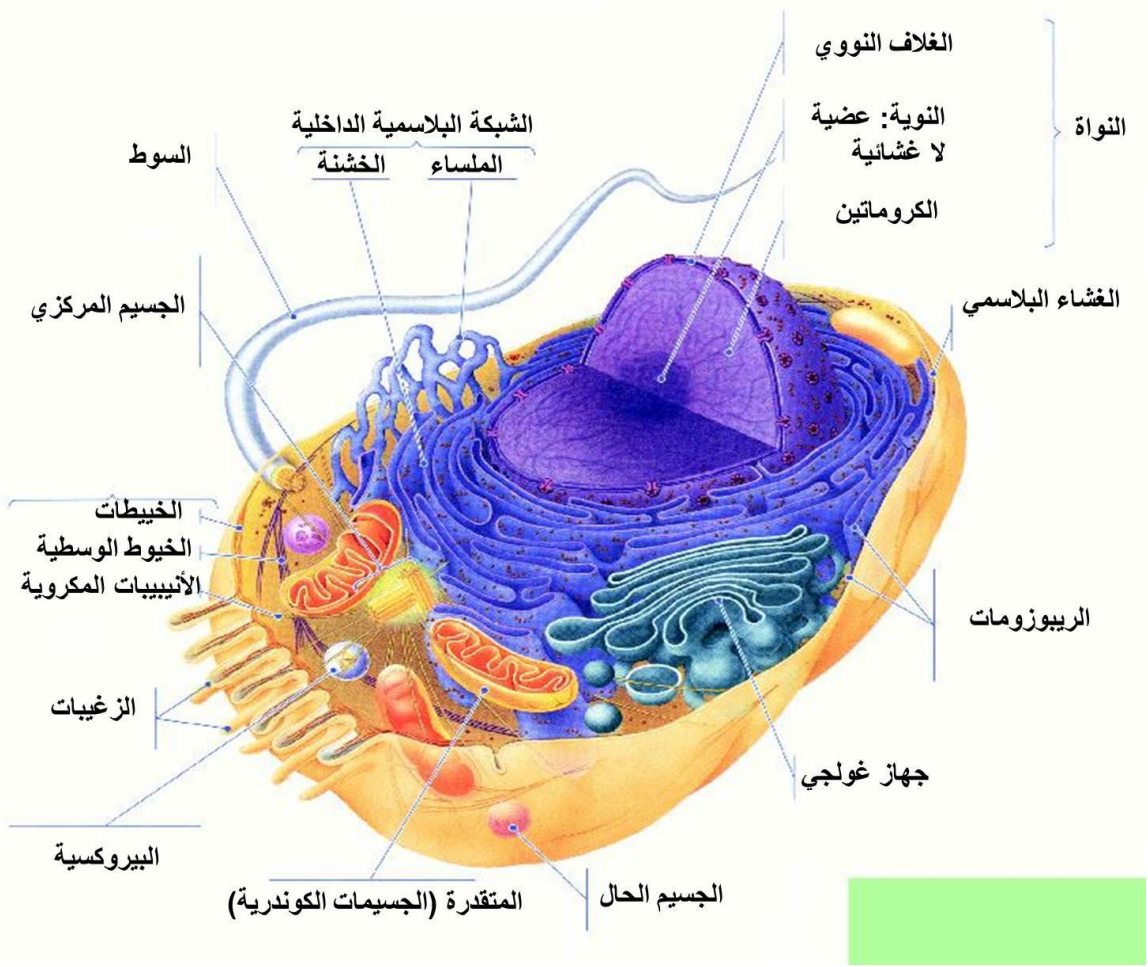
فضلا عن الغشاء البلاسمي كسطح خارجي، تشتمل الخلية حقيقية النواة على أغشية داخلية واسعة و متقنة الترتيب، تقسم الخلية إلى مقصورات هي العضيات الغشائية Membranous organelles. تشترك هذه الأغشية مباشرة في استقلاب الخلية، إذ أن الكثير من الأنزيمات يتم اصطناعها داخل الأغشية. و علاوة على ذلك، توفر مقصورات الخلية أوساطا محلية مختلفة تسهل القيام بوظائف استقلابية نوعية، و بذلك تجري في داخل الخلية نفسها عمليات متباينة قائمة في آن واحد.

تعد الأغشية باختلاف أنواعها أساسية في تعضي الخلية. تتألف الغشية البيولوجية عموما من طبقة مضاعفة من الفسفوليبيدات و ليبيدات أخرى، ينغمس في هذه الطبقة الليبيدية المضاعفة أو يتصل بسطحها بروتينات مختلفة، انظر الشكل(21). و لكن يمتلك كل نوع من الأغشية تركيبا فريدا من ليبيدات و بروتينات تلائم الوظائف النوعية لتلك الأغشية. فعلى سبيل المثال، تشتغل الأنزيمات المنطمرة في أغشية العضيات التي تسمى الجسيمات الكوندرية (المتقدرات) بوظائف التنفس الخلوي.



الشكل (21): الغشاء البلاسمي: يتكون من طبقة مزدوجة من الفوسفوليبيدات و بروتينات متنوعة متصلة أو منغرسة فيها.

إن المخطط العام للخلية الحيوانية حقيقية النواة يقدم العضيات المختلفة و يوفر خريطة للخلية سندرسها بالتفصيل (الشكل 22)،



الشكل (22) : المخطط العام للخلية الحيوانية حقيقية النواة يقدم العضيات المختلفة و يوفر خريطة للخلية. توجد في خلايا الحيوان و ليس النبات : – جسيمات حالة و مريكزات و سياط.

و كذلك فان الشكل (23) يظهر مخططا عاما للخلية النباتية و أهم العضيات فيها مما يسمح بالمقارنة بين الخلايا الحيوانية و الخلايا النباتية. و لكونهما خلايا حقيقيات نوى فإنهما تمتلكان صفات مشتركة تفوق م لي منهما مع خلية بدائية النواة. و لكن هناك اختلافات مهمة بين الخلايا النباتية و الخلايا الحيوانية و هي:

1- الجدار الخلوي: تفتقر الخلايا الحيوانية للجدار الخلوي الموجود في الخلايا النباتية و الذي يقابل بالغشاء السيتوبلاسمي، و يتألف من ألياف السيللوز و مطرق من البكتين و الخشبين ويحتوي على ثقوب قنوية تدعى بالرابطات البلاسمية.

الشكل (23) : المخطط العام للخلية النباتية حقيقية النواة يقدم العضيات المختلفة و يوفر خريطة للخلية. توجد في خلايا النبات و ليس الحيوان : - صانعات خضراء و الفجوة المركزية و التونوبلاست و جدار الخلية و الرابطات البلاسمية.

2- الصانعات الخضراء التي توجد حصرا في الخلايا النباتية و تحتوي على اليخضور، و تقوم بعملية التركيب الضوئي لاصطناع الغذاء، لذلك فان الخلايا النباتية ذاتية التغذية، أما الخلايا الحيوانية فهي غيرية التغذية.

3- الفجوات تكون كبيرة و مركزية و غالبا وحيدة في الخلايا النباتية، و أصغر بكثير و متعددة أو كثيرة في الخلايا الحيوانية.

التركيب العام للخلية الحية (2)
General structure of the Cell(2)

نستعرض فيما يلي مكونات (عضيات) الخلية حقيقية النواة الراقية وهي التالية:

1- 1 .

الغشاء السيتوبلاسمي Plasma membrane:

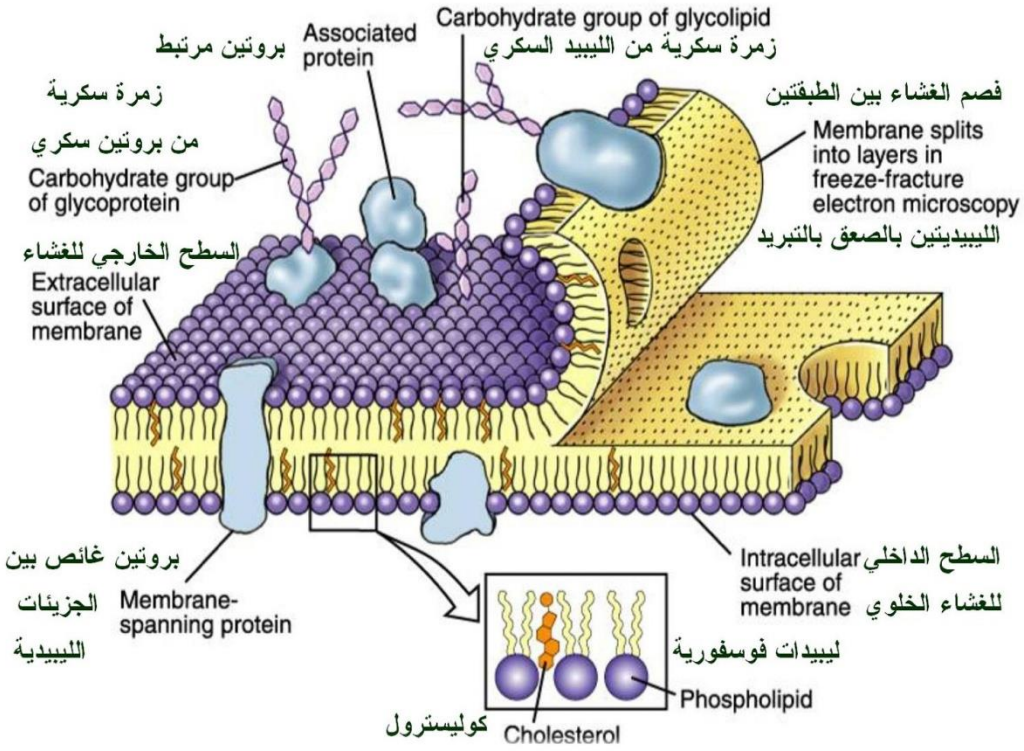
يتألف الغشاء السيتوبلاسمي من طبقتين ليبيديتين تتوضعان على شكل ثلاث وريقات: اثنتان خارجيتان عاتمتان محبتان للماء و تتوسطهما طبقة نيرة كارهة للماء.تحاط الطبقتين العاتمتين بطبقتين من البروتينات المحبة للماء بشكل أحجار مرصعة، بالإضافة إلى بروتينات منغمسة في الطبقات الفوسفوليبيدية.

يضاف إلى ذلك طبقة خارجية من البروتينات السكرية تدعى بالمعطف الخلوي الذي يلعب دورا هاما في دعم و حماية الغشاء الخلوي من الصدمات الآلية كما يساهم بتشكيل المستقبلات الخلوية لبعض المواد الحيوية (الشكل 24).

وظائف الغشاء السيتوبلاسمي

يقوم الغشاء السيتوبلاسمي باحتواء وفصل المادة الحية، وهو الذي يعتبر جزءاً منها في الخلية، عن جدار الخلية الخارجي، ويلعب دوراً أساسياً في تنظيم المبادلات الخلوية و السماح بمرور الماء و المركبات

الأخرى و كذلك يساهم في نقل المعلومات بين الخلايا و يساهم في عمليتي الإدخال و الإطراح الخلويين ، وبالتالي المحافظة على البروتوبلاسم وعلى استمرار حياة الخلية.



الشكل (24): البنية الأساسية الموحدة للأغشية الخلوية

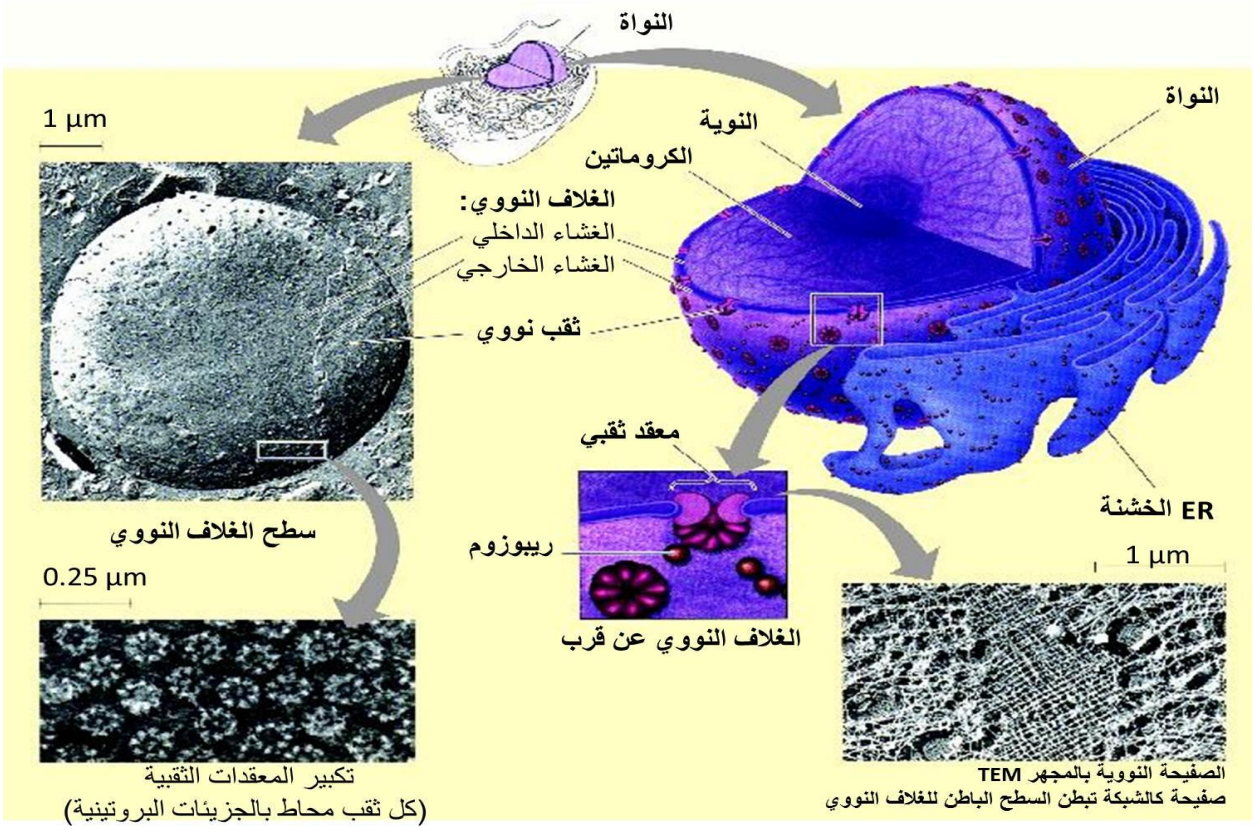
2- النواة (المكتبة الوراثية للخلية)Nucleus:

تحتوي النواة بداخلها على معظم المورثات في الخلية حقيقية النواة (تتوضع بعض المورثات في المتقدرات و كذلك في الصانعات الخضراء عند بعض النباتات). ان النواة هي أكبر عضية في الخلية حقيقية النواة، حيث يصل طول قطرها إلى حوالي 5 ميكرومترات. و يحيط بالنواة غلاف نووي (الشكل 25) يفصل محتواها عن السيتوبلاسما و نميز في النواة ما يلي:

1- الغلاف النووي: هو عبارة عن غشاء مضاعف، يفصل بين كل من الغشاءين مسافة تتراوح بين 20-40 نانومترا. يحتوي الغلاف النووي على ثقوب يصل طول قطرها إلى حوالي 100

نانومتر. تلعب هذه الثقوب دورا هاما في تنظيم دخول و خروج الجزيئات الكبيرة و جسيمات معينة من و إلى النواة. و باستثناء الثقوب، تبطن الوجه الداخلي للغلاف النووي صفيحة نووية، تتألف من خيوط بروتينية تتوضع في تنظيم يشبه الشبكة تصون شكل النواة عن طريق دعم الغلاف النووي ميكانيكيا.

2- المادة الوراثية: ينتظم الدنا DNA ضمن النواة في وحدات متميزة تسمى الصبغيات Chromosomes، و هي البنيات الحاملة للمعلومات الوراثية. و يتكون كل صبغي من مادة تسمى الكروماتين Chromatin، و هو معقد من البروتينات و الدنا DNA. يظهر الكروماتين الملون في كل من المجهر الضوئي و الالكتروني ككتلة منتشرة. و عندما تستعد الخلية للتقسم، تتكثف خيوط الكروماتين الدقيقة لتصبح بثخانة كافية لأن تتميز كبنيات منفصلة مألوفة تسمى الصبغيات (Chromosome).



الشكل (25): **النواة و غلافها**. في داخل النواة توجد الصبغيات التي تظهر ككتلة من الكروماتين (من ال DNA و البروتينات المصاحبة لل DNA)، كما توجد كذلك نوية أو أكثر (تسهم في اصطناع الريبوزومات). أما الغلاف النووي الذي يتألف من غشاءين يفصل بينهما حيز ضيق، فانه يكون مثقبا بثقوب و مبطنا بالصفيحة النووية.

لكل نوع من الخلايا حقيقيات النوى عدد مميز من الصبغيات، فخلية الانسان تحوي على 46 صبغيا في نواتها، و يستثنى من ذلك الخلايا الجنسية (البيوض و النطاف). إذ تحتوي الخلية الجنسية في الإنسان على 23 صبغيا. كما تحتوي خلية ذبابة الفاكهة على 8 صبغيات في أغلب خلاياها، و 4 في الخلايا الجنسية.

3- النوية: و هي عبارة عن بنية بارزة داخل النواة، تتراءى في المجهر الالكتروني ككتلة من حبيبات كثيفة التلوين و ألياف تتلاصق بعيدا عن الكروماتين. و يوجد فيها نوع خاص من الرنا RNA الريبوزومي، الذي يصطنع بتعليمات من الدنا DNA. كذلك تجتمع في النواة بروتينات قادمة من السيتوبلاسما مع الرنا الريبوزومي rRNA في تحت وحدات ريبوزومية كبيرة و صغيرة. و تغادر تحت الوحدات هذه النواة عبر الثقوب النووية إلى السيتوبلاسما، حيث تتمكن الوحدة الكبيرة و الصغيرة من الاجتماع في ريبوزوم. و قد توجد أحيانا نويتان أو أكثر، و يتوقف هذا العدد على النوع الحي و مرحلة الدورة التناسلية للخلية.

4- البلاسما النووية: التي تكمن أهميتها بالمساهمة في العلاقة المتبادلة فيما بين البنيات النووية وبينها وبين السيتوبلاسم.

وظائف النواة

تشرف النواة على اصطناع البروتينات عبر تصنيع الرنا المرسال mRNA وفق تعليمات مستمدة من ال DNA. و من ثم ينتقل الرنا المرسال mRNA إلى السيتوبلاسما عبر الثقوب النووية. و عندما تصل جزيئة الرنا المرسال mRNA إلى السيتوبلاسما، تقوم الريبوزومات بترجمة المعلومات الوراثية إلى بنية أولية لبروتين نوعي.

يمتلك تنظيم المادة الوراثية في منطقة نووية معزولة نسبياً عن باقي مكونات الخلية، أهمية بالغة جداً على المستوى البنيوي والوظيفي، و يمكن تلخيص الوظائف الأساسية للنواة بالنقاط التالية:

أ- الإشراف على العمليات الكيمياحيوية المنجزة في الخلية الحية واستمرارها بالحياة.

ب- تعتبر مخزن للمادة الوراثية المتمثلة بالحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين الـ DNA.

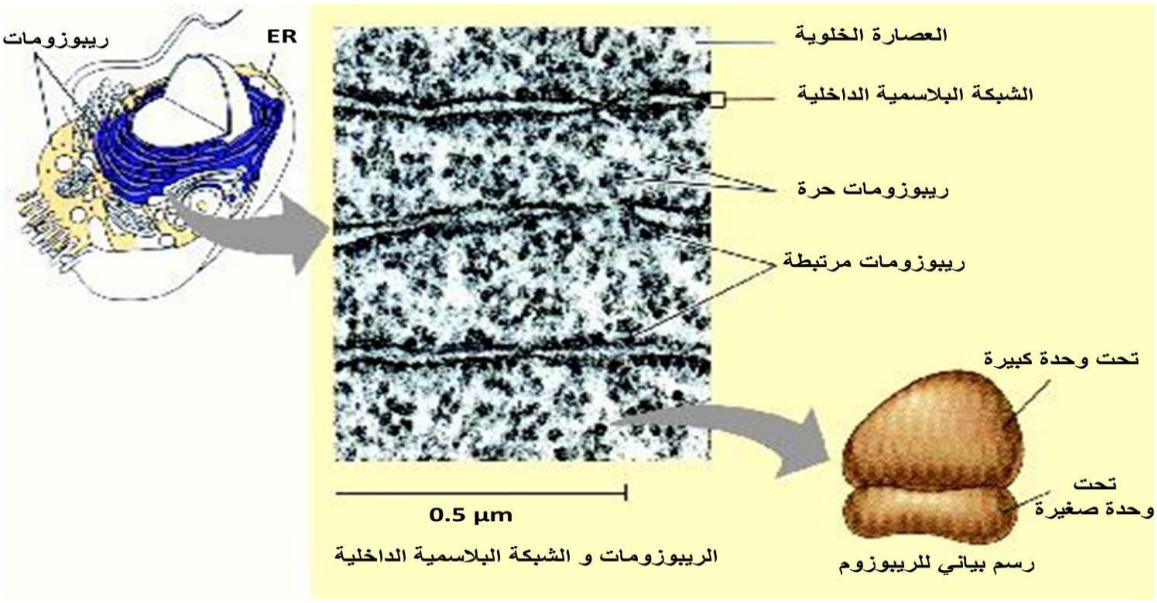
ج- مسؤولة عن تنظيم عملية التضاعف الوراثي واستمرار التطوّر والتمايز الخلوي ونقل الصفات الوراثية بدقة عبر الأجيال من خلال الانقسامات الخلوية.

د- تعمل على نسخ المعلومات الوراثية عبر الـ mRNA الرسول التي تترجم في السيتوبلاسم في مستوى الجسيمات الريبية، كذلك تركيب الأنواع الأخرى من الـ rRNA الريبوزم tRNA الناقل التي تساهم في بناء البروتينات النوعية في السيتوبلاسم وتشكيل الصفات الوراثية، بمعنى آخر تتحكم النواة في تشكيل ونسخ ونقل الصفات الوراثية.

3- الريبوزومات (مصانع البروتين في الخلية)Ribosomes

الريبوزومات هي عضيات تتكفل باصطناع البروتين وهي عبارة عن جزيئات مؤلفة من الرنا الريبوزومي و البروتين (الشكل 26). تمتلك الخلايا ذات المعدلات العالية للاصطناع البروتيني أعدادا كبيرة من الريبوزومات، مثل خلايا المعثكلة عند الإنسان حيث تحتوي على ملايين الريبوزومات. إن الخلايا الناشطة في الاصطناع البروتيني تحتوي على نوييات بارزة (إن جميع العضيات يغلفها غشاء ما عدا النويات و الريبوزومات).

تقوم الريبوزومات ببناء البروتينات في مكانين مختلفين من السيتوبلاسما (الشكل 26)، و هذين المكانين هما:



الشكل (26): **الريبوزومات**. صورة بالمجهر الالكتروني لجزء من خلية معثكلية تكمن فيها الريبوزومات، بنمطيها الحر (في العصارة الخلوية). و المقيد (في الشبكة البلاسمية الداخلية). يظهر الرسم البياني المبسط للريبوزوم تحت وحدتيه.

أ- الريبوزومات الحرة المعلقة في العصارة الخلوية: تؤدي معظم البروتينات المصنعة في هذا النمط من الريبوزومات وظائفها ضمن العصارة الخلوية، ومن أمثلتها الأنزيمات المحفزة لأولى مراحل هدم السكر.

ب- الريبوزومات المرتبطة التي تتثبت خارج الشبكة البلاسمية الداخلية و الغلاف النووي: و هي تصنع البروتينات المخصصة إما للاندماج في الأغشية، أو للخزن ضمن عضيات معينة كالجسيمات الحالة lysosomes، أو للخروج خارج الخلية (الإفراز). و هكذا نجد عددا كبيرا جدا من الريبوزومات المرتبطة في الخلايا المتخصصة بإفراز البروتين، و من أمثلتها نذكر خلايا المعثكلة المفرزة للأنزيمات الهاضمة مثلا. تكون الريبوزومات الحرة و المرتبطة متماثلة في البنية و يمكن أن تتناوب الأدوار فيما بنها.

4- المنظومة الغشائية الداخلية و تنظيم حركة مرور البروتينات (الشبكة البلاسمية الداخلية ER (مصنع للاصطناع الحيوي)):

يشكل العديد من الأغشية المختلفة في الخلية حقيقية النواة جزءا من المنظومة الغشائية الداخلية التي تقوم بمجموعة من الوظائف المنوعة في الخلية. و من أهم هذه الوظائف نذكر: – اصطناع البروتينات و نقلها إلى داخل الأغشية و العضيات أو إلى خارج الخلية. – الاستقلاب و حركة الليبيدات و نزع سمية السموم.

إن الأغشية المختلفة لا تتماثل في البنية و لا في الوظيفة، و فضلا عن ذلك، فان التركيب الجزيئي، و الثخانة، و أنماط التفاعلات الكيميائية التي تنفذها البروتينات في غشاء ما ليست ثابتة، بل قد تتحور بضعة مرات خلال حياة الغشاء.

تتضمن الأغشية الداخلية كلا من : – الغلاف النووي، – الشبكة البلاسمية الداخليةendoplasmicreticulum، – الجسيمات الحالة lysosomes (الليزوزومات)، – جهاز غولجي، – أنواع مختلفة من الفجوات، و نشير هنا إلى أن الغشاء البلاسمي لا يعد غشاء في موقعه الفيزيائي، لكنه مع ذلك ذو انتماء إلى الشبكة البلاسمية الداخلية و الأغشية الداخلية الأخرى.

لقد ناقشنا الغلاف النووي سابقا، و سنركز هنا على الشبكة البلاسمية الداخلية، و الأغشية الداخلية الأخرى التي تنشأ من هذه الشبكة.

تتألف الشبكة البلاسمية الداخلية من شبكة واسعة من الأغشية تبلغ أكثر من نصف مجموع الأغشية لدى العديد من الخلايا حقيقيات النوى. (تعني endoplasmic "داخل السيتوبلاسما" بينما تعني reticulum من اللاتينية "الشبكة الصغيرة").

و تتألف الشبكة البلاسمية الداخلية من شبكة من نبيبيات غشائية و أكياس تسمى صهاريج (خزان الماء). يقوم غشاء الشبكة البلاسمية الداخلية بفصل مقصورة داخلية تدعى لمعة الشبكة البلاسمية عن العصارة الخلوية. و لما كان غشاء الشبكة البلاسمية الداخلية متماديا مع الغلاف النووي، فان الحيز الكائن بين غشاءي الغلاف يتواصل مع لمعة الشبكة البلاسمية الداخلية (الشكل 27).

تتميز الشبكة البلاسمية الداخلية إلى منطقتين مختلفتين في البنية و الوظيفة مع أنهما متصلتين و هاتان المنطقتان هما:

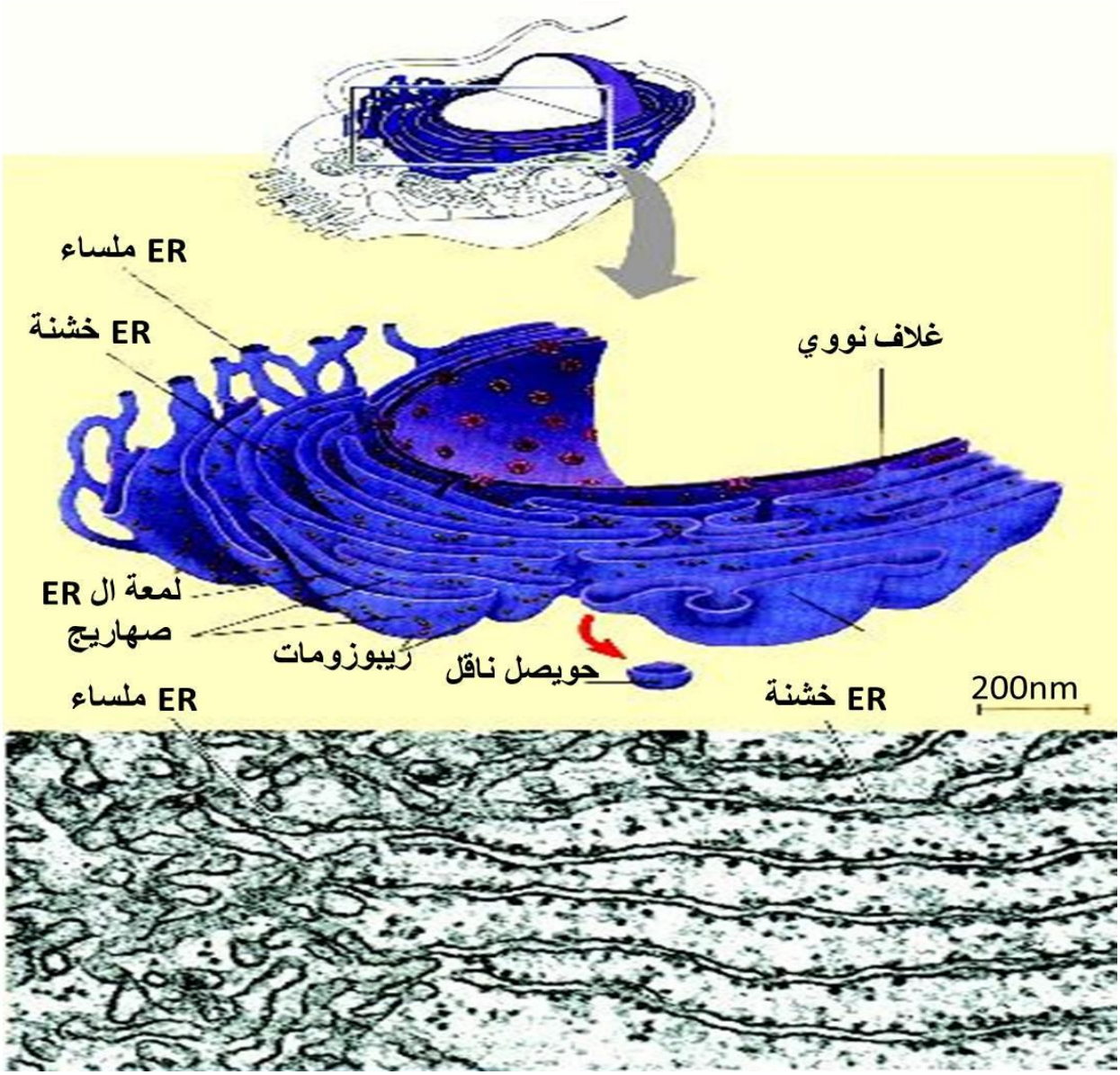
- الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة: و قد سميت بهذا الاسم لأن الجسيمات الريبية ترتبط إليها و تعطيها مظهرا خشنا يبدو واضحا تحت المجهر الضوئي.
- الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء: لقد سميت كذلك لانعدام الريبوزومات على سطحها الخارجي.

أ- وظائف الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة:

1- تفرز الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة بروتينات أنتجتها ريبوزومات متصلة بها. فمثلا، تفرز بعض خلايا المعثكلة بروتين الأنسولين (و هو هرمونا) الى مجرى الدم (الشكل26).

2- صنع البروتينات الإفرازية، التي يحفظها الغشاء البلاسمي منفصلة عن البروتينات التي أنتجتها الريبوزومات الحرة و التي سوف تبقى في العصارة الخلوية، و هنا تغادر البروتينات الإفرازية الشبكة البلاسمية الداخلية مغلفة في أغشية حويصلات تتبرعم كالفقاعات من منطقة متخصصة تدعى الشبكة البلاسمية الداخلية الانتقالية (الشكل27). و تدعى الحويصلات المنتقلة من جزء من الخلية إلى آخر باسم حويصلات النقل.

3- تعد الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة مصنعا للأغشية في الخلية، إنها تتنامى في مواضعها عبر إضافة بروتينات و فوسفوليبيدات غشائية إلى غشائها الخاص.



الشكل (27): **الشبكة البلاسمية الداخلية**. منظومة غشائية من نبيبيات متداخلة و أكياس مفلطحة تسمى الصهاريج، هذه الشبكة متمادية أيضا مع الغلاف النووي. يكتنف غشاء الشبكة الداخلية فراغ يسمى لمعة الشبكة (أو الحيز الصهريجي). يمكن تمييز الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة المرصعة بالريبوزومات، عن الملساء بواسطة المجهر الالكتروني النافذ. تتبرعم حويصلات النقل من منطقة من الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة تسمى الشبكة البلاسمية الانتقالية و ترحل منها إلى جهاز غولجي و أماكن أخرى.

ب- وظائف الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء

a. تلعب الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية الملساء دورا هاما في عمليات استقلاب متنوعة لدى مختلف أنواع الخلايا. و تتضمن هذه العمليات اصطناع الليبيدات، و استقلاب الكاربوهيدرات. حيث تقوم إنزيمات الشبكة الملساء بدور هام في اصطناع الليبيدات بما في ذلك الزيوت، و الفوسفوليبيدات و الستيروئيدات. و من بين الستيروئيدات التي تنتجها الشبكة الملساء في الخلايا الحيوانية نذكر الهرمونات الجنسية للفقاريات التي تفرزها الغدتان الكظريتان.

b. نزع سمية العقاقير و السموم: تحتوي الشبكة البلاسمية الملساء على أنزيمات أخرى تساعد على نزع سمية العقاقير و السموم، لا سيما في خلايا الكبد.

c. تخزن الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء أيونات الكالسيوم، ففي الخلايا العضلية مثلا، يضخ غشاء متخصص من الشبكة الملساء أيونات الكالسيوم من العصارة الخلوية إلى لمعة الشبكة البلاسمية. و حينما تنبه دفعة عصبية خلية عضلية، تندفع أيونات الكالسيوم راجعة عبر غشاء الشبكة الداخلية البلاسمية إلى العصارة الخلوية فتقدح تقلص الخلية العضلية.

5- جهاز غولجي (مركز الشحن و الاستلام و التسليم):Golgi apparatus

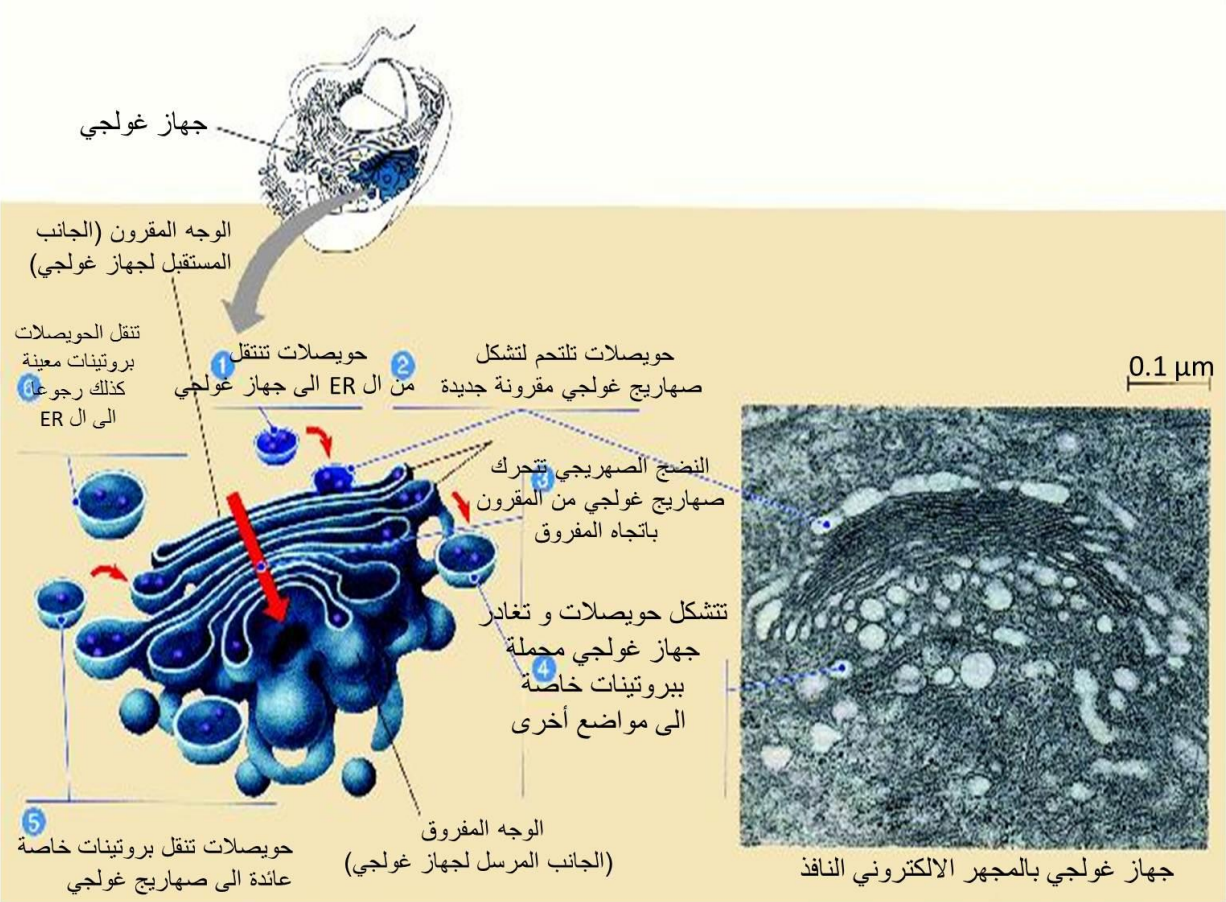
إن بعض حويصلات النقل التي تغادر الشبكة البلاسمية الداخلية تصل إلى جهاز غولجي. فاذا تصورنا أن جهاز غولجي مركز تصنيع و خزن و فرز و شحن. ففي جهاز غولجي يتم تخزين منتجات الشبكة البلاسمية الداخلية و من ثم إرسالها إلى مقاصدها الأخرى. لذلك نجد أن جهاز غولجي يكون متسعا بشكل خاص في الخلايا المخصصة للإفراز.

يتألف جهاز غولجي من أكياس (صهاريج) غشائية مسطحة تتراءى على هيئة كداسة من أرغفة الخبز الرقيقة (الشكل28)، و يمكن للخلية أن تمتلك العديد أو حتى المئات من هذه الكداسات. و يفصل غشاء كل كيس في الكداسة بين حيزه الداخلي و بين العصارة الخلوية.

تتمتع كداسة غولجي بقطبية متميزة، تختلف فيها أغشية أكياسها على الجانبين المتقابلين من حيث الثخانة و التركيب الجزيئي. ويشار إلى قطبي كداسة غولجي بالوجه المقرون أو وجه التشكل و الوجه

المفروق أو وجه الافراز و هما يعملان على التوالي كقسمين للاستلام و الشحن في جهاز غولجي.

و عادة ما يتوضع الوجه المقرون إلى جوار الشبكة البلاسمية الداخلية.



الشكل (28): جهاز غولجي. يتألف جهاز غولجي من كداسات من أكياس مسطحة، أو صهاريج، منفصلة البنية بعكس صهاريج الشبكة البلاسمية الداخلية. تستلم كداسة غولجي و تشحن حويصلات النقل و ما تحتويها من منتجات. و تتصف كداسة غولجي بقطبية بنيوية و وظيفية. فالوجه المقرون يستلم الحويصلات الحاوية على منتجات الشبكة البلاسمية الداخلية، و الوجه المفروق يرحلها، يوحي أنموذج النضج الصهريجي أن صهاريج غولجي يبدو أنها تنضج و تنتقل من الوجه المقرون إلى المفروق حاملة بعض البروتينات خلال ذلك. فضلا عن أن بعض الحويصلات تعيد تدوير الأنزيمات التي حملت قدما في الصهاريج المتحركة لتعيدها رجوعا إلى منطقة جديدة بحاجة إلى وظائفها.

وظائف جهاز غولجي

a. صقل أو تحوير منتجات الشبكة البلاسمية الداخلية أثناء انتقالها من المنطقة المقرونة الى المنطقة المفروقة من جهاز غولجي اذ يمكن أن تتغير بروتينات و فوسفوليبيدات الأغشية، فمثلا تعمل أنزيمات غولجية مختلفة على تحوير الأجزاء الكربوهيدراتية من البروتينات السكرية.

b. يقوم جهاز غولجي بنفسه جزيئات كبيرة. فمثلا يعتبر العديد من عديدات السكر التي تفرزها الخلايا منتجات غولجية، بما فيها البكتين و عديدات السكريد الأخرى غير السيللوزية التي تصنعها خلايا النبات و تدمجها مع السيللوز في جدر الخلايا.

c. يصنع جهاز غولجي منتجاته و ينقيها عبر مراحل و في صهاريج مختلفة بين المنطقتين المقرونة و المفروقة الحاويتين على طواقم فريدة من الأنزيمات.

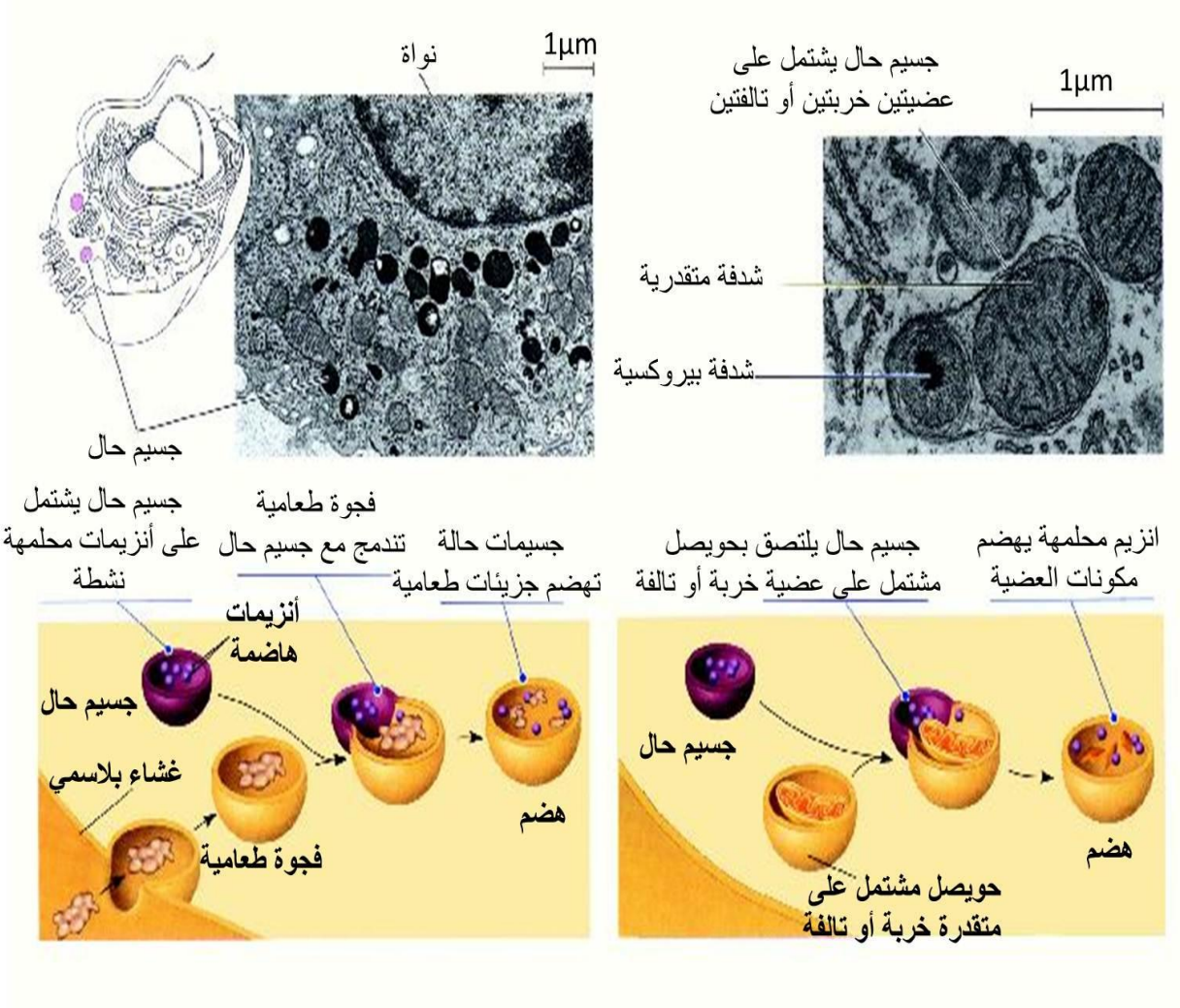
d. يقوم جهاز غولجي بتصنيف منتجات كداسته ثم توجهها إلى مختلف أجزاء الخلية قبل أن يحلها عبر برعمة الحويصلات من الوجه المفروق.

6- **الجسيمات الحالة (مقصورات هاضمة)** Lysosomes:

إن الجسيمات الحالة Lysosomes هي عبارة عن كيس غشائي مؤلف من أنزيمات محلمهة hydrolyticتستخدمها الخلية الحيوانية لهضم جميع أصناف الجزيئات الكبيرة. تعمل الأنزيمات الحالة الموجودة في الجسيمات الحالة بشكل أفضل إذا كان الوسط حمضيا. فإذا انفجر الجسيم الحال أو تسربت محتوياته، فان أنزيماته المتحررة لا تكون فعالة جدا لأن العصارة الخلوية ذات درجة حموضة (PH) معتدلة. ولكن إذا حدث تسرب مفرط من عدد ضخم من الجسيمات الحالة يمكن أن يدمر الخلية بفعل الهضم الذاتي autodigestion.

يتم تصنيع غشاء الجسيم الحال و أنزيماته المحلمهة في الشبكة البلاسمية الداخلية الخشنة ثم تنقل إلى جهاز غولجي لمزيد من التدقيق و المعالجة. و قد تنشأ بعض الجسيمات الحالة عن طريق الوجه المفروق من جهاز غولجي (الشكل29 ب). تستطيع بروتينات السطح الداخلي لغشاء الجسيم الحال و الأنزيمات

الهاضمة نفسها أن تحمي نفسها من التلف من خلال امتلاكها بنيات أو تكوينات ثلاثية الأبعاد تحمي روابطها الحساسة من الهجوم الأنزيمي.



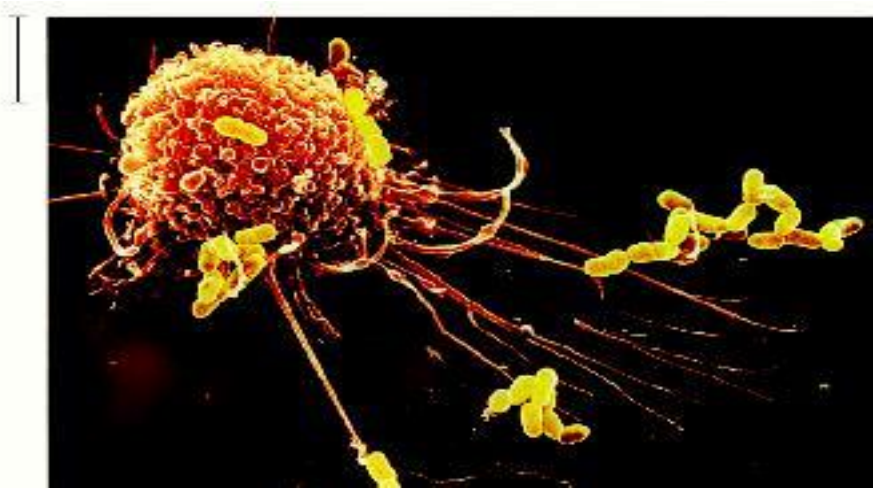
أ- التهام الذات أو الهدم الذاتي: هضم الجسيم الحال لعضية تالفة، ب- البلعمة الخلوية: هضم الجسيمات الحالة للطعام.

الشكل (29): **الجسيمات الحالة**. تهضم الجسيمات الحالة المواد التي تدخل إلى أعماق الخلية و تعيد تدوير المواد داخل الخلوية. في الشكل (أ) نرى في سيتوبلاسما خلية كبد الجرذ جسيما حالا ابتلع اثنتين من العضيات الواهنة تتمثلان في متقدرة و بيروكسية خلال عملية التهام الذات، و يظهر الرسم البياني في الأسفل جسيما حالا يندمج مع حويصل يحوي متقدرة تالفة. في الأعلى (ب) خلية بالعة من جرذ، تبدو فيها الجسيمات الحالة قاتمة اللون بسبب استخدام ملون نوعي يتفاعل مع أحد منتجات الهضم داخل

الجسيم الحال. تهضم البالعات البكتريا و الفيروسات و تخربها بفضل الجسيمات الحالة. يظهر الرسم البياني في الأسفل أحد الجسيمات الحالة أثناء اندماجه مع حويصل طعامي خلال عملية البلعمة.

وظائف الجسيمات الحالة

2- تقوم الجسيمات الحالة بعملية الهضم داخل خلوي Intracellular في تشكيلة منوعة من الظروف. فعلى سبيل المثال هناك بعض خلايا الكائنات الحية مثل الأميبات Amoebas وكثير من الأوليات Protists الأخرى تأكل بالابتلاع متعضيات أصغر منها أو فتيتات طعام أخرى. تسمى هذه العملية باسم البلعمة الخلوية Phagocytosis. و كذلك تمارس بعض الخلايا البشرية عملية البلعمة الخلوية و من بينها البالعات و هي نمط من خلايا الدم البيضاء التي تسهم في الدفاع عن الجسم عبر الإحاطة بالبكتيريا و الفيروسات و إبادتها (الشكل 30).



الشكل (30): **انبثاق الوظائف الخلوية من تعاون عدة متعضيات.**

إن قدرة هذه البلعمية (اللون البني) على تعرف البكتيريا و فهمها و تدميرها (اللون الأصفر) هي نشاط متناسق للخلية بأكملها. فهيكلها الخلوي و جسيماتها الحالة و غشاؤها البلاسمي هي من بين المكونات التي تعمل في خاصية البلعمة.

3- تستعمل الجسيمات الحالة أنزيماتها المحلمهة في إعادة تدوير المادة العضوية الخاصة بالخلية ذاتها، و هي عملية تدعى التهام الذات (الهدم الذاتيAutophagy). و نشير هنا إلى أنه في التهام الذات تحاط العضية التالفة أو كمية قليلة من العصارة الخلوية بغشاء بحيث تشكل حويصل لا يلبث أن يندمج مع الجسيم الحال (الشكل 29 أ). إذا بفضل الجسيمات الحالة تجدد الخلية نفسها على الدوام. فمثلا ، تعيد خلية كبد الإنسان تصنيع نصف ما تحويه من جزيئات كبيرة كل أسبوع.

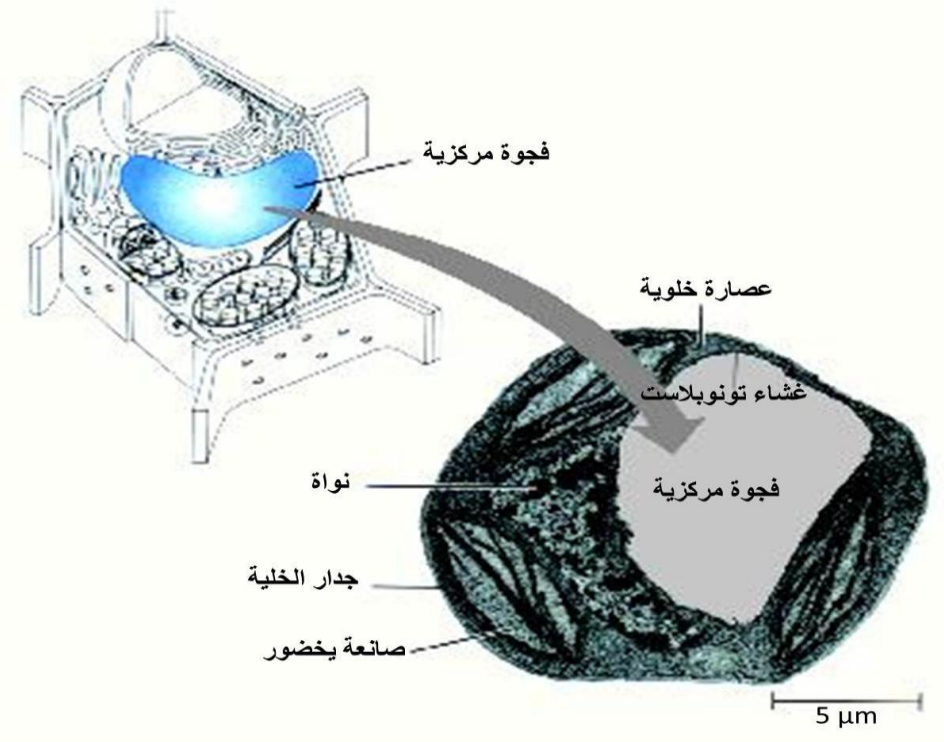
4- تمنح الجسيمات الحالة تراكم الشحوم و المواد غير المهضومة بفضل أنزيماتها الحالة و بالتالي تجنب الإنسان من بعض أمراض خزن الجسيمات الحالة الوراثية، فمثلا في حالة مرض "تاي–ساكس" يكون الأنزيم الهاضم للشحم غائبا أو غير فعال، فتتراكم الشحوم في خلايا الدماغ و تتلفها، و لحسن الحظ، فان أمراض خزن الجسيمات الحالة نادرة.

التركيب العام للخلية الحية (3)
General structure of the Cell(3)

7- الفجوات Vacuoles (حيز الصيانة المتنوعة):

تشكل الفجوات جزءا متمما من المنظومة الغشائية الداخلية في الخلية، فقد تحتوي خلية النبات أو الحيوان أو الفطر على فجوة واحدة أو أكثر. و بشكل عام فان الخلية النباتية تحتوي على فجوة واحدة

مركزية كبيرة محاطة بغشاء يدعى الوتير (التونوبلاست Tonoplast)(الشكل 31)،و تنشأ الفجوة المركزية من التحام فجوات أصغر تشتق من الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية و جهاز غولجي. في حين أن الخلية الحيوانية تحتوي على عدة فجوات صغيرة تختلف تبعا للنوع.



الشكل (31):فجوة خلية نباتية. عادة ما تشكل الفجوة المركزية أكبر مقصورة في الخلية النباتية و عموما تنحصر بقية السيتوبلاسما في منطقة ضيقة بين الوتير و الغشاء البلاسمي.

تقوم الفجوات بوظائف مختلفة في الخلية أهمها:

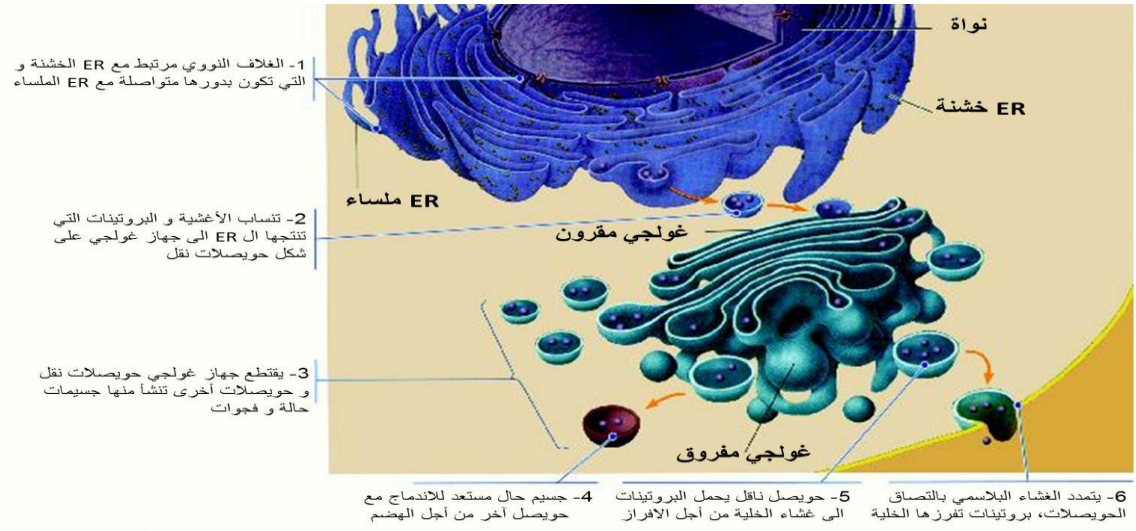
1- تنجز الفجوات بعض عمليات الحلمهة فهي بذلك تشبه الجسيمات الحالة، حيث تتشكل بعض الفجوات الطعامية التي تتشكل بالبلعمة الخلوية.

2- تقوم الفجوات عند العديد من أوليات الماء العذب بضخ الفائض من الماء إلى خارج الخلية، فتحفظ بذلك تركيزا مناسبا للأملاح و الجزيئات الأخرى في الخلية.

3- تقوم الفجوات باحتجاز احتياطيات من مركبات عضوية مهمة، مثل البروتينات المختزنة في فجوات بعض الخلايا، و كذلك تشكل المستودع الرئيس لبعض الشوارد المعدنية مثل البوتاسيوم و الكلور.

مراجعة المنظومة الغشائية الداخلية Endomembrane System :

يوضح الشكل (32) المنظومة الغشائية الداخلية، مظهرا كيفية انسياب البروتينات و الليبيدات الغشائية عبر مختلف العضيات في الخلية. فعندما ينتقل الغشاء من الشبكة الداخلية إلى جهاز غولجي ومن ثم إلى الأماكن الأخرى، تتحور وظائفه الاستقلابية و تراكيبه الجزيئية و كذلك وظائف تراكيب محتوياته. إن المنظومة الغشائية الداخلية تمثل لاعبا معقدا و نشطا في تعضي مقصورات الخلية.



الشكل (32): مراجعة للعلاقات بين عضيات المنظومة الغشائية الداخلية. تبين السهام مسارات هجرة الأغشية و المواد التي تكتنفها هذه الأغشية.

8- المصورات الحيوية أو المتقدرات (الجسيمات الكوندريةMitochondria):

تقوم المتعضيات الحية بتحويل الطاقة التي تكتسبها من محيطها من شكل لآخر. و تعتبر المتقدرات أهم العضيات المسئولة عن تحويل الطاقة إلى أشكال أخرى في الخلايا حقيقية النوى ليتم استخدامها من قبل الخلية في أعمالها.

توجد المتقدرات في جميع الخلايا الحية حقيقيات النوى تقريبا، بما فيها خلايا النبات و الحيوان و الفطور و الأوليات. و تكون المتقدرة كبيرة و مفردة في بعض الخلايا، و لكن أغلب الخلايا تحوي على المئات بل الآلاف من المتقدرات، و لهذا العدد علاقة مباشرة بمستوى نشاط الخلية الاستقلابي. فمثلا ، تمتلك الخلايا المتحركة عددا من المتقدرات يفوق بالنسبة لحجمها ما تمتلكه الخلايا الأقل نشاطا. يتراوح طول المتقدرات بين 1-10 ميكرومترات. لقد اكتشفت طريقة التصوير السينمائي المجهري المتباطئ للخلايا الحية، متقدرات تتجول مغيرة أشكالها، و متقسمة مثنى مثنى.

يحيط بالمتقدرة غشاءان، يتكون كل منهما من طبقة مضاعفة من الفسفوليبيدات ذات مجموعة فريدة من البروتينات المنغمسة (الشكل 33). و يتميز الغشاء الخارجي بأنه أملس و مستمر، أما الداخلي فهو متعرج و يرسل امتدادات باتجاه الداخل على شكل طيات تدعى الأعراف. و يقسم الغشاء الداخلي المتقدرة إلى مقصورتين داخليتين هما:

الأولى: هي الحيز الغشائي البيني المتمثل في المنطقة الضيقة بين الغشاء الداخلي و الخارجي.

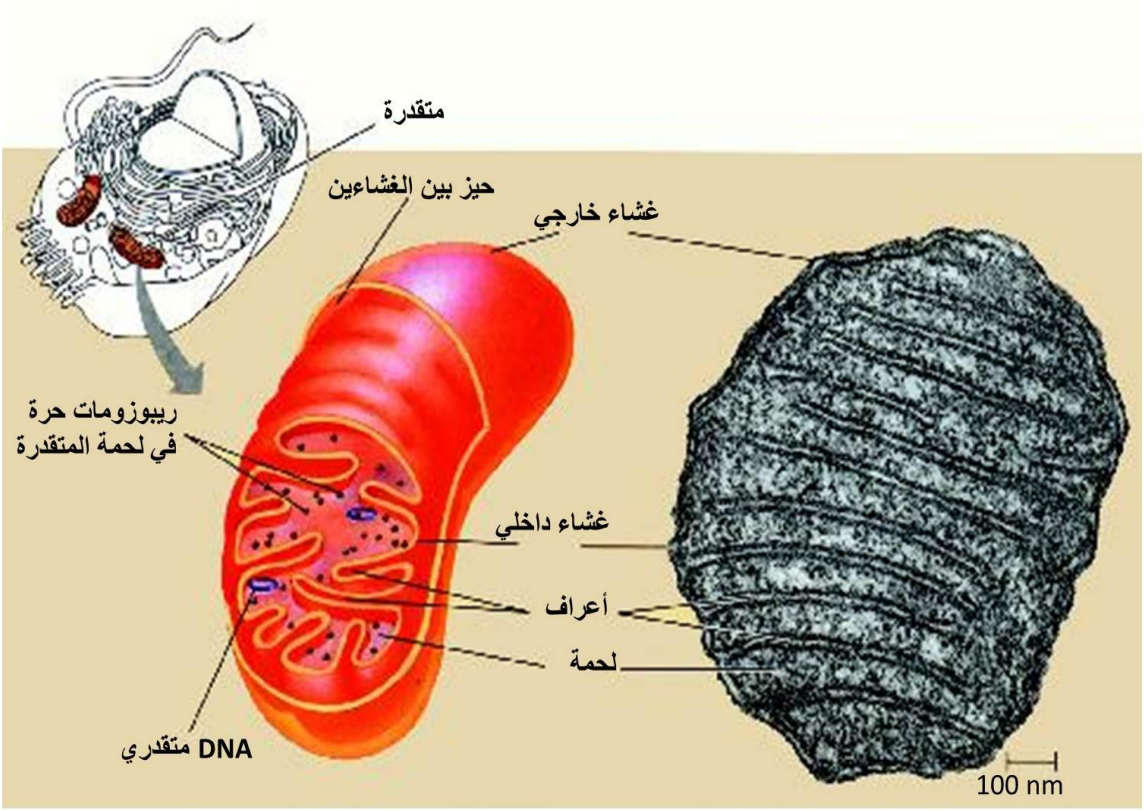
الثانية: هي لحمة المتقدرة الذي يحيط به الغشاء الداخلي. و تحتوي هذه اللحمة على أنزيمات مختلفة و ريبوزومات و دنا DNA متقدري. و تحفز هذه الأنزيمات بعض خطوات التنفس الخلوي، كما تبنى البروتينات الأخرى العاملة في التنفس داخل الغشاء الداخلي، بما فيها الأنزيم الصانع للATP .

و نشير هنا الى أن الأعراف تتيح لغشاء المتقدرة الداخلي بفضل سطوحها ذات الطيات الواسعة مساحة واسعة لعمل هذه البروتينات، مما يحسن انتاجية التنفس الخلوي.

وظائف المصورات الحيوية (المتقدرات)

1- تعتبر المتقدرات مواضع للتنفس الخلوي.
2- تقوم المتقدرات بإنتاج (ATP) و ذلك باستخلاص الطاقة من السكاكر و الشحوم و غيرها من المركبات بمساعدة الاكسجين.

3- تبرمج المتقدرات اصطناع البروتينات التي تصنعها الجسيمات الريبية الخاصة بها و ذلك من خلال وجود كمية قليلة من الدنا DNA في داخل هذه العضيات.



الشكل (33):المتقدرة (موضع التنفس الخلوي). يتضح الغشاءان الداخلي و الخارجي للمتقدرة في الرسم و الصورة المجهرية (المأخوذة بالمجهر الالكتروني النافذ). إن الأعراف هي طيات من الغشاء الداخلي. و يبين المقطع مقصورتين محاطتين بالأغشية و هما الحيز بين الغشائي و اللحمة المتقدرية. و ترى في اللحمة ريبوزومات حرة، و إلى جانبها نسخة أو أكثر من الجينوم المتقدري. و تكون جزيئات ال DNA في العادة دائرية الشكل و متصلة بغشاء المتقدرة الداخلي.

9- الجسيمات البيروكسية (عملية الأكسدة):

البيروكسية: هي عبارة عن مقصورة استقلابية متخصصة يحدها غشاء واحد (الشكل 34). و تحتوي البيروكسيات على أنزيمات تنقل الهيدروجين من مختلف الركائز إلى الأكسجين، فتولد بذلك بيروكسيد

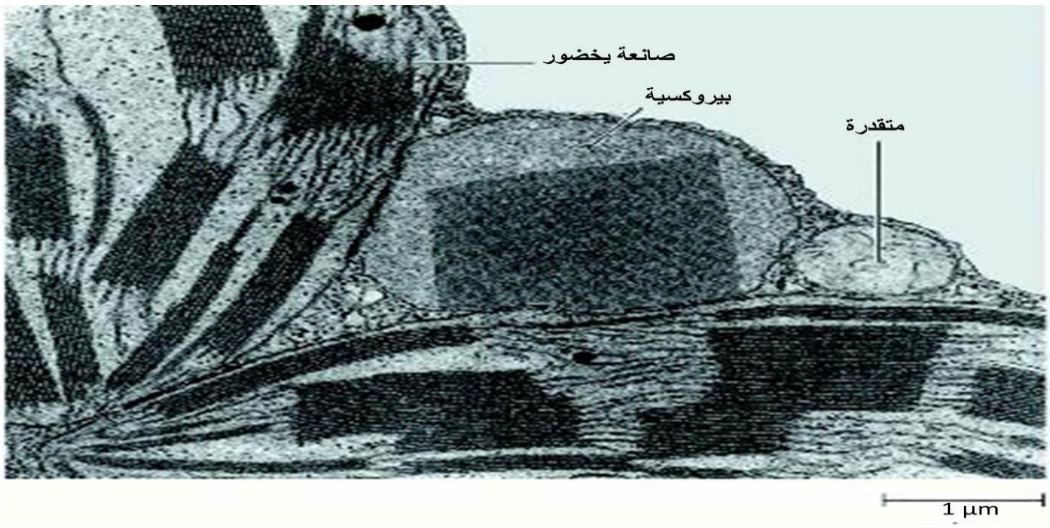
الهيدروجين كمنتج ثانوي تشتق منه هذه العضية اسمها. و ربما كانت لهذه التفاعلات وظائف مختلفة. و نشير إلى أن البيروكسيات تقوم بوظائف متعددة أهمها:

1- تستخدم الاكسجين لتفكيك الحموض الشحمية إلى جزيئات أصغر يتسنى نقلها الى المتقدرات، حيث تستخدم هنالك كوقود للتنفس الخلوي.

2- تزيل البيروكسيات في الكبد سمية الكحول و المركبات الضارة الأخرى عن طريق نقل الهيدروجين من السموم إلى الأكسجين.

3- مع العلم أن بيروكسيد الهيدروجين الذي تصنعه البيروكسيات هو نفسه سام أيضا، و لكن هذه العضيةالبيروكسية تحتوي على أنزيم يحول بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء.

4- توجد بيروكسيات متخصصة تدعي جسيمات غليوكسيدية في الأنسجة التي تختزن الشحوم، و تحتوي هذه العضيات على أنزيمات تباشر تحويل الحموض الدسمة إلى سكر.

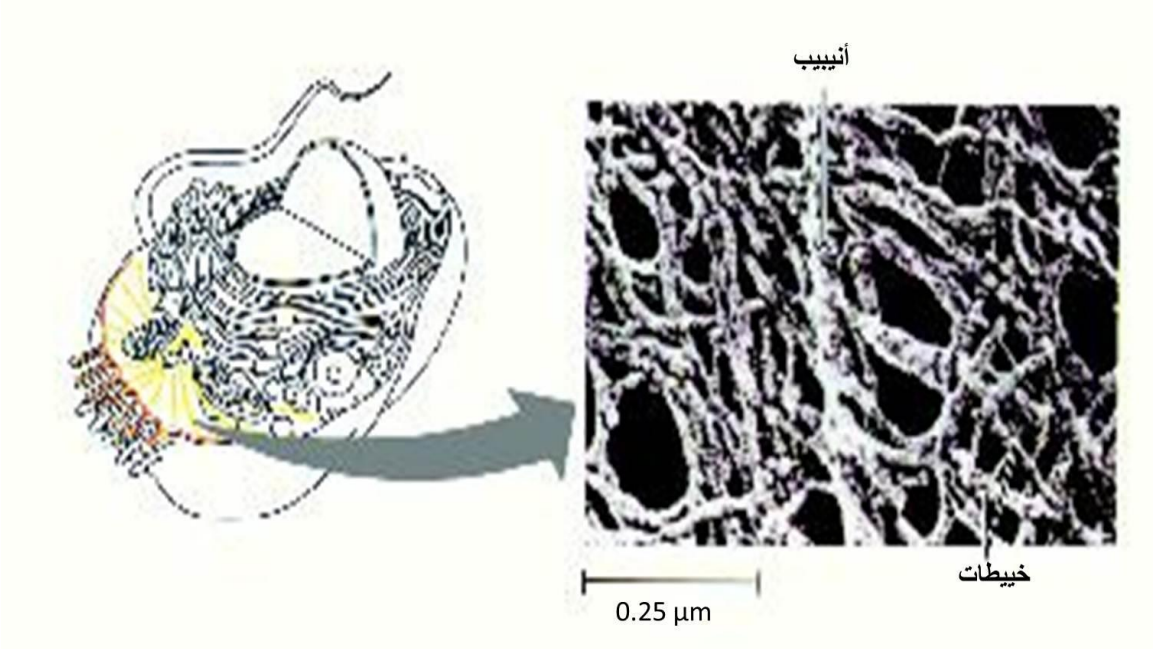


الشكل (34) : البيروكسيات: تكون البيروكسيات كروية الشكل خشنة، و غالبا ما تكون ذات لب حبيبي أو بللوري يعتقد أنه ناجم عن اجتماع مكثف لجزيئات أنزيمية.

10- الهيكل الخلوي (شبكة من الألياف تنظم البنى و الفعاليات في الخلية):

لقد كشفت التحسينات التي طرأت على المجهر الالكتروني عن هيكل الخلية Cytoskeleton، تلك الشبكة من الألياف التي تمتد عبر السيتوبلاسما (الشكل 35). يتألف هيكل الخلية الذي يلعب دورا أساسيا في تنظيم بنى الخلية و فعالياتها، من ثلاثة أنماط من البنى الجزيئية و هي:

- أنيبيبات مكروية Microtubule
- خييطات دقيقة Microfilament
- خيوط بينية Intermediate filaments



الشكل (35): الهيكل الخلوي: تظهر في هذه الصورة المأخوذة بالمجهر الالكتروني النافذ كل من الأنيبياتالمكروية الثخينة الجوفاء، و الخييطات الرفيعة الصماء، أما الخيوط الوسيطة التي هي المكون الثالث للهيكل الخلوي فلا تبدو واضحة هنا.

وظائف الهيكل الخلوي (– الدعم، – الحركة، – التنظيم)

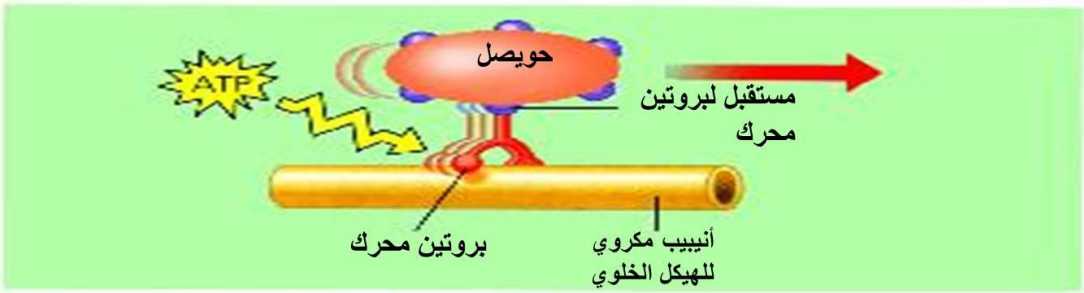
1- تتمثل الوظيفة الأساسية التي يقوم بها الهيكل الخلوي في الدعم الميكانيكي للخلية و صون شكلها، و هذا مهم جدا و خاصة للخلايا الحيوانية التي تفتقر للجدر.

2- ينخرط الهيكل الخلوي في بضعة أنماط من الحركية الخلوية. و تندرج تحت مصطلح "الحركية الخلوية" هذا كلا من التغيرات في موقع الخلية و حركة أجزاء الخلية الضيق نطاقا. تتطلب حركة الخلية تضافر هيكل الخلية مع بروتينات تسمى البروتينات المحركة. و تعمل عناصر من الهيكل الخلوي و بروتينات محركة جنبا إلى جنب مع جزيئات الغشاء البلاسمي كي تتيح لمجمل الخلايا الانتقال على طول ألياف خارج الخلية.

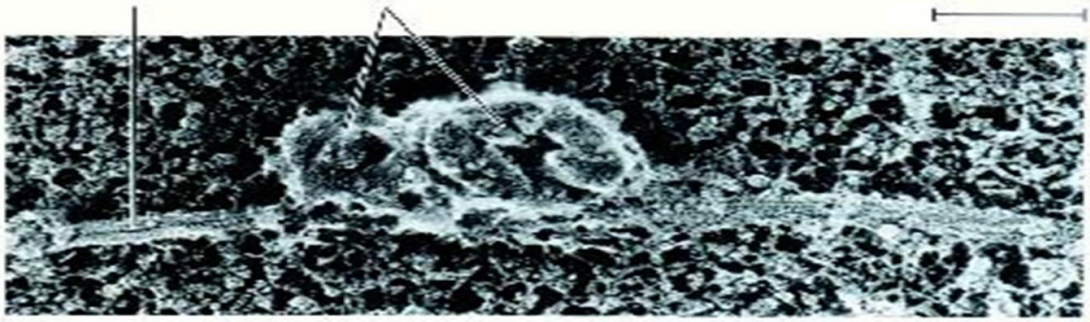
و تحقق البروتينات المحركة حركات الأهداب و السياط عبر تشبثها بأنيبيبات داخل هذه العضيات و دفعها الواحدة عبر الأخرى. و هناك آلية مشابهة تتضمن خيوطات تجعل الخلايا العضلية تتقلص.

و كثيرا ما تسافر الحويصلات داخل الخلية إلى مقاصدها على طول طرق وحيدة الاتجاه يؤمنها الهيكل الخلوي. فمثلا بهذه الطريقة تهاجر الحويصلات التي تحتوي على جزيئات الناقل العصبي إلى ذرى المحاوير التي هي استطالات من الخلايا العصبية تنطلق منها تلك الجزيئات كإشارات كيميائية باتجاه الخلايا العصبية المجاورة (الشكل 36).

3- تنظيم الفعاليات الكيميائية الحيوية في الخلية، فالهيكل الخلوي قادر على نقل القوى الميكانيكية التي تمارسها الجزيئات خارج الخلوية عبر بروتينات من سطح الخلية إلى داخلها، و حتى إلى نواتها.



أ- تستطيع البروتينات المحركة المتصلة بمستقبلات لها على العضيات أن تسير العضيات على طول أنيبيبات مكروية، أو على خيبطات في بعض الحالات

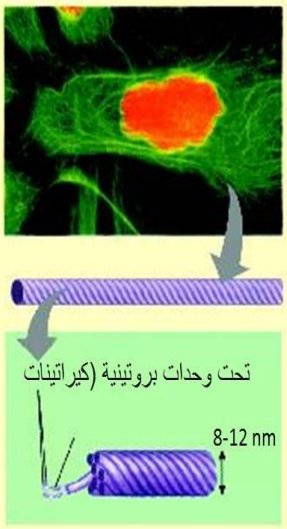
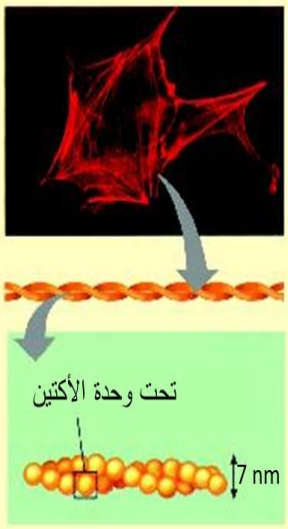


تهاجر الحويصلات المشتملة على النواقل العصبية الى ذرى محاوير الخلية العصبية عبر الآلية المبينة في (أ).

الشكل (36): البروتينات المحركة و الهيكل الخلوي

مكونات الهيكل الخلوي:

يشير الجدول (1) الى الأنماط الرئيسية الثلاثة للألياف التي يتكون منها الهيكل الخلوي. أثخنها الأنيبيبات المكروية، و أرفعها الخيبطات الدقيقة (التي تدعى أيضا باسم الخيوط الأكتينية)، أما الخيوط البينية فهي ألياف ذات أقطار وسط بين النمطين السابقين.

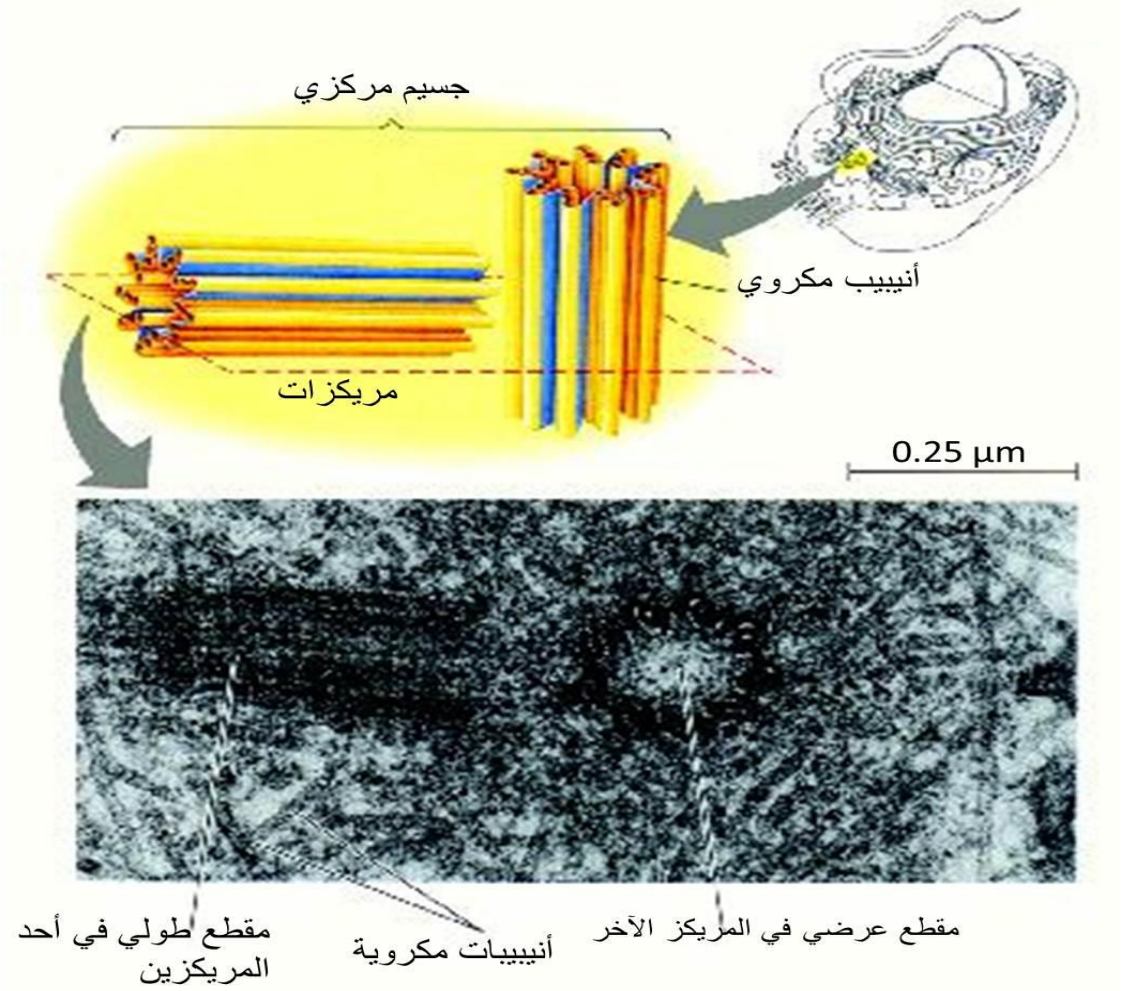
الخاصية	الأنيبيبات المكروية	الخيطات	الخيوط الوسيطة
البنية	أنابيب جوفاء: يتألف الجدار من 13 عمودا من جزيئات التوبولين	شريطان مجدولان من الأكتين، كل واحدة منهما هو مكثور من تحت وحدات أكتينية	بروتينات ليفية مبرومة باحكام على شكل حزم أثخن
القطر	25 نانومتر و لمعة من 15 نانومتر	7 نانومترات	12-8 نانومتر
تحت وحدات بروتينية	التوبولين مكونا من توبولين ألفا و بيتا	أكتين	واحدا من البروتينات العديدة المتنوعة من فصيلة الكيراتين حسب نمط الخلية
الوظائف الأساسية	- صيانة شكل الخلية - جسور ضغط و مقاومة - حركة خلوية - حركات صبغية في الانقسام الخلوي - حركة عضيات	- صيانة شكل الخلية - عناصر حاملة للتوتر - تغيرات في شكل الخلية - تقلص عضلي - انسيابية سيتوبلاسمية - حركة خلوية و انقسام خلوي	- صيانة شكل الخلية (عناصر حاملة للتوتر) - تثبيت النواة و عضيات أخرى - تشكيل الصفحة النووية
صورة مجهرية لأرومات ليفية	5 µm  	10 µm  	10 µm

الجدول (1): بنية الهيكل الخلوي و وظيفته.

أ- الأنيبيبات المكروية

توجد الأنيبياتالمكروية في سيتوبلاسما جميع الخلايا حقيقيات النوى، و هي عبارة عن عصي جوفاء تقيس 25 نانومتر قطرا، و ما بين 200 نانومتر الى 25 ميكرومتر طولا. و يتكون جدار الأنبوب الأجوف من بروتين كروي يسمى التوبولين. و قد تتفكك الأنيبيبات المكروية و يستخدم توبولينها في بناء أنيبيبات مكروية أخرى في مكان آخر من الخلية و من أهم وظائف الأنيبيبات المكروية :

- تدعم الأنيبيبات المكروية الخلية و تمنحها شكلها.
- تفيد كمسارات تتحرك عليها العضيات المزودة ببروتينات محركة (الشكل 37).فمثلا توجه الأنيبيبات المكروية حويصلات الإفراز من جهاز غولجي إلى الغشاء البلاسمي، و تكون الأنيبيبات المكروية مسؤولة كذلك عن فصل الصبغيات أثناء انقسام الخلية.



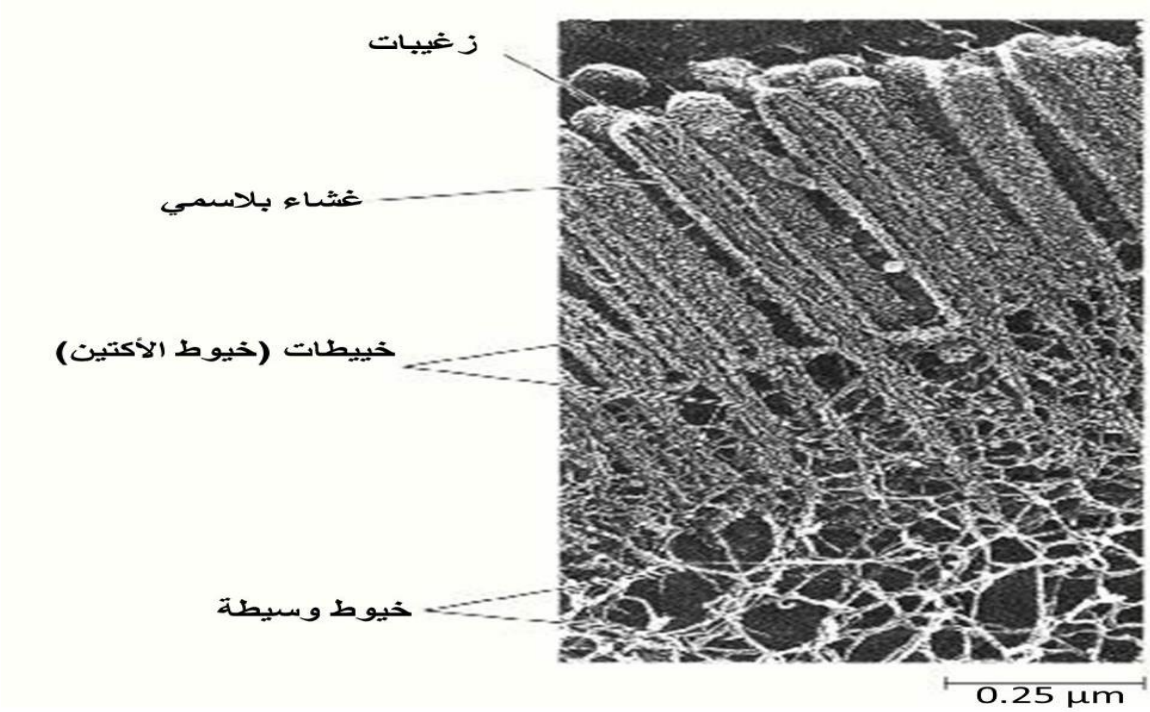
الشكل (37): جسيم مركزي يشتمل على زوج من المريكزات. خلية حيوانية تضم زوجا من المريكزات داخل جسيمها المركزي، الذي هو ذاك المكان القريب من النواة الذي تبدأ منه الأنبيبات المكروية.

ب- الخييطات (خيوط الأكتين)

الخييطات هي عصيات صلبة تقيس أقطارها 7 نانومتر تقريبا. و تدعى أيضا خيوط الكتين، و هو بروتين كروي. و الخييط هو سلسلة مضاعفة ملتوية من تحت وحدات الأكتين. و توجد الخييطات بشكل

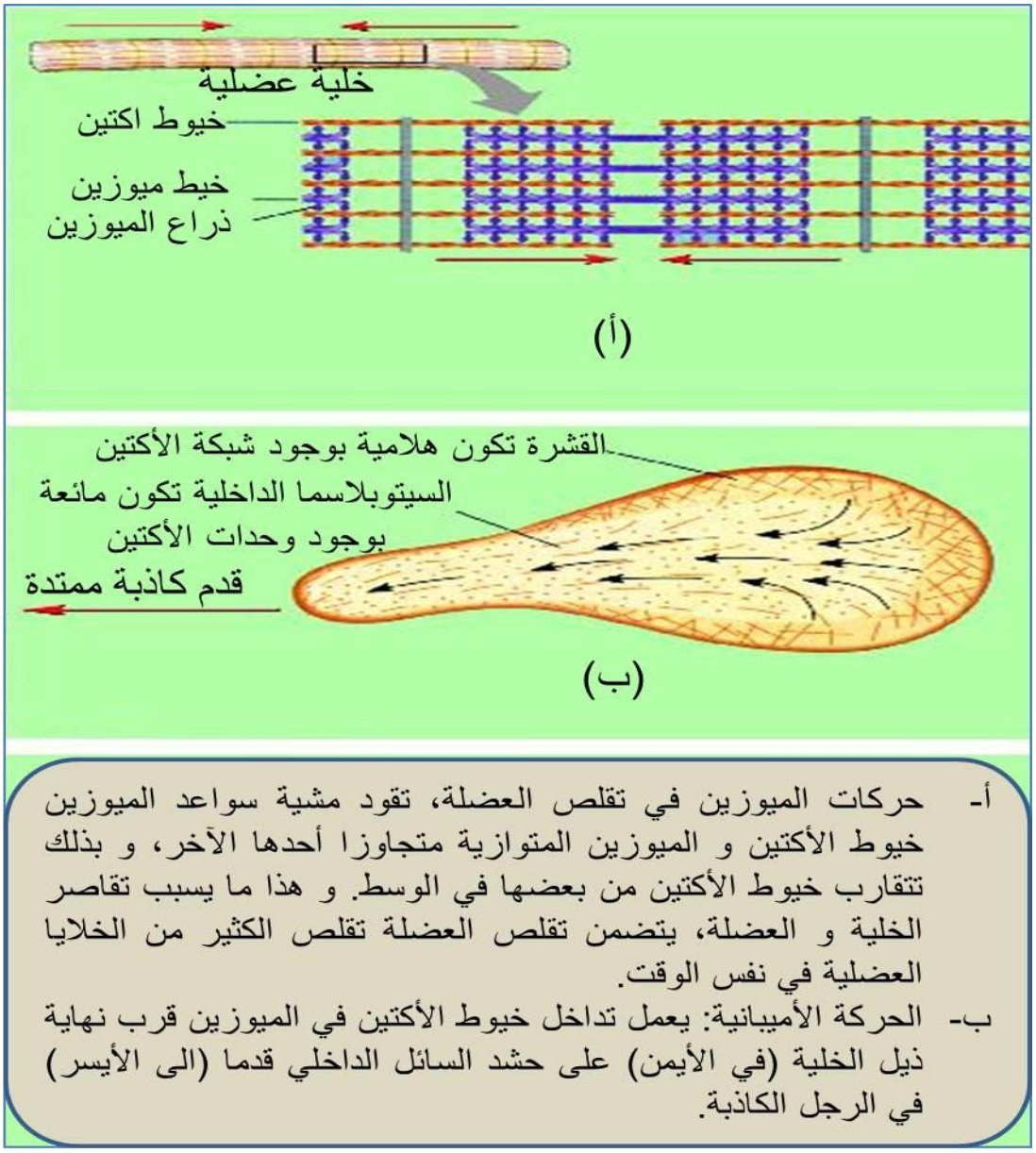
خيوط خطية، لكنها تستطيع تشكيل بنية شبكية، بسبب وجود بروتينات رابطة على طول جانب خيط الأكتين مما يسمح بتمادي خيط جديد بمثابة فرع و يبدو أن الخييطات موجودة في جميع الخلايا حقيقيات النوى. ومن أهو وظائف الخييطات هي:

- على النقيض من دور الأنيبيبات المكروية في الدعم و المقاومة، فان الدور البنيوي للخييطات هو تحمل التوتر (قوى السحب).
- تساعد الخييطات من خلال قدرتها على تشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد الى الداخل تماما من الغشاء السيتوبلاسمي، في دعم شكل الخلية.
- تؤلف حزم الخييطات لب الزغيبات في الخلايا الحيوانية المتخصصة في نقل المواد عبر الغشاء البلاسمي (كما في خلايا الأمعاء) و هذه الزغيبات هي انثناءات رشيقة تزيد من مساحة سطح الخلية (الشكل 38).



الشكل (38): الدور البنيوي للخييطات. يزداد سطح هذه الخلية المعوية الماصة للغذاء اتساعا بفضل كثرة زغيباتها، و تتقوى الاستطالات الخلوية بحزم من الخييطات. تترسخ خيوط الأكتين هذه على شبكة من الخيوط الوسيطة.

- تلعبدورا هاما جدا في حركة الخلية، حيث تعتبر جزءا من الجهاز الذي يساعد على تقلص الخلايا العضلية.فالآلاف من خيوط الأكتين تنتظم متوازية على طول الخلية العضلية، و تتداخل مع خيوط الميوزين (الشكل39-أ). و كذلك يلعب تقلص الكتين و الميوزين دورا في الحركة الميبانية (الشكل 39 - ب)، إذ تزحف خلية ما كالأميبة على طول السطح عن طريق التمدد و الانسياب في استطالات خلوية تدعى الأرجل الكاذبة.



الشكل (39): الخييطات و الخاصية الحركية. لقد أسقطت النوى و كثير من العضيات الأخرى من الأمثلة الثلاثة الظاهرة في الشكل و ذلك لايضاح آلية الحركة.

ج- الخيوط البينية (الوسيطة)

لقد سميت كذلك نسبة لأقطارها التي تتراوح ما بين 8-12 نانومترا. و هي بذلك أثخن من الخييطات و لكنها أقل من الأنيبيبات المكروية. و من أهم وظائف هذه الخيوط هي:

- تحمل التوتر كما هو الحال في الخييطات الدقيقة.

- للخيوط الوسطية أهمية في تدعيم شكل الخلية و تثبيت أوضاع بعض العضيات، فمثلا ، تجلس النواة عادة ضمن قفص من الخيوط الوسيطة و تتثبت في موضعها بواسطة فروع من خيوط متمادية في السيتوبلاسما. وهناك خيوط وسيطة تؤلف الصفيحة النووية.

تشكل الخيوط الوسيطة صفا منوعا من عناصر الهيكل الخلوي، بحيث يتألف كل منها من تحت وحدة جزيئية مختلفة تنتمي إلى طائفة من البروتينات تتضمن عناصرها الكيراتينات. و بذلك تختلف عن الخييطات و الأنيبياتالمكروية التي تتصف بثبات القطر و التركيب في جميع الخلايا حقيقيات النوى.

تعتبر الخيوط الوسطية تركيبات خلوية أكثر ديمومة من الخييطات و الأنيبيبات المكروية التي تتفكك ثم تجتمع مجددا في أجزاء مختلفة من الخلية. و حتى بعد موت الخلايا فان شبكات الخيوط الوسيطة تستمر، فمثلا تشتمل طبقة جلدنا الخارجية على خلايا جلدية ميتة مليئة ببروتين الكيراتين. إن المعالجات الكيميائي المزيلة للخييطات و النيبيبات المكروية من سيتوبلاسما الخلايا الحية تخلف وراءها شبكة من الخيوط الوسيطة التي تحفظ الشكل الأصلي للخلية.

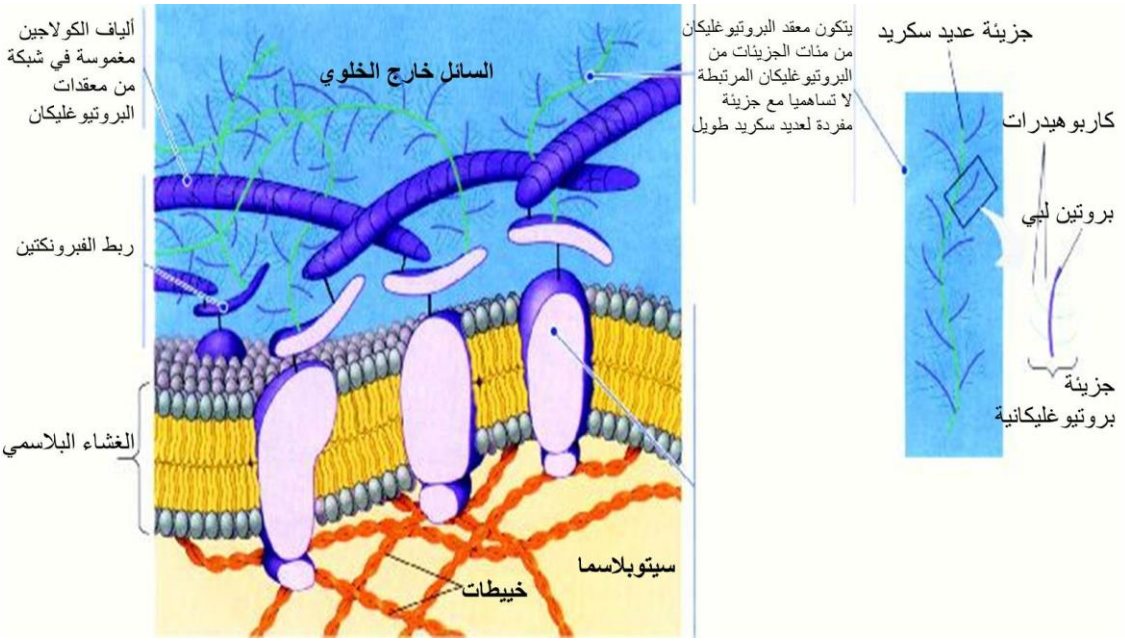
المكونات خارج الخلوية و الاتصالات بين الخلايا في تنسيق الفعاليات الخلوية:

تتربع على سطح الخلية بنى أخرى تتميز بوظائف مهمة جدا، فعلى الرغم من أن الغشاء السيتوبلاسمي يشكل الحد الخارجي للخلية فان معظم الخلايا تصطنع مواد مختلفة و تفرزها خارج نطاق الغشاء البلاسمي لكي تقوم بوظائف خلوية كثيرة.

- اللحمة (أو المطرس) خارج الخلوية للخلايا الحيوانية:

رغم أن الخلايا الحيوانية تفتقر لجدر مشابهة لجدر الخلايا النباتية فإنها ذات لحمة خارج خلوية معقدة (الشكل 40). إذ تشكل البروتينات السكرية التي تفرزها الخلايا المحتوى الرئيسي لهذه

اللحمة. و يعتبر الكولاجين من أكثر البروتينات السكرية وفرة في اللحمة خارج الخلوية للخلايا الحيوانية. و يشكل الكولاجين نصف مجمل البروتينات في جسم الإنسان تقريبا.



الشكل (40): اللحمة (أو المطرس) خارج الخلوية لخلية حيوانية. يختلف التركيب الجزيئي و البنيوي للمطرس خارج الخلوي من نمط خلوي إلى آخر.

الموصلات داخل الخلوية:

ينتظم الكثير من الخلايا الحيوانية في نسج و أعضاء و منظومات أعضاء، فتتلاصق الخلايا المتجاورة و تتواصل و تتأثر عبر رقع خاصة للتماس الفيزيائي المباشر.

تمتلك الحيوانات ثلاثة أنماط من الموصلات و هي:

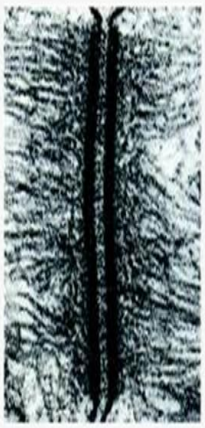
- موصلات محكمة
- جسيمات رابطة
- موصلات فجوية

و تتوضع هذه الأنماط الثلاث عموما في نسج الظهارة المبطنة لسطوح الجسم الداخلية. و يوضح الشكل (41) خلايا ظهارية من بطانة الأمعاء لإظهار هذه الموصلات.

الموصلات المحكمة

تنضغط أغشية الخلايا بشدة بعضها ازاء بعض في أماكن الموصلات المحكمة، و تربطها الى بعضها بروتينات خاصة (اللون الارجواني). و تمنع الموصلات المحكمة عبر تشكيلها أختاما متصلة على محيط الخلية تسرب السائل خارج الخلوي عبر طبقة الخلايا الظهارية.

الجسيمات الرابطة



(تدعى كذلك موصلات الرسو). و تعمل كأسافين تشبك الخلايا بعضها ببعض في صفائح متينة. و ترسو الجسيمات الرابطة في السيتوبلاسما بواسطة الخيوط الوسيطة المكونة من بروتينات الكيراتين الصلب.

الموصلات الفجوية

(تدعى كذلك موصلات الاتصال). فهي تؤمن قنوات بلاسمية بين الخلية و جارتها. تتكون الموصلات الفجوية من بروتينات غشائية خاصة تحيط الثقب الذي قد تعبره الأيونات و السكاكر و الحموض الأمينية و الجزيئات الأخرى الصغيرة. تحتل الموصلات الفجوية أهمية في التواصل بين الخلايا في مختلف النسج، بما فيها عضل القلب و أجنة الحيوانات

الشكل (41): الموصلات بين الخلوية في النسج الحيوانية.

التركيب الكيميائي للخلية
BiochemicalConstructionoftheCell

1- الكيمياء الحيوية للخلية

يدخل في تركيب المادة الحية أكثر من 90 عنصراً كيميائياً، ويشكل الهيدروجين والأوكسجين والكربون والآزوت أكثر من 95% من كتلتها الحية. تكون العناصر الكيميائية إما بسيطة كالماء والأملاح أو على شكل جزيئات ضخمة كالسكاكر واللبيدات والبروتينات والأحماض النووية.

تتكون الخلايا الحية من مجموعة من العناصر الكيميائية، التي تشكل بنسب مختلفة المركبات التي تؤلف المادة الأساسية للحياة ذاتها. و تشكل عناصر الكربون و الهيدروجين و الأكسجين والآزوت و الكبريت والفوسفور، حوالي 99% من مكونات المادة الحية و تعرف بالعناصر الوفرة Major elements.

كما تحتوي الخلايا على عناصر معدنية أخرى بكميات زهيدة تعرف باسم العناصر النادرة مثل الكوبالت و النحاس واليود و التوتياء و المنغنيز. و هي على ندرتها تؤدي دورا هاما جدا، إذ تشكل غالبا تميم الأنزيمات ذات الدور الحيوي و الحاسم، مثل أنزيمات التنفس والاستقلاب، أو أنها جزء من فيتامين معين.

توجد العناصر الكيميائية في الخلية إما بشكل شوارد مثل Cl^- , K^+, Na^+, Fe^{2+} ..... الخ، أو على شكل جذور مثل Po^{-3}_4, So^{-2}_4 و غيرها. كما أن الأملاح التي تشكلها هذه العناصر ضمن الخلية يمكن أن توجد بالحالة الشاردية مثل ملح كلور الصوديوم.

2- المكونات الأساسية للمادة الحية

لقد مكنت طرق التحليل النوعي من معرفة المكونات الأساسية للمادة الحية ، وهي كما يلي:

الجزيئات البسيطة: و هي الماء، الأملاح و الشوارد المعدنية.

الجزيئات الكبيرة:و هي السكريات و المواد الدسمة و البروتينات و الحموض النووية و الفيتامينات، إضافة إلى مركبات أخرى عضوية و غير عضوية.

أولاً: الجزيئات البسيطة:

1. **الماء** Water**H2o**: يكون الماء 50-90% من كتلة الخلايا في النسج الحية. يوجد على شكلين: بشكل حر ويوفر الوسط الملائم لمختلف التفاعلات الحيوية الكيميائية، أو بشكل مرتبط حيث يساهم في تشكيل الروابط الهيدروجينية في الجزيئات الكبيرة. ويملك الماء العديد من الخصائص التي تجعل منه وسطا خلويا مناسبا أهمها:

- انه سائل و محل مناسب تنحل فيه معظم الأملاح و الشوارد المعدنية و جزء من الفيتامينات، و لا تنحل فيه المواد الدسمة التي تدخل في بناء أغشية الخلية.
- حرارته النوعية عالية، كما أن درجة تبخره عالية قياسا بالمحلات الأخرى. هذه الخاصية تمكنه من امتصاص الحرارة المنتشرة عن التفاعلات الحيوية من دون أن ترتفع درجة حرارة الخلية.
- الماء وسط حيوي هام لحدوث عدد كبير من عمليات التركيب و الحلمهة ضمن الخلية.

يوجد الماء في الخلية بحالتين:

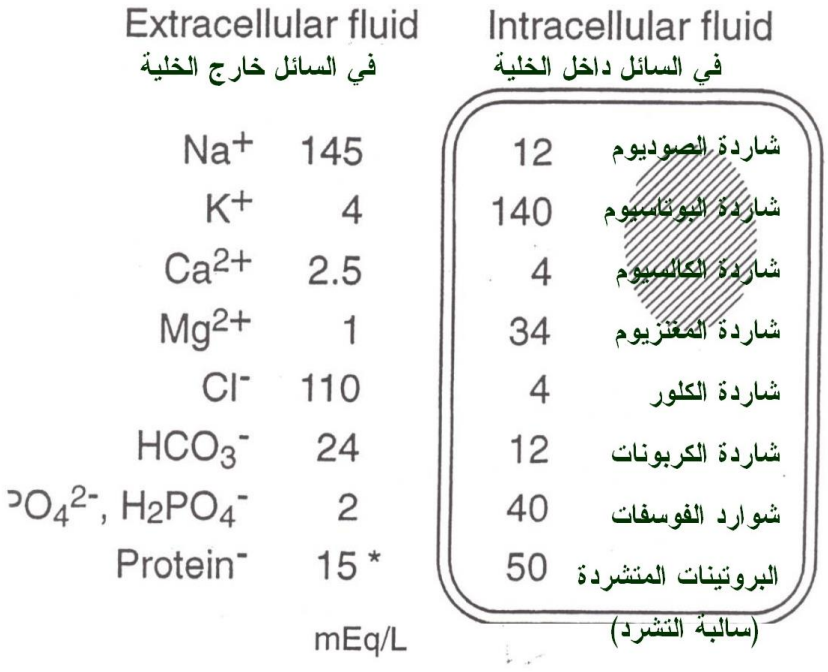
1- الحالة المرتبطة: حيث ترتبط جزيئات الماء بالبروتينات و الحموض النووية بروابط ضعيفة من نمط الرابطة الهيدروجينية، و معروف أن سيتوبلاسما الخلايا تضم عددا من الشوارد و الجذور شديدة

الكهرسلبية، مثل الهيدروكسيل و الكربوكسيل و الكيتو و غيرها . في كل الأحوال فان الماء المرتبط لا يؤلف أكثر من 4.5 % من ماء الخلية.

2- الماء الحر: هو الماء المتوافر دائما من أجل انجاز تفاعلات الاستقلاب الخلوي. و يشكل 95.5% من ماء الخلية.

2. الأملاح والشوارد المعدنية **Salts and Ions**:

تتشرد الأملاح في الماء لتعطي شرجبات (K^+, Na^{++}, Ca^{++}, Mg^{++}) و شرسبات (Cl^-, $No3^-$, $Co3^{--}$, $Po4^{---}$) تتوزع بشكلٍ مختلف بين داخل وخارج الخلية (الشكل 9). تلعب الأملاح دوراً هاماً في الحفاظ على حياة الخلية كونها تساهم في استقرار درجة حموضة الوسط الداخلي في الخلية وذلك بعمليتي الانتشار والحلول لتلك الشوارد وبآليات معقدة جداً.



الشكل رقم 9: درجة تركيز بعض الشوارد داخل وخارج الخلية

و تأتي أهمية الشوارد و الأملاح مما يلي:

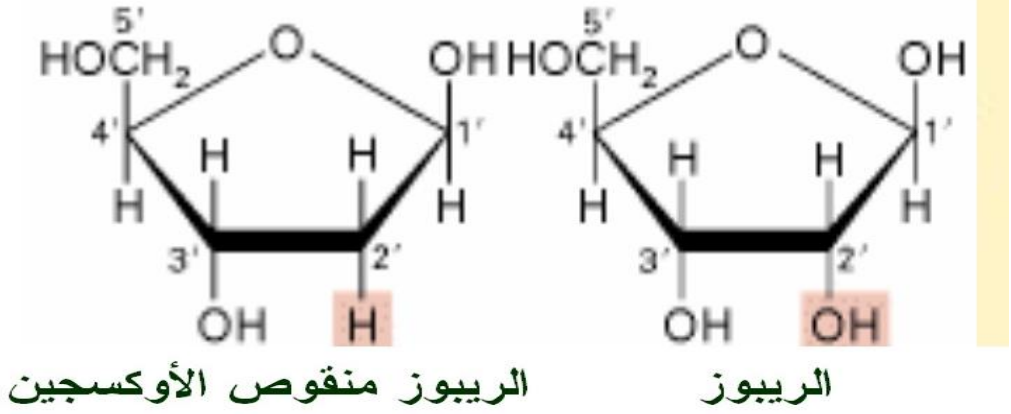
- ضرورتها للحفاظ على الضغط الحلولي الخلوي بشكل متوازن مع الضغط الحلولي للسوائل خارج الخلوية، حيث توجد أيضا الشوارد المعدنية بنسب مختلفة.
- إن للتوازن الشاردي بين داخل الخلية و خارجها أهمية قصوى في الحفاظ على الاستقطاب الخلوي، أو ما يسمى كمون الغشاء، أو كمون الراحة، و هو الشرط الحيوي لاستجابة الخلية للمؤثرات و الإشارات الواردة إليها.
- تشكل الشوارد المعدنية تميما لعدد كبير من أنزيمات حلقة كريبس و التحلل السكري .(Mn2+Mg2+)
- تعد الشوارد المعدنية أساسية لعمل المضخات الشاردية و عدد من آليات النقل عبر الغشاء السيتوبلاسمي (النقل المرافق و النقل المعاكس).
- للشوارد دور هام في حدوث التقلص العضلي و الإفراز الخلوي، والتنفس و إفراز النواقل العصبية، و غير ذلك.

ثانيا: الجزيئات الكبيرة:

أ- **السكريات:** تدخل في تركيب المكونات الخلوية وهي مكونات وظيفية و دعامية ووقائية وتخزينية، كما وينتج عن أكسدتها طاقة تستخدم لإجراء التفاعلات الحيوية الكيميائية الأخرى في الخلية

تتألف السكريات من عناصر الكربون و الأكسجين و الهيدروجين بنسبة $C_1 : H_2 : O_1$ فالصيغة العامة هي ($C_nH_{2n}O_n$). و تشكل السكريات مصدرا هاما للطاقة إضافة إلى أنها تشكل جزءا من المكونات البنيوية الخلوية. و من أنواعها:

1- السكريات الأحادية Monosaccaride: تكون على شكل وحدات مفردة أهمها السكاكر الخماسية (الريبوز C5H10O5 والريبوز منقوص الأوكسجين C5H10O4 (الشكل 10) والسداسية (الغلوكوز والفركتوز C6H12O6). وهي جميعها سكريات بسيطة مؤلفة من جزيء واحد



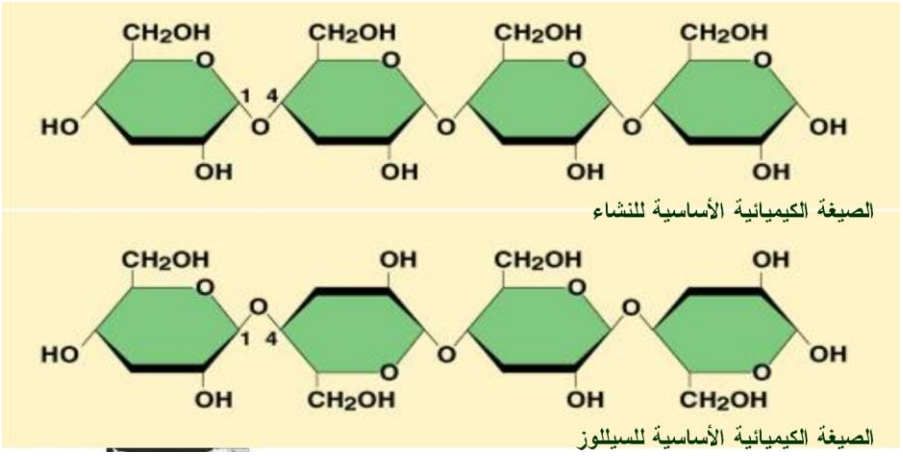
الشكل (10): سكريات خماسية

وبحسب عدد ذرات الكربون في السكر الأحادي، نميز بين سكريات سداسية (الغلوكوز، الفركتوز والغالاكتوز) ، أو سكريات خماسية (الريبوز والريبوز منقوص الاكسجين). كما تعد السكريات الثلاثية بسيطة، وهي تنتج أصلا من شطر جزيء السكر السداسي، ومن أمثلتها الغليسرألدهيد، وثنائي هيدروكسي الأسيتون. و تعد السكريات البسيطة من أكثر مصادر الطاقة و أيسرها استعمالا من قبل الخلايا الحية.

1- السكريات الثنائية Disaccarides: و تتألف من ارتباط جزيئتين من سكر أحادي مثل السكروز (غلوكوز + فركتوز) واللاكتوز، أو سكر الحليب الّذي يتألف من جزيء غالاكتوز + جزيء غلوكوز.

2- السكريات المتعددة Polysaccarides: هي سلاسل طويلة تنتج من تبلمر أكثر من 10 وحدات من السكاكر الأحادية، ونميز منها نوعين رئيسين: بنائية كالسيللوز والكيتين، وادخارية كالغلوكوجين والنشاء . قد تتحد السكاكر المتعددة مع البروتينات واللبيدات مشكلة البروتينات السكرية والليبيدات السكرية التي تدخل في بناء المعطف الخلوي. كما أن عديدات السكر لا تنحل بالماء أو الحموض الممددة ولا تتبلور ويختفي عنها المذاق الحلو.

تتألف هذه السكريات من ارتباط عدد من جزيئات السكريات الأحادية، و لها نمطان:**الأول** : هو سكريات متعددة متجانسة إذ تتألف من تتالي ذات الجزيئة السكرية، مثل السيللوز المكون من تتالي جزيئات غلوكوز ترتبط مع بعضها بروابط (1،4)، و النشاء المكون أيضا من جزيئات غلوكوز لكنها ترتبط بنوعين من الروابط (1،4) و (1، 6)، (الشكل 11).



الشكل (11): الصيغة الكيميائية للسيللوز

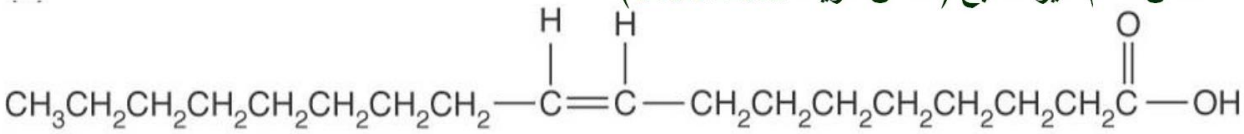
و**الثاني** : هو سكريات متعددة غير متجانسة اذا احتوت على أكثر من نوع من السكريات البسيطة، مثل كبريتات الكوندرئتين التي تتألف من تضاعف الحمض الغلوكوروني و N-أسيتيل أمين سلفات، كذلك الحمض الهيالوروني المؤلف من تضاعف N-أسيتيل غلوكوز أمين و الحمض الغلوكوروني.

ب- المواد الدسمة LipidsM

وهي مواد عضوية غير شاردية لا تنحل بالماء وإنما بالمذيبات العضوية كالكحول والأسيتون وغيرها. تعد المواد الدسمة من مصادر الطاقة الهامة في الخلية، إضافة لكونها تدخل في تركيب مختلف العضيات و الأغشية الخلوية. تنحل هذه المواد في المذيبات العضوية، مثل الايتر و الكلوروفورم و الكحول ولا تنحل في الماء. وهي تضم مجموعة متباينة من المركبات ، منها الشحوم و الحموض الدسمة و الكولسترول و الشحوم أو الدسم الفوسفورية و الشحوم أو الدسم السكرية، اضافة الى الفيتامينات المنحلة في الدسم مثل K, D, E, A. يضاف لذلك الهرمونات الستيروئيدية التي تصنع في الخلايا بدءا من الكولسترول.

حمض دسم مشبع (حمض النخيل Palmitic Acid)

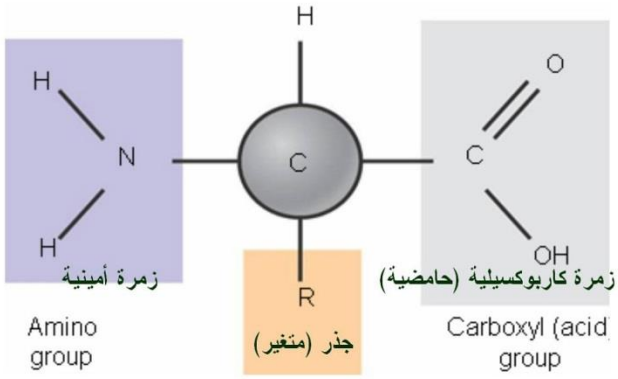
حمض دسم غير مشبع (حمض الزيت Oleic Acid)



البنية الخطية للأحماض الدسمة

ت- البروتينات Proteins:

هي مواد عضوية تتكون من بلمرة الحموض الأمنية، والتي يوجد منها 20 نوع تختلف بخواصها الكيمائية وتتشابه في البنية. يضم كل حمض أميني زمرة أمينية (NH_2) وزمرة كربوكسيلية (COOH) وجذر متغير R والذي يميز الأحماض الأمينية عن بعضها البعض .

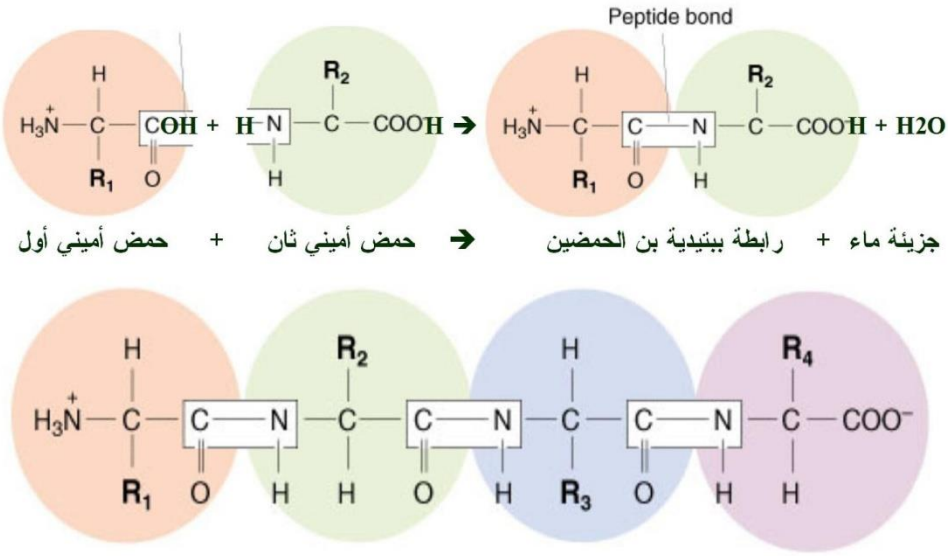


البنية العامة للأحماض الأمينية

على الرغم من أن البروتينات لا تشكل أكثر من 13-18% من جزيئات الخلية، إلا أنها تعد المسؤولة عن نوعية الخلية و دورها المميز. إذ تدخل البروتينات في بنية مختلف أجزاء و عضيات

الخلية، و تشرف على النشاط الاستقلابي و جزء هام من الفعالية الفيزيولوجية، و تشكل البنية الأساسية للمادة بين الخلوية التي تربط الخلايا بعضها ببعض. كما أن الخلايا تتحادث فيما بينها عن طريق مجموعة من المواد البروتينية (الهرمونات و الببتيدات العصبية).

تتألف البروتينات كيميائيا من اجتماع عدد معين من الحموض الأمينية التي ترتبط فيما بينها بروابط ببتيدية . و تضم الحموض الأمينية في تركيبها زمرة أمين NH2 واحدة أو أكثر و زمرة كربوكسيل COOH واحدة أو أكثر. تشكل الرابطة الببتيدية بين الزمرة الأمينية لحمض ما و الكربوكسيلية لحمض آخر (الشكل 12).



(الشكل 12): تشكل الرابطة الببتيدية بين الحموض الأمينية

تؤلف الروابط الببتيدية العمود الفقري لجزيء البروتين ، أما السلاسل الجانبية فتتألف من الجذور التي تختلف باختلاف الحموض الأمينية. يختلف عدد الحموض الأمينية من بروتين إلى آخر و يتراوح عادة من ثلاثة حتى مئات عدة. من جهة أخرى، تكون بعض أنواع البروتينات غنية بالحموض

الأساسية (ليزين، أرجنين)، مثل الهيستونات التي تدخل في بنية الصبغيات، بينما بروتينات أخرى تكون غنية بالحموض الأمينية الحمضية (غلوتامات، أسبارتات)، مثل الميوزين الذي يكثر في الخلايا العضلية و هو البروتين الذي يلعب دور هام جدا في تقلص العضلات.

تصنف الحموض الأمينية بحسب قطبيتها إلى:

1- حموض أمينية غير قطبية كارهة للماء (الانين، لوسين، فالين، برولين، تربتوفان، فينيل ألانين،، متيونين) وهي ضعيفة الانحلال في الماء مقارنة مع الحموض القطبية.

2- حموض أمينية قطبية (سيرين، تريونين، تيروزين، سيستئين، اسباراجين) أكثر انحلالا في الماء.

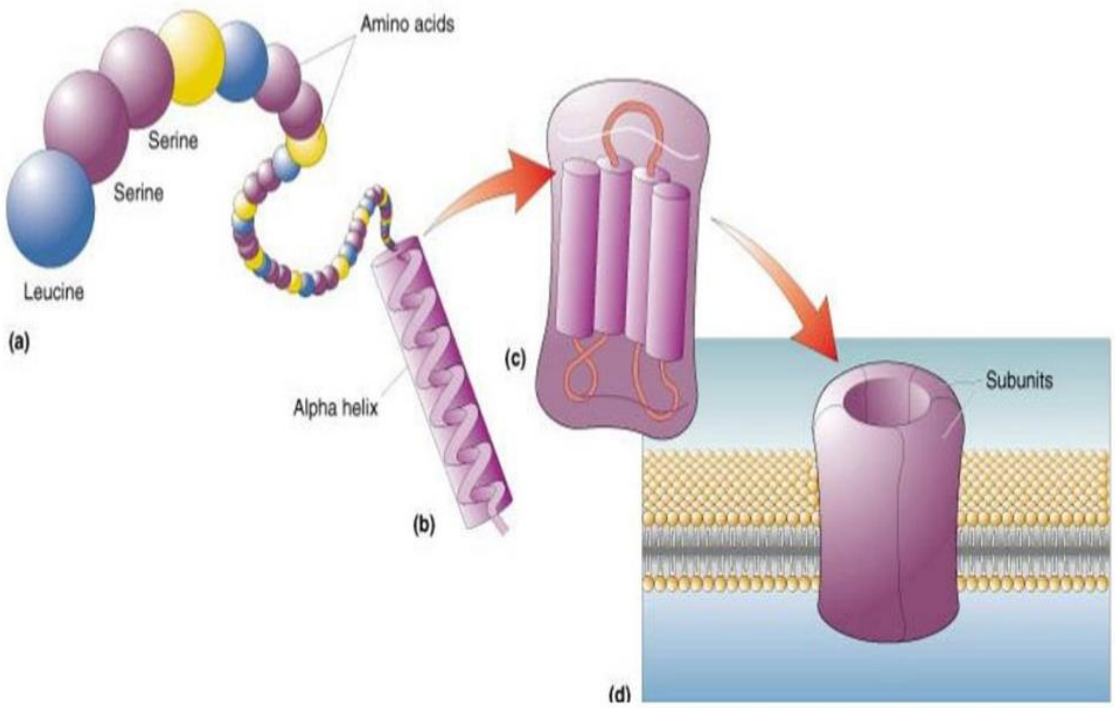
3- حموض أمينية مشحونة سلبا أو إيجابا (الغلوتامات، أسبارتات، أرجنين، ليزين) و هي جيدة الانحلال في الماء.

- **الشكل الفراغي لجزيئة البروتين:**

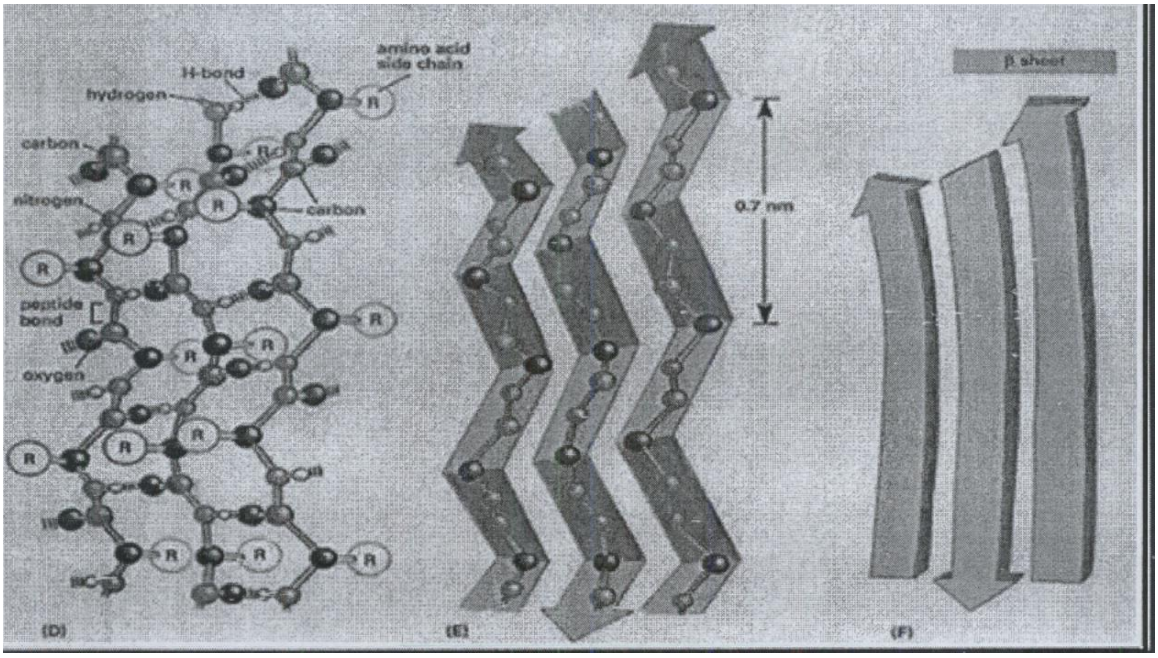
يأخذ البروتين في الطبيعة شكلا فراغيا معينا تحدده ثلاثة أنواع من البنى:

1. **البنية الأولية:** بنية خطية تتضمن تسلسل الحموض الأمينية (سلسلة ببتيدية) وارتباطها بالروابط الببتيدية (الشكل 13).

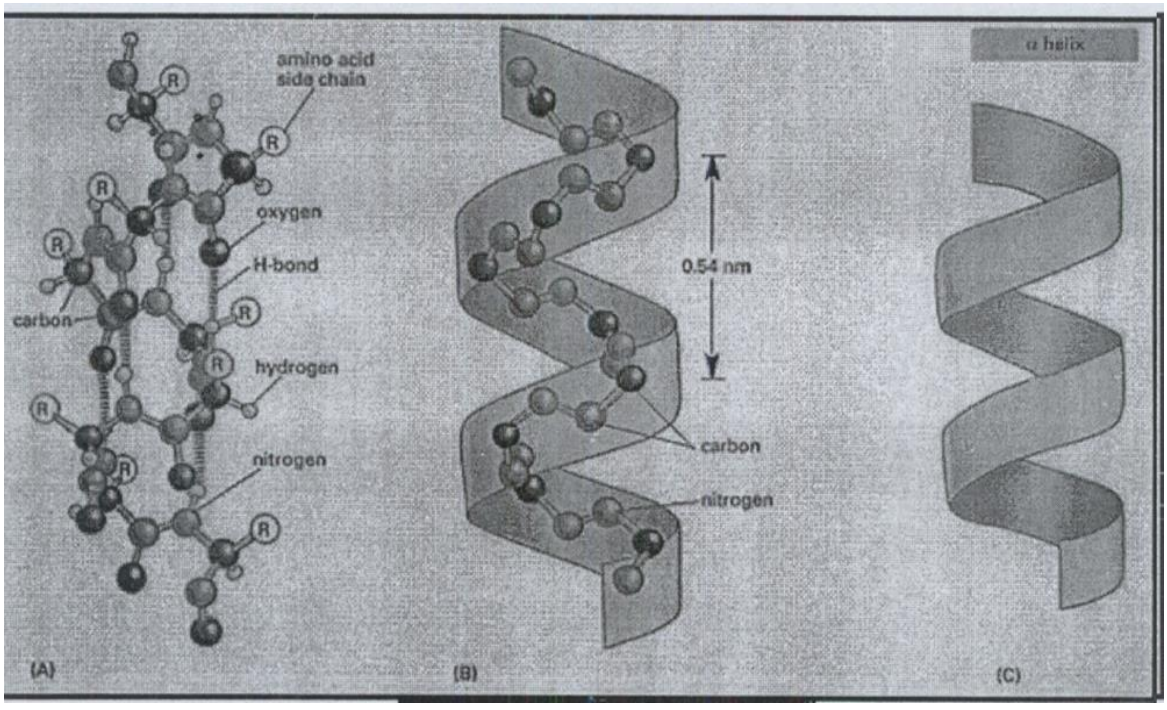
2. **البنية الثانوية:** تنتج من التفاف عدة سلاسل ببتيدية على بعضها البعض وارتباطها بروابط هيدروجينية، ويتواجد إما على شكل حلزون ألفا α بحيث يرتبط الحمض الأميني الأول مع الرابع ضمن نفس السلسلة (الكيراتين الموجود في الشعر والأظافر) (الشكل 14)، أو صفيحة بيتا β تتكدس السلاسل الببتيدية فوق بعضها البعض وترتبط فيه الحموض الأمنية المتقابلة لكل سلسلتين (الشكل 15).



الشكل رقم 13: البنية الخطية (a)، وحلزون ألفا (b)، وارتباط السلاسل البروتينية لتشكيل الوحدات البروتينية (c)، ودخول هذه الوحدات في بناء العضيات الخلوية كالغشاء الخلوي (d).

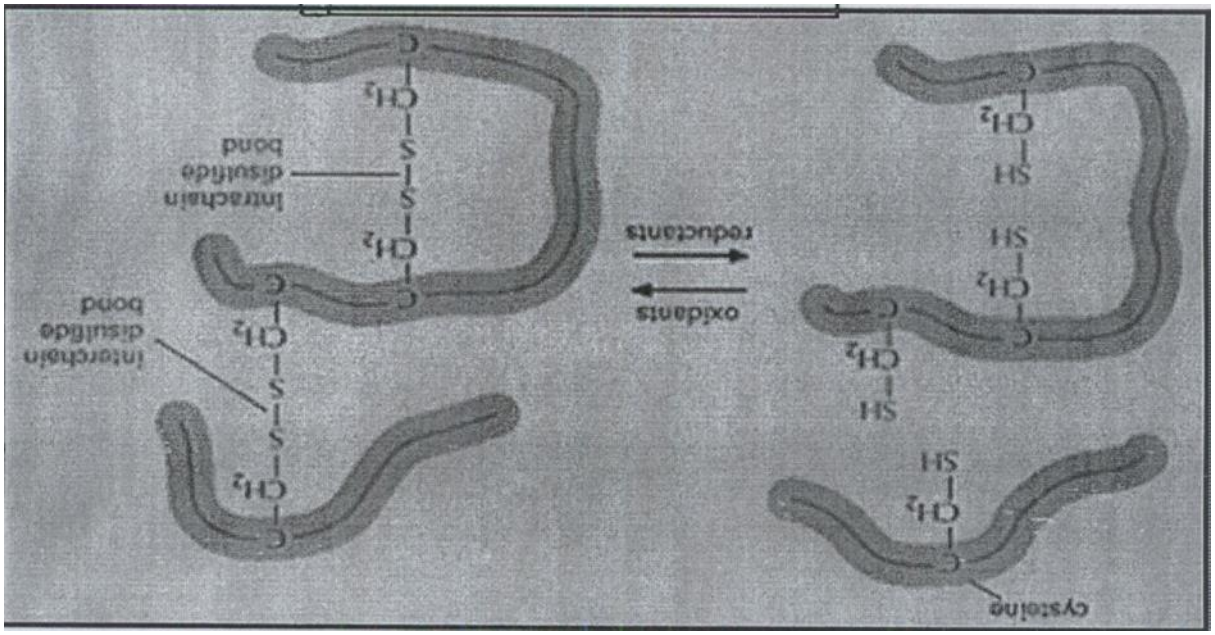


الشكل رقم 14: البنية الثانوية – حلزون ألفا



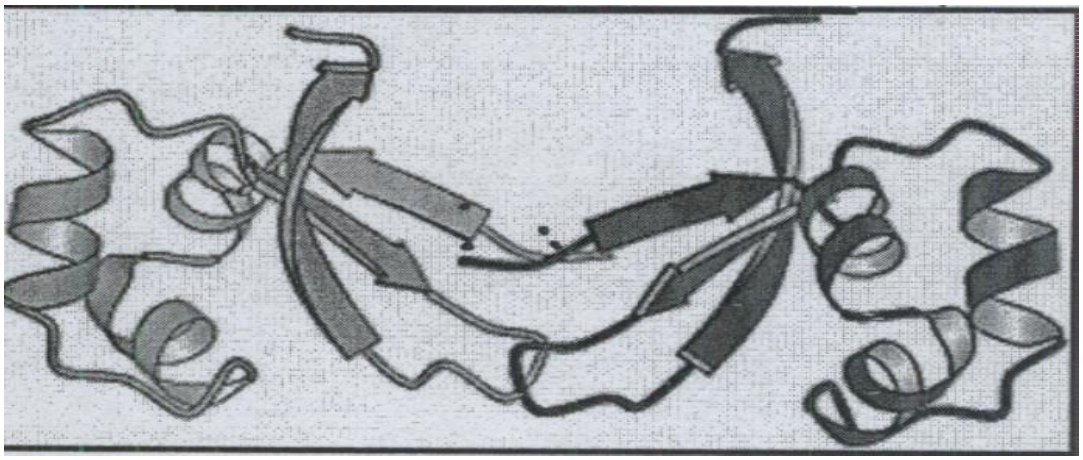
الشكل رقم 15: البنية الثانوية – صفائح بيتا

3. **البنية الثالثية:** تتضمن البنية ثلاثية الأبعاد للبنية الثانوية الناتجة عن ارتباط ثمالات الحموض الأمينية البعيدة عن بعضها بعضاً على طول السلسلة الببتيدية والتي يسيطر عليها غالباً الجسور الكبريتية بين جذور الحموض الأمنية (الشكل 16).



الشكل رقم 16: البنية الثالثية

4. **البنية الرابعية:** تتضمن البنية الفراغية للبنية الثانوية التي تحوي أكثر من سلسلة ببتيدية سواء كانت متشابهة أو غير متشابهة، والناتجة عن ارتباط جذور الحموض الأمنية بروابط هيدروجينية وروابط ثنائية الكبريت وروابط تشاردية وقوى فاندرفال (الشكل 17).



الشكل رقم 17: البنية الرابعية

نتيجة البنى السابقة فإننا نحصل على **الأشكال التالية للبروتينات:**

- الشكل المدور مثل الأضداد وخضاب الدم والأنسولين وبعض الأنزيمات.
- شكل الألياف الحلزونية الطويلة مثل الأكتين والميوزين.
- الشكل الليفي المتطاول مثل الكيراتين الذي يتواجد داخل الخلية والكولاجين الذي يتواجد في المسافات بين الخلايا.

تقسم البروتينات حسب التركيب إلى: بروتينات بسيطة: الألبومين والكلوبينوالهستونات والقرنيات، وبروتينات مقترنة: البروتينات الدهنية والنووية والملونة والسكرية والفوسفاتية.
أما من حيث الوظيفة الحيوية فيمكن تمييز الأنزيمات والهرمونات والأجسام المضادة وبروتينات التقلص والبروتينات التركيبية وبروتينات الحماية.
من أهم وظائف البروتينات أنها تلعب دور وسائط أنزيمية ونواقل لجزيئات أخرى وحوامل للذاكرة، كما تقدم دعم ميكانيكي وحماية مناعية للجسم، تولد الحركة وتساعد في انتقال السيالة العصبية، تسيطر على النمو والتمايز (الهرمونات).

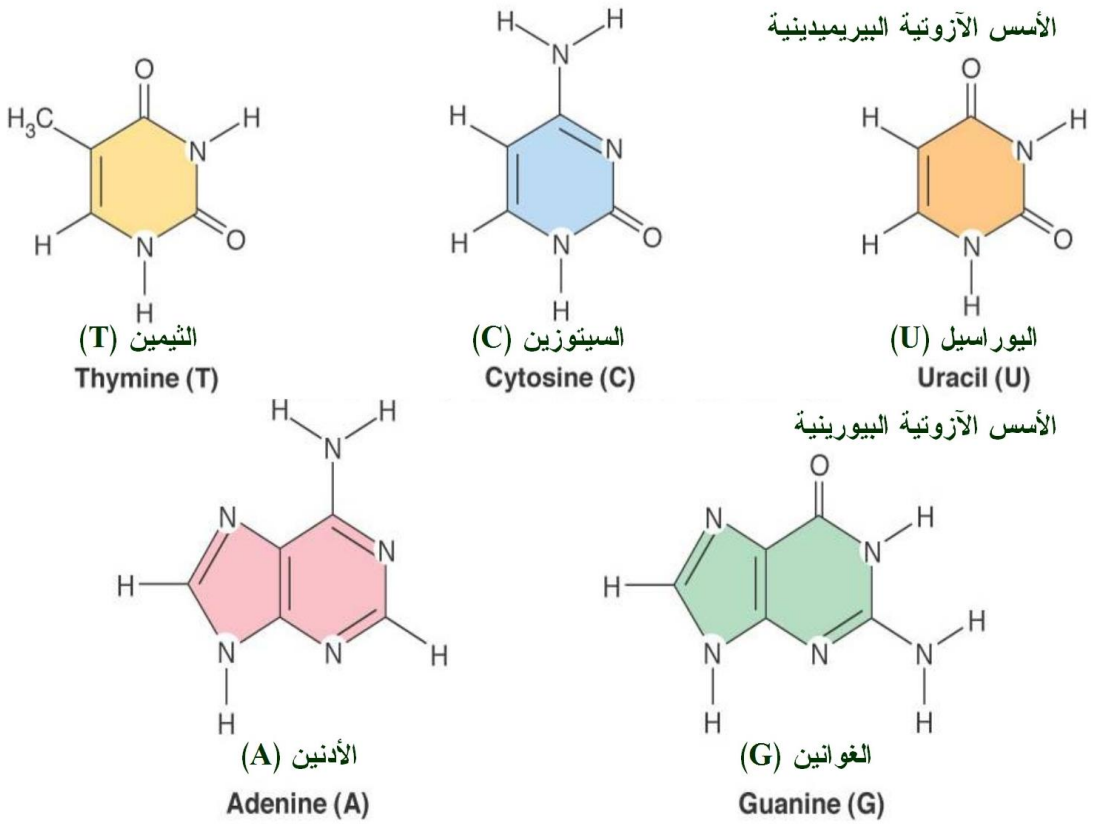
ولكن كيف تعمل البروتينات؟ ترتبط البروتينات بجزيئات أو بروتينات أخرى وذلك عبر بنية السلسلة الببتيدية المميزة لكل بروتين، حيث يعطي التسلسل الخاص من الحموض الأمينية لكل بروتين انتقائية معينة لنوع معين من الجزيئات، بحيث يوافق شكله الفراغي الشكل الفراغي للجزيئة أو البروتين الذي سيرتبط معه.

فالأضداد ترتبط إلى الفيروسات والجراثيم بهدف تعليمها بهدف تدميرها، وكذلك إنزيم الهيكسوكيناز يربط الغلوكوز والـ ATP. قد يفقد البروتين وظيفته عند تغير بنيته الفراغية على سبيل المثال إنزيم Ribonuclease الذي يعمل على حلمهة الرانا RNA، يفقد هذا الإنزيم وظيفته عندما تضاف إليه اليوريا التي تكسر الجسور الكبريتية والروابط الهيدروجينية.

ث- الحموض النووية **Nucleicacids**:

سميت بالنووية لأنها اكتشفت لأول مرة في النواة، وهي نوعان الدنا (الحمض النووي منقوص الأوكسجين DNA) الذي يحمل المعلومات الوراثية والرنا (الحمض النووي الريبي RNA) الذي يقوم بعملية تخليق البروتينات. تتألف الحموض النووية من وحدات يطلق عليها النكليوتيدات، التي تتألف من سكر خماسي وأساس آزوتي و حمض الفوسفور. السكر الخماسي هو الريبوز في الرانا والريبوز منقوص الأوكسجين في الدنا.

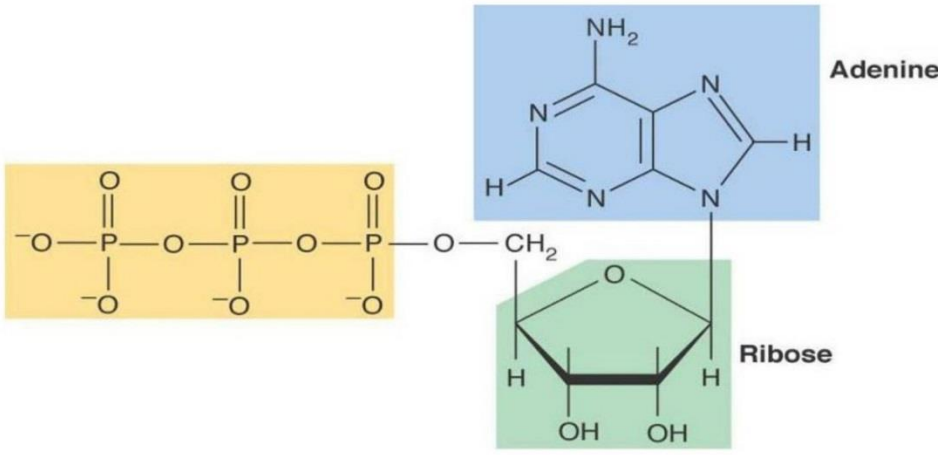
تكون الأسس الآزوتية أما بيريميدينية تتكون من حلقة سداسية وأنواعها هي السيتوزين (C) وتكافؤه الهيدروجيني ثلاثي والتيمين (T) الذي يتواجد في الدنا فقط و اليوراسيل (U) الذي يتواجد في ال RNA فقط وتكافؤهما الهيدروجيني ثنائي، أو بيورينية تتكون من حلقتين مرتبطتين سداسية وخماسية وأنواعها هي الغوانين (G) وتكافؤه الهيدروجيني ثلاثي والأدنين (A) وتكافؤه الهيدروجيني ثنائي (الشكل 18).



الشكل رقم 18: الصيغة الكيميائية للأسس الآزوتية الخمس

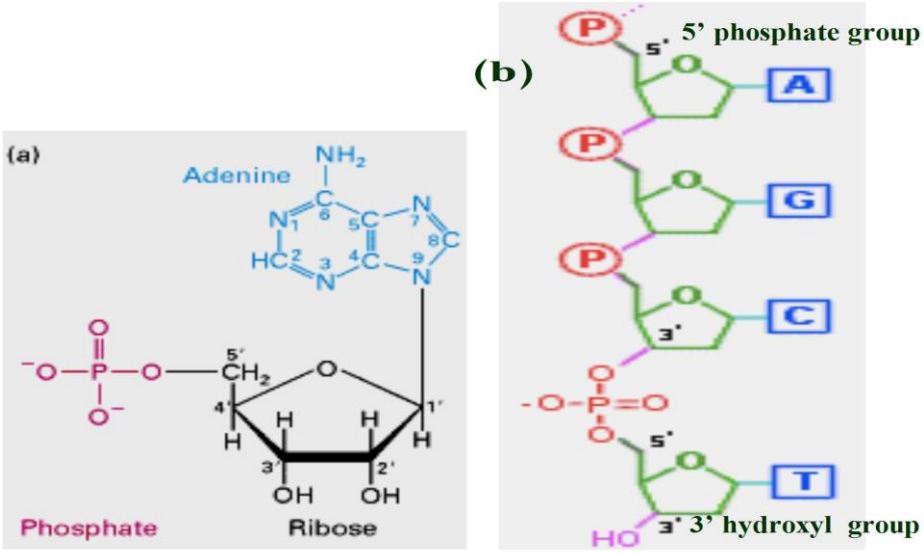
يرتبط السكر بالأساس عبر رابطة غلوكوزيدية تنشأ بين ذرة الكربون في الموقع رقم 1 من السكر وذرة الآزوت في الموقع رقم 9 في حال الأسس البيورينية أو الآزوت في الموقع رقم 1 في حال الأسس البيريميدينية.

ترتبط الزمرة الفوسفاتية على الموقع رقم 5َ لسكر الريبوز أو الريبوز منقوص الأوكسجين على السواء، ويمكن لهذه الزمرة أن تكون أحادية أو ثنائية أو ثلاثية (الشكل19، 20).



الشكل رقم 19: بنية جزيئة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)

تبدأ سلسلة عديد النيكليوتيد بالزمرة الفوسفاتية وتنتهي بالسكر وينتأ عن كل نيكليوتيد أساس عضوي، أي أن للسلسلة قطبية من الموقعَ 5 إلى الموقع َ3 ، بحيث يرتبط السكر في النيكليوتيد الأول مع الزمرة الفوسفاتية للنكليوتيد التالي على الموقع رقم َ3 .



الشكل رقم 20: بنية النكليوتيدالأدينوزين أحادي الفوسفات (a)، وارتباط 4 نيكليوتيدات لتشكيل سلسلة الدنا (b)

ونطلق تعبير نيكليوزيد على الوحدة التي تتشكل من اتحاد السكر بالأساس الآزوتي دون الزمرة الفوسفاتية.

يتألف ال DNA من اجتماع النكليوتيدات الحاوية على الأسس الآزوتية C, T, A, G بينما يحتوي ال RNA على الأسس C, U , A, G . أي أن ال RNA لايحتوي على التيمين و يحل اليوراسيل مكانه.

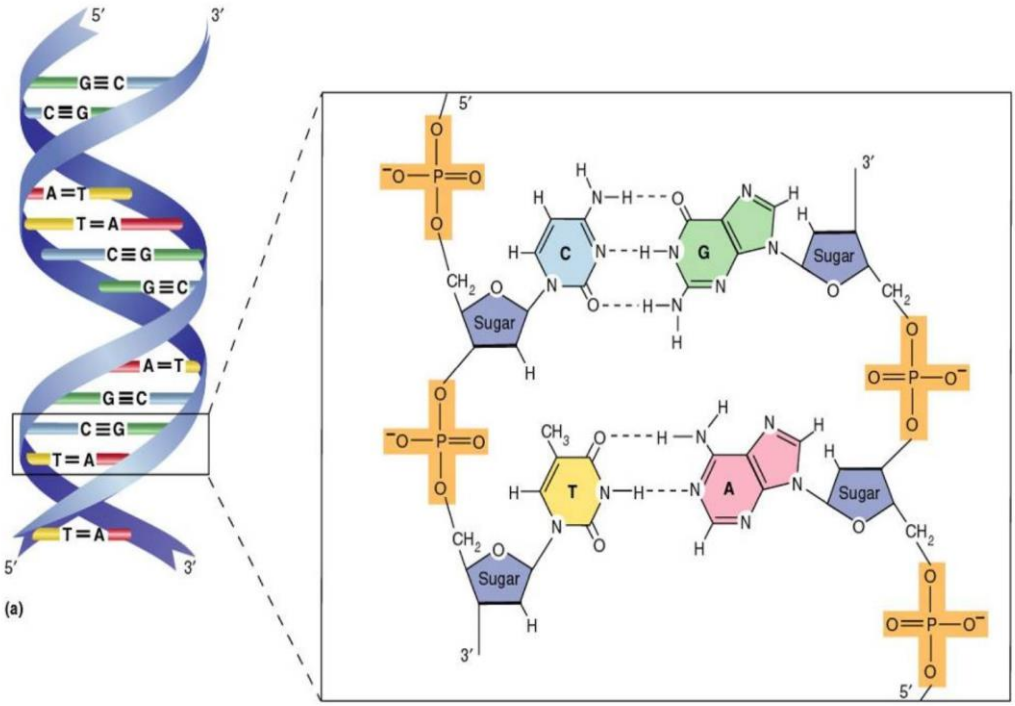
إن الفروق الأساسية بين DNA و RNA تكمن في السكر الخماسي و في أساس البيريميدين و حجم الجزيء. ، حيث يحوي الدنا سكر الريبوز منقوص الأكسجين بينما يحتوي ال RNA سكر

الريبوز، كما أن ال DNA يضم أساس التيمين بينما الرنا يضم أساس اليوراسيل. يضاف إلى ذلك أن جزيء الدنا يتألف من سلسلتين على شكل حلزون مضاعف بينما ال RNA فيكون مفرد السلسلة في معظم الحالات.

ترتبط النكليوتيدات فيما بينها ضمن السلسلة الواحدة في جزيء ال DNA بروابط كيميائية، و يتم ذلك بين سكر النكليوتيد الأول و فوسفات النكليوتيد الثاني.

إن كل سلسلة من سلسلتي ال DNA ذات قطبية محددة ، بحيث إن إحدى نهايتيها تكتب بالشكل 5'-OH بينما النهاية الأخرى بالشكل 3'-OH حرة غير مرتبطة بنكليوتيد آخر.

في جزيء ال DNA يتطابق A مع T وC مع G. كما أن عدد جزيئات ال A مساوية لعدد جزيئات T و عدد جزيئات السيتوزين C مساوية لعدد جزيئات الغوانين G ، و قد عرف هذا النموذج بنموذج واتسن وكريك (الشكل 21).



(الشكل 21): بنية جزيء من السلسلة الحلزونية DNA

ترتبط الأسس الآزوتية مع بعضها بروابط هيدروجينية، حيث نجد ثلاث روابط بين الغوانين و السيتوزين و رابطتين بين التيمين و الأدنين.

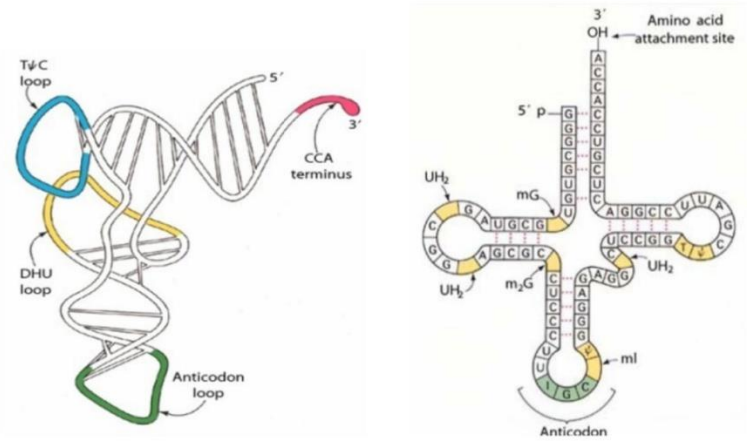
يوجد ثلاثة أنواع منRNA في الخلايا الحية:

1- الحمض النووي الريبي المرسال أو الرسول mRNA الذي ينسخ في النواة بدءا من الدنا DNA بواسطة أنزيم RNA-Polymerase II، و هو يحمل الشيفرة الوراثية التي تترجم إلى بروتين في سيتوبلاسما الخلية.

2- الحمض النووي الريبي الريبوزومي rRNA و يوجد منع أنواع عدة أو نماذج مثل: 18S, 28S, 5S, 5.8S و في جراثيم E.coli نجد 16S, 23S. تنخ أنواع rRNA بدءا من ال DNA في

النوية أو ما يعرف بالمنظمات النووية. تشكل أنواع هذا الحمض النووي الريبي و البروتينات المكونات الأساسية للجسيمات الريبية.

3- الحمض النووي الريبي الناقل tRNA الذي يؤدي دورا هاما في اصطناع البروتينات، إذ يقوم بمهمة نقل الحموض الأمينية المنشطة من السيتوبلاسما و ربطها بالمعقد جسيمات ريبية-mRNA تمهيدا لبدء ترجمة شريط ال mRNA إلى بروتين. يأخذ جزيء ال tRNA شكل ورقة البرسيم و تتقابل الأسس الآزوتية في كثير من مناطقه كما لو أنه مؤلف من سلاسل مضاعفة الشكل (21).



الشكل (21) : بنية جزيء الرنا الناقل tRNA

تحتوي خلايا الكائنات الحية على عشرين نوعا من جزيئات tRNA، بحيث أن كل نوع من الحموض الأمينية ينقل بواسطة نوع معين من tRNA على الأقل. يحتوي شريط ال mRNA على الرامز، و هي عبارة عن ثلاثيات من النكليوتيدات، كل منها مشفرة لحمض أميني معين، بينما يحتوي tRNA على العروة مضاد الرامز التي تتعرف على الرامز في شريط mRNA. و يتم ارتباط مضاد الرامز بالرامز عن طريق تقابل الأسس الآزوتية في كل منهما. أي على غرار نموذج واتسون-كريك.

مملكة الحيوانات الأوالي

Kingdom Protista

1- الحيوانات الأوالي تشكيلة بالغة التنوع من حقيقيات النوى:

تشكل الخلية في الحيوانات الأوالي كائناً قادراً على القيام بكل الوظائف الحيوية من تغذية وتنفس وإطراح وتكاثر وحركة، هذه المهام التي تقوم بها مجموعة الخلايا في الحيوانات التوالي، حيث تمايزت كلٍ منها لأداء وظيفة محددة.

تعتبر الحيوانات الأوالي من أبسط الكائنات الحية في قطاع حقيقيات النوى، وتتميز بأبعادها المجهرية التي لا ترى بالعين المجردة، يعيش معظمها حرا في الطبيعة ضمن المياه العذبة أو المالحة أو في التربة الرطبة ، ويعيش قليل منها متطفلاً على كائنات حية أخرى. بعضها لاطئ عديم الحركة، وبعضها الآخر يتحرك بواسطة الأرجل الكاذبة "Pseudopodia" أو السياط "Flagella" أو الأهداب "Cilia".

تتغذى معظم الحيوانات الأوالي على بقايا حيوانية ونباتية وعلى بعض الكائنات الحية الدقيقة ،فهي كائنات غيرية التغذية "Heterotrophic "، ويكون بعضها الآخر ذاتي التغذية "Autotrophic " كما هو الحال لدى بعض أنواع السوطيات "Mastigophora " حيث تحتوي سيتوبلاسماها على اليخضور "Chlorophyll" وبوجوده تستطيع هذه الكائنات تركيب المواد العضوية بعمليات التركيب الضوئي.

ويتم التنفس لدى الحيوانات الأوالي بعملية الانتشار "Diffusion" وذلك بأخذ الأوكسجن من الوسط المحيط وطرح غاز ثاني أكسيد الكربون عبر كامل سطح الخلية. أما عن تكاثرها فيكون في الغالب لاجنسياً بالانشطار "Fission" أو البرعمة "Budding" أو التبوغ "Sporulation" أو بالترافق مع حادثة التكيس "Encyst"، كما يمكنها أن تتكاثر تكاثراً جنسياً باجتماع الأعراس "Gametes" .

2- <u>تضم الحيوانات الأوالي أكثر من خمسين ألف نوع تصنف في سبعة شعب:</u>

1) شعبة السوطيات اللحمية Phylum Sarcomastigophora
   i. تحت شعبة السوطيات Sub-Phylum Mastigophora
   ii. تحت شعبة اللحميات Sub-Phylum Sarcodina

2) شعبة ذوات المعقد القطبي Phylum Apicomplexa
   i. تحت شعبة البذيريات Sub-Phylum Sporozoa
3) شعبة ذوات الأهداب Phylum Ciliophora
   i. تحت شعبة الهدبيات Sub-Phylum Ciliata
4) شعبة المستحاثيات Phylum Labrynthomorpha
5) شعبة البذيريات الدقيقة Phylum Microspora
6) شعبة المخاطيات Phylum Myxozoa
7) شعبة Phylum Ascetospora

أولاً- تحت شعبة السوطيات Sub-Phylum Mastigophora

تشمل على وحيدات خلية تتحرك بوساطة السياط "flagella" في مرحلة البلوغ. وتضم صفين اثنين:

1- **صف السوطيات النباتية Class Phytomastigina:** وتتميز أنواعها باحتواء الخلية على صانعات خضراء "Chloroplasts" ولذلك فهي ذاتية التغذية.

2- **صف السوطيات الحيوانية Class Zoomastigina:** وتتميز أنواعها بأنها لا تحتوي على صانعات خضراء , فهي غيرية التغذية ويعيش معظمها حياة طفيلية.

وسنكتفي هنا بدراسة اليوغلينا الخضراء Euglina viridis كمثال عن السوطيات النباتية, والمثقبيات Traypanosoma كنموذج عن السوطيات الحيوانية.

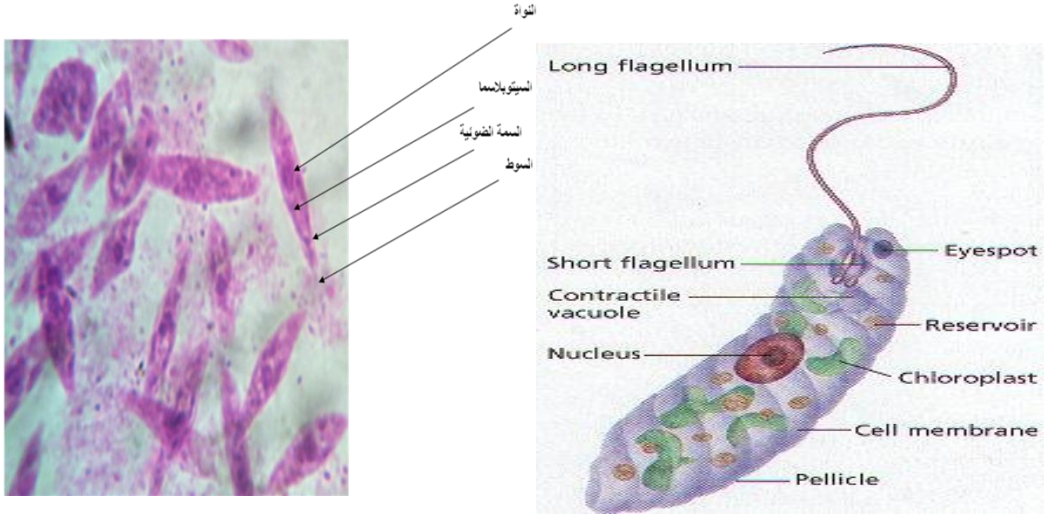
❖ **اليوغلينا الخضراء *Euglina viridis***

تعيش اليوغلينا الخضراء في المياه العذبة والمستنقعات, وهي تتغذى تغذية نباتية وذلك من خلال صنعها للمركبات العضوية انطلاقاً من عمليات التركيب الضوئي التي تقوم بها الصانعات الخضراء عند توفر الضوء, فهي كائنات ذاتية التغذية, إلا أنها تلجأ أحيانا إلى التغذية الرمية بالتقاطها البقايا الحيوانية والنباتية المتوفرة في الوسط المائي.

وتتحرك اليوغلينا في الوسط الذي تعيش فيه بفضل ضربات السوط أو ما يسمى بالحركة اليوغلينية التي تتمثل بتغيير شكلها وأبعادها من خلال تقلص الجسم وانبساطه. أما التكاثر فيتم بالانشطار الثنائي الطولي

وذلك في الظروف الملائمة, أما في الظروف غير المناسبة فإن اليوغلينا تتكيس. و أثناء التكيس قد يحدث انقسام طولي للفرد المتكيس داخل الكيس ولمرات عديدة, وتتحرر الأفراد الصغيرة بعد تمزق الكيس.

تبدو اليوغلينا الخضراء تحت المجهر مغزلية الشكل, نهايتها الأمامية أعرض من الخلفية. ويوجد في الطرف الأمامي لليوغلينا فم خلوي "Cytostome" يؤدي إلى بلعوم خلوي "Cytopharynx" يمتد فيه سوط طويل يخرج من الفم الخلوي. ويقع بالقرب من قاعدة البلعوم الخلوي فجوة نابضة كبيرة تساهم في طرح الفضلات والماء الزائد إلى البلعوم الخلوي ومنه إلى خارج الخلية عبر الفم الخلوي (الشكل 1).
كما يوجد بالقرب من البلعوم الخلوي بقعة ذات لون أحمر حساسة للضوء تفيد في توجيه الحيوان نحو الضوء تعرف باسم البقعة العينية أو السمة "Stigma". أما النواة فتبدو بيضوية الشكل, مركزية التوضع, وتحتوي على نوية واحدة. وتكون السيتوبلاسما غنية بالصانعات الخضراء والفجوات الغذائية وبحبيبات شبه نشوية "Paramylum". كما يحاط الجسم بقشرة رقيقة.



الشكل (1) الأوغلينا الخضراء كما تظهر تحت المجهر.

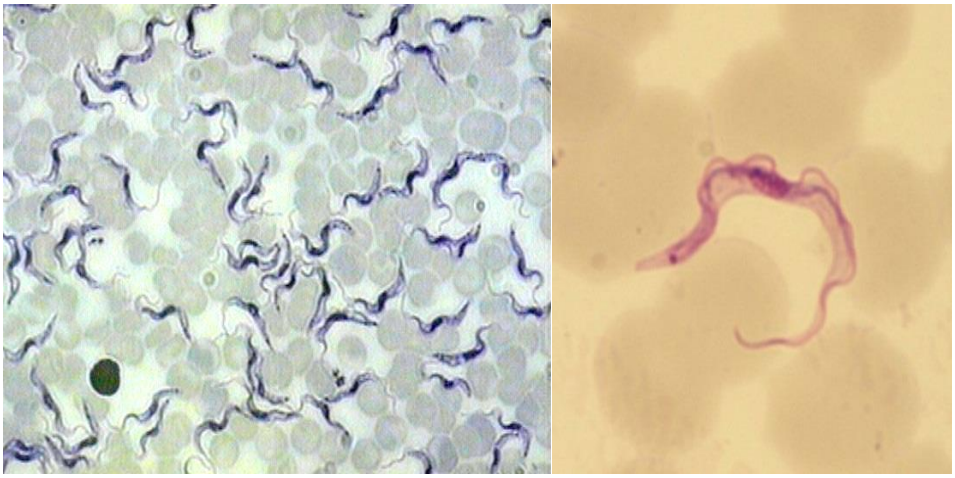
جنس المثقبيات Trypanosoma

تعيش أنواع هذا الجنس متطفلة على عائلين أحدهما هو الإنسان أو بعض الحيوانات الفقارية الأخرى سابحةً في مصورة الدم, وتسبب لهم أمراضاً خطيرةً. والعائل الثاني هو من الحشرات الماصة للدماء ويعرف منها ثلاثة أنواع شائعة تتطفل على دم الإنسان هي *T. gambiense* الذي يسبب مرض النوم الغامبي في

أفريقيا, والنوع *T .rhodesiensis* الذي يسبب مرض النوم الروديسي في أفريقيا , وكلاهما ينتقل للإنسان من لدغة حشرة ملوثة بدم إنسان مصاب.

وتعرف الحشرة الناقلة لهذه الطفيليات بذبابة تسي تسي أو ذات اللسين اللامس *Glossina Palpalis*. أما النوع الثالث فهو *T .cruzi* الذي ينتشر في أمريكا الجنوبية, وينتقل للإنسان عن طريق البق المقبل*Triatoma* وبعض الحشرات الأخرى, ويسبب للإنسان التهاباً في الغدد الدمعية والعقد اللمفاوية والكبد. كما تسبب المثقبيات لمضيفها ظهور أعراض عصبية خطيرة وحمى متقطعة قد تنتهي بموت المريض إذا كانت الإصابة شديدة .

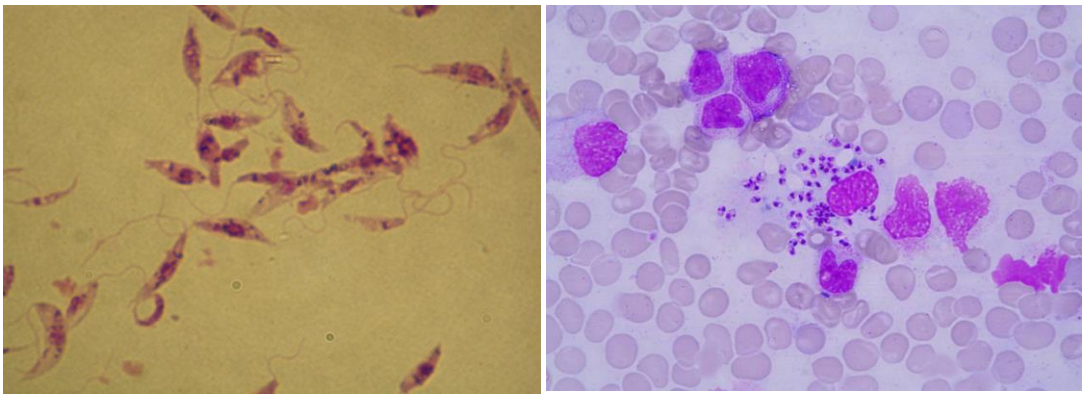
ويبدو المثقبي تحت المجهر مغزلي الشكل, ينطلق من نهايته الأمامية سوط واحد, وتتوضع النواة في وسط الخلية. ينشأ السوط من حبيبة قاعدية موجودة بالقرب من النهاية العريضة للخلية, ويمتد على طول الجسم باتجاه الطرف المقابل, بحيث يبقى القسم الأكبر منه ملتصقاً بجدار جسم الحيوان بوساطة غشاء متموج, ويساهم الغشاء المتموج والسوط في تحريك الحيوان وتوجيهه إلى الأمام. وتتغذى هذه الحيوانات بالعناصر الغذائية التي تجري في دم المضيف . وتتكاثر لاجنسياً بالانشطار الثنائي الطولي (الشكل 2) .



الشكل (2): المثقبيات كما تظهر تحت المجهر

❖ **جنس الليشمانيا *Leshmania*:**

تتطفل على عائلين أحدهما فقاري والآخر لافقاري هو الفاصدة خازعة الوريد أو ذبابة الرمل *phlebotomus papatasi*. تقوم الليشمانيا بغزو خلايا الثديات والتكاثر فيها،وبصورةٍ خاصة خلايا بطانة الجلد والعقد اللمفاوية والطحال حيث تبتلعها الكريات البيض، وتتكاثر هذه المتعضيات داخلها بالإنشطار الثنائي ويزداد عددها مما يسبب انفجار الخلية المضيفة، وعندئذ تنطلق العناصر الليشمانية غير المسوطة لتصيب خلايا جديدة .

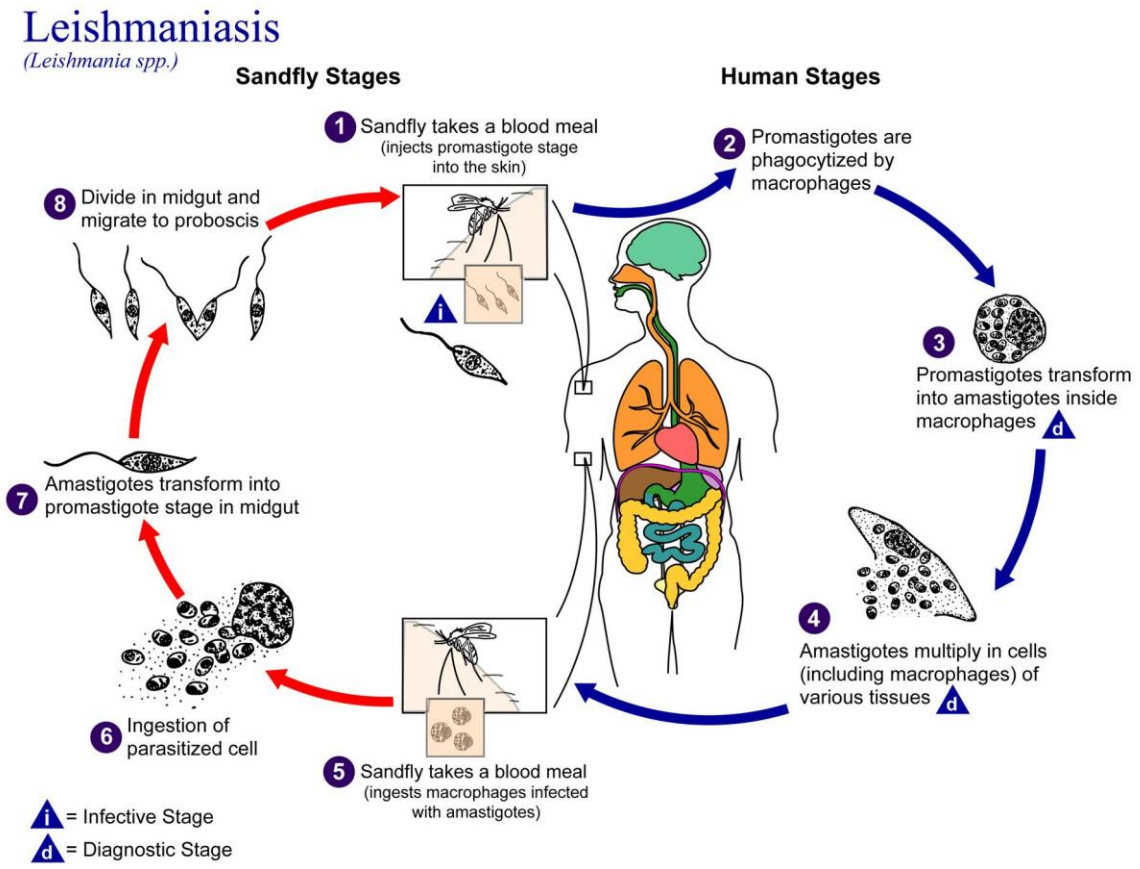


الشكل (3): العناصر الليشمانية كما تظهر تحت المجهر.

تبدو العناصر الليشمانية تحت المجهر بيوضة الشكل صغيرة الحجم، يحتوي كل منها على نواة مركزية وسوط قصير يبقى ضمن حدود الخلية (الشكل 3). وتنتقل هذه الطفيليات إلى الفاصدة خازعة الوريد عندما تقوم هذه الأخيرة بامتصاص دم إنسان أو حيوان مصاب، وتتحول في مقدمتها من الشكل البيضوي إلى عناصر مغزلية الشكل ذات سوط يبرز في مقدمة الجسم . تنتقل العناصر السوطية إلى القسم الأمامي من جهاز هضم الحشرة وعندما تلدغ الحشرة الملوثة بهذه الطفيليات إنساناً سليماً تصب فيه مفرزات غددها اللعابية بما فيها الطفيليات (الشكل 4).

ومن أهم أنواعها *L. tropica* الذي يسبب مرض الليشمانيا الجلدية من خلال تقرحات جلدية في أماكن لدغ الفاصدة وتدوم هذه التقرحات سنه كاملة لذلك سميت بحبة السنة. ينتشر هذا المرض في غرب آسيا وقليلاً في أوربا وأفريقيا.

والنوع *L.donovani* الذي يسبب مرض الليشمانيا الحشوية المعروف باسم مرض كالاآذار kala-Azar وهو يضعف القدرة الدماغية للجسم نتيجة إصابة الغدد اللمفاوية والكريات البيض.ينتشر هذا المرض في الهند والصين والسودان وجنوب أمريكا.



الشكل (4): دورة حياة الليشمانيا.

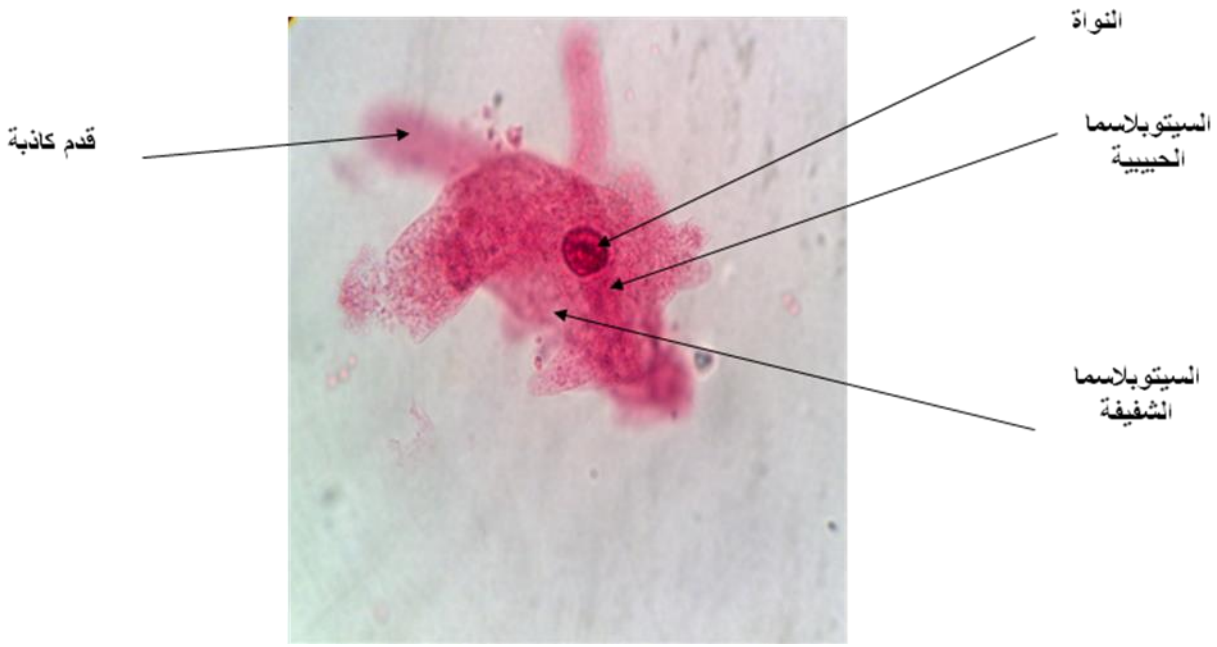
ثانياً– تحت شعبة اللحميات Sub-Phylum Sarcodina:

وتدعى أيضاً جذريات الأرجل Rhizopoda وتتميز أفرادها بوجود أرجل كاذبة "Pseudopodia" تساعد في الحركة والتغذية، وهي إما أن تعيش حياة حرة في المياه العذبة والمالحة والتربة الرطبة، أو تعيش حياة طفيلية على الإنسان والحيوانات الأخرى. بعض الأنواع عارية وبعضها ذات هياكل قوقعية. وسندرس كمثال عنها المتحول الحر.

❖ **المتحول الحر *Amoeba proteus***

يعيش المتحول الحر في المياه العذبة والراكدة، وهو يتغذى بالمواد العضوية والجراثيم والأشنيات ووحيدات خلية حيوانية أخرى بما فيها المتحولات نفسها, ويتكاثر لاجنسياً بالانشطار الثنائي أو البرعمة. يبدو الحيوان تحت المجهر على شكل كتلة بروتوبلاسمية عديمة التناظر بسبب أرجلها الكاذبة (الشكل 5), أبعادها من 200 إلى 600 ميكرومتر، وهو يحاط بغشاء بلاسمي رقيق يحجز بداخله سيتوبلاسما خارجية "Ectoplasm" تبدو على هيئة طبقة رقيقة وشفافة عديمة الحبيبات تقع تحت الغشاء البلاسمي, وسيتوبلاسما داخلية "Endoplasm" تملأ الجزء المركزي للخلية وهي ذات مظهر حبيبي لأنها تضم معظم العضيات الخلوية التي نميز منها بالمجهر الضوئي العادي النواة و الفجوة النابضة و الفجوات الغذائية.

يتحرك المتحول الحر بوساطة أرجل كاذبة تتشكل في أي نقطة من الغشاء البلاسمي. وتساعد الأرجل الكاذبة الحيوان على اقتناص فرائسه، حيث تحاط المواد المراد ابتلاعها بالأرجل الكاذبة، وتتشكل فجوة هاضمة تنفصل عن الغشاء البلاسمي، وتغوص في أعماق السيتوبلاسما لتتحد مع الجسيمات الحالة "Lysosomes" الحاوية على إنزيمات إماهة يمكنها حلمهة وهضم جميع المركبات العضوية. وينتج عن عملية الهضم الخلوي داخل الفجوات الهاضمة إلى البلاسما الشفيفة ليستخدمها الحيوان في بناء ذاته وتجديد عضياته وتكاثره وفي تأمين الطاقة الضرورية لفعاليه الحيوان. أما المواد غير القابلة للهضم فتبقى ضمن الفجوة، وتطرح خارج الجسم وذلك باتحاد غشائها مع الغشاء البلاسمي للخلية. أما الفجوة النابضة فتلعب دوراً في تنظيم الضغط الحلولي للحيوان وفي تخليصه من الماء الزائد و الفضلات الآزوتية وغاز ثاني أكسيد الكربون.



الشكل (5): المتحول الحر كما يظهر تحت المجهر.

شعبة ذوات المعقد القطبي Phylum Apicomplexa

تحت شعبة البذيريات Sub-Phylum sporozoa:

وحيدات خلية حيوانية تفتقر أفرادها الإعاشية إلى أجهزة الحركة, وتعيش أفرادها حياة طفيلية على عائل واحد أو عائلين من الفقاريات وعديمات الفقار، تغذيتها رمية وتتضمن دورة حياتها تعاقب التكاثر اللاجنسي والتكاثر الجنسي. سندرس كمثال عنها جنس المصورات الدموية Plasmodium نظرا لانتشاره الواسع وأهمية الطبية.

تتسبب أفراد هذا الجنس للإنسان وبعض الحيوانات الأخرى مرض البرداء "Malaria". ومن هذه الأنواع نذكر المصورات النشيطة *P. vivax*والمصورات البيضوية *P .ovale* اللتان تسببان حمى الثلث والتي تتميز بتكرار نوبة الحمى كل (48) ساعة، والمصورات الوبائية *P .malariae*التي تسبب حمى الربع وتتكرر نوبتها كل (72) ساعة، والمصورات المنجلية *P .falciparum*التي تسبب حمى تحت الثلث أو الحمى الخبيثة وتتكرر نوبتها كل (24) ساعة. وتتشابه الأنواع المذكورة أعلاه في دورة حياتها التي تتلخص بالآتي (الشكل 6):

تنتقل العناصر البذيرية "Sporozoites"إلى الإنسان عن طريق لدغة أنثى البعوض الخبيث Anopheles الحاملة للطفيلي في غددها اللعابية ، فعندما تلدغ البعوضة الملوثة بهذه الطفيليات انساناً سليماً لتتغذى على دمه تنقل إليه العناصر البذيرية مع اللعاب الذي تحقنه في الجلد والذي يمنع تخثر الدم في مكان اللدغ ،وهذا الأمر يؤدي إلى دخول العناصر البذيرية مجرى الدم.

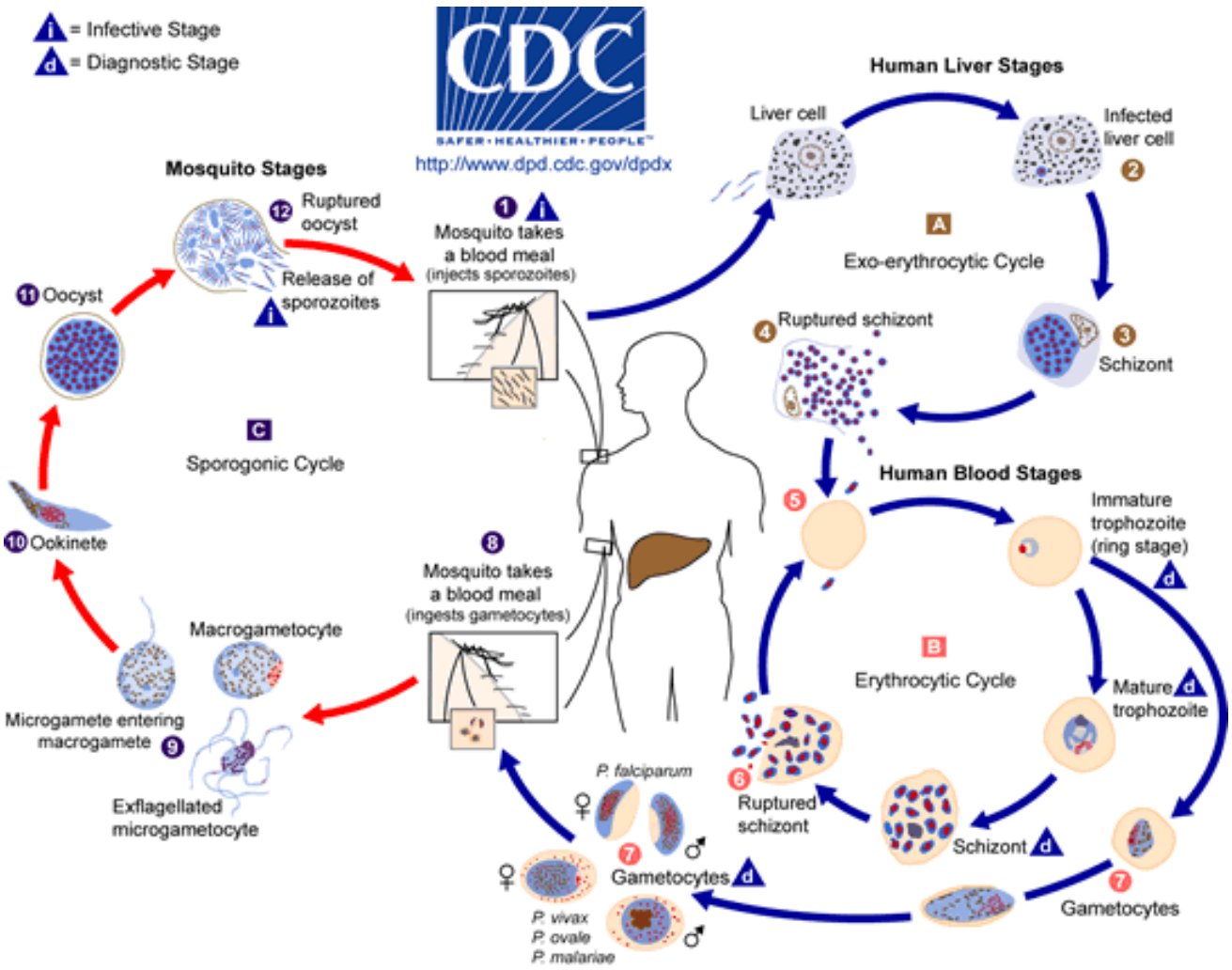
وعندما تصل إلى الكبد تدخل خلاياه لتتغذى وتنمو وتتكاثر بداخلها بالانشطار"Schizogony" ونتيجةً لهذا التكاثر تتضخم الخلية الكبدية المصابة ثم تنفجر وتخرج منها العناصر. الانشطارية "Merozoites" التي تدخل خلايا كبدية أخرى أو تذهب إلى الدم، وتدخل كل واحدة منها كرية دموية حمراء لتتغذى عليها ثم تنمو وتتكاثر بداخلها.تدعى العناصر الموجودة ضمن الكريات الحمر بالعناصر الاعاشية "Trophozoites"، وتمر خلال فترة نموها ضمن الكريات الحمر بالأشكال التالية :

1- **الشكل الحلقي أو الخاتمي:** يبدو خلاله الطفيلي تحت المجهر صغير الحجم ، دائري الشكل، يشبه الخاتم بسبب وجود فجوة نابضة تتوضع في المركز وتدفع النواة جانبياً في أحد أطراف الخلية .
2- **الشكل المتحولي** : عندما يكبر العنصر الاعاشي نتيجة امتصاصه الغذاء المتوفر داخل الكرية الحمراء يأخذ الحيوان شكلاً متحولياً غير منتظم.

3-الشكل الوردي : وفي هذه المرحلة من نمو العنصر الاعاشي ضمن الكرية الحمراء، تنقسم نواته انقسامات متعددة، وتحاط كل منها بجزء من السيتوبلاسما، بحيث يظهر الحيوان تحت المجهر على شكل يشبه الوردة لذلك دعي بالجسم الوردي، ويؤدي استمرار نموه إلى تضخم الكريه الحمراء وانجارها لينطلق منها حوالي (15-25) عنصراً انشطارياً تهاجم كريات حمر سليمة لتبدأ دورة حياة تكاثر لاجنسي في الدم . ويرافق انفجار الكريات الحمر انطلاق نواتج استقلا الطفيلي التي تجمعت في الكريات الحمر. ويسبب إطلاق هذه المواد في الدورة الدموية للمريض القشعريرة (البرداء) والحمى المميزة للملاريا ويليها تعرق .

وأحياناً تنمو العناصر الإعاشية داخل الكريات الحمر دون أن تنقسم نواتها، وتتحول إلى مولدات أعراس ذكرية أو أنثوية "Gametocytes" تبقى داخل الكريات الحمر حتى تأتي أنثى البعوض الخبيث وتلدغ الإنسان المصاب بهذه الطفيليات، فتأخذ مع الدم الممتص مولدات الأعراس الذكرية والأنثوية التي تتطور في معي البعوضة إلى أعراس ذكرية صغيرة الحجم "Microgametocytes"وأعراس أنثوية كبيرة الحجم "Macrogametocytes".

وبالإلقاح في سوية معي البعوضة تتشكل بيضة ملقحة "Zygote"تتطاول وتصبح متحركة "Ookinete"، لها القدرة على اختراق جدار المعي والاستقرار في الطبقة العضلية المحيطة بالمعي، وهناك تتكيس مشكلةً بذلك بيضة متكيسة "Oocyte".تنمو البيضة المتكيسة، وتنقسم نواتها عدة مرات لتعطي العديد من العناصر البذيرية،وبانفجار البيضة المتكيسة تتحرر العناصر البذيرية وتهاجر إلى الغدد اللعابية للبعوضة. وإذا ما لدغت هذه البعوضة إنسانا سليماً نقلت إليه العناصر البذيرية لتعيد دورة حياتها من جديد.



الشكل (6): دورة حياة البذيريات (المصورات الدموية) .

شعبة ذوات الأهداب Phylum Ciliophora

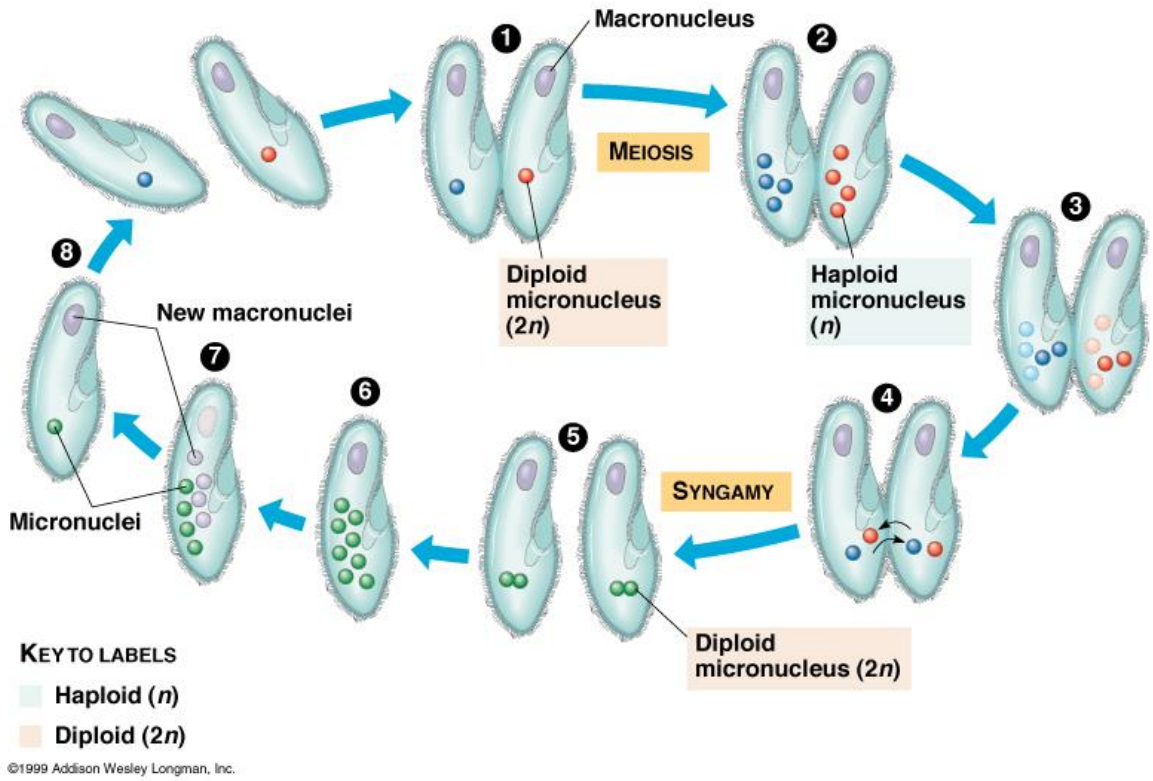
تحت شعبة الهدبيات Sub-Phylum Ciliata

تتحرك أفراد هذه المجموعة بواسطة الأهداب، تحتوي أجسامها على نواتين احداهما كبيرة " Macronucleus " تلعب دوراً في تنظيم الحياة الاعاشية للفرد، ونواه صغيرة " Micronucleus " لها دور تكاثري. تتكاثر أفرادها لاجنسياً بالانقسام الثنائي العرضي، كما تتكاثر بطريقة الاقتران "Comjugation"تعيش معظم أنواعها حياة حرة في المياه العذبة و الراكدة ، وتعيش بعضها الآخر متطفلاً على الحيوانات. وسندرس ممثلاً عن هذه الرتبة البرامسيوم.

يعيش البرامسيوم بغزارة في المياه العذبة والمستنقعات ويتغذى على بعض أنواع الاشنيات والجراثيم والمتعضيات الصغيرة الأخرى . يتكاثر لاجنسياً بالانشطار الثنائي العرضي ويعقبه بين الحين و الآخر

تكاثر بالاقتران وخاصة في الظرف غير الملائمة لتجديد شبابية النواة التوالدية (الشكل 7). ويتم الاقتران في البرامسيوم بالتصاق حيوانين من جهتهما البطنية فيزول الغلاف الخلوي بينهما في منطقة الالتصاق وتندمج السيتوبلاسما وتنحل النواتان الكبيرتان وتنقسم النواة الصغيرة في كل منهما انقساماً منصفاً لتنتج أربعة نوى ذات صيغة أحادية.

تزول ثلاث نوى من النوى الأربع وتبقى واحدة تنقسم انقساماً خيطياً لتعطي نواتين إحداهما صغيرة والأخرى كبيرة، تعبر النواة الصغيرة في كل حيوان إلى الحيوان الاخر, وتتحد بالنواة الأخرى الأكبر مما يؤدي إلى عودة العدد الصبغي إلى حالته المضاعفة في الفردين المقترنين. وبعدها ينفصل الحيوانان عن بعضهما، وفي كل منهما تنقسم النواة ثلاثة انقسامات متتالية لتشكل أربع نوى صغيرة وأربع نوى كبيرة تتوزع في أربع أفراد فتية بعد أن ينقسم الحيوان بالانشطار العرضي مرتين متتاليتين، ويضم كل فرد فتي نواة كبيرة وأخرى صغيرة ينمو ويتابع تكاثره اللاجنسي بالانشطار الثنائي.



الشكل (7) الاقتران في البارامسيوم.

يبدو البرامسيوم تحت المجهر بيضوي الشكل متطاول، نهايته الخلفية تكون حادة أكثر من نهايته الأمامية وطوله بحدود 150_300 ميكرومتر. ويبرز من جسمه العديد من الأهداب التي تتوزع بانتظام على كامل جسمه، وتكون هذه الأهداب أطول في النهاية الخلفية من نهايته الأمامية. كما يتميز وجهه البطني عن وجهه الظهري بوجود الدهليز الفموي "Peristome" في وجهه البطني والذي يؤدي إلى فم خلوي "Cytostome" فبلعوم خلوي "Cytopharynx" تتشكل في قعره الفجوات الغذائية.

يحيط الغلاف الخلوي للحيوان بطبقة من السيتوبلاسما الخارجية الشفافة التي تحيط بدورها بالسيتوبلاسما الداخلية ذات المظهر الحبيبي لأنها تحتوي على معظم العضيات الخلوية التي نميز منها النواة الكبيرة الإعاشية والنواة الصغيرة التكاثرية والفجوتين النابضتين اللتين تقعان بالقرب من النهاية الأمامية والنهاية الخلفية للحيوان والفجوات الغذائية التي تحتوي على مود في مراحل هضم مختلفة.

يتحرك البرامسيوم بتوافق حركات جميع الأهداب، كما تقوم الأهداب الموجودة حول الدهليز الفموي بتوجيه الغذاء و إدخاله إلى الفم الخلوي فالبلعوم الخلوي. يتجمع الغذاء في قعر البلعوم وتتشكل فجوة غذائية تنفصل عن البلعوم و تغوص في أعماق السيتوبلاسما لتتحد بالجسيمات الحالة حيث يتم في مستواها هضم المواد الغذائية، ويطرح ما تبقى من المواد غير القابلة للهضم خارج الجسم عبر البقة الشرجية التي تتمثل بنقطة التحام غشاء الفجوة الغذائية بالغلاف الخلوي للحيوان.

أما الفجوتان النابضتان فتلعبان دوراً في تنظيم الضغط الحلولي للحيون وفي تخليصه من الماء الزائد ومن الفضلات الآزوتية. أما التنفس فيتم بأخذ الأوكسجين المنحل في الماء وطرح غاز ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس بالإنتشار(Diffusion) عبر سطح الجسم.

شعبة المستحاثيات Labrynthomorpha

جميع أفرادها حيونات مستحاثية انقرضت وبقيت هياكلها وقواقعها تدل عليها: تضم هذه الرتبة عدد كبير من الرتب ندرس منها رتبتين:

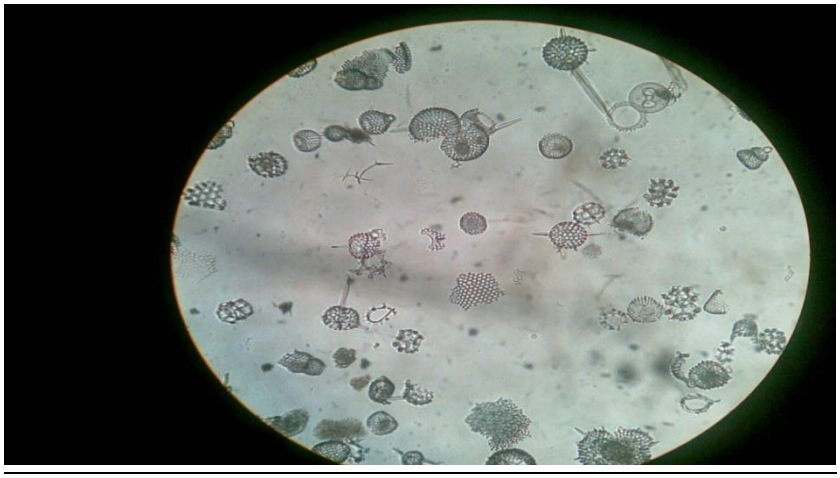
رتبة المنخربات Foraminiferida

تكثر في المحيطات والبحار وبعضها في المياه العذبة، ويعيش غالبيتها على القاع والقليل طافٍ ويختبئ معظمها ضمن قواقع ذات أشكال ومناظر مختلفة. وتتألف القوقعة من حجرة واحدة أو عدة حجرات وتحوي على ثقوب عديدة (نخاريب)، بحيث تخرج منها أرجل كاذبة تتشابك مشكلةً الأقدام الشبكية (الشكل 8).

الشكل (8): المنخربات

رتبة الشعاعيات Radiolarida:

أقدم ما عرف من الحيوانات، كلها بحرية تعيش سواء في الأعماق أو قرب السطح، هيكلها سيليسي ذا جمال منقطع النظير ويحمل الأبر الشعاعية التي تنطلق من مركز الجسم وتستعمل في قنص وإدخال الفريسة إلى مركز الجسم. يتميز في جسمها نوعان من السيتوبلاسم. من الثابت أيضاً ظهور حادثة الانشطار الثنائي والبرعمة والتبوغ فيها (الشكل 9).



الشكل (9): الشعاعيات

بدائيات النوى (1) Prokaryotes

1- بدائيات النوى ذات انتشار واسع

تعد معظم بدائيات النوى كائنات مجهرية، لكن كثرة تعدادها يعوض ما هي عليه من صغر في الحجم حيث تعادل كتلتها البيولوجية مجتمعة أكثر من عشرة أضعاف مجمل حقيقيات النوى. فعدد بدائيات النوى في قبضة يد واحدة من تربة خصبة، يفوق عدد البشر الذين عاشوا في أي وقت.

فما الذي يمكن هذه الكائنات الحية الدقيقة من سيادة المحيط الحيوي عبر تاريخها، ان أحد أسباب نجاحها يعود إلى وفرة التكيفات التي مكنت مختلف بدائيات النوى من الاستيطان في البيئات المتنوعة. فبدائيات النوى تعيش في كل مكان تقريبا، بما في ذلك أماكن شديدة الحموضة، أو الملوحة، أو البرودة، أو الحرارة، شدة لا يمكن للكائنات الحية الأخرى أن تتحملها(الشكل 1).

الشكل (1): مستعمرات صفراء و برتقالية من بدائيات النوى محبة للحرارة في المياه الساخنة لمحمات نيفادا Nivada.

و كما اكتشفت بدائيات النوى في صخور تحت الأرض بميلين. و خلال إعادة بناء التاريخ التطوري المستتر خلف أنماط الحياة المتنوعة لبدائيات النوى ، اكتشف البيولوجيون أن لهذه الكائنات الحية

تنوعا جينيا. فعلى سبيل المثال بينت مقارنة بين الرنا الريبوزومي لسلالتين من نوعي بكتيريا الايشرشيا القولونية الإنسانية و البلاتيبوسية اختلافا جينيا كبيرا.تصنف بدائيات النوى في قطاعين اثنين هما البكتيريا و الأركيا و هما يختلفان فيما بينهما في العديد من الخصائص الكيميائية الحيوية، و الفيزيولوجية، و البنيوية.

2- التكيفات الجينية و الوظيفية و البنيوية أساس تفوق بدائيات النوى

إن معظم بدائيات النوى وحيدة الخلية، و ان كان بعض أنواعها يتجمع في مستعمرات بشكل عابر أو دائم، و تتراوح أقطار الخلايا البدائية النوى نموذجيا بين 1- 5 ميكرون، و هي أصغر بكثير من أقطار العديد من الخلايا الحقيقيات النوى المتراوحة بين 10-100 ميكرون. (يعتبر بدائي النوى العملاق تيومارغاربتاناميبينسيس واحدا من الاستثناءات الملحوظة، إذ يقارب قطره 750 ميكرون و بالكاد تراه العين المجردة). و للخلايا بدائية النوى أشكال متعددة، و أشيع ثلاثة من أشكالها: الكروية (المكورات) و العصوية (العصيات) و الحلزونية (الشكل 2).

أ- حلزونية ب- عصوية الشكل ج- كروية (مكورات)

الشكل (2): الأشكال الأكثر شيوعا من بدائيات النوى

3- بنيات سطح الخلية

يعتبر الجدار الخلوي واحدا من أكثر المعالم الهامة لجميع الخلايا بدائية النوى تقريبا وذلك لأنه :

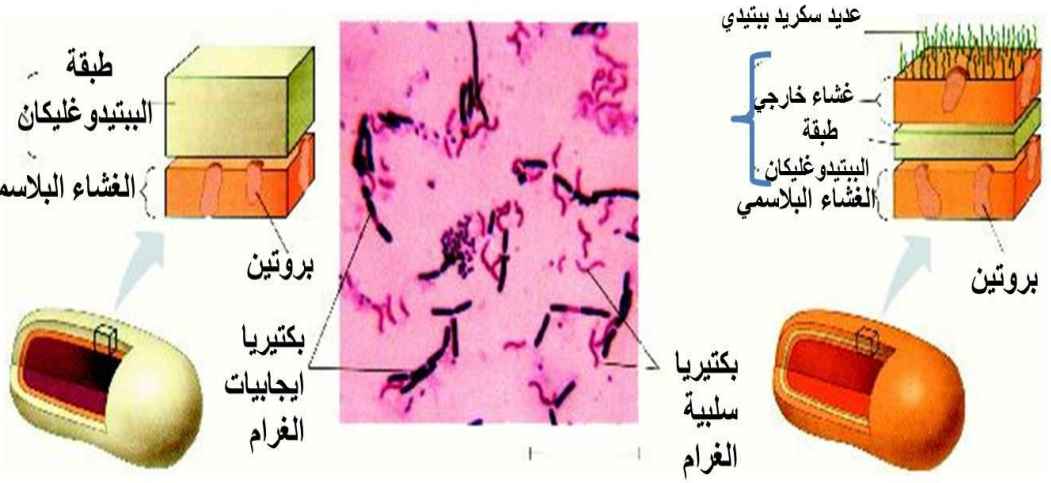
1) يحافظ على شكل الخلية.
2) يؤمن الحماية الفيزيائية.
3) يمنع انفجارها في الوسط منخفض التوتر.

تخسر معظم بدائيات النوى تخسر ماءها في الوسط مرتفع التوتر و تتقلص مبتعدة عن جدرها (الانحلال البلاسمي)، تماما كما هو الحال في الخلايا الأخرى ذوات الجدر. و ان الخسارة البالغة للماء تثبط تناسل بدائيات النوى، و هذا يفسر كيف يمكن للملح أن يستخدم كحافظ لبعض الأطعمة كالسمك و لحم الخنزير.

تختلف الجدر الخلوية لبدائيات النوى في تكوينها الجزيئي و بنائها عن الجدر الخلوية لحقيقيات النوى. إن الجدر الخلوية لحقيقيات النوى تتألف عادة من السيللوز أو الكيتين، بينما تحتوي معظم الجدر الخلوية للبكتيريا على الببتيدوغليكان و هو شبكة من مكثورات سكرية معدلة ذات أواصر متصالبة مع عديدات ببتيدات قصيرة، و يكتنف هذا النسيج كامل الخلية البكتيرية و يثبت الجزيئات الأخرى المتمادية من سطحها.

تحتوي جدر خلايا الأركيا تشكيلة متنوعة من عديد السكريد و البروتينات، غير أنها تفتقر للببتيدوغليكان و باستخدام تقانة تدعى ملون غرام، ابتكرها في القرن التاسع عشر طبيب دانيماركي يدعى هانز كريستسان غرام. تمكن العلماء من تصنيف الأنواع البكتيرية إلى مجموعتين و ذلك وفق الاختلافات في تركيب جدار الخلية.

فالبكتيريا ايجابيات الغرام جدرا أبسط و كمية أكبر نسبيا من الببتيدوغليكان (الشكل3). أما البكتيريات سلبية الغرام فتمتلك كمية أقل من الببتيدوغليكان، و هي أكثر تعقيدا من الناحية البنيوية، و لها غشاء خارجي يحتوي على عديدات سكريدليبيدية (كاربوهيدرات مرتبطة مع ليبيدات) (الشكل3).



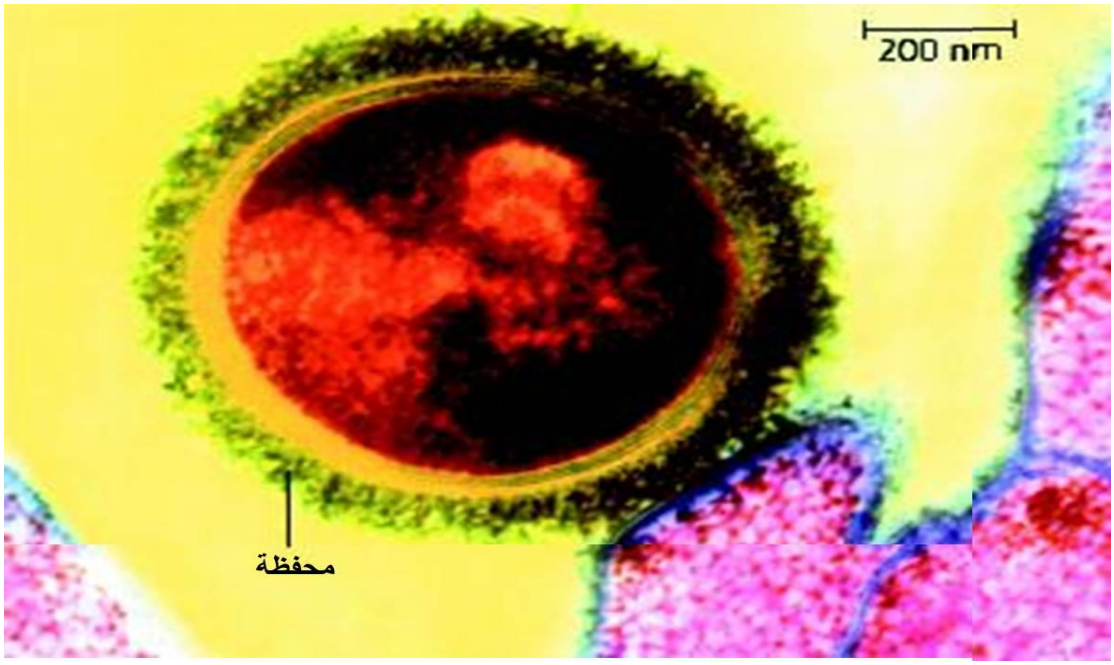
الشكل (3): **تلوين غرام**. تلون البكتيريا بالصباغ البنفسجي و اليود، و تغسل بالكحول ثم تلون بالأحمر ، فتحدد الاستجابة للتلوين بنية الجدار (LM).

و يعد تلوين غرام أداة تحديد قيمة في الطب على الخصوص، فمن بين البكتيريا الممرضة أو المسببة للمرض ، تعد الأنواع السلبية الغرام أكثر تهديدا من الأنواع الايجابية الغرام. فعديدات السكريد الليبيدية في جدار البكتيريات سلبيات الغرام سامة غالبا، و يساعد غشاؤها الخارجي في حمايتها من دفاعات الجسم. علاوة على ذلك تعتبر سلبيات الغرام من البكتيريا الأكثر مقاومة للمضادات الحيوية من أنواع ايجابيات الغرام، بسبب وجود الغشاء الخارجي الذي يعرقل دخول الأدوية.

و تستمد بعض المضادات الحيوية بما فيها البنسلين فاعليتها من تثبيطها الأواصر المتصالبة للببتيدوغليكان، و بالتالي تمنع تشكل جدار خلوي وظيفي، و خاصة في البكتيريا ايجابيات الغرام.

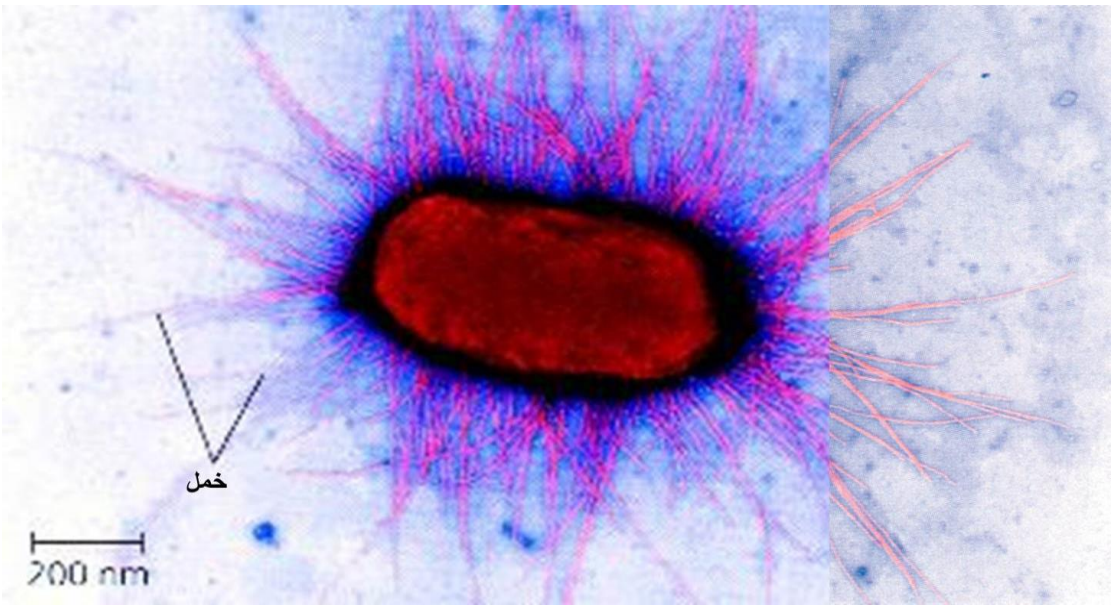
و تدمر مثل هذه الأدوية أنواعا عديدة من البكتيريا الممرضة دونما تأثير مضاد على خلايا الإنسان، التي لا تحتوي على الببتيدوغليكان. تغطي الجدار الخلوي للعديد من بدائيات النوى محفظة Capsule و هي عبارة عن طبقة دبقة من عديد السكريد أو البروتين (الشكل 4).

و تمكن المحفظة بدائيات النوى من الالتصاق بركائزها أو بالأفراد الأخرى للمستعمرة. و تستطيع أيضا حماية بدائيات النوى الممرضة من هجوم جهاز مناعة مضيفها.



الشكل (4): **المحفظة**، تحيط محفظة من عديد سكريد ليبيدي ببكتيرية المكورة العقدية هذه ممكنة بدائي النواة الممرض من الالتصاق بالخلايا المبطنة للسبيل التنفسي للإنسان.

و تلتصق بعض بدائيات النوى مع ركائزها أو مع بعضها بوساطة زوائد تشبه الشعر تدعى الخمل (مفردها خملة)، و أشعارا (مفردها شعرة) و الخمل عادة أكثر عددا و أقصر من الأشعار (الشكل 5).



الشكل (5): **الخمل:** تمكن هذه الزوائد المتعددة بعض بدائيات النوى من الالتصاق بالسطوح أو بدائيات النوى الأخرى.

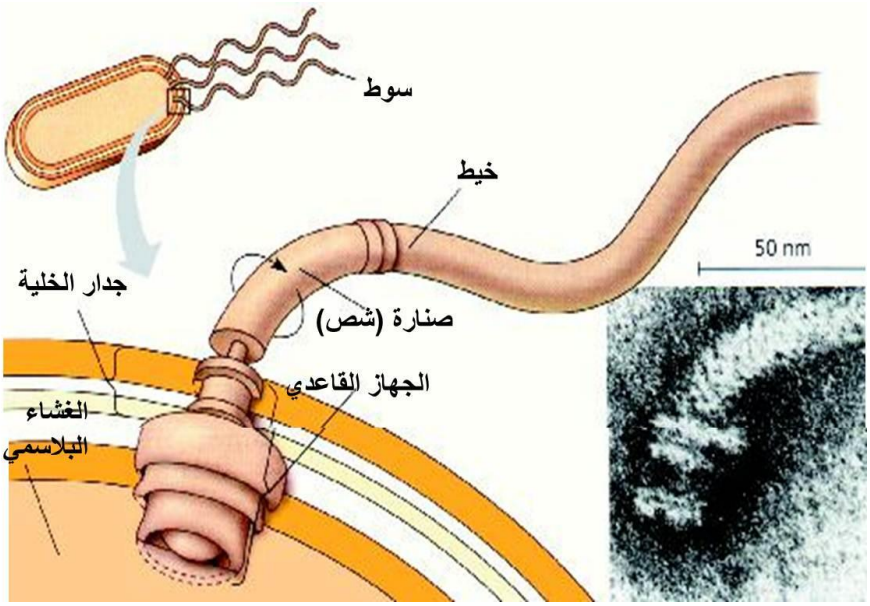
تستخدم النيسيريا البنية (تلك البكتيريا المسببة لداء السيلان) خملها لتتثبت على الأغسية المخاطية لمضيفها. و تعمل أشعار متخصصة، تدعى الأشعار الجنسية على ربط بدائيات النوى خلال اقترانها، في عملية تنقل فيها الخلية ال DNA إلى خلية أخرى.

4- الحركية Mobility

إن ما يقارب نصف مجمل بدائيات النوى قادر على القيام بحركة موجهة. و تستطيع بعض الأنواع الحركة بسرعة تزيد عن 50 ميكرومترا في الثانية، أي أنها تتخطى في الثانية الواحدة مسافة تفوق طول جسمها بخمسين مرة. و تعد السياط الأكثر شيوعا من بين البنيات المتعددة التي تمكن بدائيات النوى من الحركة، و التي قد تنتشر فوق كامل سطح الخلية، أو قد تتركز في إحدى أو كلا نهايتي الخلية.

و تختلف سياط بدائيات النوى عن حقيقياتها في البنية و آلية الدفعان (الشكل6). يبلغ عرض سياط بدائيات النوى عشر عرض سياط حقيقيات النوى و لا يغطيها امتداد من غشاء بلاسمي. قد تتحرك

بدائيات النوى الحاوية على السياط عشوائيا في الأوساط الثابتة نسبيا، بينما تبدي العديد منها جذبا في الأوساط المتغايرة، فتتحرك منجذبة أو مبتعدة عنه.



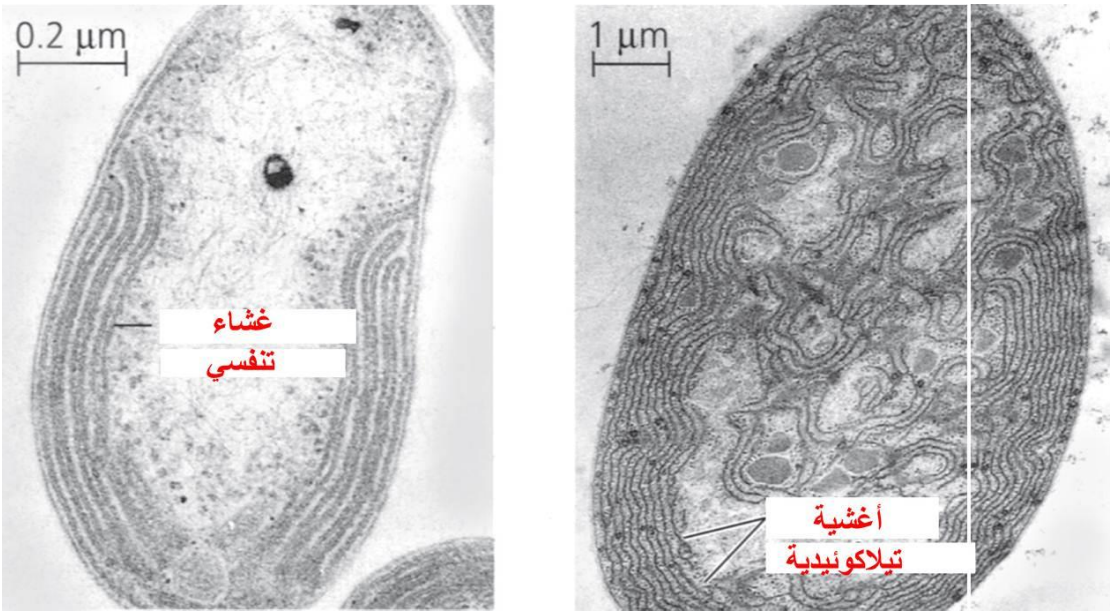
الشكل (6): **سوط بدائيات النوى**، يحرك سوط بدائيات النوى جهاز قاعدي و هو عبارة عن منظومة من حلقات منطمرة في جدار الخلية و الغشاء البلاسمي.

و كمثال عنها، بدائيات النوى التي تبدي انجذابا كيميائيا تستجيب للمواد الكيميائية بتغيير نمط حركتها. فقد تتحرك نحو الغذاء و الأكسجين (انجذاب كيميائي سلبي)، أو تتحرك مبتعدة عن مادة سامة (انجذاب كيميائي سلبي).و في عام 2003 بين علماء من جامعة برينستون و معهد ماري كوري في باريس أن خلايا الايشريشيا القولونية المعزولة تبدي انجذابا كيميائيا نحو أفراد آخرين من أنواعها، مما يمكنها من تشكيل المستعمرات.

5- التعضي الجيني و الداخلي

تعتبر خلايا بدائيات أبسط من خلايا حقيقيات النوى، في كل من البنية الداخلية و التعضي الجيني. تفتقر بدائيات النوى إلى التحاور المعقد الموجود في حقيقيات النوى (انظر الى الشكل). و كذلك تمتلك بعض بدائيات النوى أغشية متخصصة تنجز وظائف استقلابية (الشكل 7) و عادة ما تكون

هذه الأغشية طيات من الغشاء البلاسمي. يختلف جينوم بدائيات النوى في البنية اختلافا كبيرا عن جينوم حقيقيات النوى و يمتلك ما يعادل تقريبا واحدا بالألف فقط من ال DNA الأخيرة.



أ- بدائية نواة تقوم بالتركيب الضوئي ب- بدائية نواة هوائية

الشكل (7):**الأغشية المتخصصة في بدائيات النوى**

و يتألف معظم الجينوم في أغلبية بدائيات النوى من حلقة من ال DNA و بروتينات قليلة نسبيا مترابطة معها هذه الحلقة من المادة الجينية تدعى عادة صبغي بدائي النواة (الشكل 8).

الشكل (8): **صبغي بدائي النواة**، إن هذه العرى الدقيقة المتشابكة المحيطة بخلية الايشيرشيا القولونية المتمزقة هذه ما هي إلا أجزاء من حلقة مفردة من ال DNA.

و على العكس من صبغيات حقيقيات النوى المحتواة ضمن النواة يتوضع الصبغي بدائي النواة في منطقة نووية، هي جزء من السيتوبلاسما تظهر في الصور الالكترونية باهتة أكثر من السيتوبلاسما المحيطة بها. و قد تشمل الخلية بدائية النواة النمطية، فضلا عن الصبغي المفرد، على حلقات أصغر من ال DNA تدعى البلازميدات، أكثر ما تحتوي على قليل من الجينات فقط.

تؤمن جينات البلازميد هذه مقاومة للمضادات الحيوية و توجه الاستقلاب نحو أغذية قلما تصادفها أو غير ذلك من الوظائف الطارئة. و قد تبقى الخلية بدائية النواة حية في بعض الأوساط دون بلازميداتها طالما أن الصبغي يرمز جميع وظائفها الأساسية و لكن في ظروف معينة كما هي الحال حين تستخدم المضادات الحيوية حين تستخدم لعلاج مرض معد فان تواجد البلازميد يزيد بشكل واضح فرصة بدائية النواة بالنجاة و تتنسخ البلازميدات بشكل مستقل عن الصبغي الرئيس و يمكن للعديد منها أن تنتقل بسهولة بين الشركاء عند اقتران بدائيات النوى.

ان عمليات تنسخ ال DNA و انتساخه و ترجمته متسابهة من حيث المبدأ في بدائيات النوى و حقيقياتها بالرغم من وجود بعض الاختلافات. على سبيل المثال تعتبر ريبزومات بدائيات النوى أصغر من ريبوزومات حقيقيات النوى و مختلفة في محتواها من البروتين و ال RNA . هذه الاختلافات من الأهمية بمكان بحيث أن بعض المضادات الحيوية كالاريترومايسين و التتراسكلين، ترتبط مع ريبوزومات بدائيات النوى و تمنع اصطناع البروتينات فيها لكنها لا تفعل ذلك مع حقيقيات النوى و بالنتيجة يمكننا استخدام هذه الصادات الحيوية للقضاء على البكتيريا دون أن نلحق الأذى بأنفسنا.

6- التناسل و التكيف عند بدائيات النوى

تعتبر بدائيات النوى بالغة التفوق إلى حد ما يسبب مقدرتها على التناسل بسرعة في وسطها المفضل. و بواسطة الانقسام عبر الانشطار. تصبح الخلية بدائية النواة خليتين، ومن ثم أربع، و ثمان، و ست عشرة، و هكذا. و بينما تستطيع معظم بدائيات النوى الانقسام كل ساعة إلى ثلاث ساعات، نجد أنه بمقدور بعض الأنواع تحت ظروف مثالية إنتاج جيل جديد في غضون عشرين

دقيقة فقط و لو استمر التناسل وفق هذا المستوى دون رقابة لاستطاعت بدائية نواة واحدة في ثلاثة أيام فقط أأن تشكل مستعمرة تفوق الأرض وزنا. لكن في الواقع ، لتناسل بدائيات النوى حد طبعا، فحالما تستنزف الخلايا مخزونها الغذائي تسممها فضلات استقلابها أو تستهلكها كائنات حية أخرى.

و تواجه بدائيات النوى في الطبيعة منافسة كائنات حية أخرى دقيقة تنتج العديد منها مضادات حيوية كيميائية تبطئ تناسل بدائيات النوى.

و يعزى تفوق بدائيات النوى أيضا الى مقدرة بعضها على مواجهة الظروف القاسية. فعلى سبيل المثال تستطيع بكتيريا معينة تشكيل خلايا مقاومة تدعى الأبواغ الداخلية و ذلك عندما يفتقر وسطها الى غذاء أساسي (الشكل 9). اذ تنتج الخلية الأصلية نسخة عن صبغيها و تحيطه بجدار قاس، مشكلة البوغة. يزال الماء من البوغة، و يتوقف الاستقلاب فيها. و بعدها تتلاشى بقية الخلية الأصلية تاركة بوغة وراءها. إن معظم الأبواغ مقاومة جدا بحيث تستطيع البقاء حية في الماء المغلي. و حتى يتم القضاء على الأبواغ، يتوجب على علماء الأحياء الدقيقة تسخين أداة المختبر إلى 121 درجة مئوية مع البخار و تحت ضغط مرتفع.

الشكل (9): بوغة داخلية العصوية الجمرية، تنتج هذه البكتريا لمرض خطير يدعى الجمرة أبواغا داخلية تساعد ثخانة البوغة المشكلة لمعطف واق في الإبقاء عليها حية في التربة لسنوات.

و في البيئات الأقل عدائية، يمكن للأبواغ أن تبقى في سبات لقرون، مع قابليتها للحياة، قادرة على تمييه ذاتها، و استئناف استقلابها عندما تتلقى إشارات بأن بيئتها أصبحت حميدة أكثر.
تستطيع بدائيات النوى التكيف بسرعة مع التغيرات الطارئة على بيئتها من خلال التطور عبر الاصطفاء الطبيعي. و لأن بدائيات النوى تتناسل بسرعة، فانه يمكن للطفرات التي تمنحها لياقة أكثر أن تصبح الأكثر شيوعا في الجماعة.

و لذلك كانت بدائيات النوى كائنات حية نموذجية للعلماء الذين يدرسون التطور في مختبراتهم. فعلى سبيل المثال، قام ريتشارد لينسكي و فريقه من جامعة ولاية متشيغن بالحفاظ على أكثر من 20000 جيل لمستعمرات الايشيريشيا القولونية منذ عام 1988 و يعمل الباحثون على تجميد عينات من المستعمرات بشكل منتظم، ثم يقومون أخيرا بتدفئتها لتقارن خصائصها مع خصائص الأجيال الأخيرة. و قد خلصوا في واحدة من هذه المقارنات الى أن مستعمرات اليوم قادرة على النمو أسرع مما تنمو به مستعمرات عام 1988 ب 60%، ضمن نفس الظروف البيئية.

و يعمل فريق لينسكي على استكشاف التغيرات الجينية التي هي وراء التكيف التطوري للمستعمرات مع بيئتها. فخرجوا عام 2003 بتقرير مفاده أن مستعمرتين قد أظهرتا تغيرات متماثلة في تعبيرهما عن نفس ال 59 جينا مقارنة مع المستعمرات الأصلية. بهذا يمكن التناسل السريع للايشيرشيا القولونيةE. coli العلماء من توثيق هذا المثال عن التطور التكيفي و يسهل الانتقال الأفقي للجين أيضا التطور السريع لبدائيات النوى.

فمثلا يسمح الاقتران بتبادل البلاسميد الحاوي على عدد قليل من الجينات أو حتى على مجموعات كبيرة من الجينات و حالما تندمج الجينات المنقولة في جينوم بدائي النواة فإنها تخضع لاصطفاء طبيعي خلال الدورات المتتالية للانشطار الثنائي، و يعد الانتقال الأفقي للجين ذا مفعول كبير في التطور طويل الأمد للبكتيريا الممرضة.

يمكن تصنيف جميع الكائنات الحية من خلال تغذيتها (كيف تحصل على الطاقة و الكربون المستخدمان في بناء الجزيئات العضوية المكونة للخلايا. و يعد التنوع الغذائي عند بدائيات النوى أكبر منه عند جميع حقيقيات النوى. فكل نمط تغذوي يلاحظ في حقيقيات النوى نجده عند بدائيات النوى، فضلا عن طرز تغذوية تنفرد بها بدائيات النوى.

تدعى الكائنات الحية التي تستمد طاقتها من الضوء: ضوئيات التغذية Phtotrophes، و تدعى تلك التي تستمد طاقتها من المواد الكيميائية : كيميائيات التغذية chemotrophs، بينما تدعى الكائنات الحية التي تحتاج مركب ثاني أكسيد الكربون اللاعضوي كمصدر للكربون: ذاتيات التغذية autotrophs. و في المقابل تتطلب غيريات التغذية Heterotrophsواحدا على الأقل من الأغذية العضوية كالغلوكوز لاصطناع مركبات عضوية أخرى. و ينتج عن جميع احتمالات مصادر الطاقة و الكربون هذه أربعة أحوال كبرى للتغذية (الجدول 1) و هي:

1- ذاتيات التغذية الضوئية Photoautotrophs : كائنات حية تقوم بعملية التركيب الضوئي، و تلتقط طاقة الضوء لتستخدمها في تسيير عملية اصطناع المركبات العضوية من ثاني أكسيد الكربون. و تعد السيانو بكتيريا، و غيرها من مجموعات كثيرة من بدائيات النوى ضوئيات التغذية تماما كالطحالب و النباتات.
2- ذاتيات التغذية الكيميائية Chemoautotrophs : تحتاج أيضا لثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون. لكنها بدل استخدام الضور مصدرا للطاقة، فإنها تؤكسد المواد اللاعضوية ، كسلفيد الهيدروجين H2S و النشادر NH3 و أيونات الحديد الثنائي +FE2 و تنفرد بهذا الحال من التغذية بدائيات نوى معينة.

الجدول (1): الطرز التغذوية الرئيسة

طراز التغذية	مصدر الطاقة	مصدر الكربون	أنماط الكائنات الحية
تغذية ذاتية			
1- ذاتيات	- الضوء	CO2	بدائيات نوى تقوم بالتركيب

التغذية الضوئية 2- ذاتيات التغذية الكيميائية	- المواد الكيميائية اللاعضوية	CO_2	الضوئي (السيانو بكتيريا مثال عليها) النباتات، أوالي معينة (الطحالب). بعض بدائيات النوى مثال عليها السلفولوبوسSulfolobus
تغذية غيرية 1- غيريات التغذية الضوئية 2- غيريات التغذية الكيميائية	الضوء المركبات العضوية	مركبات عضوية المركبات العضوية	بعض بدائيات النوى (مثال عليها الرودوباكتر Rhodobacter و الخضراء المتموجة Chloroflexus. العديد من بدائيات النوى (مثال عليها المطثيةClostridium) و الأولانيات و الفطريات و الحيوانات و بعض النباتات

3- غيريات التغذية الضوئية Photoheterotrophs: تستخدم الضوء مصدرا للطاقة و مع ذلك يتوجب عليها الحصول على الكربون في شكله العضوي، و يستخدم هذا الاسلوب من التغذية عدد من بدائيات النوى البحرية.

4- غيريات التغذية الكيميائية Chemoheterotrophs: و يتوجب عليها استهلاك الجزيئات العضوية لتحصيل كل من الطاقة و الكربون. و يشيع هذا الطراز التغذوي بين بدائيات النوى و كذلك الأولانيات، و الفطريات و الحيوانات و حتى بعض النباتات الطفيلية.

7- العلاقات الاستقلابية مع الاكسجين

يتنوع الاستقلاب في بدائيات النوى حسب العلاقة مع الأكسجين أيضا إلى :

- هوائيات مجبرة Obligateaerobes تستخدم الاكسجين في التنفس الخلوي، و لا تستطيع النمو بدونه.
- لا هوائيات مخيرة Facultative anaerobes تستخدم الأكسجين إن وجد ، لكنها تستطيع النمو بواسطة التخمر في الأوساط اللا هوائية.
- لا هوائيات مجبرة Obligateanaerobes تتسمم بالاكسجين و تعيش بعض اللا هوائيات المجبرة على التخمر حصرا، بينما يستمد بعضها الآخر الطاقة الكيميائية من التنفس اللا هوائي anaerobic respiration، و الذي تستقبل فيه مركبات غير الاكسجين كأيونات النترات أو أيونات السلفات الالكترونات عند نهاية منحدر سلاسل نقل الالكترون.

8- الاستقلاب النتروجيني

يعد النتروجين أساسا لجميع الكائنات الحية في إنتاج الحموض الأمينية و الحموض النووية. و تعتبر حقيقيات النوى ذات قدرة محدودة على استخدام المركبات النتروجينية، بينما تستطيع بدائيات النوى استقلاب النتروجين في أشكال متنوعة جدا. فعلى سبيل المثال ، تحول بدائيات نوى معينة ، بما فيها البعض من السيانو بكتيريا، النتروجين الجوي إلى النشادر عبر عملية تدعى تثبيت النتروجين و بعدئذ تستطيع الخلايا اقحام هذا النتروجين المثبت في الحموض الآمينية و الجزيئات العضوية الأخرى.

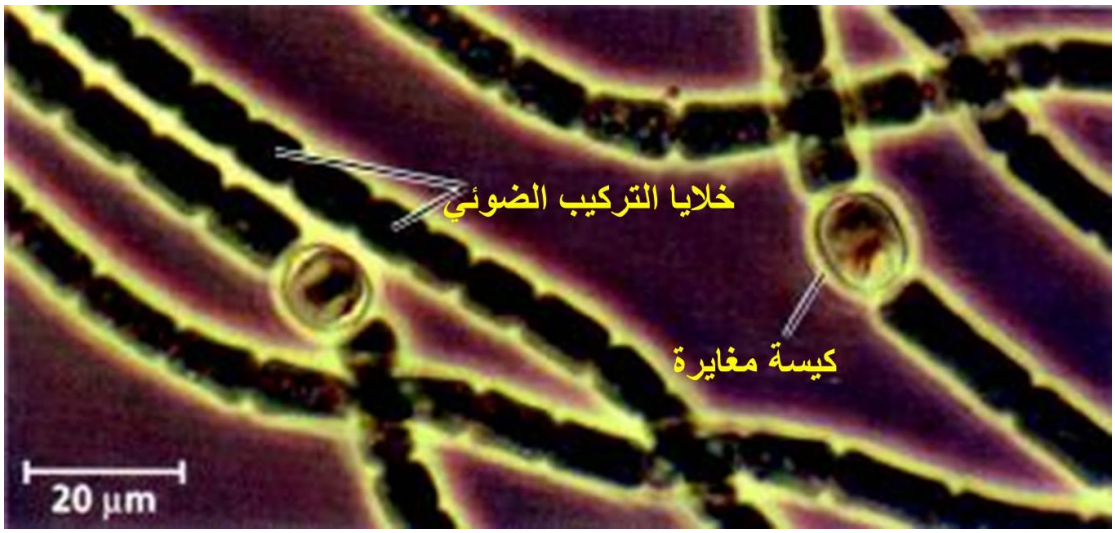
و تعتبر السيانو بكتيريا المثبتة للنتروجين نظرا إلى طريقتها التغذوية أكثر الكائنات الحية اكتفاء بذاتها. فهي لا تحتاج في نموها سوى الضوء و الماء و النتروجين و ثاني أكسيد الكربون و بعض المعادن.

9- التنسيق الاستقلابي

يسمح التنسيق بين بدائيات النوى باستخدام الموارد البيئية التي تعجز الخلايا منفردة عن استخدامها. و في بعض الحالات، يحدث هذا التنسيق بين خلايا متخصصة في المستعمرة. فمثلا، ترمز جينات في السيانو بكتيريا الأنابينية لبروتينات من أجل عملية التركيب الضوئي و من أجل تثبيت

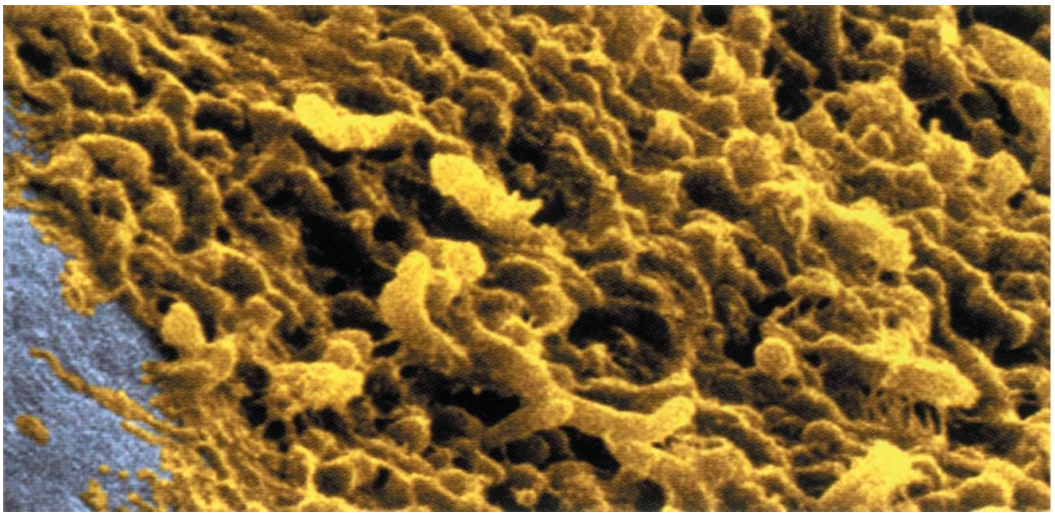
النتروجين. لكن تعجز الخلية منفردة عن انجاز كلتا العمليتين في نفس الوقت. و السبب أن عملية التركيب الضوئي تنتج الأكسجين الذي يعمل على تثبيط الأنزيمات الداخلة في تثبيت النتروجين.

فتشكل الأنابينية مستعمرات خيطية بدل أن تعيش كخلايا منعزلة عن بعضها (الشكل10). تقوم معظم خلايا الخيط بعملية التركيب الضوئي فقط، بينما تقوم قلة من الخلايا المتخصصة تدعى الكيسات المتغايرة Heterocyst بتثبيت النتروجين فقط و تحاط الكيسات المغايرة بجدار خلوي ثخين يمنع دخول الأكسجين المنتج من الخلايا المجاورة في تبادل مع الكاربوهيدرات.



الشكل (10): التنسيق الاستقلابي في مستعمرة لبدائيات النوى، في السيانو بكتيريا الأنابينية الخيطية تعمل خلايا تسمى الكيسات المغايرة على تثبيت النتروجين، بينما تقوم الخلايا الأخرى بالتركيب الضوئي، تتواجد الأنابينية في كثير من بحيرات الماء العذب.

يحدث التنسيق الاستقلابي في بعض أنواع بدائيات النوى في الغلاف السطحي للمستعمرات و الذي يعرف بالفيلم الحيوي (الشكل 11). تفرز خلايا المستعمرة جزيئات اشعارية (جزيئات التأشير) تمتد إلى الخلايا المجاورة، فينتج عنها نمو المستعمرة. و كذلك، تنتج الخلايا بروتينات تلصق الخلايا مع الركيزة و مع بعضها البعض.



الشكل (11): الفيلم الحيوي Biofilm ، إن الكتلة الصفراء هي عبارة عن لويحة سنية، و هي عبارة عن رقاقة حيوية تتشكل على سطوح الأسنان.

و تسمح القنيوات في الفيلم الحيوي بوصول الأغذية إلى داخل الخلايا، و طرح الفضلات منها. تتعاون بدائيات النوى المنتمية إلى مختلف الأنواع أيضا. فمثلا، تتعايش البكتيريا المستهلكة للسلفات مع الأركيا المستهلكة للميتان في تجمعات كروية الشكل في قاع المحيط. و يبدو أن البكتيريا تستخدم نواتج فضلات الأركيا، كالمركبات العضوية و الهيدروجين.

و تقوم البكتيريا بدورها بإنتاج مركبات تسهل استهلاك الأركيا للميتان. و إن لهذه المشاركة نتائج كونية: ففي كل سنة، تستهلك هذه الأركيا ما يقدر بثلاثمائة مليار كيلو غرام من الميتان، المسهم الأكبر في تأثير البيت الزجاجي.

بدائيات النوى Prokaryotes(2)

1- استكشاف المجموعات الرئيسة من البكتيريا

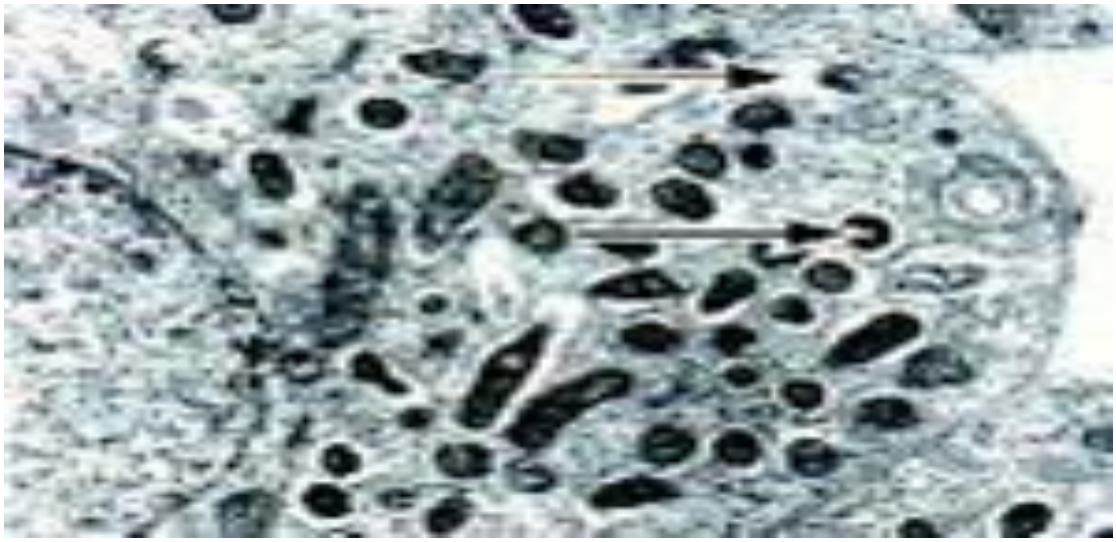
تضم البكتيريا الأغلبية الواسعة لبدائيات النوى التي يخشاها أكثر الناس، من أنواع ممرضة ينتج عنها التهاب الحلق و أمراض أخرى إلى أنواع نافعة تستخدم لصناعة الجبنة السويسرية. و تتظاهر في البكتيريا جميع الأنماط الأساسية للتغذية و الاستقلاب، و حتى المجموعة التصنيفية الصغيرة للبكتيريا قد تحتوي أنواعا تبدي الكثير من الأنماط المختلفة للتغذية.

إن أهم المجموعات الرئيسة من البكتيريا هي:

1- البروتيوبكتيريا Proteobacteria: تتضمن هذه الزمرة الواسعة و المتنوعة من البكتيريا سلبية الغرام ، ذاتيات التغذية الضوئية، و كيميائيات التغذية، و غيريات التغذية. و إن بعضا من البروتيوبكتيريا لا هوائي و البعض الآخر هوائي. و قد وصل علماء التصنيف الجزيئي في الوقت الحاضر الى تمييز خمس تحت مجموعات من البروتيوبكتيريا و هي:

أ- تحت مجموعة البروتيوبكتيريا ألفا Alpha: ترتبط العديد من الأنواع في تحت المجموعة هذه بشكل مباشر مع مضيفات حقيقية النوى. فعلى سبيل المثال، تعيش في عقد ضمن جذور البقوليات (نباتات عائلة الفول/البازلاء) حيث تحول النتروجين أنواع الريزوبيوم الجوي إلى مركبات تستخدمها النباتات المضيفة في اصطناع البروتينات.

و تنتج أنواع من جنس الأكروبكتريوم أوراما في النباتات، و يستخدم مهندسو الوراثة هذه البكتيريا في تحميل جينومات نباتات المحاصيل ب DNA غريب (الشكل12).

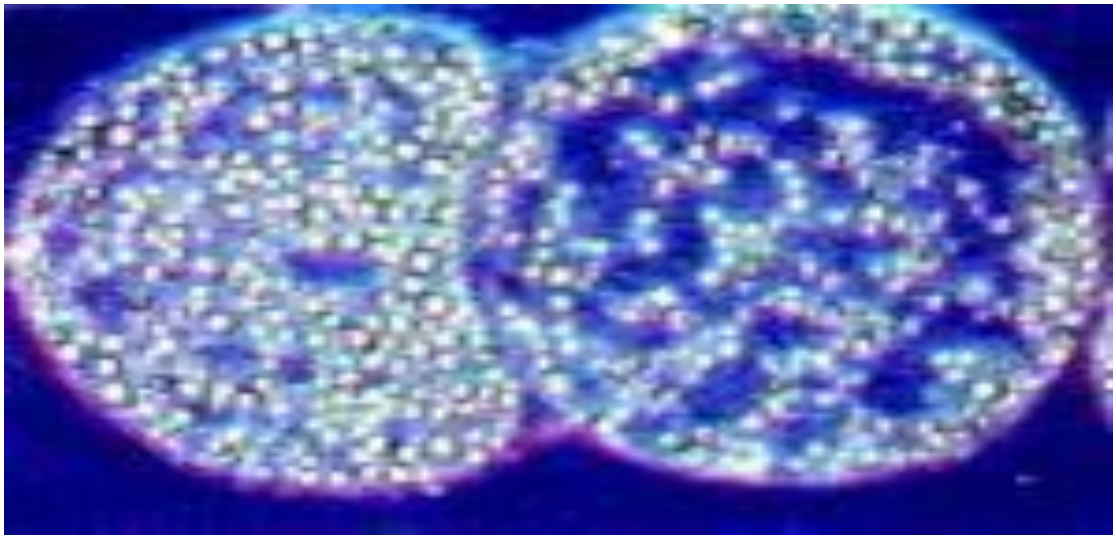


الشكل (12): الريزوبيوم (الأسهم)، داخل خلية جذر بقل (الفول)

ب–تحت مجموعة البروتيوبكتيريا بيتا Beta : تتضمن تحت هذه المجموعة المتنوعة في تغذيتها النتروزموناس nitrosomonas ، و هي جنس من بكتيريا التربة التي لها دور كبير في إعادة تجديد النتروجين عبر أكسدتها للنشادر NH_4 و إنتاج النتريت NO_2 في فضلاتها (الشكل 13).

الشكل (13): النتروزوموناس

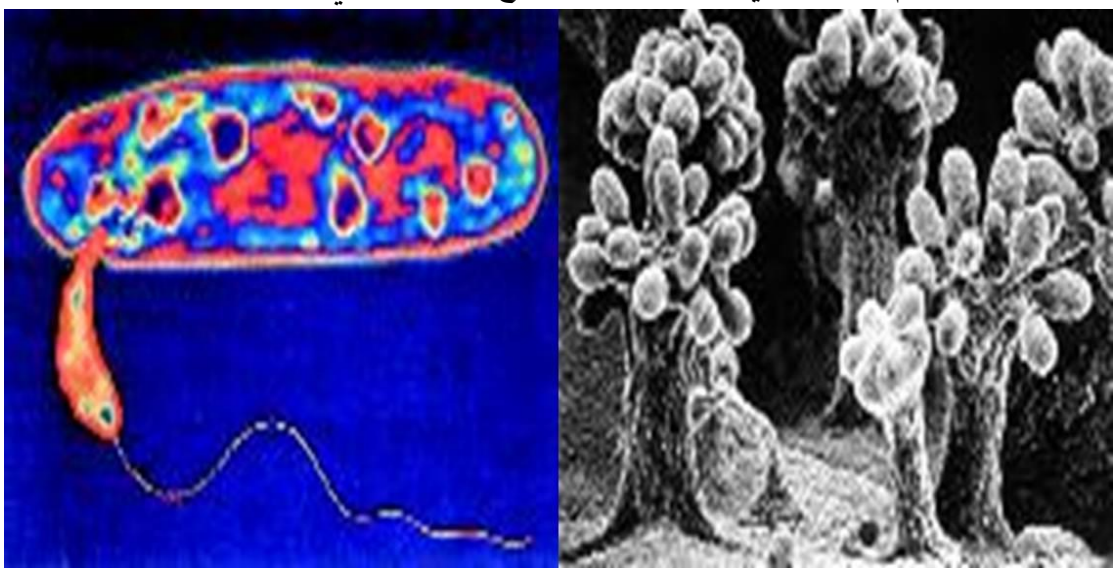
ت-تحت مجموعة البروتيوبكتيريا غاما Gamma : و تتضمن البكتيريا الكبريتية مثل الكروماتيوم و التي تحصل على الطاقة عبر أكسدتها H2S و إنتاجها الكبريت في فضلاتها (الشكل 14). و تعتبر بعض غيريات التغذية في البروتيوبكتيريا غاما عوامل ممرضة فمثلا، تسبب الليجيونيلاLegionella (الفيلقية) داء الليجيونيلات (الفيلقيات).، و السلمونيلا مسئولة عن بعض حالات التسمم الغذائي و تتسبب ضمات الكوليرا بداء الكوليرا. بينما تعد الايشيرشيا القولونية E. coli من المستوطنات المعروفة في أمعاء الإنسان و بعض الثدييات الأخرى، و لا تكون ممرضة في الغالب.



الشكل (14): الكروماتيوم، الكريات الصغيرة هي عبارة عن فضلات كبريتية

ث-تحت مجموعة البروتيوبكتيريا دلتا Delta: تتمن تحت المجموعة هذه البكتيريا المخاطية Myxobacteria (الشكل 15)، التي تشكل مستعمرات معقدة. فعندما تجف التربة، و ينضب الغذاء، تحتشد الخلايا لتشكل جسما مثمرا تنطلق منه أبواغ مقاومة. و تصبح الأبواغ فعالة، و تؤسس مستعمرات جديدة في البيئات الفضلى. و البديلوفيربيوس من البروتيوبكتيريا

دلتا التي تهاجم غيرها من البكتيريا، و هي تلحق فريستها بسرعة 100 ميكرومتر في الساعة، ثم تخترق الفريسة بحركة مغزلية تبلغ 100 دورة في الثانية الواحدة.

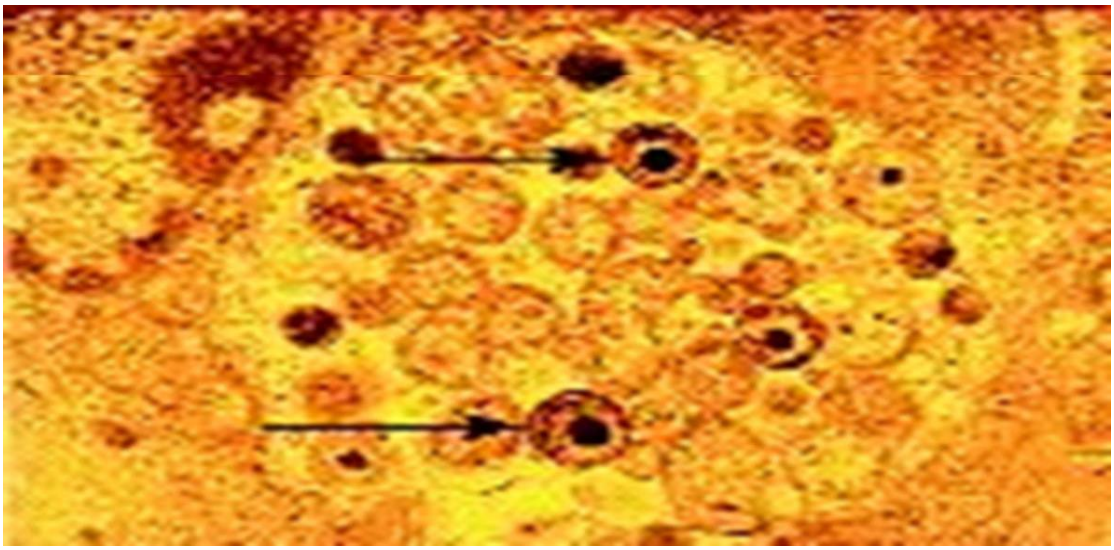


الشكل (15): – الأجسام الثمريةللميكسوباكتيروس، – البكتيريوفوروس

ج– تحت مجموعة البروتيوبكتيريا ايبسيلونEpsilon : معظم أنواع تحت المجموعة هذه ممرضة للانسان أو الحيوانات. و تتضمن البروتيوبكتيريا ايبسيلون الكامبيلوبكترCampylobacter التي تسبب انسمام دمويا و التهابا معويا، و الهيلكوباكتر (الملوية) البوابية Helicobacterpylori التي تسبب قرحات معدية (الشكل 16).

الشكل (16): **الهليوباكترالبوابية**

2- الكلاميديات (المتدثرات) Chlamydias : يمكن لهذه الطفيليات أن تحيا في خلايا الحيوان فقط، معتمدة في مصادرها الأساسية كال ATP على مضيفاتها. و تنفرد الجدر ايجابية الغرام للكلاميديات في أنها لا تحتوي على الببتيدوغليكان. و من أحد أنواعها، المتدثرات الحثرية Chlamydia trachomatis التي هي أشيع سبب للعمى في العالم (الشكل 17)، و تسبب أيضا التهاب الاحليل غير السيلاني Nongonococcalurethritis و هو أشيع داء منتقل بالجنس في الولايات المتحدة.



الشكل (17): **الكلاميديا (المتدثرة) (الأسهم) في خلية حيوانية.**

3- السبيروكيتات (الملتويات) Spirochetes (الشكل 18): تتلولب غيريات التغذية الحلزونية هذه في أوساطها بواسطة خيوط داخلية دوارة شبيهة بالسياط. و تعيش الكثير من الملتويات حرة. لكن بعضها الآخر طفيليات ممرضة سيئة كاللولبيات الشاحبة Treponema pallidum التي تسبب مرض السفلس (الزهري Syphilis) و البرولية البور غدورفيرية Borreliaburgdorferi التي تسبب داء لايم Lymedisease.

الشكل (18):**ليبتوسبيرل (البريمية) Leptospira من سبيروكيت (الملتويات).**

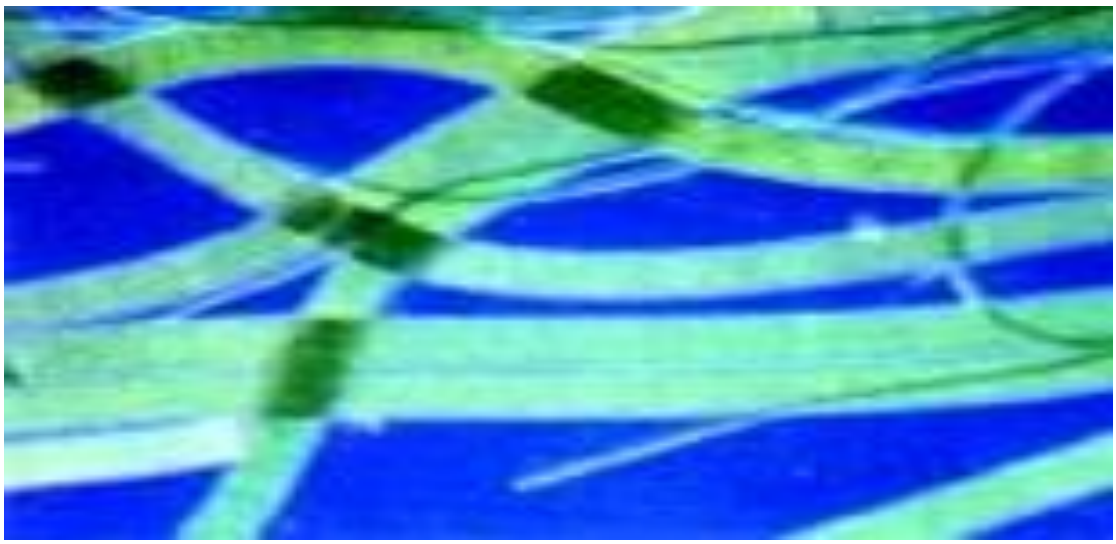
4- البكتيريا ايجابيات الغرام Gramme- positive: تضاهي البكتيريا ايجابيات الغرام البروتيوبكتيريا في تنوعها. و تشكل أنواع واحدة من تحت المجموعة هي الأكتينوميست (الشعيات) Actinomycetesmykes و تعني فطر، مستعمرات تحتوي على سلاسل خلوية متفرعة. و يسبب نوعان من الشعيات مرضي السل و الجذام. غير أن أكثر أنواع الشعيات تعيش حرة لتساعد في تحليل المواد العضوية في التربة، فمفرزاتها مسئولة نسبيا عن الرائحة "الترابية" للتربة الخصبة.

و تعمد مصانع الأدوية الى استنبات الأنواع القاطنة في التربة من جنس الستريبتوميسس (المتسلسلة) Streptomyces كمصدر للكثير من المضادات الحيوية Antibiotics بما فيها الستربتوميسين Streptomycin(الشكل 19). و بالإضافة للشعيات المستعمرة، تشتمل البكتيريا ايجابيات الغرام على أنواع مفردة عديدة كالعصوية الجمرية Bacillus anthracis التي تسبب داء الجمرة و المطثية الوشيقية Clostridium botulinum التي تسبب التسمم الوشيقي. و الأنواع المتعددة من القديات و العنقوديات هي أيضا بكتيريا ايجابيات الغرام.

الشكل (20): **الستريبتوميسس (المتسلسلة)** و هي مصدر للكثير من المضادات الحيوية.

5- السيانوبكتيريا Cyanobacteria: تعتبر ذاتيات التغذية الضوئية هذه بدائيات النوى الوحيدة التي تولد الأكسجين بعملية تشبه التركيب الضوئي في النبات. و تتوفر كل من السيانو بكتيريا المستعمرة أو المفردة حيثما وجد الماء، إذ تزود المنظومات البيئية البحرية و المائية العذبة بكميات هائلة من الطعام. و تحتوي بعض المستعمرات الخيطية على خلايا متخصصة في تثبيت النتروجين، تلك العملية التي تحول النتروجين الجوي إلى مركبات يمكنها أن تتحد في بروتينات و جزيئات عضوية أخرى (الشكل 21).

6-



الشكل (21): نوعان من أوسيلاتوريا Oscillatoria سيانو بكتيريا خيطية.

2- التأثير النافع و الضار لبدائيات النوى على الانسان

تميل أكثر بدائيات النوى شهرة لتكون تلك المسببة لأمراض الإنسان، لكن هذه العوامل الممرضة لا تشكل سوى جزءا صغيرا من أنواع بدائيات النوى. فالعديد من بدائيات النوى الأخرى تتأثر بشكل ايجابي مع الإنسان، حتى أنها تستخدم كأدوات أساسية في الزراعة و الصناعة.

بدائيات النوى الممرضة

لحقت السمعة السلبية (السيئة) ببدائيات النوى من أنواعها المتطفلة على الإنسان. فبدائيات النوى تتسبب بحوالي نصف مجمل أمراض الإنسان. و في كل عام يموت ما بين مليونين إلى ثلاثة ملايين شخص بمرض السل الرئوي، الذي تسببه عصيات الميكروباكتيريا (المتفطرات السلية Mycobacterium tuberculosis) و كذلك يموت مليونين آخرين جراء أمراض الاسهالات المختلفة التي تسببها بدائيات نوى أخرى.

يعد داء لايم Lymedisease أكثر الأمراض المحمولة بالهوام Pest- carrie انتشارا في الولايات المتحدة (الشكل 22). و سببه بكتيريا يحملها القرادticks الذي يتواجد على الغزلان و الفئران الحقلية. و يمكن لداء لايم ان لم يعالج أن يسبب التهاب مفاصل موهنا، و مرضا قلبيا، و اضطرابات عصبية.

تحدث بدائيات النوى الممرضة المرض عادة بانتاجها السموم، و التي تصنف الى ذيفانات خارجية و ذيفانات داخلية. و الذيفانات الخارجية Exotoxins هي بروتينات تفرزها بدائيات النوى. تنتج الهيضة Cholera (داء اسهالي خطير) عن ذيفانات خارجية تطلقها بروتيو بكتيريا ضمة الهيضة vibrio cholera.

الشكل (22): داء لايم: ينشر اللبود Ixodes من جنس القراد المرض بنقله سبيروكيت (ملتويات) Spirocheteبورليةبور غدور فيريBorreliaburgdorferi. يظهر طفح واسع حلقي الشكل في موضع عضة القراد كما تبين صورة ساق شخص مصاب.

تعمل هذه الذيفانات على تحريض الخلايا المعوية على اطلاق أيونات الكلور إلى لمعة الأمعاء، فيتبعها الماء بالأزمولية. و يمكن للذيفانات الخارجية أن تحدث مرضا حتى و ان غابت بدائيات النوى المصنعة لها. فمثلا، ينتج داء الانسمام الوشيقي القاتل عن الذيفان الوشيقي، و هو ذيفان خارجي تفرزه بكتيريا ايجابيات غرام عندما تخمر الأطعمة تدعى المطثيات الوشيقية Clostridium botulinum المعلبة بشكل غير ملائم.

أما الذيفانات الداخلية endotoxins فهي مكونات عديد السكريد الشحمي lipopolysaccharide للغشاء الخارجي للبكتيريا سلبيات الغرام. و بخلاف الذيفانات الخارجية، لا تنطلق الذيفانات الداخلية إلا بعد موت البكتيريا أو هدم جدرها الخلوية. و تعد جميع الأنواع تقريبا من جنس السالمونيلا Salmonella أمثلة على البكتيريا المنتجة للذيفانات الداخلية و التي لا تتواجد في الأحوال الطبيعية

عند الحيوانات السليمة. و تسبب السالمونيلا التيفية الحمى التيفية typhoidfever، و كذلك الكثير من أنواع السالمونيلا الأخرى، و كثيرا ما يتواجد بعضها في الدواجن مسببة التسمم الغذائي.

منذ القرن التاسع عشر، و التحسينات في الإصحاح في العالم المتحضر تقلل من مخاطر بدائيات النوى الممرضة. فلقد أنقذت المضادات الحيوية الكثير من الأرواح، و قللت من وقوع الأمراض. و مع ذلك، نشأت حديثا المقاومة للمضادات الحيوية في كثير من سلالات بدائيات النوى. إن سرعة تناسل بدائيات النوى يمكن جيناتها التي تمنح المقاومة من التضاعف بسرعة من بين جماعات بدائيات النوى كنتيجة للاصطفاء الطبيعي، و تستطيع هذه الجينات أن تنتشر إلى الأنواع الأخرى عبر النقل الجينيhorizontal genetransfer .

يستطيع النقل الجيني الأفقي نشر الجينات بصحبة الفوعة virulence محولة بدائيات النوى غير الضارة في الحالة الطبيعية الى عوامل ممرضة قاتلة. فمثلا، الايشيرشيا القولونية في أحوالها العادية معايش غير ضار في أمعاء الإنسان، لكن نشأت عنها سلالات ممرضة تسبب إسهالا مدمى. و إن واحدا من أخطر هذه الشلالات يدعى O 157: H7، لفت انتباه العلماء و هو يحمل اليوم تهديدا عالميا، اذ يوجد كل عام في الولايات المتحدة و حدها 75000 حالة من العدوى ب O 157: H7 و أكثرها ناتج عن لحم البقر الملوث.

و في سنة 2001، قام فريق علماء عالمي بسلسلة جينوم ال O 157: H7 و قارنوه مع جينوم سلالة غير ضارة من الايشيرشيا القولونية تدعى ب k– 12 و اكتشفوا أن 1387 من أصل 5416 جين في ال O 157: H7 لا تتطابق مع ذلك في ال k– 12 فهذه ال 1387 جينا لا بد و أنها اندمجت في جينوم ال O 157: H7 عبر النقل الجيني الأفقي، و يتم ذلك على الأغلب بفعل ملتهمات البكتيريا (العاثيات) Bactriophage.

و يصاحب الكثير من الجينات المستوردة الغزو البكتيري الممرض للمضيف و مثال عليها، بعض الجينات التي ترمز لذيفانات خارجية تمكن ال O 157: H7 من الالتصاق بجدار الأمعاء و استخلاص العناصر الغذائية.

تشكل بدائيات النوى الممرضة تهديدا كامنا كأسلحة إرهابية حيوية. ففي تشرين الأول من عام 2001، وجدت الأبواغ الداخلية لعصيات الجمرة المسببة لداء الجمرة الخبيثة في مغلفات أرسلت الى أعضاء في وسائل الإعلام و مجلس الشيوخ الأمريكي. و قد أحدثت ثمانية عشرة حالة من الجمرة الخبيثة، و مات اثرها خمسة. و من بدائيات النوى الأخرى المرشحة لتكون أسلحة: المطثيات الوشيقية، و اليرسينيا الطاعونية Yersinia pestis التي تسبب الطاعون. و لقد حث التهديد على تكثيف البحث في أنواع بدائيات النوى الممرضة.

ففي أيار من عام 2003، نشر باحثون في معهد الأبحاث الجينية لماريلاند الجينوم الكامل لسلالة عصية الجمرة التي استخدمت في هجمات تشرين الأول 2001، على أمل تطوير لقاحات و مضادات حيوية جديدة.

3- بدائيات النوى بين البحث و التقانة

اذا نظرنا بإيجابية، وجدنا أنفسنا نجني منافع كثيرة من المقدرات الاستقلابية لبدائيات النوى. فمثلا، منذ أمد طويل و الانسان يستخدم البكتيريا لتحويل الحليب إلى جبن و لبن رائب. و في السنوات الأخيرة، قاد ازدياد فهمنا لبدائيات النوى الى ثورة في التطبيقات الجديدة للتقانة الحيوية. و من أهم هذه التطبيقات نذكر:

- يعد استخدام الايشيرشيا القولونية في الاستنساخ الجيني،
- و الأكروبكتريوم المورمة Acrobacteriumtumefaciens في إنتاج نباتات طافرة transgenic (بالنقل الجيني).
- تعد بدائيات النوى عوامل أساسية في العلاج الحيوي Bioremediation و في إزالة الملوثات من التربة أو الهواء أو الماء فمثلا، تقوم البكتيريا اللاهوائية و الأركيا بتفكيك المادة العضوية في المياه الآسنة، محولة إياها إلى مادة يمكن استخدامها كنفايات دفينة أو أسمدة بعد تعقيمها كيميائيا.
- تشمل تطبيقات المعالجات الحيوية الأخرى تحطيم النفايات المشعة و تنظيف التسربات النفطية (الشكل 23).
- تساعد بدائيات النوى في الصناعات المعدنية في استرجاع المعادن من خاماتها. ففي كل سنة، تسهم البكتيريا في استخراج أكثر من ثلاثين مليار كيلو غرام نحاس من سلفيد النحاس.

الشكل (23): المعالجة الحيوية للتسربات البترولية، يرش العاملون الأسمدة على الشاطئ المثقل بالنفط في ألاسكا. تحرض الأسمدة نمو بكتيريا متوطنة تباشر بهدم النفط، تسرع عملية التحطيم الطبيعية خمس مرات.

- بتسخيره بدائيات نوى أخرى قادرة على استخلاص الذهب من خاماته، يقوم أحد المصانع في دولة غانا الإفريقية بمعالجة مليون كيلو غرام من ركازة الذهب كل يوم، بما يعادل نصف المبادلات الأجنبية لغانا.
- وعبر الهندسة الجينية، استطاع الإنسان في وقتنا الراهن تعديل بدائيات النوى لتنتج الفيتامينات، والمضادات الحيوية، و الهرمونات و غيرها من المنتجات.

ان واحدة من أكثر الأفكار أصالة في تعديل بدائيات النوى أتت على يد كريك فينتير أحد قادة مشروع الجينوم البشري والذي أعلن هو وزملاؤه أنهم على وشك بناء "الصبغيات الصنعية" لبدائيات النوى، لينتج عن ذلك أنواعا جديدة بأكملها من لا شيء. ويأمل فنتير بتصميم بدائيات النوى القادرة على انجاز مهام خاصة، كانتاج كميات كبيرة من الهيدروجين لتقليل الاعتماد على الوقود المستحاثي (الفسلي).

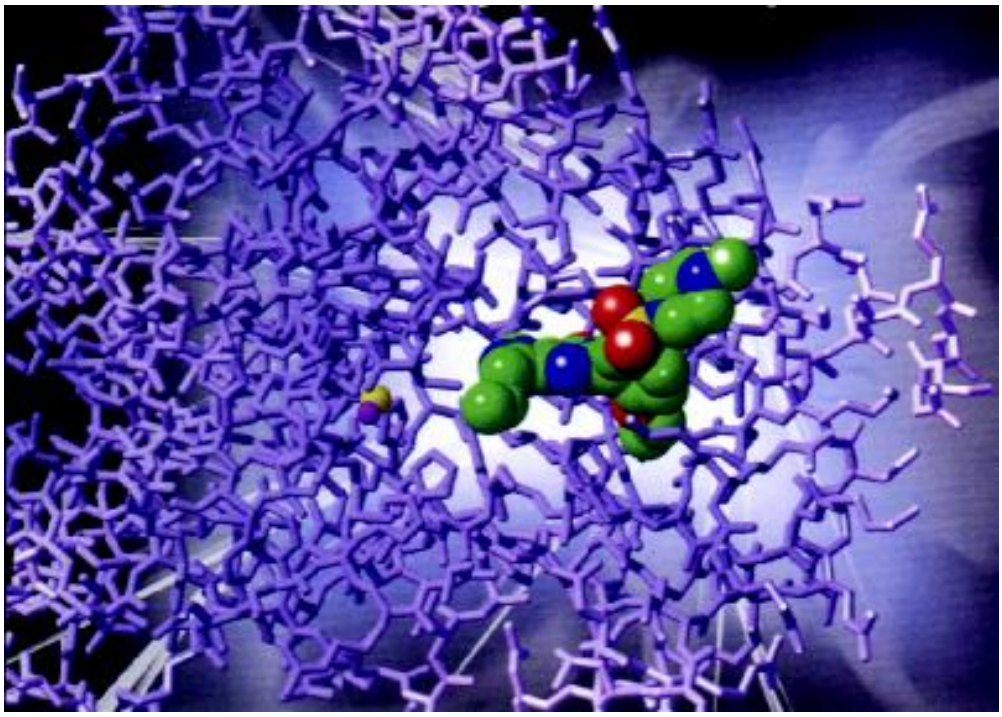
تعود الفائدة الكبيرة لبدائيات النوى من تنوع أشكال تغذيتها واستقلابها. ولقد نشأت جميع هذه التنوعات الاستقلابية قبل ظهور المستجدات البنيوية لتعلن نشأة الكائنات الحية حقيقية النوى.

الاتصال الخلوي Cell Communication

أولا: الانترنيت الخلوي The cellular Internet

لا يمكن لأحد أن ينكر أهمية الاتصالات في حياتنا مثل الهواتف الخلوية، و الشبكات، و البريد الالكتروني و الرسائل المباشرة. و بذلك فان دور الاتصال في حياتنا حاسم على المستوى الخلوي، و الاتصال بين خلية و أخرى أساسي للكائنات الحية عديدة الخلايا كالإنسان. يجب على العدد الهائل من الخلايا في جسم الانسان أن تتصل بعضها مع بعض من أجل تنسيق نشاطاتها بطريقة تمكن الكائن الحي من التطور من بيضة ملقحة، ليعيش و يتناسل بدوره. و يعد الاتصال بين الخلايا مهما للكثير من الكائنات الحية وحيدات الخلية.

لقد تمكن البيولوجيون من خلال دراسة كيفية ارسال الخلايا اشارات الى بعضها البعض و كيفية تفسير الخلايا للإشارات الواردة اليها من اكتشاف آليات عامة للتنظيم الخلوي تعد شاهدا اضافيا على الارتباط التطوري لكل الحياة. و تظهر نفس المجموعة الصغيرة من آليات التأشير الخلوي بشكل متكرر في العديد من الأبحاث البيولوجية، بدءا من التطور الجنيني وصولا الى فعل الهرمون ثم الى السرطان. فمثلا ينجم توسع الأوعية الدموية عن مسلك تأشير شائع بين خلية و أخرى، و حالما تتوقف الاشارة فان الاستجابة تتوقف بفعل الانزيم المشار اليه باللون الارجواني في الشكل (82).

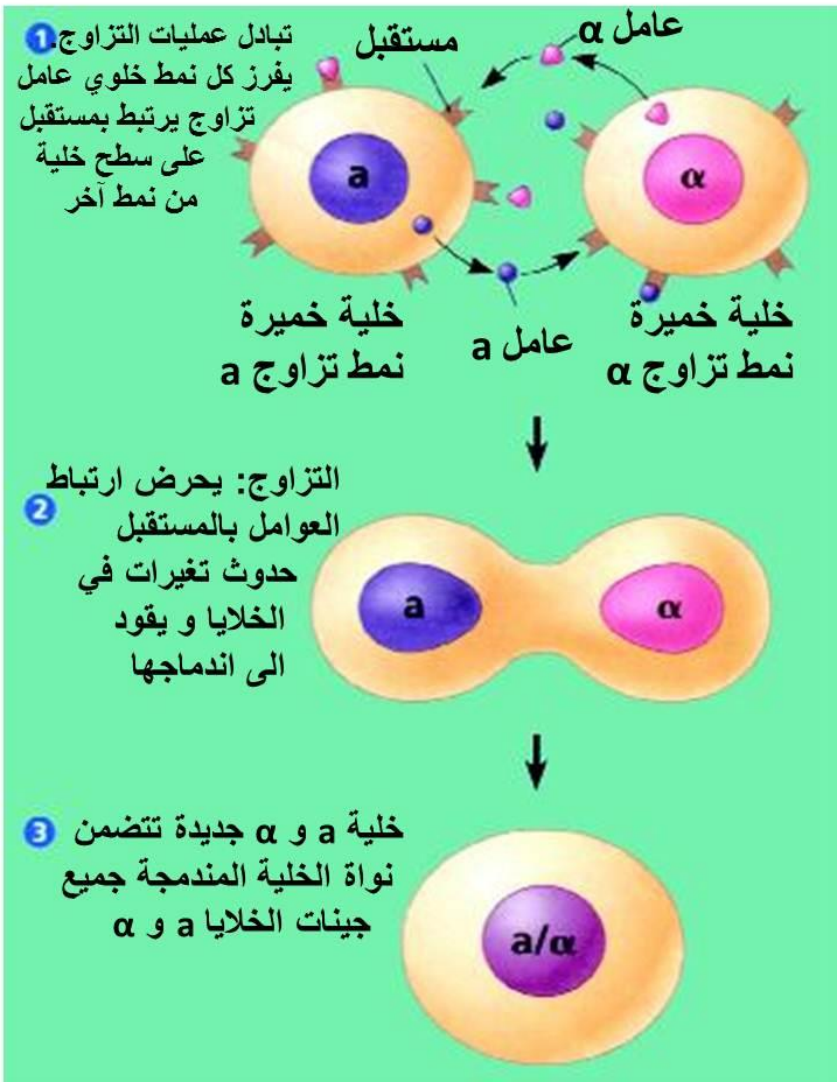


الشكل (82): الفياغرا (متعدد الألوان) مرتبط بأنزيم (بنفسجي) يلعب دورا في مسلك الاشارة

و يظهر الشكل أيضا جزيئة متعددة الألوان تحصر عمل هذا الأنزيم و تحافظ على توسع الأوعية الدموية. و غالبا ما تستعمل هذه المركبات التي تثبط عمل الانزيمات لغايات علاجية.

ثانيا: تطور التأشير الخلوي Evolution of cell signaling

يشكل الجنس أحد عناوين محادثات الخلية على الأقل للخميرة Saccharomyes cerevisiae، التي استخدمت منذ آلاف السنين لصنع الخبز، و النبيذ، و الجعة. و تعلم الباحثون أن خلايا هذه الخميرة تميز أزواجها عن طريق اشارات كيميائية. و هناك جنسان أو نمطان للتزاوج يدعيان عامل a و α (الشكل 83)، تفرز خلايا من نمط التزاوج a اشارة كيميائية تدعى عامل α، يستطيع ان يرتبط ببروتينات مستقبلة نوعية على خلايا α مجاورة.

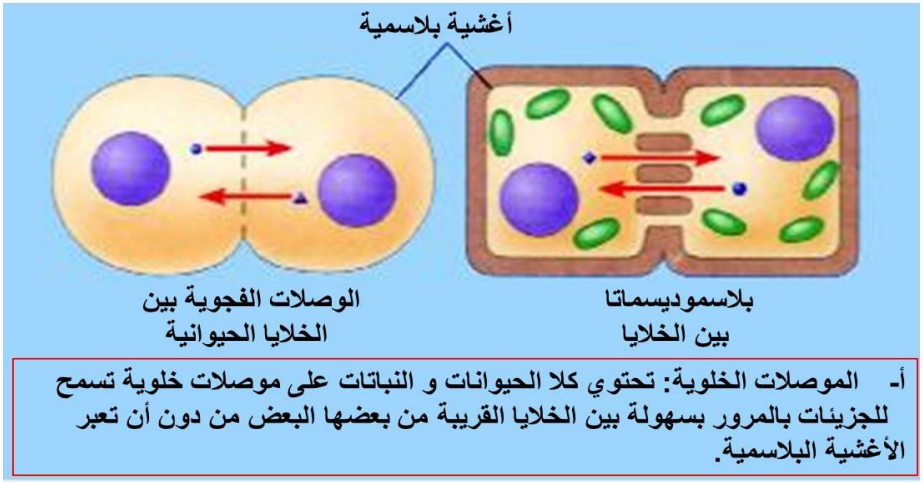


الشكل (83): الاتصال بين خلايا خمائر متزاوجة. تستعمل خلايا Saccharomyces cerevisiae التأشير الكيميائي للتعرف على خلايا من نمط تزاوج معاكس و تبتدئ عملية التزاوج، و يدعى نمطا التزاوج و اشارتهما الكيميائية المتماثلة، أو عوامل التزاوج ب a و α.

و في نفس الوقت تفرز خلايا α عامل α، و الذي يرتبط بمستقبلات على خلايا a و من دون الدخول فعليا الى الخلايا، يسبب عامل التزاوج نمو الخلايا باتجاه بعضها البعض و يؤديان الى تغيرات خلوية أخرى. و النتيجة هي اندماج أو تزاوج خليتين من نمطين متعاكسين. و تحتوي الخلية الناتجة عن هذا التزاوج على جميع المورثات الموجودة في الخليتين الأصليتين، على شكل خليط من المواد الوراثية يمد سلالات الخلية بمزايا ستظهر في الانقسامات اللاحقة.

ثالثا: التأشير موضعي و التأشير بعيد المسافة local and long– distance signaling

كما هو الحال في خلايا الخمائر، فان خلايا الكائن الحي العديد الخلايا تتصل عادة عن طريق مراسيل كيميائية تستهدف خلايا قد تكون متجاورة مباشرة أو لا تكون. تملك الحيوانات و النباتات موصلات خلوية و التي، حيث وجدت، تصل مباشرة سيتوبلاسما الخلايا المتجاورة (الشكل 84- أ). في هذه الحالات تستطيع مواد التأشير المنحلة في العصارة الخلوية أن تمر بحرية بين الخلايا المتجاورة.



الشكل (84 أ – ب): الاتصال بين الخلايا عن طريق الاتصال المباشر

و من أهم أنماط التأشير نذكر:

أ- **التأشير بالتعرف الخلوي** : قد تتخاطب خلايا الحيوانات عبر طريق اتصال مباشر بين جزيئات على سطح الخلية مرتبطة بغشاء (الشكل 84- ب). يدعى هذا النوع من **التأشير بالتعرف الخلوي** cell- cell reconition، و يعد مهما في عمليات التطور الجنيني و الاستجابة المناعية.

ب- **التأشير نظير الصماوي:** تفرز في حالات أخرى كثيرة جزيئات المراسيل من خلية التأشير. يسافر بعضها مسافات قصيرة فقط، تؤثر هكذا منظمات موضعية، على خلايا مجاورة لها. و تعد عوامل النمو أحد أصناف المنظمات الموضعية في الحيوانات، و هي مركبات تقوم بتنبيه خلايا هدف مجاورة كي تنمو و تتضاعف. يستطيع عدد كبير من الخلايا أن يستقبل و يستجيب في آن واحد لجزيئات عامل النمو المنتجة من قبل خلية مفردة بالقرب منها. و يدعى هذا النمط من التأشير الموضعي في الحيوانات **بالتأشير نظير الصماوي** (الشكل 85- أ).

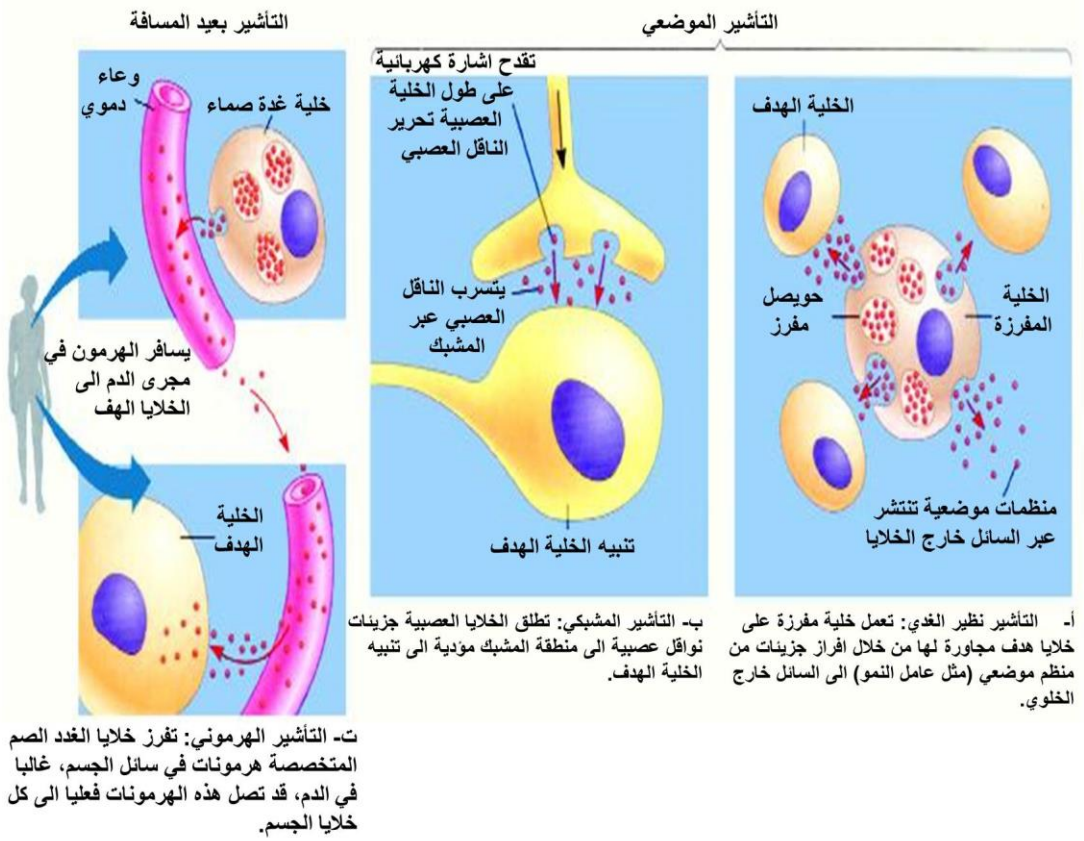
ت- **التأشير المشبكي** : هناك نمط آخر أكثر تخصصا في التأشير الموضعي يدعى **التأشير المشبكي**، يحدث هذا النمط في الجهاز العصبي للحيوانات. تقدح اشارة كهربائية على طول الخلية العصبية افراز اشارة كيميائية على شكل جزيئات نواقل عصبية تنتشر عبر المشبك، الذي هو المكان الضيق بين الخلية العصبية و الخلية الهدف، التي غالبا ما تكون خلية عصبية أخرى (الشكل 85- ب).

ث- **التأشير الصماوي** : تستعمل الحيوانات و النباتات كيميائيات تدعى الهرمونات للتأشير بعيد المسافة. ففي حال التأشير الهرموني في الحيوانات ، و الذي يعرف أيضا **بالتأشير الصماوي**، تقوم خلايا متخصصة بتحرير جزيئات هرمونية الى الأوعية في جهاز الدوران الذي يقوم بدوره بنقل هذه الهرمونات الى الخلايا الهدف في أقسام أخرى من الجسم (الشكل 85- ت).

ان انتقال الاشارة عبر الجهاز العصبي يمكن أن يعتبر أيضا مثالا على **التأشير بعيد المدى**. تسافر الاشارة الكهربائية على طول خلية عصبية و من ثم تتحول الى اشارة كيميائية تعبر المشبك الى خلية عصبية.

ماذا يحدث عندما تصادف الخلية اشارة ما؟

يجب أن يتم التعرف الى الاشارة عن طريق جزيئة مستقبلة نوعية، و من ثم تغيير المعلومات التي تحملها الاشارة الى شكل آخر، بمعنى تحويلها طاقيا داخل الخلية قبل أن تستجيب الخلية.



الشكل (85- أ ، ب، ت): الاتصال الخلوي الموضعي و البعيد المسافة في الحيوانات. في التأشير الموضعي و البعيد المسافة تستطيع خلايا هدف نوعية فقط أن تتعرف و تستجيب لإشارة كيميائية مقدمة.

رابعا: المراحل الثلاث للإشارات الخلوية: نظرة أولية

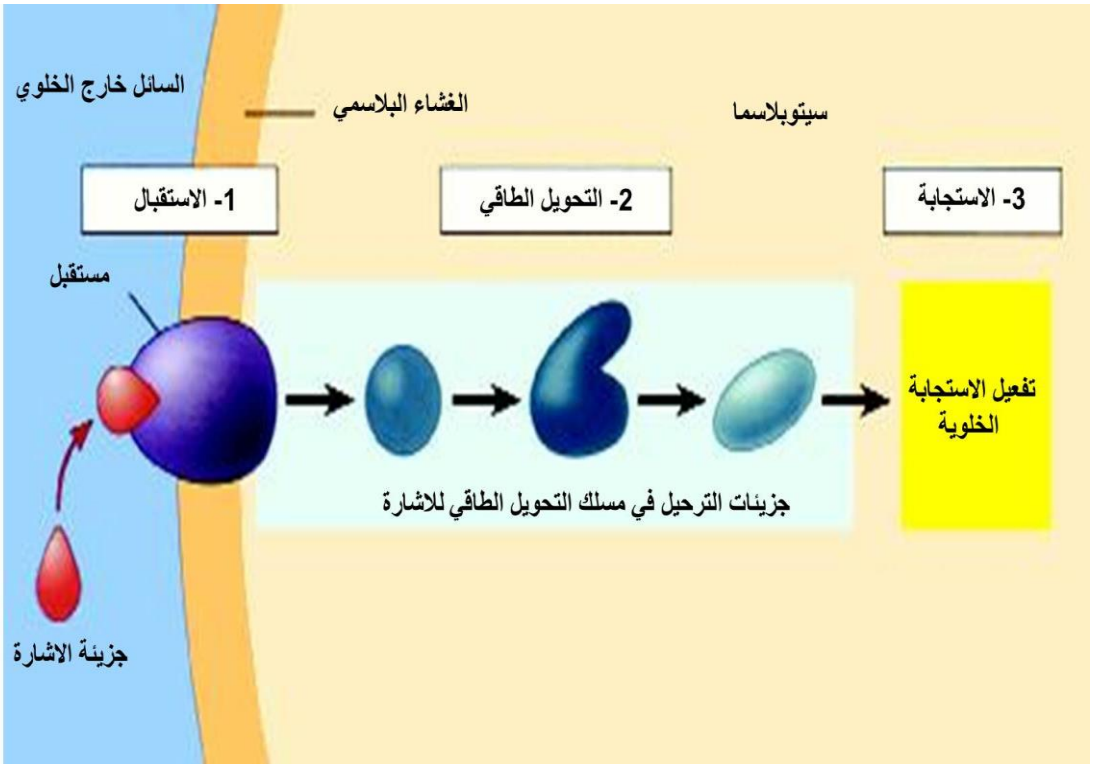
ان فهمنا الحالي لكيفية تأثير المراسل الكيميائية عبر مسالك التحويل الطاقي للإشارة يعود بالأصل الى العمل الرائد ل ايرل سذرلاند و الذي حصل بموجبه على جائزة نوبل عام 1971.

لقد اقترح أن العملية التي تتم في النهاية المستقبلة لمحادثة خلوية يمكن أن تقسم الى ثلاث مراحل هي : – الاستقبال، – التحويل الطاقي، – الاستجابة (الشكل 86).

أ- الاستقبال: هو قيام الخلية الهدف باكتشاف جزيئة اشارة قادمة من خارج الخلية. و يتم اكتشاف الاشارة الكيميائية عندما ترتبط بالبروتين المستقبل المتوضع على سطح الخلية أو بداخلها.

ب- التحويل الطاقي: ان ارتباط جزيئة الاشارة يغير بطريقة ما البروتين المستقبل لتبدأ عملية التحويل الطاقي. ان مرحلة التحويل الطاقي تحول الاشارة الى شكل يؤدي الى استجابة خلوية نوعية.

ت- الاستجابة: في المرحلة الثالثة من التأشير الخلوي تقدح اشارة التحويل الطاقي في النهاية استجابة خلوية نوعية. يمكن أن تكون الاستجابة على شكل أي نشاط خلوي يمكن تصوره مثل التحفيز عن طريق أنزيم، (الغليكوجين فوسفوريلاز مثلا)، أو تفعيل جينات نوعية في النواة و غيرها.



الشكل (86): نظرة شاملة على التأشير الخلوي : يتم تقسيم التأشير الخلوي الى ثلاث مراحل انطلاقا من منظور استقبال الخلية للرسالة: – استقبال الاشارة، – التحويل الطاقي للاشارة، – الاستجابة الخلوية.

الاستقبال (ترتبط جزيئة الاشارة بالبروتين المستقبل محدثة تغييرا في شكله)

يقوم البروتين المستقبل الموجود على أو في الخلية الهدف بالسماح للخلية بأن تسمع الاشارة و أن تستجيب لها. تعد جزيئة الاشارة متممة من حيث الشكل لموقع محدد على المستقبل حيث ترتبط هناك مثل المفتاح في القفل أو الركازة في الموضع المحفز من الأنزيم. تتصرف جزيئة الاشارة على أنها ربيطة، و هي تسمية لجزيئة ترتبط نوعيا بجزيئة أخرى غالبا ما تكون أكبر منها حجما.

ان معظم مستقبلات الاشارة هي من بروتينات الغشاء البلاسمي. و تكون ربائطها منحلة بالماء و كبيرة جدا بحيث يصعب عبورها بحرية عبر الغشاء البلاسمي. لكن هناك مستقبلات اشارة أخرى متوضعة داخل الخلية و سنناقشها فيما يلي قبل العودة الى مستقبلات الغشاء.

1- المستقبلات داخل الخلوية:

توجد البروتينات المستقبلة داخل الخلايا اما **في السيتوبلاسما** أو في **نواة الخلية** الهدف. يمر مرسال كيميائي عبر الغشاء البلاسمي للخلية الهدف من أجل الوصول لهذا المستقبل. و يستطيع عدد من جزيئات التأشير الهامة القيام بهذا لكونها اما جزيئات كارهة للماء أو أنها صغيرة بشكل كاف لتجتاز الباطن الفوسفوليبيدي للغشاء.

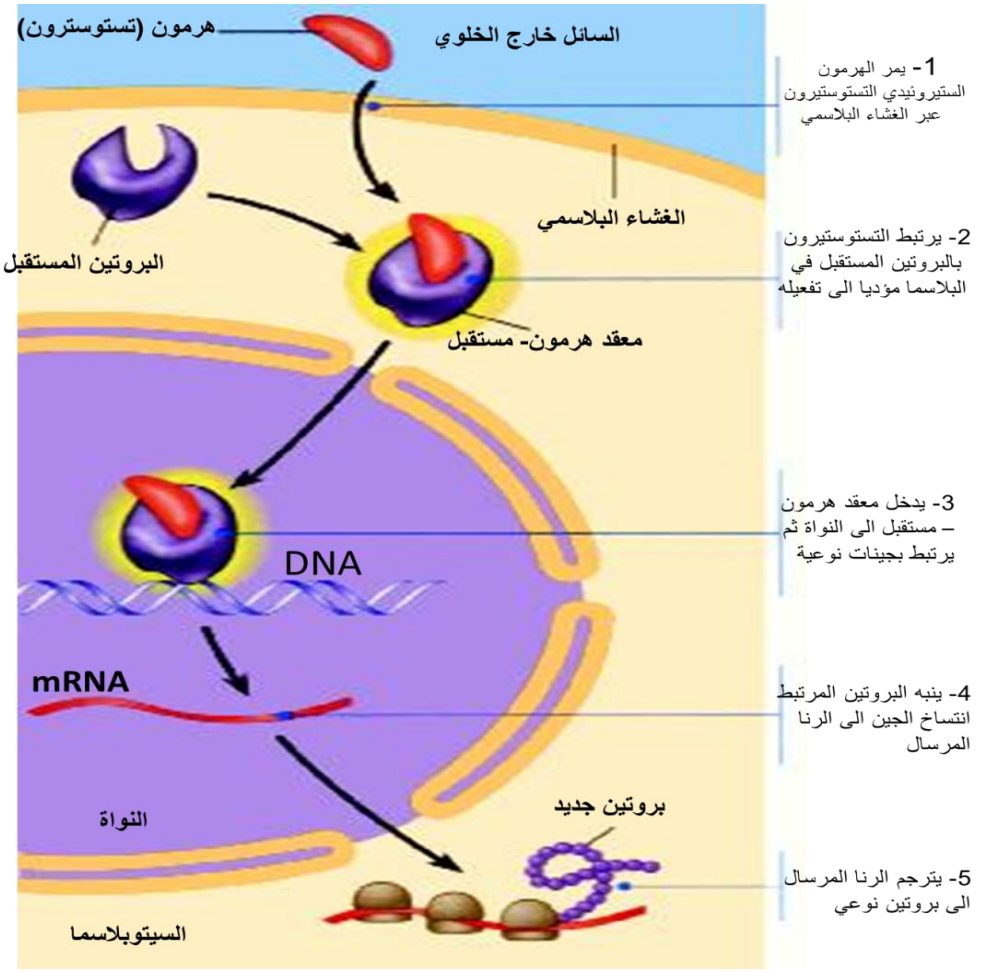
و تتضمن المراسيل الكيميائية الكارهة للماء الهرمونات الستيروئيدية و هرمونات الدرق في الحيوانات. يمثل سلوك هرمون التستوستيرون الهرمونات الستيروئيدية، حيث يسافر هذا الهرمون المفرز من الخصية عبر الدم و يدخل جميع خلايا الجسم. يرتبط هرمون التستوستيرون بالبروتين المستقبل له في سيتوبلاسما الخلية الهدف و التي تحتوي على مستقبلات له دون غيرها من الخلايا، مؤديا الى تفعيل هذه الخلية (الشكل 87). و عند ارتباط الهرمون بالمستقبل يقوم الشكل الفعال من البروتين المستقبل بدخول النواة و تشغيل جينات نوعية تتحكم بالخصائص الجنسية الذكرية.

كيف يقوم المعقد الفعال (المكون من هرمون – مستقبل) بتشغيل الجينات؟

من المعروف أن الجينات في دنا الخلية تعمل عن طريق انتساخها و تحويلها الى RNA مرسال ، و الذي بدوره يترك النواة و من ثم يترجم الى بروتين نوعي بواسطة الريبوزومات في السيتوبلاسما (الشكل 87). تتحكم بروتينات خاصة تدعى عوامل الانتساخ باختيار الجينات التي سوف يتم تشغيلها و التي

سوف يتم انتساخها الى ال (RNA) المرسال في خلية معينة و في وقت معين. يلعب مستقبل التستوستيرون عند تفعيله دور عامل الانتساخ الذي يقوم بتشغيل جينات نوعية.

و بعمله كعامل انتساخ، ينفذ مستقبل التستوستيرون بنفسه عملية التحويل الطاقي الكامل للإشارة. هذا و تعمل معظم المستقبلات داخل الخلوية الأخرى بنفس الطريقة، على الرغم من أن العديد منها موجود في النواة قبل أن تصل اليها جزيئة الاشارة (على سبيل المثال مستقبل هرمون الدرق).
و انه لمن المثير للاهتمام معرفة أن العديد من هذه البروتينات المستقبلة داخل الخلوية متشابهة من حيث البنية، مما يوحي بقرابة تطورية.



الشكل (87): التآثر بين الهرمون الستيروئيدي و المستقبل داخل الخلوي.

2- مستقبلات في الغشاء البلاسمي:

ترتبط أغلب جزيئات الاشارة المنحلة بالماء بمواقع نوعية على البروتين المستقبل المنغمس داخل الغشاء البلاسمي للخلية. ان مستقبلا كهذا يقوم عندما ترتبط به ربيطة بنقل المعلومات من المحيط خارج الخلوي الى داخل الخلية عن طريق التغير في الشكل أو عن طريق التكدس. نستطيع أن نرى كيف تعمل مستقبلات الغشاء اذا نظرنا الى ثلاثة أنماط رئيسية هي: –

- المستقبلات المرتبطة بالبروتين –G.
- مستقبلات التيروزين كيناز.
- مستقبلات القنيوات الأيونية.

- المستقبلات المرتبطة بالبروتين –G: هو مستقبل في الغشاء البلاسمي يعمل بمساعدة بروتين يدعى G. يستعمل العديد من جزيئات الإشارة المختلفة المستقبلات المرتبطة بالبروتين G با فيها عوامل التزاوج في الخمائر. تختلف هذه المستقبلات من حيث مواقع الإرتباط من أجل التعرف على جزيئات الإشارة و بروتينات G داخل الخلية. و بالرغم من ذلك فإن البروتينات المستقبلة المرتبطة بالبروتين G متشابهة بشكل واضح من حيث البنية. إذ يملك كل منها سبعة حلزونات (α) في عرض الغشاء. تمتلك عائلة كبيرة من البروتينات المستقبلة في حقيقيات النوى هذه البنية الثانوية. إن منظومات المستقبل المرتبطة بالبروتين G منتشرة بشكل واسع و لها وظائف متعددة، تتضمن أدواراً في التطور الجيني و الاستقبال الحسي. فعلى سبيل المثال تعتمد الرؤية و الشم في الإنسان على تلك البروتينات.

إن منظومات البروتينات تؤثر في العديد من الأمراض البشرية، بما فيها الأخماج (الأنتانات) الجرثومية. إن البكتيريا المسببة للكوليرا، و السعال الديكي، و التسمم الوشيقي و أنتانات أخرى، تجعل ضحيتها مريضاً عن طريق إنتاج سماً يتدخل بعمل البروتين G. و لقد أدرك الباحثون في مجال الأدوية أن 60 %من كل الأدوية المستعملة اليوم تستمد تأثيرها من خلال السيطرة على مسالك البروتين G.

- مستقبلات التيروزين كيناز: يستطيع مستقبل التيروزين كيناز أن يطلق أكثر من مسلك للتحويل الطاقي للإشارة في وقت واحد. و بذلك يساعد الخلية في تنظيم و تنسيق أوجه كثيرة تخص نموها و تناسلها. يعد هذا المستقبل صنفاً أساسياً من مستقبلات الغشاء البلاسمي يختص بامتلاكه فاعلية أنزيمية.

و نشير إلى أن الكيناز هو أنزيم يحفز انتقال مجموعات الفوسفات. يعمل القسم البروتيني للمستقبل الممتد داخل السيتوبلاسما كأنزيم يدعى بالتيروزين كيناز، و هو يحفز انتقال مجموعات فوسفات من ال ATP إلى الحمض الأميني التيروزين على البروتين الركازة. و بهذا تعد مستقبلات التيروزين كيناز مستقبلات غشائية تربط جذور فوسفات بالتيروزين. يمكن لمعقد مستقبل التيروزين كيناز أن يفعل عشرة أو أكثر من مسالك التحويل الطاقي المختلفة و الاستجابة الخلوية.

إن القدرة على إطلاق العديد من المسالك من خلال ارتباط واحد لربيطة يعتبر الإختلاف الأساسي بين مستقبل التيروزين كيناز و المستقبل المرتبط بالبروتين G. يمكن لمستقبلات التيروزين كيناز الشاذة التي تشكل مثنويات حتى في غياب جزيئات الإشارة أن تسهم في بعض أنواع السرطان.

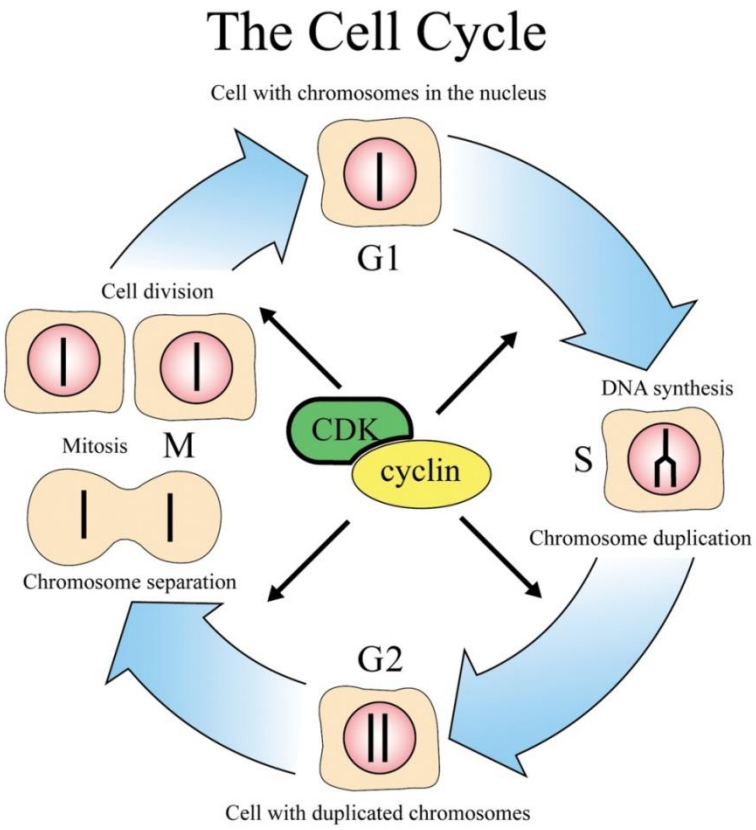
- مستقبلات القنيوات الأيونية: إن القنيوة الأيونية ذات البوابة المحروسة بالربيطة نمط من مستقبلات الغشاء، تمتلك منطقة تعمل كبوابة عندما يغير المستقبل شكله. عند ارتباط جزيئة الإشارة كربيطة بالبروتين المستقبل ، تفتح البوابة أو تغلق و بذلك تتيح أو تحصر تدفق شوارد نوعية، مثل الصوديوم أو الكالسيوم، عبر قنيوة المستقبل. و مثل المستقبلات الأخرىفإن هذه البروتينات ترتبط بالربيطة في موقع نوعي على الجانب خارج الخلوي.

الدورة الخلوية (1) Cell Cycle

أولا: الدورة الخلوية في حقيقيات النوى:

تقسم الدورة الخلوية في حقيقيات النوى الى ثلاث مراحل هي – المرحلة البينية Interphase و مرحلة الانقسامات (الخيطي Mitosis والمنصف Miosis) و من ثم انشطار الخلية Cell Division . و تطرأ على النواة بعض التبدلات فيما بعد أثناء التمايز الخلوي حيث تمر بمرحلتين رئيسيتين في دورة حياتها هما:

1 . المرحلة البينية Interphase: تتميز بتعاقب الكثير من الحوادث حيث تحصل فيها زيادة حجم الخلية و الكتلة الجافة، و تتوقف الفترة الزمنية لإكمالها على العوامل الغذائية و درجات الحرارة و نوع النسيج ، و تشتمل المرحلة البينية كما هو موضح في الشكل (69) على:



الشكل (69): رسم تخطيطي لدورة خلوية نموذجية

أ- **المرحلة البينية الأولى (الطور G1)**: يتم في هذا الطور تخليق ال RNA و البروتينات و خاصة الأنزيمات الخاصة بتضاعف ال DNA و بروتينات الانقسام النووي و الأنيبيبات الدقيقة و مغازل الانقسام. تكون مدة هذا الطور قصيرة جدا في الخلايا الجنينية بينما تنعدم في الخلايا المتمايزة و تسمى هذه المرحلة بالمرحلة الصفرية. و خلال هذا الدور تجهز الخلية نفسها لأحد أنماط الحياة التالية:

- تستطيع الخلية ايقاف الانقسام، حيث تتمايز الى نمط خلوي معين غير قادر على الانقسام من جديد مثل الخلايا العصبية.

- تستطيع الخلية الاستمرار في الدورة الخلوية، و تنقسم بالانقسام الخيطي حيث يتضاعف عددها.
- تبقى الخلية هاجعة لفترة من الزمن كخلايا لا تنقسم و تحتوي على الصبغيات أو المادة الوراثية الخاصة بهذا الدور (2n).

ب- **مرحلة بناء ال DNA أو طور التضاعف (S)**:تبدأ الخلية في هذه المرحلة بعملية اصطناع النكليوتيدات و تتم في هذا الدور عملية تضاعف ال DNA و البروتينات النووية (الهيستونات) بحيث تصبح كميتها مضاعفة في نهاية هذا الدور. و لكي يحدث التضاعف لا بد من عامل أو مادة محرضة تحث الخلية على ذلك. و يبدو أن هذا العامل ينتقل من السيتوبلاسما الى النواة، و يطلق آلية تضاعف ال DNA . و في نهايتها ينقسم كل صبغي الى كروماتيدين (صبيغيين).

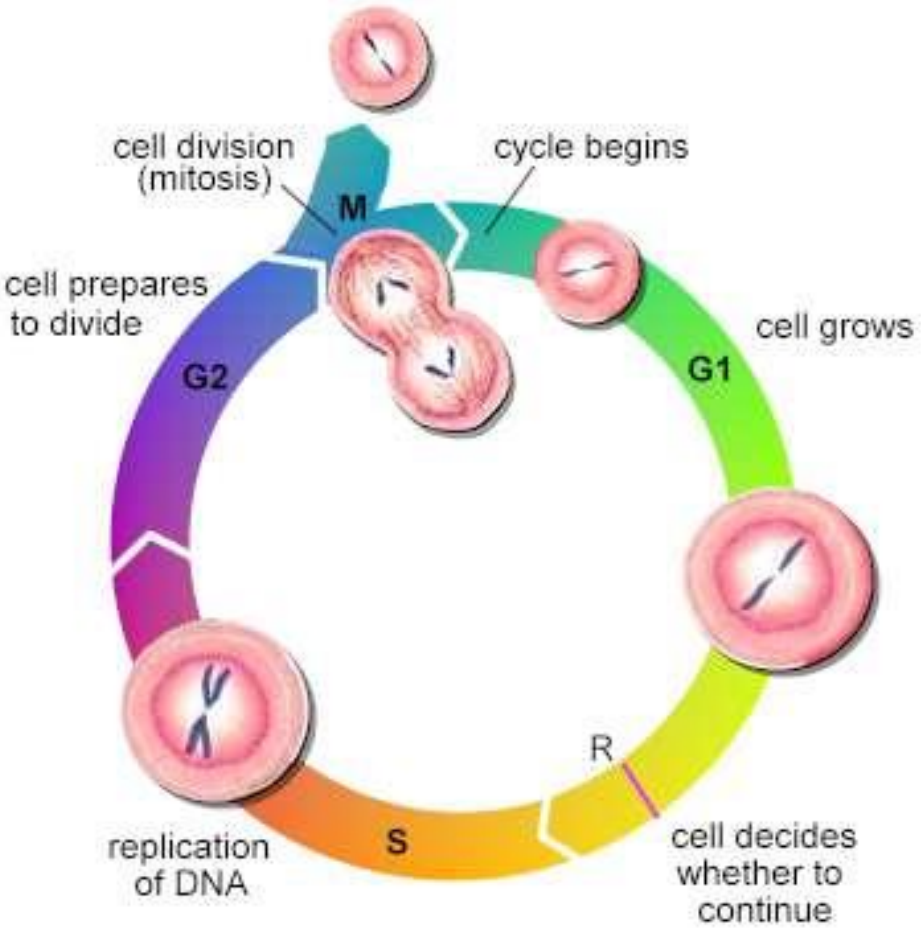
ت- **المرحلة البينية الثانية (الطور G2)**:ان هذه المرحلة هي فترة تحضير لتكثف الصبغيات و الانقسام الخلوي، و يستغرق عادة من ساعة الى أربع ساعات. و فيها تستمر عمليات بناء البروتين و ال RNA كما يتحد ال DNA مع البروتين الخاص بالصبغيات. نلاحظ خلال هذا الطور حادثتين رئيسيتين:

- فسفرة الهيستونات و تركيب بروتين التوبيولين.
- ان فسفرة الهيستونات تبدو ضرورية لارتباط الأليباف الصبغية بنظام معين يمكنها من الارتباط بخيوط المغزل الذي يصطنع بشكل رئيسي بدءأمن بروتين التوبيولين.

و بالنتيجة فانه في الطور البيني يتفعل الصبغي حيث ينفصل الى شريطين، و يتضاعف كل منهما لنحصل على أربعة شرائط كروماتيدية (او صبغية) أي صبيغيين. و بعد اكتمال الفترة الفاصلة الثانية تدخل الخلية في الطور الانقسامي (الطور M) و الذي يضم أربعة أطوار (الشكل 70) هي :

- الطور التمهيديProphase، - طور تكوين المغزل Metaphase، _ الطور الانفصالي Anaphase، _ الطور النهائي Telophase.

في البداية تتكثف الصبغيات المتضاعفة على بعضها و من ثم ترتبط جسيماتها المركزية مع مغزل الانقسام، و الذي يسحب كل صبغي (صبيغيين) الى قطب من أقطاب الخلية، و بعد ذلك تنقسم كل خلية أم الى خليتين بنتين كل واحدة منها تحوي صبغيين في حالة الانقسام الخيطي أو أربع خلايا بنات كل منها تحوي صبغي و حيد في حالة الانقسام المنصف Miosis .



الشكل (70): رسم تخطيطي لدورة خلوية نموذجية يوضح تضاعف المادة الوراثية و انقسام الخلية

2 . مرحلة الانقسام النووي Division nucléaire يوجد نوعان، هما:

أ- الانقسام الخيطي Mitose المرافق لنمو الكائن الحي والتكاثر اللاجنسي،

ب- الانقسام المنصف Meiose المرافق للتكاثر الجنسي وتشكيل الأعراس Gametes، والحفاظ على العدد الصبغي للنوع الواحد. يتحوّل الخيط الكروماتيني في هذه المرحلة إلى بُنية أكثر قصراً وثخانة، ويصبح مرئياً مجهرياً.

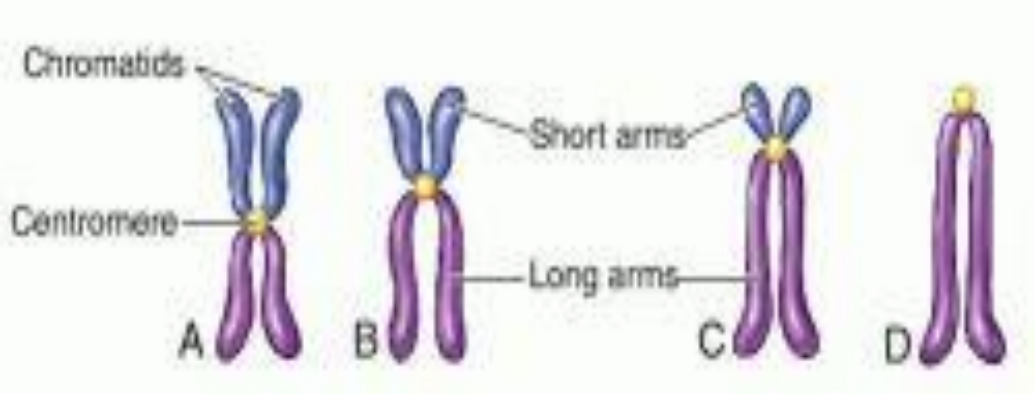
1. ثانيا: الصبغيات Chromosomes:

تختلف أشكال الصبغيات تبعاً للخلايا ولأنواع الكائنات الحية، فهي إما بشكل عصيات مستقيمة أو حبيبات أو خيوط ملتوية، إنما هي ذاتها في خلايا النوع الواحد. يتميز كل صبغي ببعض الصفات، مثل:

الطول الكلي، التوضع الجزيء المركزي Centromere، والطول النسبي للأذرع، والتواجد لِعُقَد أو انخماصات، ووجود اتساع أو انتفاخ صغير للصبغي في النهايتين.

يلعب دوراً أساسياً في توزيع الصبغيات لمجموعات كلٍّ من: طول الصبغي، وتوضع الجزيء المركزي (الشكل71)، وتنقسم الصبغيات **تبعاً لتوضع الجزيئة المركزية** إلى:

- صبغيات بينية أو وسطية المركز Metacentrique يتوضع الجزيء المركزي في الوسط ويكون ذراعا الصبغي متساويين.



الشكل (71): رسم تخطيطي يوضح أنواع الصبغيات تبعا لتوضع الجزيء المركزي

- صبغيات جانبية أو طرفية المركز Acentrique، يتوضع الجزيء المركزي في الطرف ويكون ذراعا الصبغي غير متساويين.
- صبغيات نهائية المركز Telocentriqueيتوضع الجزيء المركزي في نهاية أو قمة الصبغي، أي لا توجد مادة وراثية على الجانب الآخر للجزيء المركزي.

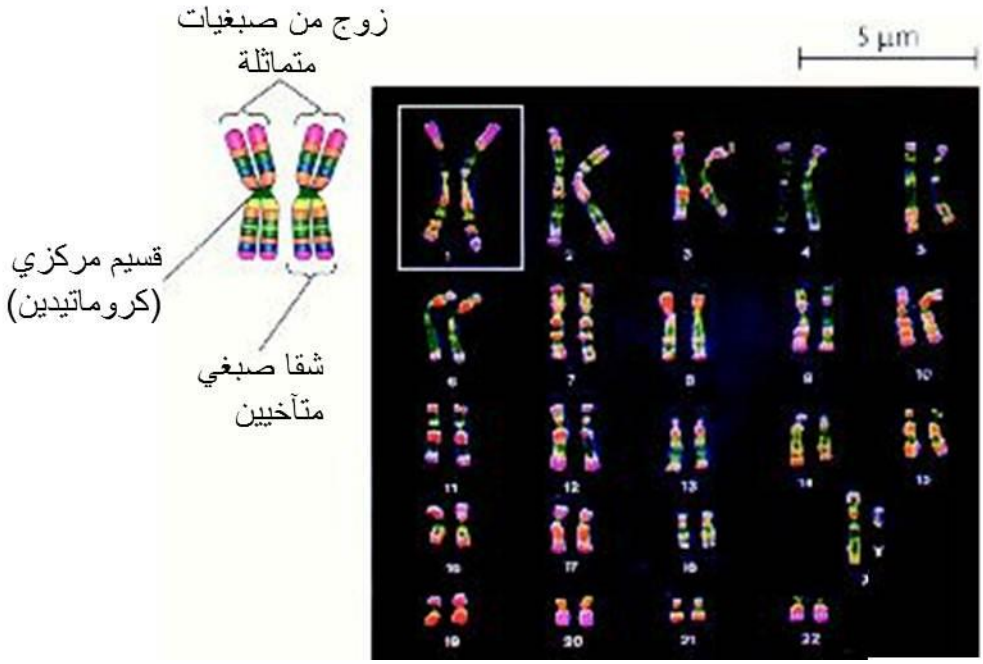
تختلف أعداد الصبغيات تبعاً للأنواع، لكنها ثابتة ومميزة للنوع الواحد، وتكون ثنائية الصيغة الصبغية Diploide (2n) في الخلايا الثنائية المكوّنة للفرد، وأحادية الصيغة الصبغية Haploide (n) في الخلايا الأحادية وخاصةً الأعراس، كذلك تكون كمية الـ DNA ثابتة في النوع الخلوي الواحد وتزداد كمية الـ DNA بازدياد العدد الصبغي بما يتناسب ودرجة التضاعف (2n, 3n, 4n, 5n ...إلخ).

ويمثل الطاقم الوراثي الأحادي الصيغة الصبغية (n) ما يسمى بالجينوم Genome. حيث تتمتع الصبغيات بذات البنية الكيميائية الدقيقة للكروماتين، كما يخضع الخيط النووي في الصبغي إلى انثناءات بدرجة فائقة لتشكيل خيط صبغي قطره حوالي (30-25 nm).

1- الصبغيات في الخلايا البشرية:

تملك كل خلية جسدية عند الانسان (كل خلية عدا الأعراس) 46 صبغيا. و خلال الانقسام الخيطي أو الفتيلي Mitosis تصبح الصبغيات مكثفة بالقدر الذي يكفي لرؤيتها بالمجهر الضوئي العادي. و بما أن الصبغيات تختلف عن بعضها بالحجم و بمواضع الجسيمات (القسيمات) المركزية centromeres و كذلك في طراز الشرائط الملونة الناتجة عن تلوينات خاصة، فإنها يمكن أن تتميز بعضها عن بعض بالفحص المجهري عندما تكون متكثفة بشكل كاف.

ان الفحص المجهري الدقيق للصبغيات المأخوذة من خلية واحدة في طور الانقسام الخيطي، يظهر وجود صبغيين من كل نمط. و يصبح هذا واضحا عندما تكون صور الصبغيات مرتبة في أزواج، و يدعى هذا العرض المنتظم باسم النمط النووي Karyotype (الشكل 72).

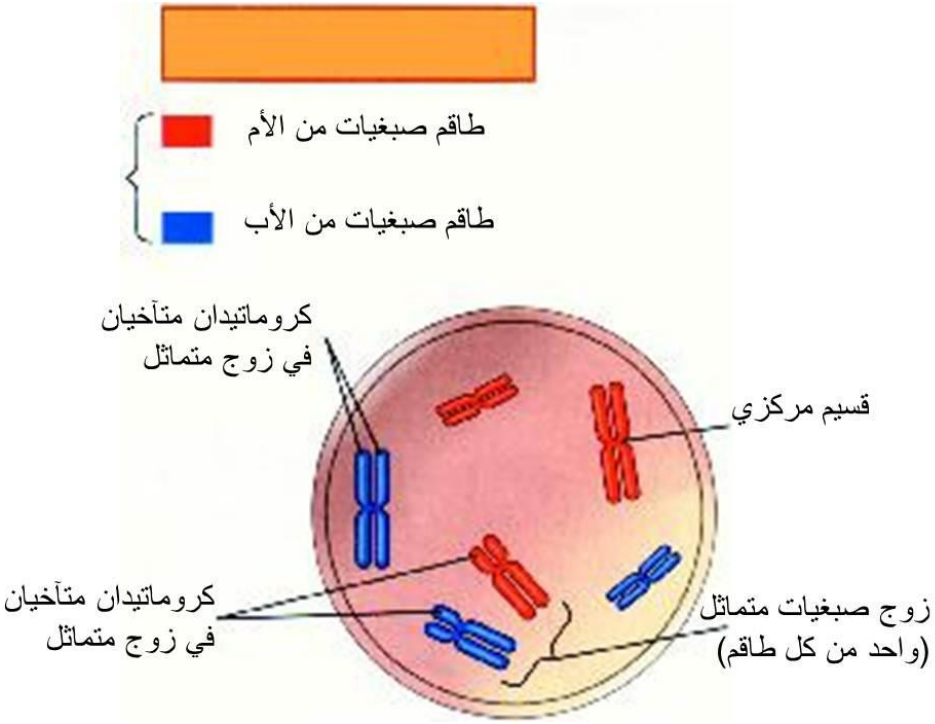


الشكل (72): النمط النووي لصبغيات من ذكر سوي. تساعد نماذج الشرائط الملونة على تحديد صبغيات نوعية، و أجزاء من صبغيات. و على الرغم من صعوبة التمييز فان كل صبغي في الطور التالي يتألف من شقي صبغي (كروماتيدين) متآخيين و ملتصقين بشدة.

و يتساوى الصبغيان في الزوج الواحد بالطول و بموضع القسيم المركزي و بطراز التلوين و يسميان صبغيين متماثلين أو نديدين homologous chromosomes . و يحمل الصبغيان المتماثلان جينات متماثلة تتحكم بنفس الخصائص الموروثة. فعلى سبيل المثال، إذا كانت المورثة المسئولة عن لون العيون تقع في موضع خاص على صبغي محدد، فعندئذ سيملك الصبغي المماثل له مورثة نوعية للون العين في موضع مكافئ.

ان الصبغيين المتماثلين المشار لهما ب Y و X هما استثناء للنمط العام للصبغيات المتماثلة في الخلايا البشرية الجسدية. و تملك إناث البشر زوجا متماثلا من الصبغي X (XX) أما الذكور فإنها تملك صبغيا واحدا X و صبغي آخر Y و يكون المجموع (YX). و في الواقع فانه لا تتماثل إلا أجزاء صغيرة من الصبغيين Y و X ، فمعظم المورثات المحمولة على الصبغي Y لا تمتلك نظائر لها على الصبغي X. و بما أن هذين الصبغيين يحددان الجنس عند الفرد فإننا نطلق عليهما اسم الصبغيان الجنسيان Sex Chromosomes في حين تسمى الصبغيات الأخرى بالصبغيات الجسدية Autosomes.

و تدعى كل خلية تحوي مجموعتين من الصبغيات باسم خلية ثنائية الصيغة الصبغية Diploid cell ، و تملك عددا مزدوجا من الصبغيات و يرمز لها بالصيغة 2n. و يكون هذا العدد في البشر 46 (2n= 46)، و هو عدد الصبغيات في خلايانا الجسدية. و نشير الى أنه في الخلية التي يتم فيها تركيب الدنا، تتضاعف كل الصبغيات و بهذا يتألف كل منها من شقين متطابقين من الكروماتيد. و في هذا الصدد يساعد الشكل (73) على توضيح المصطلحات المختلفة التي نستعملها في وصف الصبغيات المتضاعفة في الخلية ثنائية الصيغة الصبغية.



الشكل (73): وصف الصبغيات: خلية ذات عدد صبغي ثنائي (مضاعف) من 6 صبغيات (2n=6) في الطور G2 من المرحلة البينية Interphase و ذلك بعد تضاعف الصبغيات. يتألف كل زوج متماثل من صبغي واحد من الطاقم الأمومي (الأحمر) و واحد من الطاقم الأبوي (الأزرق). و يتألف كل طاقم من ثلاثة صبغيات. شقا الصبغي اللا متآخيان هما كل كروماتيدين في زوج من صبغيات متماثلة لا يكونان كروماتيدين متآخيين.

و على عكس الخلايا الجسدية، تحتوي الأعراس (النطاف و الخلايا البيضية) على مجموعة مفردة من الصبغيات و تسمى هذه الخلايا بالخلايا أحادية الصيغة الصبغية.

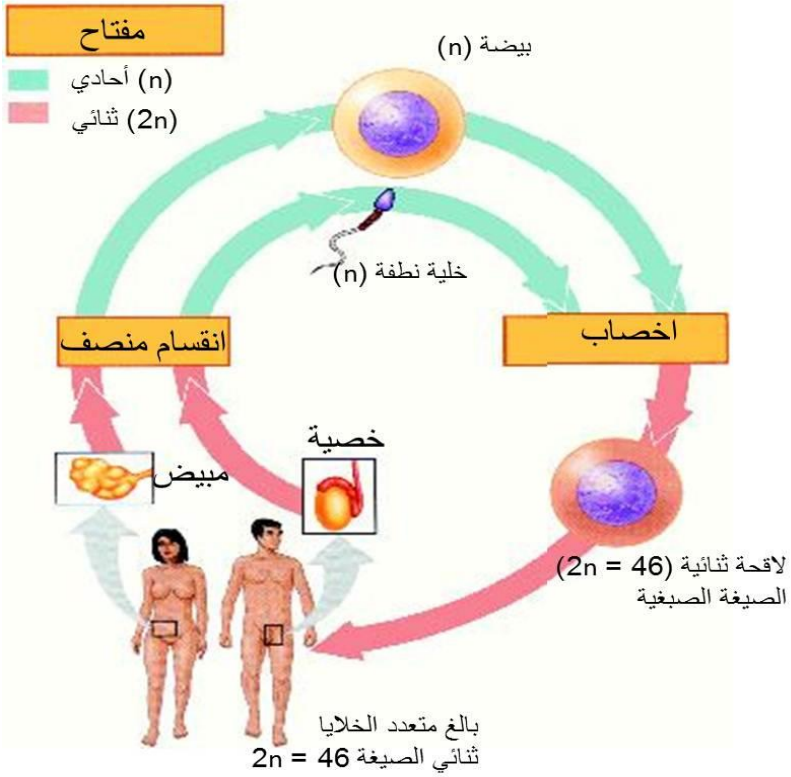
ان لكل نوع حي يتكاثر جنسيا عددا فردانيا و عددا مضاعفا مميزا. و هذان العددان يمكن أن يكونا أكبر أو أدنى، أو بنفس القيمة الموجودة عند البشر.

2- سلوك طواقم الصبغيات في دورة حياة البشر:

تبدأ دورة حياة البشر عندما تندمج خلية النطفة من الأب مع البويضة من الأم. و يدعى هذا الاتحاد بين العروسين، و الذي يتوج باندماج نواتيهما، باسم الإخصاب Fertilization. و تكون البيضة الملقحة

أو اللاقحة (الزيجوتة zygote) ثنائية الصيغة الصبغية لأنها تحتوي مجموعتين فردانيتين من الصبغيات تحملان مورثات تمثل الخطوط العائلية الأمومية و الأبوية.

الأعراس هي الخلايا الوحيدة في جسم البشر التي لا تنشأ عن طريق الانقسام الخيطي (الفتيلي)، و هي تتطور في الغدد التناسلية (gonads) أي في المبيضان ovaries في الإناث و الخصيتان في الذكور (الشكل74).

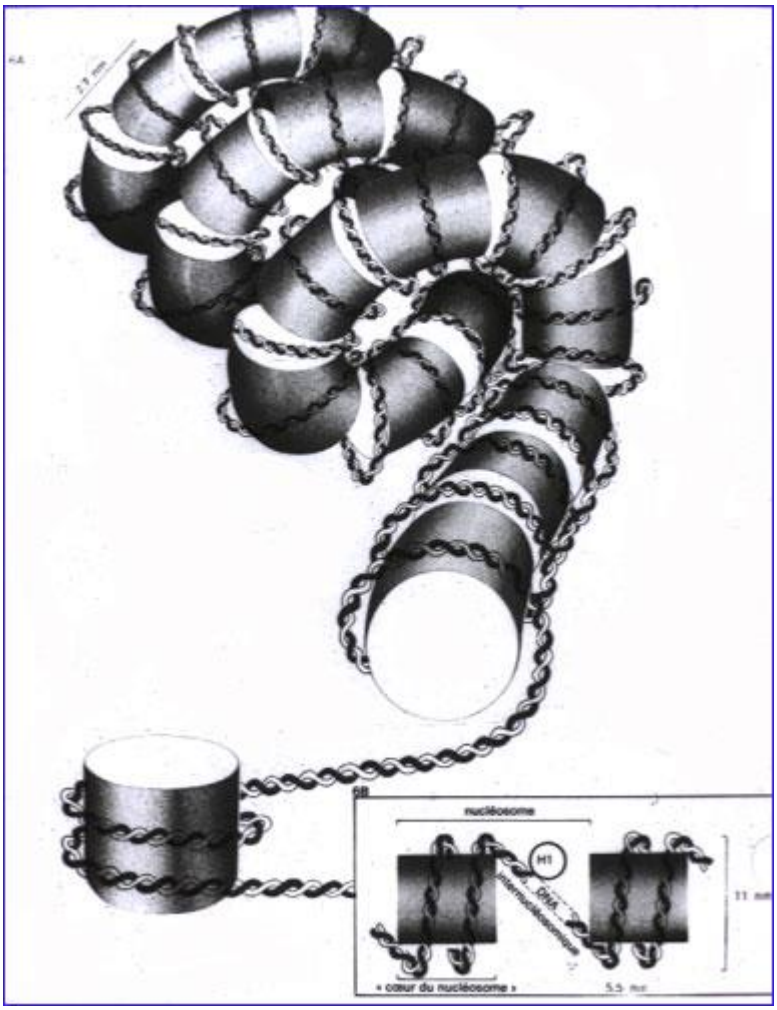


الشكل (74): دورة حياة البشر. في كل جيل يتوازن عدد الصبغيات بالإخصاب، ففي البشر يكون عدد الصبغيات في الخلية الأحادية الصيغة هو 23 و في الخلية ثنائية الصيغ هو 46 كما هو الحال في البيضة الملقحة و في الخلايا الجسمية.

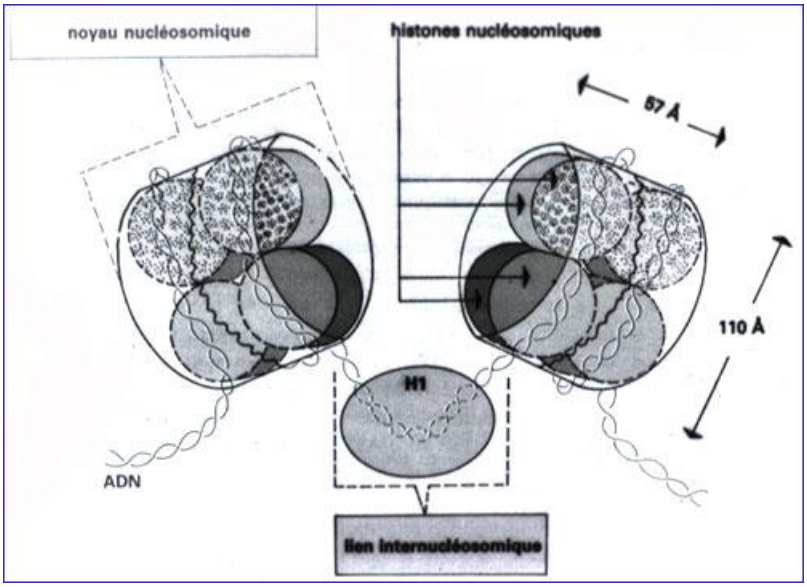
تخيل ماذا يحدث لو كانت الأعراس البشرية تنتج بواسطة الانقسام الخيطي: انها سوف تصبح مضاعفة كالخلايا الجسدية، و في الدورة الثانية من الاخصاب، و عندما يندمج اثنان من الأعراس يتضاعف العدد الطبيعي للصبغيات ال 46 ليصبح 92، و سيتضاعف هذا العدد في وقت لاحق مرة أخرى. و يتم تفادي هذه الحالة الافتراضية التي تزيد أرقام الصبغيات باستمرار في التكاثر الجنسي للكائنات الحية عبر عملية الانقسام المنصف.

يوجد نموذجان رئيسيان حول تنظيم الخيط النووي، هما:

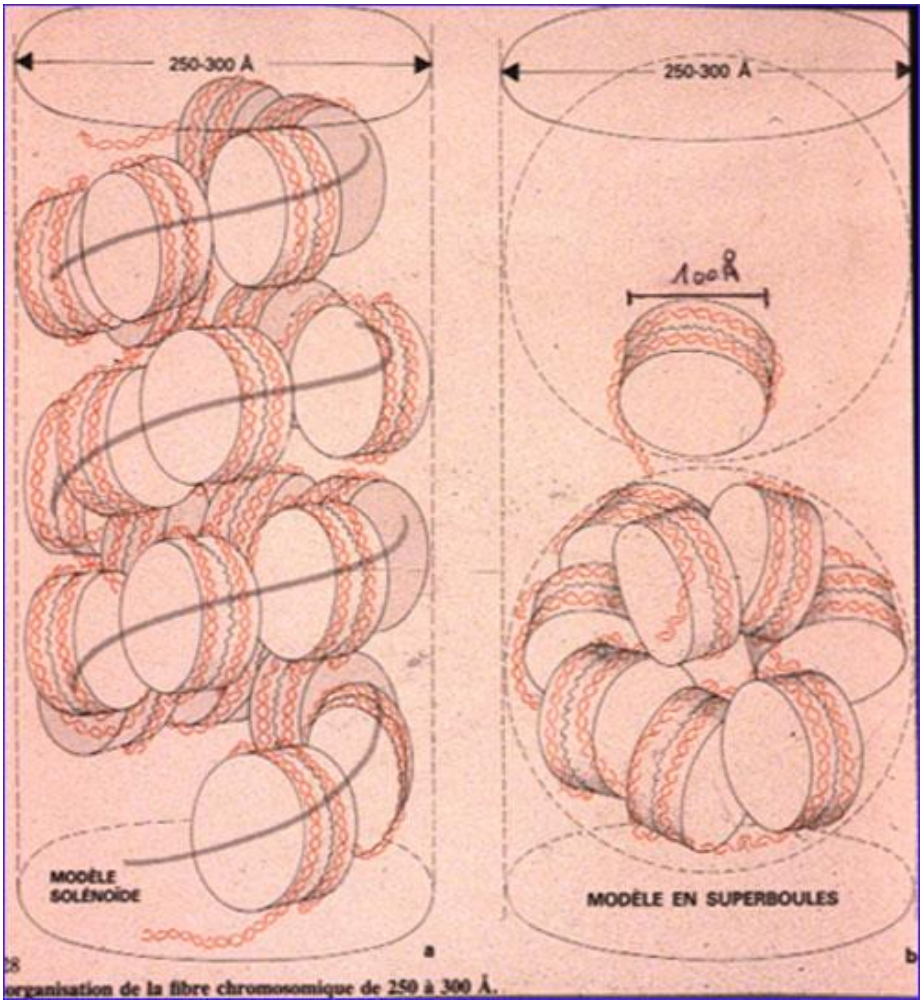
1ـــ نمـــوذج الالتفـــاف اللـــولبي ModéleSolénoide أو نمـــوذج الخـــيط المنثنـــي FibreReployée: يلتف وينثني الخيط النووي بشدّة في حلزون بثخانة (11 nm) وبقطر خارجي(30-25 nm)، تتضمن كل دورة من هذا اللولب (6-8) جسيمات نووية (الشكل75 أ، ب، ج).



الشكل (75 -أ): رسم تخطيطي يوضح شكل جزيء الDNA

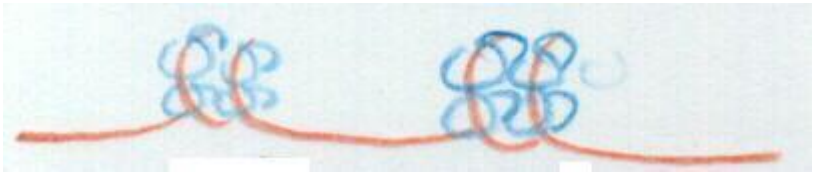


الشكل (75 – ب)بنية الجسيم النووي



الشكل (75 – ج): البنية الضخمة لجزيء ال DNA

2 . **نمـوذج الكريـات المكدّسـة Modélesuperboules أو نمـوذج التكـدّس البروتينـي EchafaudageProtéique**: يتم تكديس أو تكويم البروتين على شكل كتل كروية تلعب دور الهيكل الصبغي مشكلةً حلقات متتالية منثنية على نفسها، يتكون الخيط الصبغي الذي قطره (30-25 nm) من تجمع أجزاء من الخيط النووي تتضمن (12 -10) جسيم نووي تنتظم في كتل كروية (الشكل 76) .



الشكل (76): نموذج الكريات المكدّسة Modélesuperboules أو نموذج التكدّس البروتيني

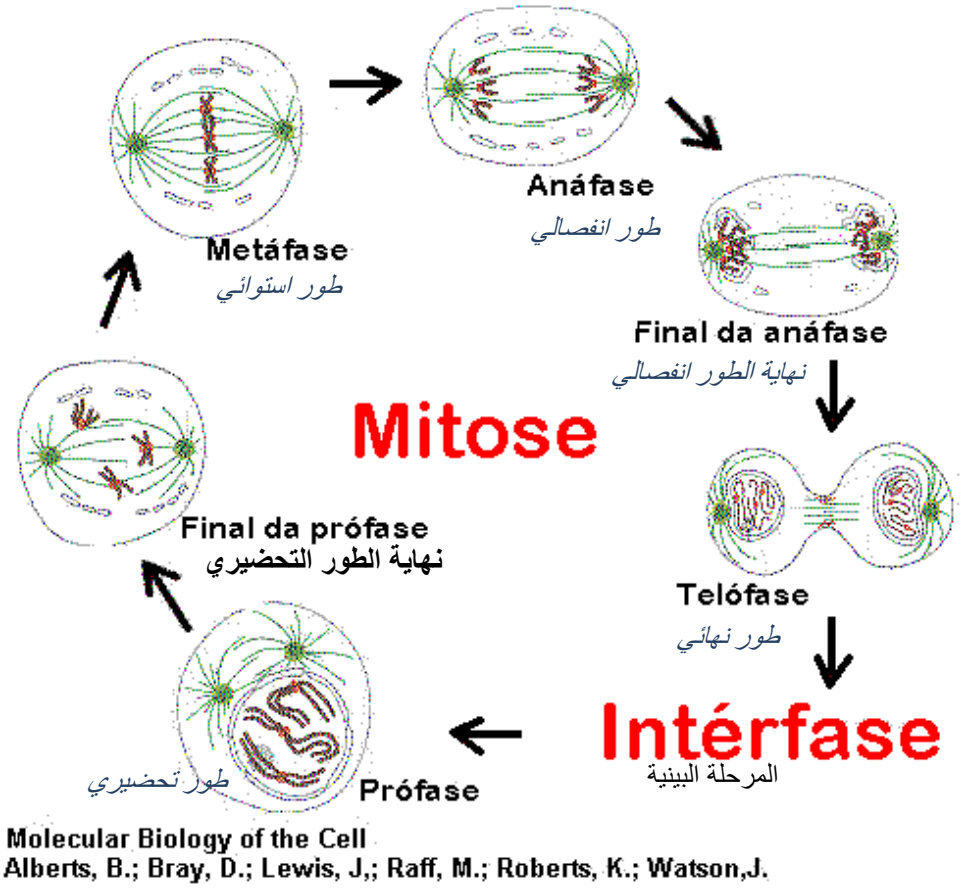
.2

3. **ثالثا: الانقسام النووي** Division nucléaire:

ويتضمن نوعين من الانقسام:

. انقسام خيطي (ميتوزي) Mitose (تكاثر لاجنسي). لاحظ الشكل (77).

. انقسام منصف (ميوزي) Meiose (تكاثر جنسي)



الشكل (77): تمثيل تخطيطي لمراحل الانقسام الخيطي *Mitose*

.4

5. رابعاً: طبيعة المادة الوراثية:

نعلم منذ عهد العالم *Miescher* في (1871) أن المكوّنات الرئيسية للنواة هي البروتينات النووية، أي الاتحاد بين الأحماض النووية والهيستونات. بعد ذلك تبيّن أن هذا الحمض النووي المرتبط مع البروتينات القاعدية والموجودة في الصبغيات هو ال DNA.

كان مقبولاً في السابق، التفسير بأن التخصص أو النوعية للمادة الوراثية (الجينات) تكمن في الجزء البروتيني من البروتين النووي أكثر منه في الجزء المكوّن من الأحماض النووية ويعود السبب في هذا الاعتقاد لكونه عرف العديد من الأشكال البروتينية النوعية جداً بينما نادراً ما اعتقد بتواجد تنوّع متوقع من الأحماض النووية.

لكن الأفكار هذه لم تتغيّر إلا مع التجارب الأولى للعلماءMcCarty, Macleode, Averyفي (1944)، إذ أصبح بعد ذلك واضحاً أن الـ DNA هو الذي يعتبر الأساس (الكيميائي) لتوريث الصفات خلال الأجيال المتتالية، حيث حدّدوا عدداً من النقاط الهامة جداً والاستنتاجات المتعلّقة بالطبيعة وبالدور الوراثي للـ DNA الخلوي وهي أن:

1- الـ DNA يمتلك القدرة على التحويل أو التغيّر عند الكائنات الحيّة المختلفة.

2- كمية الـDNA في الخلية تُعتبر ثابتة (هذه الكمية تتضاعف في المرحلة البينيّة الفاصلة بين انقسامين خلويين)، بينما كمية الـARN والبروتينات والغلوسيدات... إلخ متغيرة ومختلفة جداً.

3- الخلايا الأحادية Haploides وخصوصاً الأعراس، لاتمتلك إلا نصف كمية الـ DNA في الخلايا الثنائية Diploide، وهذا ماأكدته أيضاً دراسات الباحثون *C.Vendrely ,R.Vendrely, A.Boivin* في (1984).

4- هناك تطابق شديد بين كمية الـ DNA ودرجة التعدّد أو التضاعف الصبغي الذي يصادف في الكائنات الحية، كذلك في النوع نفسه، تحتوي النوى المتضاعفة الصبغيات (ثلاثي، رباعي، خماسي، سداسي...) على كمية DNAأكثر منه في النوى الثنائية *(2n)*.

5- الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية Ultravioletteمن قبل الـ DNAيكون أعظمي في طول الموجة $2580\ A^{\circ}$، لأنه في طول الموجة هذه، الأشعة تمتلك فعالية عالية للتأثير وإحداث الطفرة.

6- العديد من المواد النظيرة أو المماثلة للأسس الآزوتية تكون قادرة على أن تحّل محل هذه الأسس في جزيء الـ DNA، وأيضاً من المحتمل أن تتمكن من التحريض والحث على الطفرة.

7- أخيراً، البنية الضخمة لجزيء ال DNA (شكل 19- ج) المكوّنة من تتالي عدد كبير وهائل لارتباطات بين الأسس الآزوتية.

الدورة الخلوية (2) Cell Cycle

مرحلة الانقسامات (الخيطي Mitosis والمنصف Miosis)

كما ذكرنا سابقا هناك طريقتان مختلفتان للانقسام الخلوي تشتمل عليها الدورة الخلوية هما : الانقسام الخيطي أو الميتوزي (Mitosis)، و الانقسام المنصف أو الميوزي (Miosis)، الذي تم الكشف عن تفاصيله في عام 1900 ميلادي.

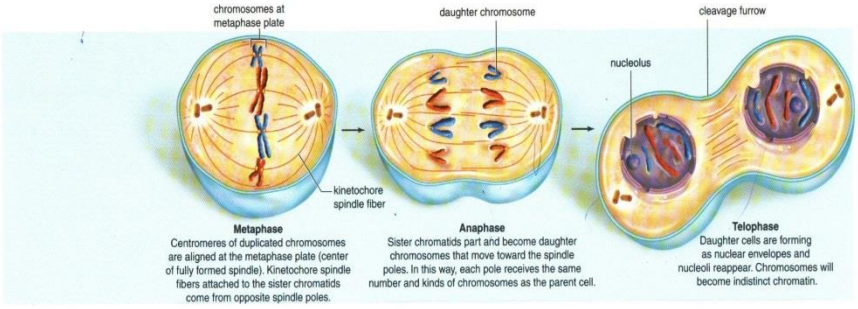
ففي نهاية المرحلة البينية و قبيل بدء مرحلة الانقسامات، يضاعف الصبغي مكوناته الكيماوية، و تلعب جزيئة ال DNA دورها الأساسي اذ يتم تضاعف جزيئة ال DNA بفك تشابك السلاسل الجانبية (مجموعات البورين و البيريميدين) و بناء شريطين جديدين فينتج عن ذلك تشكل جزيئة DNA جديدة مماثلة أي أن كل صبيغي يكون عندئذ متضاعف دون أن نتمكن من رؤية ذلك بالمجهر، و يمكن عندئذ تسميتها بالصبغيات.

أولا: الانقسام الخيطي أو الميتوزي (Mitosis):

هو نوع من الانقسام الخلوي، تتمكن الخلية بواسطته من إنتاج خليتين وليدتين متماثلتين تماما، و هو يحدث في جميع الأنسجة الجنينية و يستمر فيما بعد بمعدل أقل في أنسجة الإنسان كلها، ما عدا الخلايا العصبية و العضلية، و هو المسئول عن تكوين الخلايا اللازمة لنمو أنسجة الجسم و المحافظة عليها بتعويض الفاقد من الخلايا. تبدأ عملية الانقسام مع بداية تكثف الصبغيات و تنتهي بزوال تكثفها، و تقسم إلى أربع مراحل هي:

- الطور الطليعي أو التمهيدي Prophase،
- الطور التالي أو طور تكوين المغزل (الطور الاستوائي) Metaphase ،
- الطور الانفصالي أو طور الهجرة Anaphase،

- الطور النهائي أو طور التباعدTelophase(الشكل 78).



176 Phases of mitosis in animal and plant cells
Figure 9.4

Sylvia S. Mader, Biology, 9/e
Copyright © 2007 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

الشكل (78): رسم تخطيطي يوضح الطور التالي أو طور تكوين المغزل (الطور الاستوائي)Metaphase، الطور الانفصالي أو طور الهجرة Anaphase، الطور النهائي أو طور التباعد Telophase من الانقسام الخيطي.

أ– الطور الطليعي أو التمهيدي Prophase:

يبدأ الطور الطليعي عندما تبدأ الصبغيات بالظهور في النواة كخيوط اثر تكثف المادة الصبغية التي تنتج عن انثناء و التفاف الصبغيات، و بالوقت نفسه تصبح الخلية أكثر كروية.

يتألف كل صبغي في هذه المرحلة من خيطين ملتحمين يعرف كل منهما باسم كروماتيد، و ينتج احدهما عن تضاعف الآخر خلال الدور S من المرحلة البينية.

بتقدم الطور الطليعي تصبح الصبغيات أكثر قصرا و ثخنا و البنية الأولية التي تشتمل على المراكز المحركة للصبغيات أكثر وضوحا. و تبتعد الصبغيات كلما تقدم هذا الطور عن مركز النواة لتقترب من الغشاء النووي الذي يبدأ بالزوال و يختفي نهائيا في نهاية الطور الطليعي. و يصبح مركز النواة فارغا تماما من المادة الوراثية.

في هذه المرحلة يتألف كل صبغي من سلسلتين ملتفتين حلزونيا. في نهاية الطور الطليعي تختفي النويات و الغشاء النووي، و تندمج البلاسما النووية مع البلاسما الخلوية. على صعيد التغيرات السيتوبلاسمية فأهم ما يحدث هو بدء تشكل مغزل الانقسام.

ب- طور تكوين المغزل (الطور الاستوائي)Metaphase:

مع بداية هذا الطور، يكون الغشاء النووي قد اختفى بشكل كامل، و تتقلص الصبغيات وتتراص و تتوزع بشكل عشوائي. يتم خلال هذا الدور اكتمال تشكل مغزل الانقسام، حيث تلتحم خيوط المغزل بدءا من القطبين و ترتبط الصبغيات بانيبيبات المغزل بوساطة المراكز المحركة و تتجه بشكل شعاعي لتشكل ما يسمى باللوحة الاستوائية.

إن الانقسام الذي يتشكل فيه مغزل مع مريكزات و أشعة كوكبية يسمى انقسام ذو مغزل شعاعي، و يحدث ذلك في الخلايا الحيوانية و النباتات الدنيا. أما الانقسام الذي لا يشتمل مغزله على مريكزات و أشعة كوكبية فيسمى انقسام ذو مغزل لا شعاعي، و نجده في النباتات الراقية مثل مغلفات البذور و كذلك عريانات البذور. و بالتالي فإن المريكزات و الأشعة عند هذه النباتات تكون غير ضرورية لتشكل مغزل الانقسام.

ج- الطور الانفصالي أو طور الهجرة Anaphase:

في هذا الطور تنقسم الجسيمات المركزية طوليا، و تنفصل كروماتيدات الصبغيات عن بعضها بشكل متزامن، و تبدأ بالهجرة، على طول خيوط المغزل نتيجة انكماش هذه الخيوط، حيث تقصر الى الثلث أو

ربع الطول الأصلي الذي كانت عليه في المرحلة السابقة. و ما أن تصل الصبغيات الى قطبي الخلية حتى يصل طور الهجرة الى نهايته، و تصبح الخلية في مطلع الطور النهائي.

د– الطور النهائي أو طور التباعدTelophase:

ترتخي الصبغيات في مطلع هذا الطور، و تصبح غير منطوية على بعضها و أقل تكثفا، و في الوقت نفسه تميل الصبغيات الى تشكيل كتلة محاطة بغشاء نووي متقطع الذي تبدأ عملية اعادة بنائه بوساطة الشبكة البلاسمية الداخلية.في نهاية هذا الطور نجد غشاء نووي متكامل مؤلف من وريقتين و كل غشاء يحيط بالنواة الجديدة.

تبدأ السيتوبلاسما بالانقسام عند المدار الاستوائي للخلية بالتزامن مع ارتخاء الصبغيات و تشكل الأغشية النووية. بعد ذلك يتشكل انخماص يتسارع حتى انفصال الخليتين عن بعضهما البعض. و يتضمن الانقسام السيتوبلاسمي توزع عضيات الخلية مثل الجسيمات الكوندرية و جهاز غولجي و الجسيمات الريبية على الخلايا البنات.

و هكذا تدخل الخليتان البنتان في المرحلة البينية، و تتلقى كل منهما نصف الكمية الصبغية التي سبق أن تضاعفت، أي أن كل خلية تحمل العدد نفسه من الصبيغيات للخلية الأم.

ثانيا: الانقسام المنصف أو الميوزي (Miosis):

يطلق عليه أيضا الانقسام الاختزالي، و يحدث هذا النوع من الانقسام الخلوي حصرا في الخلايا الجنسية المولدة للأعراس داخل الأعضاء الجنسية للكائن الحي (الخصية أو المبيض). و هو نوع من الانقسام الخلوي تتمكن الخلايا التناسلية بواسطته من انتاج الأعراس، و الأعراس هي خلايا أحادية الصيغة الصبغية، حيث تحتوي على نصف عدد الصبغيات. ففي ذكر الانسان و الحيوان يحدث هذا الانقسام في الخصى لتكوين الحيوانات المنوية (النطاف)، أما في الأنثى فيحدث في المبايض حيث تتشكل البويضات الناضجة المعدة للإخصاب.

يتشابه العديد من خطوات الانقسام المنصف مع الخطوات المقابلة لها في الانقسام الخيطي، فالاثنان مسبوقان بتضاعف الصبغيات. و مع ذلك فان هذا التضاعف الوحيد يتبعه انقساما ن خلويان متعاقبان، يدعيان الانقسام المنصف الأول و الانقسام المنصف الثاني. ينتج عن هذه الانقسامات أربع خلايا بنات و ليس خليتان بنتان كما في الانقسام الخيطي (تحوي كل منها نصف عدد الصبغيات في الخلية الأم.

ان تطور الخلية البيضية مثلا الى بيضة ناضجة تحتوي نصف كمية المادة الوراثية الموجودة في الخلايا الجسمية، أي خلية أحادية الصيغة الصبغية، يتطلب المرور بسلسلة من التغيرات و التطورات تتعرض خلالها البويضات الى انقسامين منصفين متتاليين هما:

- الانقسام المنصف الأول Miosis-I
- الانقسام المنصف الثاني Miosis-II

لكن هذه الانقسامات لا تحدث بشكل متتابع و تنتهي بسرعة، اذ يمكن للخلية البيضية أن تتوقف في أية مرحلة، و ذلك بحسب نوع الكائن الحي، ثم تعود لتكمل انقساماتها قبل أن تكون جاهزة للإلقاح.

عند الثدييات يحدث قسم من هذه الانقسامات خلال مراحل التشكل الجنيني و قبل الولادة، فمعروف عند الانسان مثلا، أن الخلايا البيضية تتطور في المبيض بدءا من الطبقة الطلائية في قشرة المبيض، ثم تغوص في عمق القشرة جامعة حولها طبقة من الخلايا الجريبية لتشكل البيضة الأولية أو الجريب الأولي.

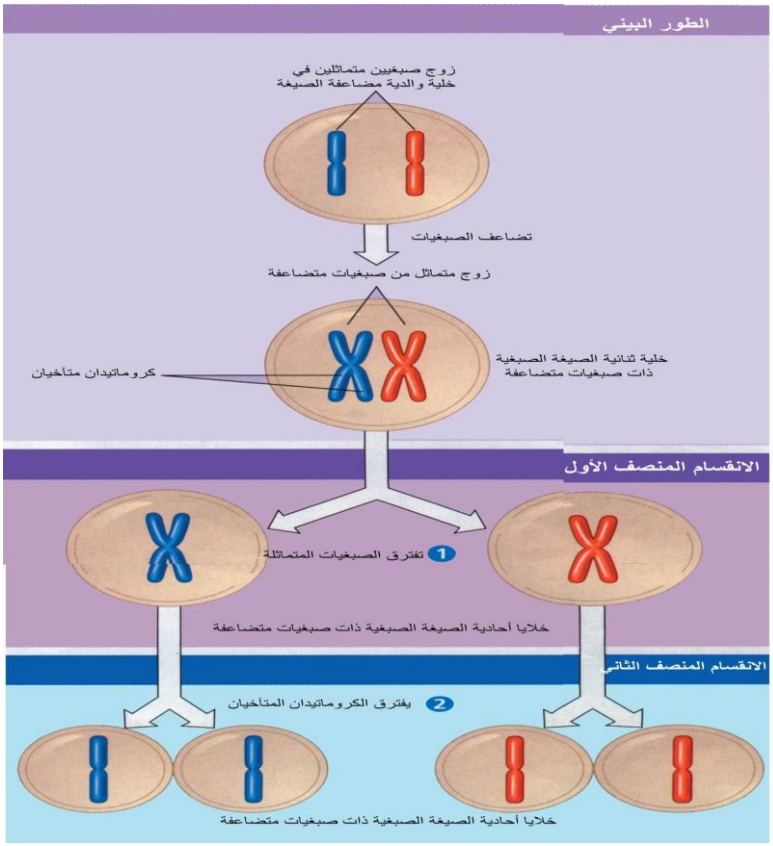
و تتمايز جميع الخلايا البيضية في مبيض أنثى الانسان خلال الحياة الجنينية و يصل عددها في الأسبوع الثلاثين من الحمل الى أكثر من مليون خلية بيضية أولية.

و في هذه المرحلة من التطور الجنيني يبدأ الانقسام المنصف الأول Miosis-I. و قبيل حدوث الانقسام المنصف الأول تكون الخلية البيضية قد ضاعفت مادتها الوراثية (DNA) خلال الطور البيني من الدورة الخلوية. بعد ذلك يبدأ الطور الطليعي من الانقسام المنصف الأول الذي يدوم طويلا، اذ يستغرق أكثر من 90% من الزمن اللازم لمجمل الانقسام المنصف.

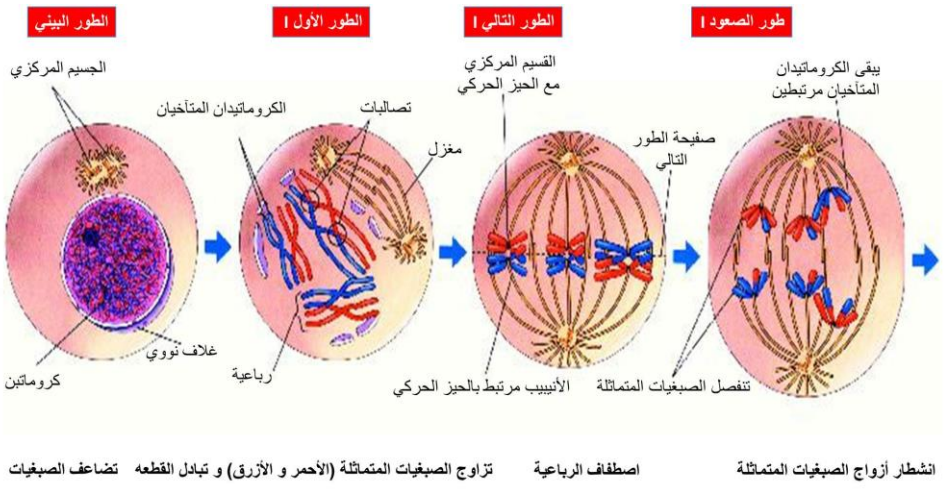
أ- مراحل الانقسام المنصف

تظهر نظرة شاملة للانقسام المنصف في الشكل (79)كيف يتضاعف كلا الصبغيين في زوج متماثل وحيد من الصبغيات لدى خلية مضاعفة الصيغة الصبغية، و كيف يتم فرز هذه النسخ الى أربع خلايا بنات أحادية الصيغة الصبغية. إن الكروماتيدين (شقي الصبغي) المتآخيين هما نسختان من صبغي واحد، متصلين معا بالقسيم المركزي و يشكلان صبغيا مضاعفا واحدا.

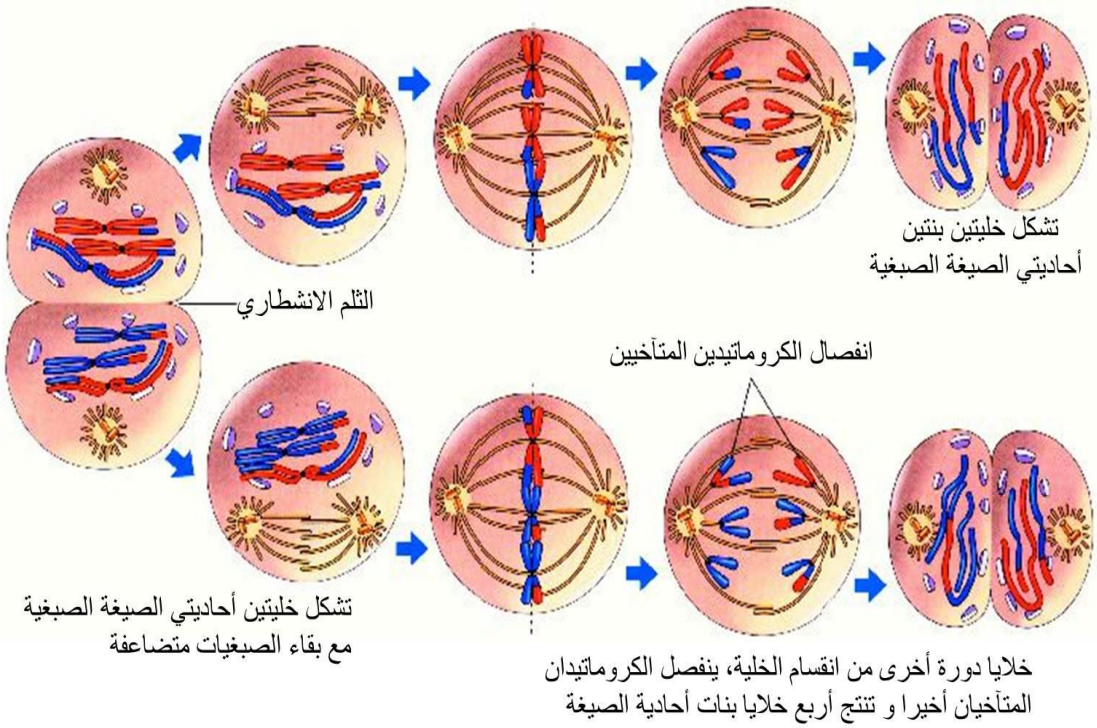
و على العكس فان الصبغيين في الزوج المتماثل هما صبغيان مفردان تم توارثهما من والدين مختلفين و هما في العادة ليسا متصلين ببعضهما. ان الشكل (80 أ –ب) يصف بالتفصيل مرحلتي الانقسام المنصف في خلية حيوانية عددها الصبغي المضاعف هو 6. ينصف الانقسام المنصف اجمالي عدد الصبغيات بطريقة نوعية جدا مخفضا عدد الطواقم الصبغية من اثنين الى واحد، يذهب كل منها الى خلية بنت مستقبلة.



الشكل (79): نظرة شاملة على الانقسام المنصف و كيف يختزل العدد الصبغي. بعد تضاعف الصبغيات في الطور البني تنقسم الخلية مرتين فتثمر أربع خلايا بنات أحادية الصيغة الصبغية. ان هذا الشكل يوضح سير زوج واحد من الصبغيات المتماثلة فقط. لقد جرت وراثة الصبغي الأحمر من الأنثى و الصبغي الأزرق من الذكر.



الشكل (80- أ): استكشاف الانقسام المنصف الأول في خلية حيوانية (يفرق الصبغيات المتماثلة)



الشكل (80- ب):استكشاف الانقسام المنصف الثاني في خلية حيوانية (الانقسام المنصف الثاني يفرق الكروماتيدين الشقيقين).

❖ الانقسام المنصف الأول Miosis-I

يشتمل الانقسام المنصف الأول على الأطوار نفسها التي يمر بها الانقسام الخيطي أو العادي و هي:

- الطور الطليعي أو التهيدي، - الطور الطليعي أو التمهيدي Prophase، - الطور التالي أو طور تكوين المغزل (الطور الاستوائي)Metaphase ،- الطور الانفصالي أو طور الهجرة Anaphase، - الطور النهائي أو طور التباعدTelophase.

الطور البيني Interphase

1- تنتسخ الصبغيات خلال الطور S و لكنها تبقى غير متكثفة.

2- يتألف كل صبغي متضاعف من كروماتيدين متآخيين، متطابقين وراثيا و متصلين عند القسيم المركزي.

3- يتضاعف الجسيم المركزي معطيا جسيمين مركزيين.

الطور الطليعي أو التمهيدي Prophase و يشتمل هذا الطور عددا من المراحل و هي:

أ- مرحلة الخيوط الرفيعة Leptonema

في بدء هذه المرحلة، تصبح الصبغيات مرئية كخيوط دقيقة من الكروماتين، و ذلك في مطلع الطور الطليعي من الانقسام المنصف ، يكون عدد الصبغيات آنئذ عددا ثنائيا. و يلاحظ أثناء هذه المرحلة اتجاه الصبغيات في داخل النواة اتجاها معينا، حيث تتلاقى نهايات الصبغيات في جانب واحد من جوانب النواة، الجانب الذي يكون قريبا من نقطة توضع الجسيم المركزي Centrosome ، و تحقق شكل الباقة (ومن هنا أتى تعبير الباقة كاسم لهذه المرحلة).

ب- مرحلة الخيوط المتزاوجة Zygonema:

في هذه المرحلة، فان الصبغيات المتماثلة التي بقيت خلال الانقسام العادي مفترقة تماما تقترب الواحدة من الأخرى و تنتظم في أشفاع، و يصبح الصبغيان المتماثلان منطبقين على بعضهما في نقطة معينة، و نعني بذلك في النهاية القريبة من الجسيم المركزي. و يلي ذلك مباشرة اتصال الصبغيين ببعضهما طوليا. و تعرف حادثة التصاق الصبغيين المتماثلين في الشفع الواحد باسم الاقتران الصبغي Synapsis ، و يعتبر الاقتران الصبغي أكثر ظاهرات الانقسام المنصف أهمية.

ت- مرحلة الخيوط الثخينة Pachynema

يصبح الصبغيان المتماثلان في هذه المرحلة ملتفين حلزونيا على بعضهما، بحيث يصعب تمييز أحدهما عن الآخر، و يبدوان و كأنهما قد شكلا خيطا كثيفا واحدا. و يقابل عدد الخيوط الثخينة نصف عدد الخيوط الدقيقة، التي كانت قد ظهرت في مرحلة الخيوط الرفيعة.

و يتم خلال مرحلة الخيوط الثخينة انشطار صبغيي الشفع الواحد انشطارا طوليا، و يصبح الخيط الكثيف الواحد مؤلفا من أربعة شطور Chromatids ، لا تزال تتصل ببعضها.

و بشكل تفصيلي فإن ما يحدث في الطور الأول(I) Prophase هو ما يلي:

1- يشغل هذا الطور أكثر من 90% من الوقت الذي يتطلبه الانقسام المنصف.
2- تبدأ الصبغيات بالتكثف
3- تتزاوج الصبغيات المتماثلة بشكل رخو على مدى أطوالها و ترتصف مورثة بعد مورثة بشكل دقيق.

4- في التعابر cross- over تتقطع جزيئات الدنا في الكروماتيدين اللا متآخيين عند أماكن متناظرة ثم تعود للارتباط مع دنا آخر.

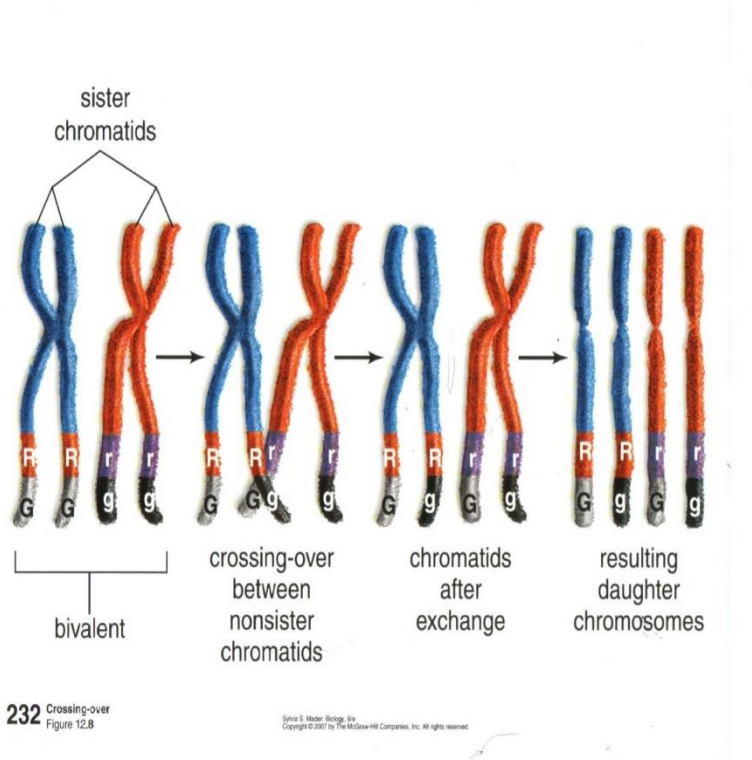
5- في التشابك تتكون بنية بروتينية تسمى المعقد المشبكي الخيطي بين المتماثلات بحيث تمسكها معا بشكل وثيق على مدى أطوالها.

6- يختفي المعقد المشبكي الخيطي في آخر الطور الأول و يصبح كل زوج صبغي مرئيا في المجهر كمجموعة رباعية مؤلفة من أربع كروماتيدات.

7- تملك كل رباعية تصالبا أو أكثر، تدعى مناطق التعابر.

8- تمسك المتماثلات مع بعضها حتى طور الصعود.

9- تحدث حركة الجسيمات المركزية، و تتشكل أنيبيبات مغزلية و يتلاشى الغلاف النووي، و تتشتت النويات كما في الانقسام الخيطي.



الشكل (81): تمثيل يوضح حادثة التصالب و التبادل بين صبيغيي الصبغيين في ثنائية التكافؤ.بعد أن يتقابل الصبغيان المتماثلان، يتقاطع أحد الصبيغيين في الصبغي الواحد مع صبيغي آخر من الصبغي الثاني، و يتبادلان قطعا تكون عادة متساوية.

و يحدث أثناء التصاق الشطور الأربعة للشفع الواحد انكسارها إلى قطع، تعود لتلتحم مع بعضها في أربعة شطور جديدة. وعلى هذا النحو فان قطعا من أحد شطري الصبغي الواحد في الشفع تأتي الآن لتلتحم متبادلة مع قطع تقابلها في أحد الشطرين الآخرين للصبغي الآخر (الشكل 81). و تعرف هذه الظاهرة باسم التصالب و التبادل الصبغي Crossing-over .

ث- مرحلة الخيوط المتضاعفة Diplonema

ما أن تنتهي مرحلة الخيوط الثخينة حتى يأخذ شطرا كل ثنائية بالابتعاد عن بعضهما، و كأن قوى التجاذب، التي أدت إلى التصاق الصبغيين المتماثلين أثناء حادثة الاقتران الصبغي Synapsis ، قد استبدلت الآن بقوى تنافر. و يصبح الانشطار الطولي في كل صبغي من الصبغيات في هذه المرحلة واضحا. كما أن انفصال صبغي الشفع الواحد انفصالا طوليا يغدو متميزا. و على أية حال، تظل أقسام الخيط الصبغي المركب هذا متصلة ببعضها، و حيثما تم تصالب و تبادل صبغي يبقى الشطران اللذان عانيا التبادل متصلين ببعضهما بنقطة التصالب.

الطور التالي Metaphase (I):

1- تنتظم أزواج الصبغيات المتماثلة في رباعيات على صفيحة الطور التالي مع صبغي واحد من كل زوج يواجه كل قطب.
2- يرتكز الكروماتيدان في الصبغيات المتماثلة على انيبيبات المغزل من أحد القطبين، أما المتماثلة الأخرى فترتكز على أنيبيبات من القطب المقابل.

طور الصعود Anaphase (I)

1- تتحرك الصبغيات باتجاه الأقطاب يقودها الجهاز المغزلي.
2- يبقى الكروماتيدان المتآخيان متصلين عند القسيم المركزي و يتحركان كوحدة مفردة باتجاه نفس القطب.
3- تتحرك الصبغيات المتماثلة التي يتألف كل منها من كروماتيدين متآخيين نحو قطبين متقابلين.

الطور النهائي Telophase(I)

1- في بداية الطور النهائي يكون لكل نصف من الخلية طاقم مكتمل من الصبغيات. و لا يزال كل صبغي يتألف من كروماتيدين متآخيين.
2- الانقسام السيتوبلاسمي يحدث عادة متزامنا مع الطور النهائي مشكلا خليتين بنتين.
3- في الخلايا الحيوانية يتشكل الثلم الانشطاري، أما في الخلايا النباتية تتشكل صفيحة الخلية.
4- في بعض الأنواع و ليس كلها، يزول تكثف الصبغيات و يعاد تشكيل الغلاف النووي و النوية.
5- لا يحدث تضاعف للصبغي بين نهاية الانقسام المنصف الأول و بداية الانقسام المنصف الثاني، لأن الصبغيات قد تضاعفت.

❖ **الانقسام المنصف الثاني:**

الطور الأول Prophase (II)

1- يتشكل الجهاز المغزلي.

2- في أواخر الطور الأول تتحرك الصبغيات و هي لا تزال تتألف من كروماتيدين اثنين باتجاه الصفيحة الاستوائية.

الطور التالي Metaphase (II)

1- تتوضع الصبغيات على صفيحة الطور التالي كما في الانقسام الخيطي.

2- بسبب التعابر للانقسام المنصف الأول لا يكون الكروماتيدان المتآخيان لكل صبغي متآخيين لكل صبغي متطابقين جينيا.

3- يلتصق الحيزان الحركيان في الكروماتيدين المتآخيين بأنيبيبات ممتدة من القطبين المتقابلين.

طور الصعود Anaphase (II)

1- أخيرا ينفصل القسيمان المركزيان لكل صبغي، و يتباعد الكروماتيدان المتآخيان.

2- يتحرك الآن الكروماتيدان المتآخيان كصبغيين منفردين باتجاه القطبين المتقابلين.

الطور النهائي Telophase(II)

1- تتشكل النوى، و يبدأ تكثف الصبغيات بالزوال، و يحدث الانقسام السيتوبلاسمي.

2- ان انقسام خلية لأحد الأبوين انقساما منصفا ينتج أربع خلايا بنات، لكل منها طاقما صبغيا أحادي الصيغة و غير متضاعف.

3- تتميز كل من الخلايا البنات الأربع وراثيا عن الخلية البنت الأخرى و عن الخلية الأم.

ايكولوجيا السلوك (1)

مقدمة:

لقد درس الإنسان سلوك الحيوان منذ وجوده على سطح الارض، على اعتبار أن سلوك الحيوان أساسياً لبقاء الإنسان . و هناك حيوانات تعد مصدراً للفتنة والجمال أكثر من الحاجة إليها كمصدر للمعلومات التطبيقية . فطيور الكركي (الغرنوق) cranes على سبيل المثال , فتنت الكثير من الناس لفترة طويلة وحازت على اهتمامها, ربما كون هذه الطيور كبيرة في حجمها ويمكن مراقبة سلوكها بسهولة (الشكل 1). فذكور وإناث الغرنوق تتشابك على شكل مجموعة متراصة بشكل متقن

وتتحرك بما يحاكي رقصات متقنة وتعابير متزامنة. وبملاحظة هذه الطقوس , صور العديد من الناس هذه الطيور كرموز للوفاء والورع.

الشكل (1): غزل من زوج طائر الغرنوق cranes أحمر التاج الشرق آسيوي.

ومن أكثر سلوكيات طيور الغرنوق وضوحاً تلك المتعلقة بالهجرة السنوية. ففي كل ربيع , يطير الآلاف من طيور الغرنوق من موائلها الشتوية في جنوب أوراسيا , وشمال افريقيا وشمال امريكيا الى أماكن تعشيشها الشمالية. وتطير أنواع مختلفة من الغرنوق لمئات أو آلاف الكيلو مترات , متوقفة بشكل دوري للراحة وتناول الطعام . ونظراً لأن طيور الغرنوق المهاجرة تطير على ارتفاعات عالية وتتنادى أثناء طيرانها , فقد صورتها بعض الثقافات تقليدياً كرسل بين الأرض والسماوات.

ومن المبادئ العلمية الحديثة لإيكولوجيا السلوك توسيع دراسة مثل هذه الملاحظات المتعلقة بالسلوك الحيواني وتتضمن آلية ضبط هذا السلوك وكيفية نشوئه وتطوره وإسهامه في البقاء على قيد الحياة ونجاح التكاثر . فعلى سبيل المثال , يمكن لعلماء السلوك أن يتساءلون عن آلية الارتباط بين أوجه الشبه أو الاختلاف في مظاهر التودد وتلك التشابهات أو الاختلافات الوراثية ما بين أنواع طائر الغرنوق , وكيف تسهم المعرفة لهذه العلاقات في تطوير إبراز هذه السلوكية بين هذه الأنواع . وأما الاسئلة الخاصة بالهجرة فيجب أن تتضمن : لماذا تتنادى طيور الغرنوق المهاجرة , ماهي المشعرات البيئية المحفزة لبدء الهجرة, أو كيف تسهم الهجرة في نجاح تكاثر طيور الغرنوق . فإيكولوجيا

السلوك معنية وأساسية في حل مشكلات هامة تمتد من حفظ وصيانة الانواع المهددة بالانقراض وصولاً إلى ضبط ظهور أمراض وبائية . و هنا سنحاول فهم آلية الربط بين السلوك والوراثة والبيئة والتطور .

❖ **الاسباب المباشرة وغير المباشرة للسلوك**

يمكن وضع الاسئلة التي يمكن طرحها حول أي سلوك بشكل عام في مجموعتين : تركز الأولى على المنبهات الآنية وآلية هذا السلوك , وتتعلق الثانية بالأسئلة التي تهدف الى اكتشاف آلية إسهام السلوك في البقاء والتكاثر. ومع ذلك , دعونا أولاً نأخذ بالحسبان سؤالاً أكثر أهمية وهو: ماذا يتضمن المصطلح (السلوك behavior).

ما هو السلوك ؟

تعد السجايا السلوكية جزءاً من النمط الظاهري phenotype لحيوان ما بالقدر نفسه الذي تعتبر صفات أخرى كطول ذيلها أو لون فروها جزءاً من مظهرها. إن القسم الأعظم مما نسميه بالسلوك هو عبارة عن النتيجة المرئية للنشاط العضلي لحيوان ما , كما هي الحال عند مطاردة مفترس ما لفريسته , أو عندما ترفع سمكة ما زعانفها كجزء من إبراز حدودها الاقليمية (الشكل 2). يلاحظ في بعض السلوكيات وجود النشاط العضلي ويكون أقل وضوحاً في حالة استخدام الطائر لعضلاته للتخلص من الهواء المتواجد في رئتيه وتشكيل الاصوات في حنجرته , معطياً تغريده .

الشكل (2): ذكر سمك المشط الأفريقي Neolamprologus tetracephalus مع الزعانف المنتصبة. التقلص العضلي الذي يرفع الزعانف هو استجابة سلوكية لخطر ما يداهم الحدود الإقليمية للسمكة.

وهناك بعض الأنشطة غير العضلية والتي تحسب سلوكيات , كحالة إفراز حيوان ما لهرمون جاذب لحيوانات أخرى من الجنس المعاكس. علاوة على ذلك , يمكننا احتساب التعلم كعملية سلوكية . فالعصفور اليافع مثلاً , يمكنه تعلم احداث تغريده يسمعها من عصفور آخر بالغ من النوع نفسه يغردها , مع العلم بأن النشاط العضلي , استناداً الى ما احتفظ به في ذاكرة العصفور اليافع , قد لا يظهر الا لاحقاً وبعد انقضاء بضعة أشهر , عندما يبدأ العصفور اليافع نفسه بالتغريد .

❖ **الاسئلة المباشرة وغير المباشرة حول السلوك:**

عند ملاحظتنا سلوكاً معيناً , يمكننا توجيه أسئلة مباشرة (قريبة) وغير مباشرة (جوهرية) .

تركز الاسئلة المباشرة proximate questions حول السلوك تجاه المنبهات البيئية (إذا وجدت) التي تقلع بالسلوك كما تركز على الآليات الوراثية , والفيزيولوجية , والتشريحية, التي تؤكد فعلاً سلوكياً. وغالباً ما يشار الى الاسئلة المباشرة بعبارة (كيف how). فمثلاً تتكاثر طيور الغرنوق

(الكركي) حمراء التاج، كغيرها من كثير من الحيوانات , في الربيع ومطلع الصيف . فالسؤال المباشر حول زمن تكاثر هذا النوع يمكن أن يكون : كيف يؤثر طول النهار في تكاثر الغرنوق أحمر التاج ؟ ومن الفرضيات المقبولة للسبب المباشر لهذا السلوك أن تكاثر هذا النوع من الطيور يحفز بتأثير زيادة طول النهار على انتاج الحيوان واستجابته لهرمونات معينة. وفي الحقيقة , أوضحت التجارب المطبقة على حيوانات مختلفة أن إطالة فترة التعريض اليومي للضوء تحدث تغييرات عصبية وهرمونية تحث على سلوك مرتبط بالتكاثر , كما في تغريد العصافير وبناء الاعشاش.

وخلافاً للأسئلة المباشرة, تبرز الأسئلة غير المباشرة (الجوهرية) ultimate questions الأهمية التطويرية لسلوك ما . وتأخذ الأسئلة غير المباشرة صيغة (لماذا why) مثلاً:

لماذا يفضل الاصطفاء الطبيعي هذا السلوك وليس غيره ؟

تفترض الفرضيات المعنونة بالأسئلة (لماذا) بأن السلوك يزيد من درجة التوافق بطريقة ما . ومن الفرضيات المقبولة والمتعلقة بأسباب تكاثر طيور الغرنوق حمراء التاج في الربيع ومطلع الصيف بأن التكاثر يكون أكثر نجاحاً وعطاءً في ذلك الوقت من السنة.

فمثلاً, يمكن للطيور الأبوية المتكاثرة في هذا الوقت إيجاد وفرة في الطعام للنمو السريع لأنسالها , مؤمنةً ميزة لضمان نجاح التكاثر قياساً إلى الطيور التي تتكاثر في فصول أخرى من السنة.

وعلى الرغم من تمايز المسببات المباشرة عن المسببات غير المباشرة , فإن كلا المفهومين , مع ذلك , مترابطين. فالآليات المباشرة تنتج سلوكيات تتطور كونها تعكس التلاؤم بطريقة معينة. فعلى سبيل المثال, زيادة طول النهار بحد ذاتها لها أهمية تكيفية طفيفة بالنسبة لطيور الغرنوق حمراء التاج , غير أنها , ونظراً لتوافقها مع الظروف الموسمية التي تزيد من نجاح عملية التكاثر , كحالة وفرة الطعام لتغذية العصافير الصغيرة , فإن التكاثر في فصول النهار الطويل هو آلية مباشرة تطورت في طيور الغرنوق (الكركي).

الايثولوجيا : علم سلوك الحيوان

طور عدد من البيولوجيين المتميزين في مجال السلوك . في منتصف القرن العشرين , هذا الجانب من العلوم وعرف ب (الاثولوجيا ethology) وهو الدراسة العلمية لسلوك الحيوانات ،وبخاصة في بيئاتهم الطبيعة .

وقد أسس أخصائيون علم سلوك الحيوان ،مثل نيكوتينبرجين (Niko Tinbergen) و كارل فان فريتش (Karl von Frish) وكونراد لورينز (Konrad Lorenz) الاستراليين والحائزين على جائزة نوبل في عام 1973 , للمفاهيم الاساسية التي تستند اليها الإيكولوجيا السلوكية الحديثة. وفي مقالة علمية في عام 1963, اقترح (تنبرجين) أربعة أسئلة تتحتم الإجابة عليها لتحقيق الفهم الكامل لأي سلوك. ويمكن تلخيص أسئلته هذه , التي لاتزال تشكل صلب الايكولوجيا السلوكية في الوقت الراهن, على النحو التالي :

1. ما هو الأساس الميكانيكي للسلوك , بما فيها الآليات الكيميائية , والتشريحية والفيزيولوجية ؟

2. كيف يؤثر تطور الحيوان , من البيضة الملقحة zygote حتى وصوله الى النضج التام , في سلوكه ؟

3. ما هو التسلسل التاريخي التطويري للسلوك ؟

4. كيف يسهم السلوك في بقاء وتكاثر الحيوان (الملاءمة)؟

وتتضمن قائمة (تنبرجين) كلتا المجموعتين من الاسئلة المباشرة وغير المباشرة . ويتعلق السؤالين الاول والثاني , واللذين يركزان على آلية وتطور السلوك, بالأسئلة المباشرة , في حين يعد السؤالان الثالث والرابع من الاسئلة غير المباشرة أو أسئلة تطويرية . ويمكن توضيح الطبيعة التكاملية لكلا المنظورين (المباشرة وغير المباشرة) من خلال سلوكيات تكررت دراستها من قبل الاثيولوجيين التقليديين.

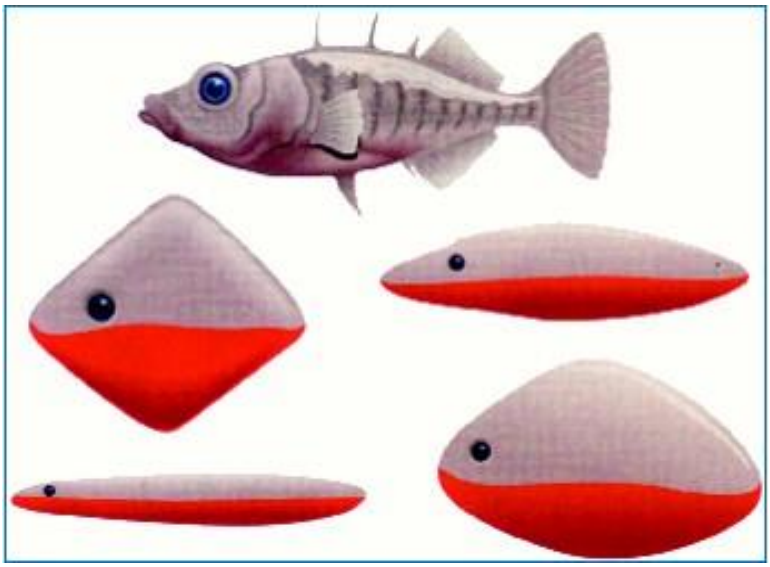
❖ نماذج الفعل الثابت

أحد أنماط السلوك التي درسها الاثيولوجيين بشكل مكثف هو نموذج الفعل الثابت (FAP) fixed action pattern وهو عبارة عن سلسلة من الافعال السلوكية التي لم يدرب عليها الحيوان, وهي أساساً أفعال لا يمكن تغييرها , وبمجرد بدء الحيوان بسلوكها , تستمر معه حتى النهاية . وينطلق نموذج الفعل الثابت (FAP) بفعل منبه حسي خارجي يعرف (المنبه العلام sign stimulus).

ولقد درس (تنبرجين) ما أضحى مثالاً تقليدياً للمنبهات العلامة ونماذج الفعل السابق في ذكر السمك ثلاثي النتوء, شائك الظهر (سمك أبو شوكة) three-spined stickle back fish الذي يهاجم ذكور السمك الأخرى التي تغزو مواضع أعشاشه.

ويتمثل **المنبه للسلوك الهجومي بلون البطن الأحمر للسمك الغازي** , فالسمك شائك الظهر لا يهاجم السمك الدخيل الذي لا يمتلك بطناً احمر اللون . (لاحظ أن إناث السمك شائك الظهر لا تمتلك بطناً أحمر اللون إطلاقاً) وإنما ستهاجم ذكور السمك شائك الظهر مباشرةً نماذج اصطناعية للسمك المتطفل طالما يكسو بطنها اللون الأحمر (الشكل 3) .

(a)



(b)

الشكل (3): المنبهات العلامة في نموذج تقليدي للفعل الثابت>

a): ذكر السمك ثلاثي النتوء و هو يظهر وجهه البطني أحمر اللون.

b): النموذج الحقيقي في الأعلى بدون وجه سفلي أحمر اللون. لا يظهر استجابة عدائية في ذكور السمك ثلاثي النتوء، شائك الظهر. في حين تظهر النماذج الأخرى ذات الوجه السفلي الأحمر استجابة قوية.

وفي الحقيقة كانت (تنبرجين) مندفعاص لينظر الى المسألة من خلال ملاحظته السببية عندما استجابت أسماكه بعدائية عندما تجاوزت عربة حمراء الحوض الذي تتواجد فيه هذه الاسماك وكنتيجة لبحثه , والذي نشر للمرة الاولى عام 1937 , اكتشف (تنبرجين) أن اللون الأحمر هو مكون أساسي من المنبهات العلامة المطلقة للسلوك العدائي عند ذكور السمك شائك الظهر. ويتيح (الشكل 4) التفسيرات المباشرة وغير المباشرة لنموذج فعل ثابت معين مابين ذكور السمك شائك الظهر.

السلوك: أحد ذكور السمك شائك الظهر يهاجم ذكوراً أخرى من النوع نفسه تغزو مكان تعشيشه الإقليمي.

السبب المباشر: يعمل لون البطن الأحمر للذكور المهاجمة كمنبه علام يطلق السلوك العدائي في ذكور السمك شائك الظهر.

السبب غير المباشر: يتم من خلال إبعاد و ملاحقة ذكور السمك شائك الظهر المهاجمة. تخفيض فرصة إخصاب البيض الذي وضعته إناث السمك من قبل ذكر آخر، و يضمن ذكر السمك إخصاب البيض في موضع تعشيشه الإقليمي من قبله و ليس من ذكور أخرى.

الشكل (4): التصورات المباشرة و غير المباشرة للسلوك العدائي من قبل ذكور السمك شائك الظهر.

التطبع

التطبع imprinting , هي نمط من السلوك يتضمن كلاً من التعلم والمكونات الفطرية للفرد وهي عموماً ظاهرة غير عكوسة , ويتميز التطبع عن غيره من أنماط التعلم بوجود **(فترة حساسة sensitive period)** وهي مرحلة محددة خلال تنامي الحيوان يتم خلالها فقط تعلم سلوكيات معينة .

ومن أمثلة التطبع لحاق صغار الإوز geese لأمها . وفي الانواع التي تتسم بتوفير الرعاية الابوية, يشكل ارتباط الأنسال بآبائها جزءاً بالغ الاهمية من دورة الحياة. ويتم خلال فترة الارتباط هذه تعود الصغار على أبائها وتعلم السلوكيات الرئيسية المميزة لنوعها, في حين تتعلم الآباء التعرف على أنسالها.

ففي طيور النورس مثلا , تمتد الفترة الحساسة لارتباط الابناء بآبائها ليوم أو يومين . وفي حال عدم حدوث الارتباط, فلن تتولد رعاية الآباء لصغارها , مؤدية الى موت نسبة معينة من الانسال وتناقص معدل نجاح تكاثر الآباء.

ويبقى السؤال : كيف تعرف الصغار بطباع من ؟ أو أية طباع تتطبع؟ كيف تعرف صغار الإوز بإنه يتوجب عليها اللحاق بالإوزة الأم ؟

تعد نزعة الاستجابة فطرية في الطيور، وتشير التجارب على أنواع عديدة من طيور الماء السابحة عدم امتلاك هذه الطيور امكانية التمييز الفطري لامهاتهم . فهي تستجيب لأول جسم تصادفه ويمتلك خصائص رئيسة محددة و تتعرف عليه.

وفي التجارب التقليدية المنفذة في ثلاثينيات القرن الماضي (1930s) بين كونراد لورينز Konrad (Lorenz) أن أهم منبه التطبع في الإوز الرمادي تتمثل في حركة الجسم بعيداً عن صغار الإوز.

فعندما أمضت فراخ الإوز الفاقسة حديثاً من الحاضنة الساعات القليلة الاولى من حياتها مع الباحث لورينز بدلاً من قضائها مع إوزة أم تعودت هذه الفراخ عليه , ومنذ ذلك فصاعداً , ظلت الفراخ تتبعه ولم تبدي تمييزاً لأمها البيولوجية (الحقيقية) أو أية إوزة بالغة أخرى من النوع نفسه . وهنا تظهر ثانية التفسيرات المباشرة وغير المباشرة كما هو موضح في (الشكل 5).

الشكل (5): وجهات النظر المباشرة و الجوهرية للتطبع في الإوز الرمادي.

وعلى سبيل المثال , في مجموعة تضم (77) طائراً من طيور الغرنوق (النعوقة) المهددة بالانقراض فقست وربيت من قبل طيور الغرنوق التي تقطن التلال الرملية تعودت على تربية آباء الغرنوق في التلال الرملية, ولم يشكل أي من طيور الغرنوق النعوقة قط زوجاً ارتبط بالتزاوج مع غرنوق نعوق آخر. كنتيجة لذلك , تعزل برامج التربية المغلقة حالياً طيور الغرنوق الفتية وتعرضها لمشاهد وأصوات أفراد من نفس نوعها .

الشكل (6): التطبع بهدف الحفظ. استفاد بيولوجيو حفظ الموارد الطبيعية من ظاهرة التطبع لدى طيور الغرنوق النعوقة الفتية كوسيلة لتعليم الطيور مسار الهجرة و هنا يبدو طيار يرتدي بزة طائر الغرنوق في طائرة خفيفة و يقوم بدور أب بديل لطيور الغرنوق.

ولكن يمكن استخدام (التطبع) أيضاً ليخدم حفظ طيور الغرنوق (الشكل 6) وقد تعلمت طيور الغرنوق النعوقة الفتية.

التي اعتادت على البشر بلباس (بزات) طيور الغرنوق أن تلحق بهذه الآباء التي تطير بطائرات خفيفة (aircraft) على طول مسارات هجرة جديدة . ومن المهم أيضاً أن هذه الطيور قد شكلت أزواجاً ترتبط تزاوجياً بطيور الغرنوق النعوقة الأخرى .

❖ تمتلك العديد من السلوكيات مكون وراثي قوي:

يظهر البحث المعمق أن السجايا السلوكية , كالسمات التشريحية والفيزيولوجية لنمط ظاهري معين , هي محصلة تأثرات معقدة بين العوامل الوراثية والبيئة. ويتناقض هذا الاستنتاج بحدة مع المفهوم الشائع بأن السلوك يعود إما إلى المورثات (الطبيعية) أو إلى البيئة (التغذية). وفي البيولوجيا , فإن

مقارنة الطبيعة بما فيها التغذية ليست موضع حوار وجدل . لا بل يدرس البيولوجيون كيفية تأثير كل من الموروثات والبيئة في تنامي وتطور الانماط الظاهرية , متضمنة الانماط السلوكية المظهرية. و يتوجب علينا أن نتذكر دائماً أن السلوكيات كافة تتأثر بكلا العاملين الوراثي والبيئي .

وتتجسد إحدى مقاربات دراسة تأثير عوامل مختلفة في سلوك محدد في عرض هذا السلوك من خلال مبدأ رد الفعل (التفاعل) فإنه بإمكاننا , على سبيل المثال , قياس الأنماط السلوكية المظهرية لنمط وراثي معين تنامى في مدى واسع من البيئات. ففي بعض الحالات يتباين السلوك بحسب التجربة البيئية. وفي حالات أخرى, يؤدي فعلياً أفراد جماعة ما كافة السلوك نفسه تقريباً , وذلك على الرغم من الإختلافات البيئية الداخلية والخارجية خلال مرحلة تنامي أفراد هذه الجماعة وخلال حياتهم كاملة. ويدعى السلوك الثابت تطوريا في هذه الطريقة (بالسلوك الفطري innate behavior) وتخضع السلوكيات الفطرية بقوة للتأثير الوراثي.

❖ الحركات الموجهة

كثير من حركات الحيوانات , بدءا من البسيطة منها التي تحدث ضمن مليمترات قليلة وصولاً إلى الحركات المعقدة التي تمتد لمئات أو آلاف الكيلو مترات , جميعها تخضع لتأثير وراثي حقيقي . ونظراً لدور المورثات الواضح في ضبط هذه الحركات الحيوانية , فإنه بالإمكان تسميتها **بالحركات الموجهة directed movements . و من هذه الحركات الموجهة نذكر:**

1-الحركية

تعرف الحركية Kinesis بانها تغير بسيط في نشاط أو معدل الدوران استجابة لمنبه معين . فمثلا تعتبر حيوانات (بق الخنزيرة sow bugs) وتدعى ايضا قمل الخشب wood lice من الحيوانات القشرية الارضية التي تفضل العيش في البيئات الرطبة , وتظهر الحركية استجابة للتباين في معدل الرطوبة (الشكل7.a). وتصبح حيوانات بق الخنزيرة أكثر نشاطا في المناطق الجافه ويقل نشاطها في المناطق الرطبة . وعلى الرغم من ان هذه الحيوانات لا تتحرك نحو الامام أو بعيدا عن ظروف

بيئية محددة , فان حركاتها المتزايدة في الظروف الجافه تزيد من فرصة مغادرتها للمنطقة الجافه لتجد منطقة رطبة .ونظرا لتباطؤ حركتها في منطقة رطبة , فإن هذه الحيوانات تستقر في تلك المنطقة بمجرد وصولها اليها .

2-الانجذاب

على العكس من ظاهرة (الحركية) يعد الانجذاب taxis بشكل أو بآخر حركية ذاتية (اتوماتيكية) موجهه نحو (انجذاب موجب) او بعيدا عن (انجذاب سالب) بعض المنبهات . فعلى سبيل المثال , تمتلك كثيرا من أسماك الجداول المائية , كسمك الترويت (سمك السلمون المرقط) Trout خاصية الانجذاب التياري rheotaxis الموجب, فهذه الأسماك تسبح أتوماتيكيا أو توجه نفسها في اتجاه معاكس للتيار (تجاه مصدر التيار) . يحفظ هذا الانجذاب الأسماك من أن تجرف بعيدا ويبقيها بشكل مواجه لمصدر قدوم الطعام (الشكل 7 b) .

الشكل (7): الحركات الموجهة (الحركية و الإنجذاب و الهجرة).

3-الهجرة

من السهل الافتراض بأن سلوكاً بسيطاً , "التي تظهرها بق الخنزيرة أو الانجذاب التياري الموجب من قبل سمك الترويت " يخضع لسيطرة وراثية قوية . ومن ناحية أخرى , يمكن أن يكون التأثير الوراثي

حدثاً هاماً في سلوكيات أكثر تعقيداً . فمثلاً , وجد علماء الطيور ornithologists أن كثيرا من معالم سلوك الهجرة في الطيور مبرمجة وراثياً (الشكل.7 c) .

ويعد طائر "أبو قلنسوة Sylvia atricabilla" من أكثر الطيور المهاجرة التي درست بشكل شامل ومعمق , وهو طائر مغرد صغير ينتشر من جزر "كاب فيردي, Cabe verde Islends " قبالة شاطئ غرب افريقيا الى شمال أوروبا . ويختلف سلوك الهجرة لطيور "أبو قلنسوة" بشكل كبير بين الجماعات, ففي حين تهاجر جميع طيور أبو قلنسوة المتواجدة في الجزء الشمالي من مجال الهجرة (في الليل عادة) , بينما نجد أن تلك المتواجدة في الجزر "كاب فيردي" لا تهاجر نهائياً . فخلال موسم الهجرة العادي تمضي طيور أبو قلنسوة حبيسة الترحال ليلتها تثب قلقة حول أقفاصها أو ترفرف أجنحتها بسرعة وهي واقفه على مجثمها .

درس الباحثون الأسس الوراثية لهذا السلوك , الذي يعرف "بالهجرة القلقة migratoiy restlessness" في عدة جماعات من طائر "أبو قلنسوة" . وفي واحدة من الدراسات , زواج الفريق البحثي (هجن) طيور أبو قلنسوة المهاجرة من جنوب ألمانيا مع طيور أبو قلنسوة غير المهاجرة من "كاب فيردي" وعرضوا النسل الناتج لبيئات منبهه أحد المواقع أو الموقع الأخر . وقد أبدى نحو 40% من الانسال المرباة في ظروف الموقعين (الهجرة القلقة) ما دفع (بيرت هولت) للاستنتاج بأن " الهجرة القلقة " تخضع للفعل الوراثي وتسلك نموذج المورثات المتعددة في ألية توريثها. وأوضحت تجارب التربية الأخرى في مخبر "بيرت هولد" التأثيرات الوراثية في العديد من مكونات هجرة طيور أبو قلنسوة , كما سنرى لاحقا في هذا الفصل.

❖ اشارات الحيوانات واتصالاتها:

تتضمن كثير من التآثرات الاجتماعية بين الحيوانات ارسال المعلومات من خلال سلوكيات معينة تعرف "بالإشارات signals" وتعرف ايضا (بالنشر او العرض) .وفي علم ايكولوجيا السلوك تعرف الاشارة signal بانها سلوك يسبب تغييراً في سلوك حيوان اخر . ويشكل الارسال و الاستقبال والاستجابة للإشارات ما يعرف باتصال الحيوانات animal communication, وهو عنصر

اساسي من عناصر التأثرات بين الافراد. ومع أن للبيئة اسهامات جلية في منظومات الاتصال كافه , فان بعض معالمها تخضع لتأثير وراثي قوي .

كثير من الاشارات فعال جداً في توفير الطاقة . فمن الاشارات الشائعة بين الأسماك التي تتشاطر موئلاً معيناً, تتمثل في انتصاب زعانفها , ما يظهر هذه الاسماك بصورة أكبر تكفي عادة لدفع الافراد الدخيلة بعيداً عن موطنها. ويتطلب انتصاب زعانف الاسماك طاقة أقل من تلك المطلوبة لطرد ذكر السمك الدخيل من موطن هذه الأسماك.

تتواصل الحيوانات مستخدمة أنواع مختلفة من الإشارات أهمها:

1) الإشارات البصرية.
2) الإشارات السمعية.
3) الإشارات الكيميائية (الشمية).
4) الإشارات اللمسية.
5) الإشارات الكهربائية.

ويعد نمط الإشارة المستخدمة في إرسال المعلومة وثيق الصلة بنمط حياة الحيوان والبيئة. فمثلاً , معظم الثدييات الأرضية تنشط ليلاً (ليلية)، ما يجعل الإشارات البصرية غير فعالة نسبياً . غير أن الاشارات الشمية والسمعية تعمل بشكل فعال سواء في الليل أو النهار , وتؤثر معظم الانواع الثدية بهذه الوسائل . وبالمقارنة , فالطيور بمعظمها نهارية وتمتلك حاسة شم ضعيفة نسبياً , وتتواصل بشكل رئيسي من خلال الإشارات البصرية والسمعية. وخلافاً لمعظم الثدييات , يعتبر البشر نهاريون , وكالطيور, يستخدمون أساساً وسائل الإتصال البصرية والسمعية. وبناءً على ذلك , يمكننا الكشف عن الاغنيات والألوان البراقة التي تستخدمها الطيور للتواصل فيما بينها . وفيما لو امتلك البشر الإمكانات الشمية المتطورة جداً التي تمتلكها معظم الثدييات واستطاعوا اكتشاف العالم الغني بالمشعرات الكيميائية , سيكون لنا نظرة مختلفة جداً عن الطبيعة.

الاتصال الكيميائي

تدعى معظم الحيوانات التي تتواصل من خلال مواد كيميائية مصدرة للروائح (بالفيرمونات pheromones) أو (حاملات الفيرمون). وفي معظم الحالات , فإن إنتاج الفيرمونات واستجابات الحيوانات لها تضبط وراثياً, ويشيع انتشار الفيرمونات بشكل خاص ما بين الثدييات والحشرات وغالباً ماترتبط بسلوك تكاثري . كثير من العث moths مثلاً. تصدر الفيرمونات التي يمكنها جذب أحد الزوجين من على بعد عدة كيلو مترات . وعند اجتماع العث , تقدح الفيرمونات سلوكاً حميماً خاصاً فيما بينها . يمكن لسياق الحديث عن الإشارة الكيميائية أن تمتلك الأهمية نفسها التي تمتلكها المادة الكيميائية . ففي مستعمرة نحل العسل homeybee, تحافظ الفيرمونات المنتجة من قبل الملكة وبناتها , أي العاملات , على النظام الاجتماعي المعقد جداًلخلية النحل . فعندما تكون ذكور نحل العسل (العالة drones) خارج الخلية, حيث يمكنها أن تتزاوج مع الملكة, فإنها تنجذب إلى فيرموناتها, وحينما تكون هذه الذكور داخل الخلية فإنها لا تتأثر بفيرمونات الملكة.

والفيرمونات فاعلة أيضاً في السلوك اللا تكاثري . فمثلاً , عندما يجرح سمك المنوة minnow أو السللور catfish , تنتشر مادة منبهة , مخزونة في غدد في جلد السمكة , في الماء, محرضة استجابة مخيفة ما بين الأسماك الأخرى في المنطقة . وتصبح الأسماك المجاورة أكثر حذراً وتتجمع مع بعضها في صفوف متراصة بقوة , وفي الغالب بالقرب من القاع , حيث تكون أكثر أمناً من أي هجوم (الشكل 8) .

أسماك المنوه تنتشر في كافة أنحاء حوض السمك قبل إضافة المادة المنبهة

خلال ثوان من إضافة المادة المنبهة، تتجمع أسماك المنوه قرب قاع الحوض و تخفض من حركتها

الشكل (8): استجابة سمك المنوه لوجود مادة منبهة.

ويمكن أن تكون الفيرمونات فعالة جدا عند تراكيز منخفضة . فمثلا يحتوي ا (سم)2 فقط من جلد رأس دهني من سمك المنوة مادة منبهة كافية لتحريض رد فعل منبه حتى ولو مدد ب (58000) ليتر من الماء.

الاتصال السمعي

إن تغاريد معظم أنواع الطيور معلومة جزئياً بالحد الأدنى . وبالمقابل , تتضمن طقوس التزاوج في العديد من أنواع الحشرات غناءً (صخباً) مميزاً يخضع مباشرةً , بشكل عام, للتأثير الوراثي. ففي أنواع حشرة (الدروسوفيلا drosophila), تنتج الذكور أغنية عن طريق اهتزاز أجنحتها, ويمكن للإناث تمييز أغنيات الذكور العائدة لأنواع الإناث نفسها من خلال هذه التفاصيل كالمسافات بين الذبابات الناتجة عن اهتزازات الأجنحة , إيقاع الأغنية في ذكور الدروسوفيلا يخضع للتأثير الوراثي. فمثلاً , تنتج الذكور المرباة في أماكن معزولة أغنية مميزة لأنواعها بالرغم من عدم لقائها بذكور مغنية أخرى . بالإضافة لذلك , تبدي أغنية الذكور تبايناً طفيفاً جداً بين الأفراد داخل النوع نفسه من حشرة الدروسوفيلا.

في حين تختلف أنواع الدروسوفيلا مورفولوجياً وكذلك في أغانيها الغزلية، لقد كان الاعتقاد السائد بأن حشرات شبكية الأجنحة الخضراء أو المتطابقة (المتماثلة) مورفولوجياً والمنتشرة من وسط إلى شمال أوراسيا وشمال أمريكا , بأنها تتبع نوعاً واحداً هو chrysoperla carnea . غير أن دراسات أغانيها الغزلية كشفت عن وجود ما لا يقل عن (15) نوعاً مختلفاً , يعني كل منها أغنية غزلية مختلفة. ويمكن أن يحدث هذا التطابق (التماثل) المورفولوجي بين أنواع تقطن موئلاً واحداً (مثال على السلوك الانعزالي للأنواع).

إيكولوجيا السلوك (2)

السلوك الحيوانيAnimal behavior

1- مقدمة:

السلوك الحيواني، سواء كان إنفرادياً أَو جماعياً، ثابتاً أَو متغيّراً فهو مستند إلى العملياتِ و الأنظمةِ الفسيولوجية. وأكثر تصرفات الحيوانات تحكمها الغريزة, فباستطاعة العنكبوت أن تنسج مأواها

والعصفور أن يبني عشه دون أن يعلمه أحد ذلك ، وطير الوقواق الصغير يستطيع أن يجد طريقه إلى أفريقيا دون مساعدة والديه.

السلوك الفردي: عملُ تقوم به العضلاتِ أَو الغدّدِ تحت سيطرة النظامِ العصبيِ ردَّاً على محفّز ما. على سبيل المثال تستعمل بعض الحيوانات عضلاتها الصدرية و حنجرتها لإصدار أغنية أو صوت معين,أو نشر رائحة معينة لتعيين حدود منطقتها الخاصة.

السلوك الجماعي: الروابط التي تجمع بين أفراد القطيع و الأعمال التي يقوم بها الأفراد سوية, سواء من أجل الحصول على موارد الغذاء أو الدفاع عن الأفراد الأضعف ضد الأخطار أو الهجرة(الشكل 1).

تحرك الأغنام كوحدة متماسكة

الشكل (1): السلوك الجماعي عند الحيوانات، تحرك الأغنام كوحدة متماسكة من أجل الحصول على الغذاء.

للسلوك دور أساسي في البحث عن المواد المغذية, وعن الشريك من أجل التناسل و الحفاظ على الاستمراري، و السلوك يخضع للاصطفاء الطبيعي بمرور الزمن, و بالتالي فهو يؤثر على البنية التشريحية لجسم الكائن, من حيث الشكل و الوظائف التي يقوم بها, و المظهر يؤثر بشكل مباشر على آلية تعرف أفراد النوع المتماثلة على بعضها ,و التواصل فيما بينها, و التي تندرج تحت العديد من التصرفات، على سبيل المثال الرقصات التي تقوم بها بعض الطيور لجذب الشريك أو ألوانها المتميزة و أشكال أجسادها المناسبة لعملية التكاثر و التواصل فيما بينها.

2- الإيقاعات السلوكية:

إن للساعة البيولوجية (circadian) دوراً هاماً في النشاط اليومي لكل الحيوانات ,حيث ينتج عنها إيقاع الدورة اليومية مِنْ الاستراحة والنشاطِ . و إن هذه الساعة تتزامن و تتغير تبعا للضوء و الظلام, وتبقى ثابتة أثناء فترة السبات لبعض الكائنات . وهذه الساعة تنظم سلوك الكائنات بما يتعلق بالهجرة و أوقات التكاثر و غيرها.

- الهجرة:

ان معظم الحيوانات تعود إلى المكان الذي ولدت فيه لتتكاثر كالأسماك و السلاحف والطيور و يعتمد بعضها في هجرته على الشمس و يساعدها في ذلك ساعة داخلية تعدل ميعاد الهجرة تبعا لتغير موقع الشمس بالنسبة للأرض و بعضها يعتمد في هجرته على النجم القطبي ذي الموقع الثابت بالنسبة للأرضو حتى عندما تحجب الغيوم كل من الشمس و النجم القطبي يبقى مسير الهجرة ثابت (الشكل 2).

و هذا أدى لنشوء فرضية تقول بأن تلك الحيوانات موجهة بتأثير الحقل المغناطيسي الأرضي الذي يؤثر على أثار من الحديد المغناطيسي الخام في رؤوس تلك الحيوانات, عن طريق إرسال نبضات مغناطيسية تؤثر بالخلايا العصبية التي تنقل هذا التنبيه إلى الدماغ مثال قام العلماء بوضع مغناطيس صغير على رأس حمامة زاجلة مما منعها من العودة بشكل صحيح إلى مجتمعها.

الشكل (2): هجرة الطيور تبعا لتغير موقع الشمس بالنسبة للأرض و النجم القطبي.

تأثر السلوك الحيواني بالتجارب التي مر بها الحيوان أثناء نموه و تطوره:

يتعلق السلوك بالتجارب التي مر بها الحيوان, مثلا عندما يقوم الفأر الأبيض بقضم يرقة الفراشة الملكية فإن سائل فمه يصبح مقيتا و لا يستسيغه الفأر فنلاحظ بعد ذلك بأن الفأر لا يعاود الكرة مرة ثانية و يتجنب مهاجمة الحشرات ذات المظهر المماثل, فهو في هذه الحالة قام بربط لون اليرقة بالطعم الكريه, وهذا يسمى **بالتعلم الترابطي**, و له نوعان كلاسيكي و تكيفي.

أ – **التعلم الترابطي** *الكلاسيكي:* الذي يتمثل بتجربة بافلوف على الكلب حيث أنه قرن موعد إطعام الكلب بصوت جرس وأعاد التجربة عدة مرات على الكلب ,فلاحظ أن الكلب بمنعكس شرطي منه , كان يبدي استجابة قوية لدى سماعه صوت الجرس حتى بغياب اللحم نلاحظ هنا أن الكلب ربط بين صوت الجرس و اللحم.

ب –التعلم الترابطي *ألتكيفي:* يبني النمل الأبيض بيوته منتصبة فوق الأرض و (يبلغ ارتفاعها ما بين خمسة أمتار و ستة) يعتمدها لأنه لا يستطيع الخروج في ضوء الشمس بسبب طبيعة تكوين جسمه. وتحتوي بيوته على نُظُم للتهوية ،و قنوات و ممرّات و غرف لليرقات ، و أماكن خاصة لإنتاج الفطر، و مخارج أمنية ، و غرف خاصة للجو الحار و أخرى للجو للبارد ، و باختصار فيها كل شيء , و الأغرب من كل ذلك هو أن النمل الأبيض الذي يبني هذه البيوت البديعة هو في حقيقة الأمر أعمى.

– البحث عن الشريك و التكاثر:

هناك عوامل كثيرة تؤثر على هذا السلوك الذي يختلف من حيوان إلى آخر, مثلا إن ذكر ذبابة الخل يعتمد على الاتصال البصري من خلال تدفق المعلومات إلى النظام البصري للأنثى , وإحساس الذكر برائحة الأنثى هو مثال على الاتصال الشمي الكيميائي, و من ثم الاتصال اللمسي الذي يُنذرُ الأنثى بحضورِ الذكرَ.(في هذه العملية مواد كيماوية على بطنِ الأنثى تُحوّلُ إلى الذكرِ, فيزداد لديه التأكيدَ الكيميائيَ على أن الأنثى من نفس نوعِه).

في المرحلةِ الثالثةِ للمطارحةِ، الذكر يُمدّدُ ويَذبذبُ جناحَيه، لإنْتاج أغنية مطارحةِ معيّنةِ. هذا الغناء مثال للاتصال السمعي، تعرف الأنثى بأنّ الذكرَ مِنْ نفس النوعِ,فقط إذا كانت كل أشكالِ الاتصال السابقة ناجحة ثم تَسْمحُ الأنثى للذكر بمُحَاوَلَة الجماعِ. كثير من الحيوانات أثناء الاتصال الشمي تنشر مواد كيميائية (pheromones) تقوم بتحفيز الأفراد الأخرى لنفس النوع . وقد تمثل هذه الفيرمونات أجراس خطر تحذر الأفراد الأخرى بدنو خطر معين تفرزها الحيوانات بعد موتها أو بسبب تعرضها لمنبه ما.

– المغازلة

إن كثير من الحيوانات تتزاوج فقط في أوقات معينة من السنة حينما تجتمع ,وفي أحيان كثيرة تتبع

الحيوانات طرقا معقدة في المغازلة . الذكور عادة تتنافس على الإناث، وكثيرا ما تكون الذكور أكبر حجما وأكثر ألوانا من الإناث، فالطاووس الذكر يجر ذنبا طويلا من الريش الملون، يفتحه بشكل مروحة جذابة عندما يريد أن يلفت نظر الأنثى ، التي تكون أقل بهرجة منه (الشكل 3).

وتستعمل الحيوانات كذلك أصواتا مختلفة لاستمالة أزواجها. فالضفادع تنق والعصافير تغرد. وبعض الحيوانات تلجأ أحيانا إلى إطلاق روائح خاصة لاجتذاب أزواج فالروائح التي تطلقها بعض الحشرات تصل إلى مسافات بعيدة ,حيث تستنشقها الأزواج العتيدة وتسارع إلى تلبية النداء . كذلك العديد من

الشكل (3): الزركشة التي تميز ذكور الطيور لكي يتم جذب الأنثى.

الثدييات تصدر عنها روائح خاصة في مواسم التلقيح والتزاوج ,وهذه الروائح تصدر عن الذكور وعن الإناث، وتعني غالبا أن الحيوانات حاضرة للتزاوج.أكثر الحيوانات تلجأ إلى أساليب خاصة للتزاوج ، مع تغيير ألوانها أو إصدار روائح خاصة ، مقرونة بسلوك خاص لهذه المناسبات قد يكون هناك ((مشية)) أو رقصة ، أو مبارزة بين ذكرين تكون فيها الإناث من حظ الفائز.

وثمة أسباب عديدة للمغازلة فهي تبين أيا من الحيوانات قد بلغ أشده وأصبح مستعدا للتزاوج ، كما تبين قدرته الجسدية على ذلك وأكبر فوائد المغازلة ربما كانت لتشجيع التزاوج والتناسل . ولدى العناكب وفرس النبي ((Praying Mantis)) من الضروري جدا أن يتبع الذكر أساليب المغازلة الصحيحة ، وإلا فقد تخطيء الأنثى وتظن أنه إحدى فرائسها وتأكله!.

– العناية

السبب في عناية الأهل بالصغار هو للتأكيد من أن بعض المواليد تعيش حتى تبلغ سن النضوج ولا تكرس كل الحيوانات نفس الجهد والعناية لصغارها، إذ إن ذلك يتوقف على عوامل عديدة. فالحيوانات القصيرة العمر قد لا تكرس أي وقت لهذا الأمر ، كذلك عدد المواليد قد يؤثر على مقدار العناية ونوعيتها .فالحيوانات التي تضع أعدادا كبيرة من المواليد كل سنة تصرف وقتا أقل بكثير للعناية بمواليدها.

- **الإيثار**

حيث نلاحظ أن بعض الحيوانات تؤثر أولادها على نفسها ,في حين أنه من الطبيعي والمتوقع في هذه الحالات أن تهمل هذه الحيوانات غير العاقلة صغارها وتتركها وشأنها, لأنها لا تفهم معنى الأمومة أو العطف, ولكنها على العكس من ذلك تتحمل مسؤولية حمايتها و الدفاع عنها بشكل عجيب, وأبسط مثال على ذلك هو سلوك عاملات النحل فهي تقوم بلسع أي حيوان يدخل إلى خليتها مع علمها يقيناً أنها ستموت، فإبرتها اللاسعة تبقى مغروزة في الجسم الذي تلسعه ونظراً لارتباط هذه الإبرة الوثيق بالأعضاء الداخلية للحشرة تسحب معها هذه الأعضاء خارجاً متسببة في موت النحلة. يتّضح من ذلك أنّ النحلة العاملة تضحي بحياتها من أجل سلامة باقي أفراد الخلية.

ويعرف عن التمساح كونه من الحيوانات المتوحشة إلا أنّ الرعاية التي يوليها لأبنائه تثير الحيرة الشديدة، فعندما تخرج التماسيح الصغيرة بعد فقس البيض تقوم الأم بجمعها في فمها حتى تصل بها إلى الماء, ثم تعكف على رعايتها وحملها حتى تكبر ويشتد عودها وتصبح قادرة على مواجهة المصاعب بنفسها، وعندما تشعر التماسيح الصغيرة بأي خطر سرعان ما تلوذ بالفرار ملتجئة إلى فم أمّها وهو الملجأ الأمين بالنسبة إليها. إن هذا السلوك يثير الاستغراب, خاصة إذا علمنا أن التماسيح حيوانات متوحشة, والمنتظر منها أن تأكل أبناءها وتلتهمهم لا أن ترعاهم وتحميه.

الشكل (4): إرضاع الصغار بعيدا عن القطيع رغم أن ذلك يعرض الأم للخطر

وهناك بعض الأمات من الحيوانات تترك القطيع الذي تعيش فيه لترضع أولادها، فتتخلف الأم مع ولدها وتظل ترضعه حتى يشبع معرّضة حياتها لخطر جسيم (الشكل (4). والمعروف عن الحيوانات أنها تهتم بأولادها الذين ولدوا حديثاً, أو الذين خرجوا من البيض لمدد طويلة, تصل إلى أيام أو أشهر أو حتى بضع سنين, فتوفر هذه الحيوانات لصغارها الغذاء والمسكن والدفء ,وتقوم بالدفاع عنهم من خطر الأعداء المفترسين.

وأغلب أنواع الطيور يقوم بتغذية صغاره من 4 –20 مرة في الساعة خلال اليوم الواحد، أمّا إناث اللبان فأمرها مختلف إذ يحتم عليها أن تتغذى جيداً عندما ترضع صغارها حتى توفر لهم اللبن الكافي، وطيلة هذه الفترة يزداد الرضيع وزناً بينما تفقد الأم من وزنها بشكل ملحوظ.

ولا تقوم الأحياء باتخاذ مثل هذا السلوك مع صغارها فقط وإنما قد تبدي العطف نفسه والحنان نفسه إزاء الحيوانات الأخرى أو الأفراد الأخرى التي تعيش معها في المجموعات نفسها، ويمكن ملاحظة ذلك عندما تشح مصادر الغذاء، فالمتوقع في مثل هذه الحالات العصيبة أن ينطلق القوي منها ليبيد الضعيف ويستحوذ على ما يوجد من الغذاء، غير أن الذي يحدث هو إيثار غيره من الصغار و الأفراد المريضة على نفسه.

–**الاستنتاج و التعلم لحل المشكلات:** تستطيع بعض الحيوانات حل المشكلات التي تعترضها أثناء محاولتها الحصول على الغذاء فالنشاط الإدراكي للابتكار طريقة للمَضي من حالة إلى أخرى تجاه العقباتِ الحقيقيةِ أَو الظاهرةِ (القدرة على تشغيلَ بيانات نظام عصبي تساهم في حل المشكلة)

،.على سبيل المثال، إذا وضع شمبانزي في غرفة وعِدّة صناديق على الأرضيةِ و موزة علّقت بمستوى عالي مِنْ السقف بحيث لا يستطيع الشمبانزي الوصولِ إليها فيمكن له أَنْ "يُقدّرَ حجم" الحالةَ ويُكدّسُ الصناديقَ فوق بعضها للوُصُول إلى الغذاءِ.

مثل هذا السلوكproblem solvingمتطوّر إلى حدٍ كبير في بَعْض الثدييات، خصوصاً القرود والدلافين, فالشمبانزي البري يمكن أن يتعلم من الشمبانزي المجرب كيف يكسر بندق النخيل بحجرين.وطير النورس لا يستطيع أن يكسر أصداف المحار بمنقاره لذلك تعلم أن يحملها ويطير بها عاليا ثم يلقي بها على الصخور حيث تتحطم. وبعض الطيور والحيوانات تستخدم أشياء تساعدها على التغلب على المصاعب , فعصفور الدوري في جزر (غالاباغوس) يستخدم شوكة الصبر لاستخراج الحشرات من تجاويف الشجر.

– للحيوان أخلاقيات تحكمه

إن مبدأ السلوك الأخلاقي متأصل في أدمغة جميع الثديّات ليمنحهم ذلك "التماسك (الالتصاق) الاجتماعي" الذي قد يدفع اشد الحيوانات عداء ومنافسة فيما بينها ,للعيش ضمن مجموعات متحابة، حيث أثبتت نتائج توصل إليها العلماء عبر دراستهم لسلوك أنواع مختلفة من الحيوانات ومن مختلف أنحاء العالم، بأنها تشترك في إحساس سليقي (بالفطرة) بالعدل و إظهار التعاطف والمساعدة, فيما بينها ,لاسيما لتلك التي تمر بمحنة آو تواجه خطراً ما.

(قردة مختبريه أظهرت أنها تتصرف طبقا لنظام سلوكي ذاتي. فقد تم تدريب مجموعة من القردة على إدخال عملة نقدية في ماكينة مقابل الحصول على الطعام. وعندما فشلت قردة كبيرة السن ولثلاث مرات في إدخال العملة داخل الماكينة، بادر قرد ذكر إلى مساعدتها وادخل العملة بدلا عنها لتحصل على طعامها. أما الشمبانزي وهو الصنف الأكثر تطورا بين القردة , و الأقرب إلى الإنسان فليس من الغريب أن يعيش وفق نظام سلوكي شبيه بالذي نتبعه نحن البشر. فالشمبانزي يظهر الحس بالعدالة ومن يشذ عن هذا النظام ضمن المجموعة الواحدة يتعرض للهجوم بعنف من قبل باقي أفرادها.

– الغريزة:

الغرائز تعتبر جينات موجودة لدى الحيوانات تظهر على شكل أنماط سلوكية، واستناداً إلى هذا التعريف يقوم نحل العسل ببناء الخلية على الشكل المنتظم المعروف بوحدات بنائية هندسية مسدسه وفق الغريزة الحيوانية، وبمعنى آخر يوجد جين خاص في أجسام كل أنواع نحل العسل يجعل هذه الأنواع تبني خلاياها غريزياً وفق الشكل المعروف.

ليس من الضروري أن نعلّم الحيوان كيف يصنع أكثر الأشياء فهو يولد وتولد معه القدرة على إيجاد طعامه و اتقاء الخطر وهذه القدرة ندعوها الغزيرة وكثير من لحيوانات تعيش معتمدة على الغريزة فقط, فجميع اللافقاريات ومجموعات عديدة من الفقريات تعيش فقط متجاوبة مع ما حولها (الشكل 5).

الشكل (5):غريزة القطيع:تميل معظم الحيوانات إلى العيش ضمن قطيع سواء أكانت مفترسة أو عاشبة.

- **سلوك الافتراس:**

إن القطيع المكون من حيوانات مفترسة يكون مدفوعا لقتل الفرائس بأسلوب منظم, يحد من الجهد المبذول في الحصول على الغذاء ,و يكون هذا القطيع مبنيا على مبدأ تدرج السيادات, مثلا تعيش الذئاب في جماعات أُسرية تسمى قطعان، ومعظم القطعان تتكون من ثمانية ذئاب، وبعضها قد يضم أكثر من 20 ذئبًا.

ويعتقد علماء الحيوان أن أفراد القطيع تبقى معًا لوجود عاطفة قوية تجمع بينها ,لكل قطيع من الذئاب نظام اجتماعي يسمى تدَرُّج السيادة، فكل فرد في القطيع له مكان في ذلك التدرج، وتسمى الأفراد المرتفعة المكانة المسيطرة، وهي تُهَيمن على الذئاب الأدنى منها والتي تُعرف بالذئاب التابعة, ويعْلم كل من الذئب المسيطر والذئب التابع مكانه في القطيع بوضوح، في كل مرة يلتقيان فيها تقريبًا فالذئب المسيطر يقف منتصبًا رافعًا ذيله وموجهًا أذنيه للأعلى وللأمام، وقد يبرز أسنانه مزمجرًا.

أما الذئب التابع، فينحني بتذلل ويضع ذيله بين رجليه، كما يحني أذنيه لأسفل، وقد يعوي أيضًا. ويعيش القطيع على مساحة محددة تسمى مقاطعة، وتدل الدراسات على أن حجم المقاطعة يعتمد أساسًا على عدد الفرائس, وتقوم الذئاب بعملية الصيد في أي

وقت من النهار أو الليل. عندما يتجمع أفراد القطيع لتبدأ عملية الصيد، يحيِّي بعضها بعضًا بالعواء، وقد يتعالى عواؤها كثيرًا محذرة الذئاب الأخرى، لكي تبقى خارج القطيع.

وتتجول الذئاب خلال مقاطعتها حتى تجد فريسة، فتسير نحوها بحيث يكون اتجاه حركتها ضد اتجاه الريح حتى لا تتمكن الفريسة من شم رائحتها، وبعد ذلك، تقترب الذئاب بهدوء حذر من فريستها، ربما في صف واحد، ثم تنطلق نحوها وتتعقب الذئاب عددًا من الحيوانات يفوق مقدرتها على صيده، فإذا تمكنت من الإمساك بفريستها فإنها تهاجم الكَفَل أو جوانب الجسم، وتحاول جرح الحيوان، وتحدث به نزيفًا حتى تخور قدماه، وبعد ذلك تمسكه من الحلق أو الخطم، ويمكن للذئاب . عادة . أن تقتل حيوانًا كبيرًا في بضع دقائق فقط.

والكمين هو الأسلوب الشائع لدى الحيوانات الصيادة ، فهي تختبئ بلا حركة لحين اقتراب فريستها منها . وكثير من الحيوانات التي تتبع هذا الأسلوب تحسن التمويه(الشكل 6) لكيلا تظهر لضحيتها وتباغتها بهجمة قاتلة .

الشكل (6): الكمين هو الأسلوب الشائع لدى الحيوانات الصيادة مثل الأسد و الأفاعي، فهي تختبئ بلا حركة لحين اقتراب فريستها منها .

آليات التطور

ذرية ذات تحوير (نظرة داروينية الى الحياة)

1- النظرة الثورية لداروين

ان حقبة جديدة من البيولوجيا قد بدأت في 24 تشرين الثاني من العام 1859 يوم نشر داروين كتابه **"حول أصل الأنواع"** بواسطة الاصطفاء الطبيعي. ففي هذا الكتاب رسم داروين صورة متماسكة للحياة عبر الربط بين ما كان قد بدا يوما ما مصفوفة محيرة من مشاهدات غير مترابطة. لقد ركز كتاب أصل الأنواع انتباه البيولوجيين على التنوع الحيوي الهائل للمتعضيات الحية Organisms، من حيث أصولها و علاقاتها، و أوجه تشابهها و اختلافها، و توزعها الجغرافي، و تكيفاتها مع بيئاتها المحيطة(الشكل 1).

الشكل (1): تتلاءم الاغوانةIguana البحرية مع موئلها الصخري في جزر غلاباغوس بشكل جيد.

لقد خص داروين نقطتين رئيسيتين في كتابه أصل الأنواع.

الأولى: قام بعرض أدلة على أن الأنواع العديدة من المتعضيات الحية التي تسكن الأرض حاليا هي ذريات لأنواع سلفية كانت تختلف عن الأنواع الحديثة.

الثانية: اقترح آلية لهذه العملية التطورية سماها الاصطفاء الطبيعي Natural Selection ، و تتمثل الفكرة الأساسية للاصطفاء الطبيعي في أن الجماعة يمكن أن تتغير عبر الأجيال إذا خلف الأفراد الذين يمتلكون سجايا معينة أنسالا تفوق الأفراد الآخرين عددا. و تكون نتيجة هذا الاصطفاء الطبيعي ظهور تكيف تطوري Evolutionary adaptation يمثل تكدس خصائص موروثة تحسن مقدرة المتعضيات على البقاء على قيد الحياة و التكاثر في بيئات متنوعة.

و حسب المصطلحات المعاصرة نستطيع تعريف التطور Evolution بأنه تغير مع مرور الزمن في التركيب الجيني genetic للجماعة. و في نهاية المطاف، يمكن لجماعة ما أن تكدس تغيرا يكفي لتأليف نوع حي جديد، بمعنى شكل جديد للحياة. و بهذا نستطيع كذلك أن نستخدم مصطلح التطور Evolution على مقياس واسع بحيث يعني الظهور التدريجي لكامل التنوع البيولوجي Biological Diversity بدءا من الميكروبات و انتهاء بتلك التشكيلة المنوعة الهائلة للمتعضيات الحية التي تعيش في هذه الأيام.

يعد التطور مفهوما أساسيا تنير دراسته علم الأحياء (البيولوجيا) في جميع مستوياته بدءا من الجزيئات و انتهاء بالمنظومات البيئية Ecosystems، و يتوسع ليشمل الطب و الزراعة و التقانة الحيوية و بيولوجيا المحميات.

2- الثورة الداروينية و الآراء التقليدية حول أرض فتية تسكنها أنواع حية غير متغيرة

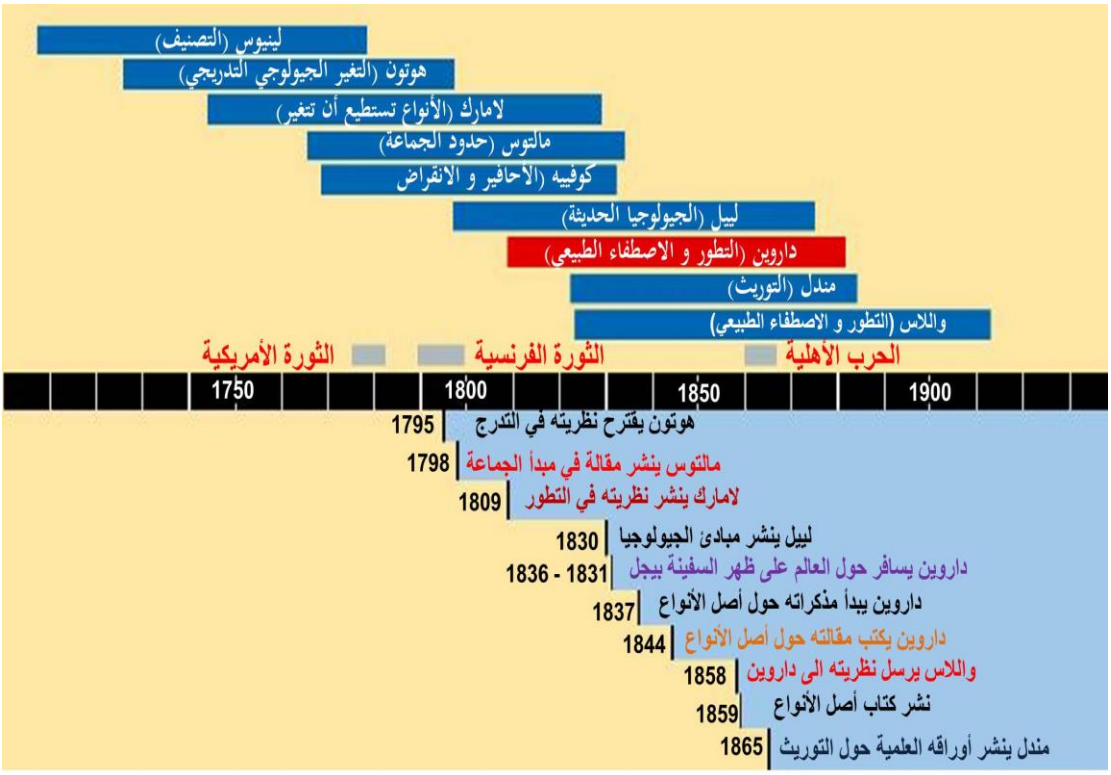
يعتمد تأثير ثورة فكرية ما مثل الداروينية على التوقيت و على المنطق. و لكي نفهم لماذا كانت أفكار داروين ثورية، فإننا نحتاج أن نفحص آراءه في سياق أفكار غربية أخرى حول الأرض و حياتها (الشكل 2).

3- مقاومة فكرة التطور

لم يتحد كتاب أصل الأنواع الآراء العلمية السائدة فحسب، بل و هز كذلك أعمق الجذور الثقافة الغربية. إذ عارضت نظرة داروين للحياة ، و بشكل حاد، المعتقدات التقليدية حول أرض عمرها آلاف قليلة من السنين و تسكنها أشكال حياة خلقت منذ البداية و بقيت دون تغيير منذ خلقت. لقد تحدى كتاب داروين نظرة عالمية سادت مئات السنين.

4- سلم الطبيعة Scaleof Nature و تصنيف الأنواع الحية Classification of species

بالرغم من أن الفلاسفة الاغريق أوحوا بأن الحياة قد تكون نشأت تدريجيا فان أرسطو الذي عاش في الفترة ما بين 322 -384 قبل الميلاد نظر الى الأنواع الحية كأنواع ثابتة غير متغيرة. فقد تعرف أرسطو ، عبر مشاهداته في الطبيعة، على علاقات الفة معينة بين الكائنات الحية قادته الى الاستنتاج بأن أشكال الحياة قد تكون ترتبت في سلم من التعقيد المتزايد أطلق عليه فيما بعد اسم " سلم الطبيعة" Scale of Nature و يحتل كل شكل من أشكال الحياة مرتبة خاصة على هذا السلم.



الشكل (2): السياق التاريخي لحياة داروين و أفكاره، تمثل الأشرطة الزرقاء القاتمة (الواردة فوق الخط الزمني) حياة بعض الأفراد الذين أسهمت أفكارهم في فهمنا الحديث للتطور.

تتوافق هذه الأفكار مع وصف العهد القديم للخلق، الذي يتمسك بأن الأنواع الحية قد صممها الله، فهي لذلك تامة. و في سنوات القرن السابع عشر علل عدة علماء التكيفات الباهرة للمتعضيات الحية مع بيئاتها كدليل على أن الخالق قد صمم كل نوع حي لغرض خاص.

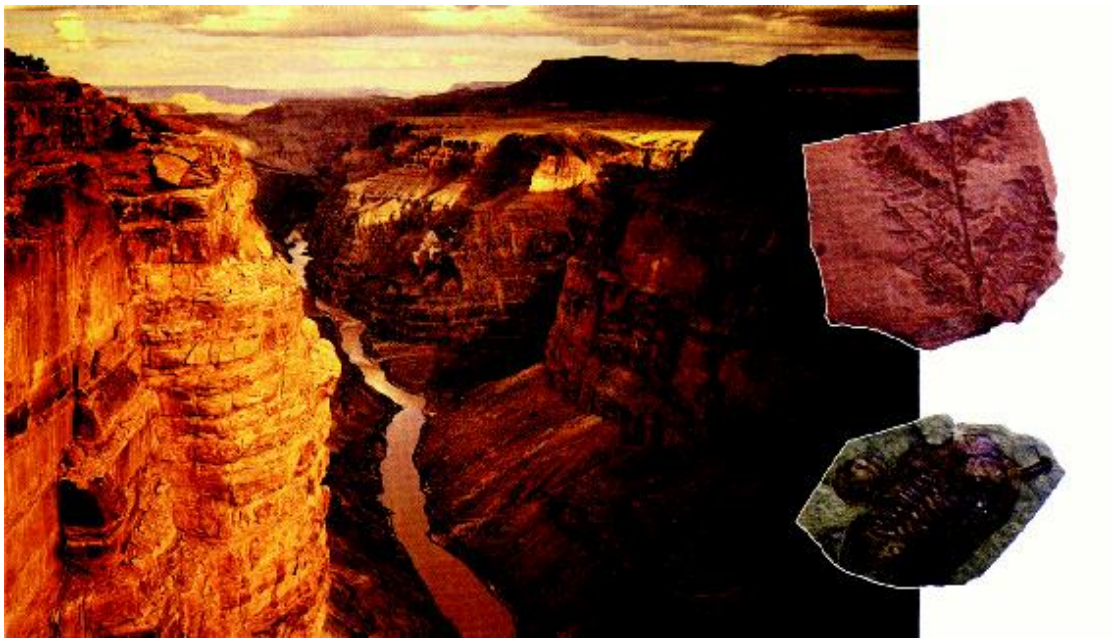
لقد سعى كارلوس لينيوس Carolus Linnaeus الذي عاش في الفترة ما بين الأعوام 1707 و 1787 ، و هو فيزيائي و عالم نبات سويدي، إلى تفصيل التنوع الحيوي ناسبا إياه لمجد الله العظيم. لقد كان لينيوس مؤسس علم التصنيف Taxonomy الذي يمثل فرع البيولوجيا المختص بتسمية و تصنيف المتعضيات الحية. فهو أوجد المنظومة ذات الجزأين (أو ذات الاسمين) في تسمية المتعضيات الحية حسب الجنس Genus و النوع Species، و التي لا تزال مستخدمة حتى الآن.

و على النقيض من التراتبية Hierarchy الخطية للسلم الطبيعي، فقد تبنى لينيوس منظومة تصنيف تجميعية تجمع الأنواع الحية المتشابهة في فئات عامة متزايدة. و على سبيل المثال فقد جمع لينيوس الأنواع الحية المتشابهة في جنس واحد بعينه، ثم جمع الأجناس الحية المتشابهة في فصيلة واحدة بعينها و هكذا.

5- المستحاثات (الأحافير) و العالم كوفييه و الكوارثية

لقد ساعدت دراسة المستحاثات في وضع الأرضية لأفكار داروين. فالأحافير هي بقايا أو آثار متعضيات من الماضي. و توجد معظم المستحاثات في صخور رسوبية تكونت من الرمل و الطين في قيعان البحار و المحيطات، و تغطي الطبقات الرسوبية الجديدة الطبقات الأقدم منها فتضغطها مشكلة طبقات متراكبة من الصخور.

تقدم كل طبقة نظرة عن بعض الكائنات الحية التي سكنت الأرض في الزمان الذي تشكلت فيه تلك الطبقة (الشكل 3). و نشير هنا إلى أن علم المستحاثات قد أوجده العالم الفرنسي كوفييه الذي عاش في الفترة ما بين 1769 و 1832.



الشكل (3): أحافير من طبقات رسوبية صخرية

لقد لاحظ كوفييه ظهور أنواع جديدة و اختفاء أنواع أخرى عند الانتقال من طبقة رسوبية الى طبقة أخرى. فاستنتج أن الإنقراضات كانت شائعة الحدوث في تاريخ الحياة. و مع ذلك فقد كان كوفييه يعارض بشدة فكرة التغير التطوري التدريجي. بل انه عوضا عن ذلك يناصر فكرة الكوارثية Catastrophism.

و يستشف أن كل حد فاصل بين الطبقات يمثل كارثة ما، مثل فيضان أو جفاف، أبادت العديد من الأنواع التي كانت تعيش في ذلك الزمان. و قد اقترح أن هذه الكوارث الكونية كانت تقتصر على مناطق جغرافية محلية معينة أو أعيد سكنها من قبل أنواع هاجرت إليها من مناطق أخرى.

6- نظريات التدرج Theories of Gradualism

على النقيض من الكوارثية، عززت أعمال علماء آخرين مفهوم التدرج، و هي فكرة تعبر عن تغير عميق يمكن أن يحدث من خلال التأثير التراكمي لعمليات بطيئة لكنها متواصلة. ففي عام 1795، اقترح عالم الجيولوجيا السكوتلندي جيمس هوتون أنه يمكن تفسير التضاريس الجيولوجية للأرض عبر آليات تدريجية تعمل حاليا في العالم. إذ أوحى بأن الوديان تقوم بفعل الأنهار بحت الصخور، و أن الصخور الرسوبية التي تحتوي على مستحاثات بحرية كانت قد تشكلت من دقائق جرى حتّها من اليابسة ثم حملتها الأنهار الى البحر.

أما الجيولوجي البارز في زمن داروين، شارلز ليبل فقد أدمج تفكير هوتون في نظرية أكثر فهما تعرف باسم وحدة الشكلية uniformitarianism، اذ اقترح أن العمليات الجيولوجية ذاتها تعمل اليوم مثلما كانت تعمل في الماضي و بنفس المعدل. لقد أثرت هذه الأفكار على تفكير داروين الذي فكر أن عمليات بطيئة و دقيقة ربما تكون قد فعلت فعلها في الكائنات الحية خلال فترة طويلة من الزمن، و ولدت بذلك تغيرا مهما.

7- نظرية لامارك في التطور LamarkTheory of Evolution

لقد نشر لامارك نظريته في العام 1809، و هي السنة التي ولد فيها داروين، فلدى مقارنته الأنواع الحية الحالية بالأشكال الأحفورية، وجد لامارك ما بدا بضع سلالات نسب كل منها عبارة عن سلسلة من المستحاثات تتسلسل من الأقدم إلى الأحدث وصولا إلى الأنواع الحية التي تعيش اليوم. لقد شرح ذلك حسب مبدأين اثنين كانا مقبولين في ذلك الزمان و هما:

الأول: هو **مبدأ الاستخدام و عدم الاستخدام** use and disuse الذي يفيد أن أجزاء الجسم عندما تستخدم تغدو أكبر و أقوى إلى حد بعيد، بينما تتردى و تضمر عندما لا تستخدم. و كمثال على ذلك أورد لامارك الزرافة كشاهد و التي تمد رقبتها كي تصل الأغصان العالية.

الثاني: هو **مبدأ توريث الخصائص المكتسبة** characteristics Inheritance of acquired الذي نص على أن المتعضية الحية تستطيع تمرير هذه التحويرات إلى نسلها.

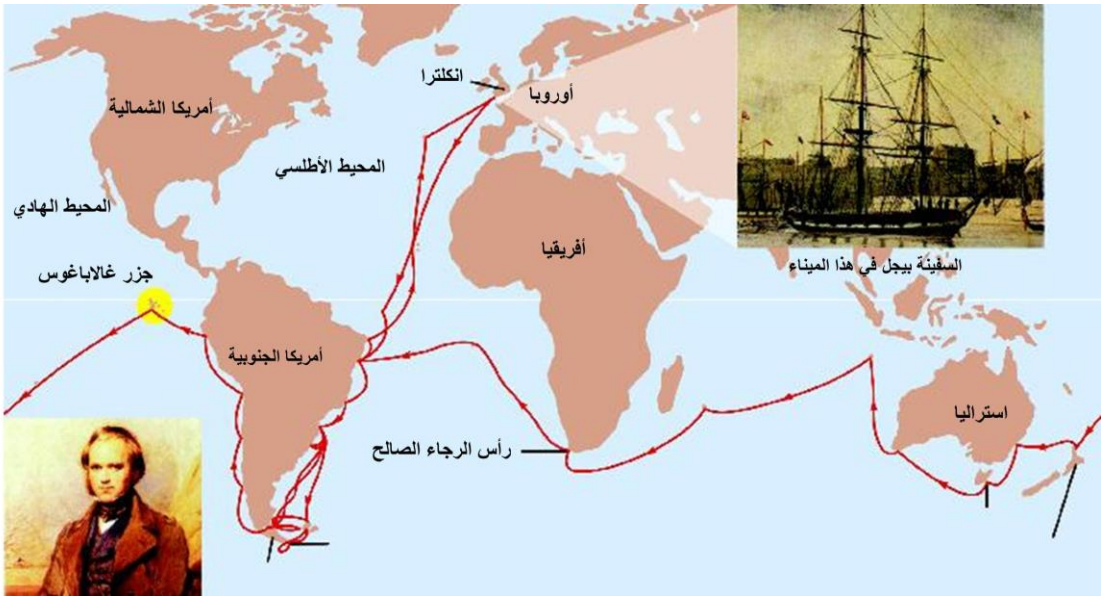
و هنا فكر لامارك أن الرقبة الطويلة للزرافة قد تطورت طيلة أجيال عديدة كانت الزرافات الحية خلالها تمد أعناقها إلى الأعلى باستمرار. و كذلك فكر لامارك أن التطور يحدث بسبب امتلاك المتعضيات حافزا فطريا لأن تصبح أكثر تعقيدا. أما داروين فقد رفض من جانبه هذه الفكرة لصالح الاصطفاء الطبيعي، بيد أنه فكر كذلك بأن التحول Variation يجري إدخاله في المسيرة التطورية عبر توريث الخصائص المكتسبة، لكن الفهم الحديث للوراثة يدحض هذا المبدأ إذ ليس من دليل على أن الخصائص المكتسبة يمكن توريثها (الشكل 4).

الشكل (4): السجايا المكتسبة لا يمكن توريثها. لقد أمكن تدريب هذه الشجيرة التزيينية على النمو كنبات قزم عن طريق التقليم و التشكيل، و لكن البذور المأخوذة من هذه الشجيرة تعطي نسلا له الحجم العادي لهذا النبات.

8- أصل الأنواع و الاصطفاء الطبيعي (بحوث داروين)

مع فجر القرن التاسع عشر، كان يعتقد على العموم أن الأنواع الحية بقيت دون تغير منذ خلقها. إلا أن هذا الاعتقاد ما لبث أن تغير مع ظهور تجارب داروين. لقد لاحظ داروين مختلف تكيفات النباتات و الحيوانات التي تقطن في بيئات متنوعة و ذلك خلال رحلة السفينة بيجل حول العالم. لقد وجد داروين أن النباتات و الحيوانات في الأقاليم المعتدلة لأمريكا الجنوبية هي أكثر شبها بالأنواع التي تعيش في المناطق الاستوائية منها بالأنواع التي تعيش في المناطق المعتدلة لأوروبا. و زيادة على ذلك، كانت المستحاثات التي وجدها أمريكية جنوبية بشكل متميز من حيث شبهها بالمتعضيات الحية لتلك القارة.

و مما زاد في حماس و اهتمام داروين هو ما رآه في جزر غالاباغوس(الشكل 5) من متعضيات حية استثنائية. فمن بين الطيور كان هناك بضعة أنواع حية من العصافير بدت أنواعا مختلفة بالرغم من تشابهها تماما.



الشكل (5): رحلة السفين بيجل HMS Beagle

و كان بعض هذه الأنواع فريدا بجزر معينة في حين أن البعض الآخر كان يتوزع في جزيرتين متجاورتين أو أكثر. و بعد عودته إلى انكلترا وجد أن لمشاهداته أهمية كبيرة، حيث وجد هو و آخرون أن الحيوانات في غالاباغوس، بالرغم من كونها تشبه أنواعا تعيش في البر الأمريكي الجنوبي، فان الكثير منها لا يعيش في

أي مكان آخر في العالم. و في هذا الصدد أ وضع داروين فرضية اعتبر فيها أن جزر غالاباغوس سبق أن استعمرتها متعضيات حية ضلت الطريق آتية من أمريكا الجنوبية ثم تنوعت في الجزر المختلفة.

9- تركيز داروين على التكيفAdaptation

حين أعاد داروين تقييم كل ما شاهده أثناء الرحلة، بدأ يدرك أن التكيف ازاء البيئة و نشوء أنواع جديدة عمليتان مترابطتان. و طرح السؤال التالي: هل يمكن أن تنشأ أنواع حية جديدة من شكل سلفي من خلال تراكم تكيفات للبيئة المختلفة؟

لقد استنتج العلماء البيولوجيون من دراسات أجريت لسنوات عدة بعد رحلة داروين أن هذا هو بالفعل ما حصل لعصافير غالاباغوس. ذلك أن مناقيرها و سلوكياتها تكيفت لأطعمة نوعية أتيحت في بيئاتها (الشكل 6). و قد أدرك داروين ضرورة وجود تفسير لمثل هذه التكيفات بغية فهم التطور. و بحلول أوائل الأربعينيات من القرن التاسع عشر وضع داروين الملامح الرئيسية لنظريته في الاصطفاء الطبيعي كآلية للتطور، و لكن لم يقيض لأفكاره أن تنتشر بسبب اعتلال صحته. في العام 1844، كتب داروين مقالة مطولة حول أصل الأنواع الحية و الاصطفاء الطبيعي و لكنه عزف عن تقديم نظريته للإعلام، ربما لكونه توقع الضجيج الذي سوف تسببه.

أ – أكل الصبار: يفيد المنقار الحاد الطويل لعصفور الصبار الأرضي في تمزيق و أكل أزهار الصبار و لبه

ب - أكل البذور: يمتلك العصفور الأرضي الكبير منقارا كبيرا متكيفا لكسر البذور التي تسقط من النباتات الى الأرض

ج - أكل الحشرات: يستخدم عصفور الدفلة الأخضر منقاره المدبب الضيق للامساك بالحشرات.

الشكل (6): اختلاف المنقار لدى عصافير غالاباغوس أكثر من عشرة أنواع من العصافير ذات القرابة فيما بينها.

في حزيران من العام 1858 ظهرت نظرية في الاصطفاء الطبيعي عالم الطبيعة ألفريد راسل واللاس تشبه نظرية داروين. أما داروين فقد أنهى بسرعة كتابه حول أصل الأنواع و نشره في العام التالي، و قد أقنع كتاب داروين معظم البيولوجيين بأن التنوع البيولوجي جاء ثمرة التطور. و سرعان ما استتبع كتابه الأول بعمل رائد آخر، و بشكل خاص استكشاف نمط من الاصطفاء الطبيعي يعرف باسم الاصطفاء الجنسي Sexual Selection.

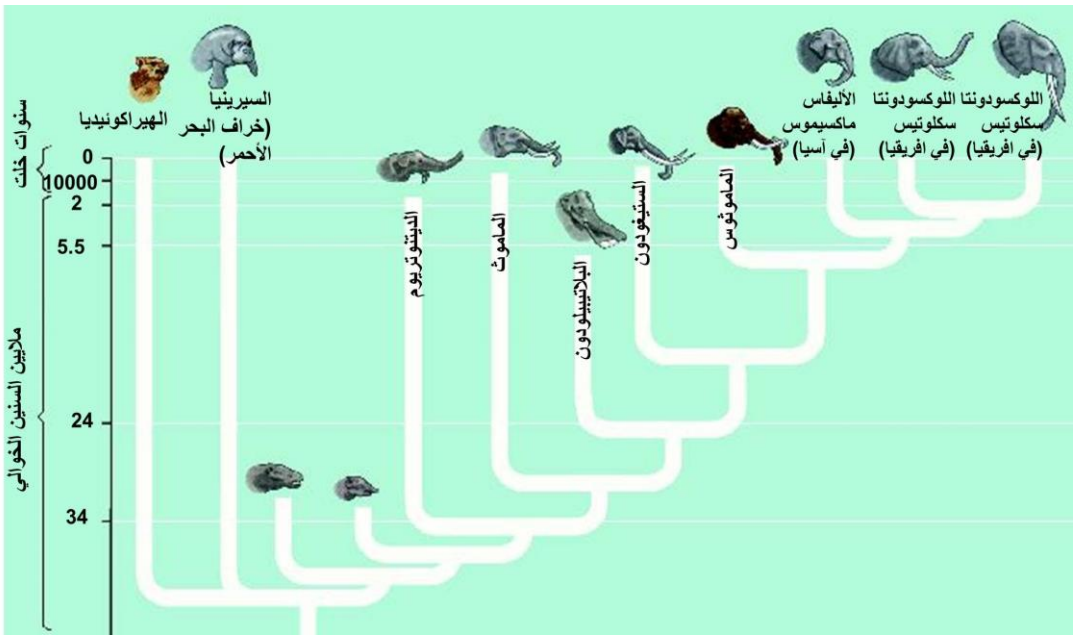
10- أصل الأنواع

أوجد داروين، بنشره نظريته، فكرتين رئيسيتين تتلخصان في أن التطور يفسر وحدة الحياة و تنوعها، و أن الاصطفاء الطبيعي سبب للتطور التكيفي.

- ذرية ذات تحوير Descent with modification

لم يستخدم داروين في الطبعة الأولى من كتابه "أصل الأنواع" كلمة تطور Evolution حتى النهاية. و بدلا من ذلك ، لجأ إلى عبارة لخصت نظرته للحياة تحت عنوان "ذرية ذات تحوير" . فلقد أدرك داروين وحدة الحياة لدى كل الكائنات الحية ذات القرابة عبر تحدر النسل من سلف عاش في الماضي البعيد. و بانتشار ذرية تلك المتعضية السلفية داخل موائل مختلفة عبر ملايين السنين، راكمت تلك الذرية تحويرات منوعة، أو تكيفات توائمها لأساليب نوعية من الحياة.

ومن وجهة نظر داروين، يشبه تاريخ الحياة شجرة ذات تفرعات متعددة، بدءا من جذع مشترك وصولا إلى أصغر الغصينات التي تمثل تنوع الكائنات. و يمثل كل فرع من الشجرة سلفا واحدا لجميع سلالات التطور التي تفرعت لاحقا من تلك النقطة. فالأنواع ذات القرابة الوثيقة، مثل الفيلة الآسيوية و الإفريقية، تتشابه جدا لأنها تشاركت نفس سلالة الذرية وصولا إلى تباعد (تفارق) حيث نسبيا من سلفهما المشترك (الشكل 7).



الشكل (7): ذرية ذات تحوير. هذه الشجرة التطورية للفيلة مبنية بشكل رئيسي على الأحافير.

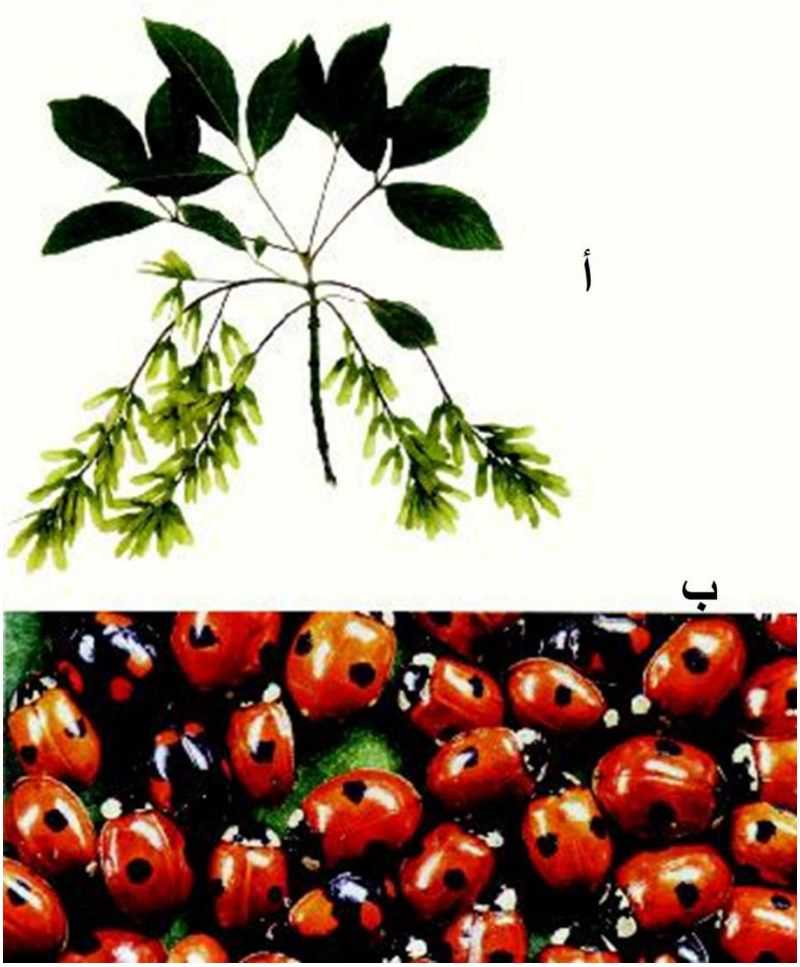
صحيح أن لينيوس أدرك أن بعض الكائنات الحية تشبه بعضها بعضا أكثر من شبهها مع آخرين غيرها، لكنه لم يربط هذه المشابهات بخاصية التطور. و مع ذلك، فلكونه أدرك أن التنوع الكبير في المتعضيات الحية يمكن أن ينتظم في مجموعات "مجموعات أدنى من مجموعات" (و هذه عبارة داروين). فان خطته التصنيفية تتوافق إلى حد كبير مع نظرية داروين. فبالنسبة لداروين، عكست تراتبية لينيوس التاريخ التفرعي لشجرة الحياة، باعتبار الكائنات الحية عند المستويات التصنيفية المختلفة ذات قرابة فيما بينها من خلال تحدرها من أسلاف مشتركة.

11- الاصطفاء الطبيعي و التكيف Natural Selection and Adaptation

كيف يعمل الاصطفاء الطبيعي، و كيف يفسر ظاهرة التكيف؟

لقد أجرى البيولوجي التطوري أرنست ماير Ernst Mayr تشريحا لمنطق نظرية داروين في الاصطفاء الطبيعي حسب ثلاثة استدلالات تستند إلى خمس ملاحظات حسب ما يلي:

1- الملاحظة الأولى: تزداد حجوم الجماعات، فيما يخص أي نوع من الأنواع، بشكل أسي إذا تم بنجاح تناسل جميع الأفراد المولودة (الشكل 8 – أ).



الشكل (8): أ- فرط انتاج النسل. فرع واحد من شجرة القيقب تحمل عشرات البذور المجنحة، فلو أن جميع نسل هذه الشجرة بقي على قيد الحياة لطغت علينا غابات القيقب.

ب- تباين في الجماعات. الى المدى الذي يكون فيه التباين بين أفراد هذه الجماعة من خنافس الدعسوقة قابلا للتوريث، يبقى الاصطفاء الطبيعي يمارس فعله فيها.

2- الملاحظة الثانية: تميل الجماعات، مع ذلك، إلى البقاء مستقرة الحجم، باستثناء تأرجحات موسمية.

3- الملاحظة الثالثة: تكون الموارد محدودة.

أما فيما يخص هذه الملاحظات من الاستدلال فهو:

أ- الاستدلال الأول: يقود إنتاج عدد من الأفراد يفوق قدرة البيئة على تكفل ذلك العدد، إلى صراع وجود بين أفراد كل جيل للبقاء على قيد الحياة.

وهنا يتقاطع مع ما تقدم مع الملاحظتين التاليتين:

4- الملاحظة الرابعة: يختلف أعضاء جماعة ما في الخصائص إلى حد كبير ، فليس من فردين يتماثلان تماما (الشكل8 – ب).

5- الملاحظة الخامسة: إن الكثير من هذا التغير يكون قابلا للتوريث.

و هنا يأتي دور الاستدلالين الثاني و الثالث:

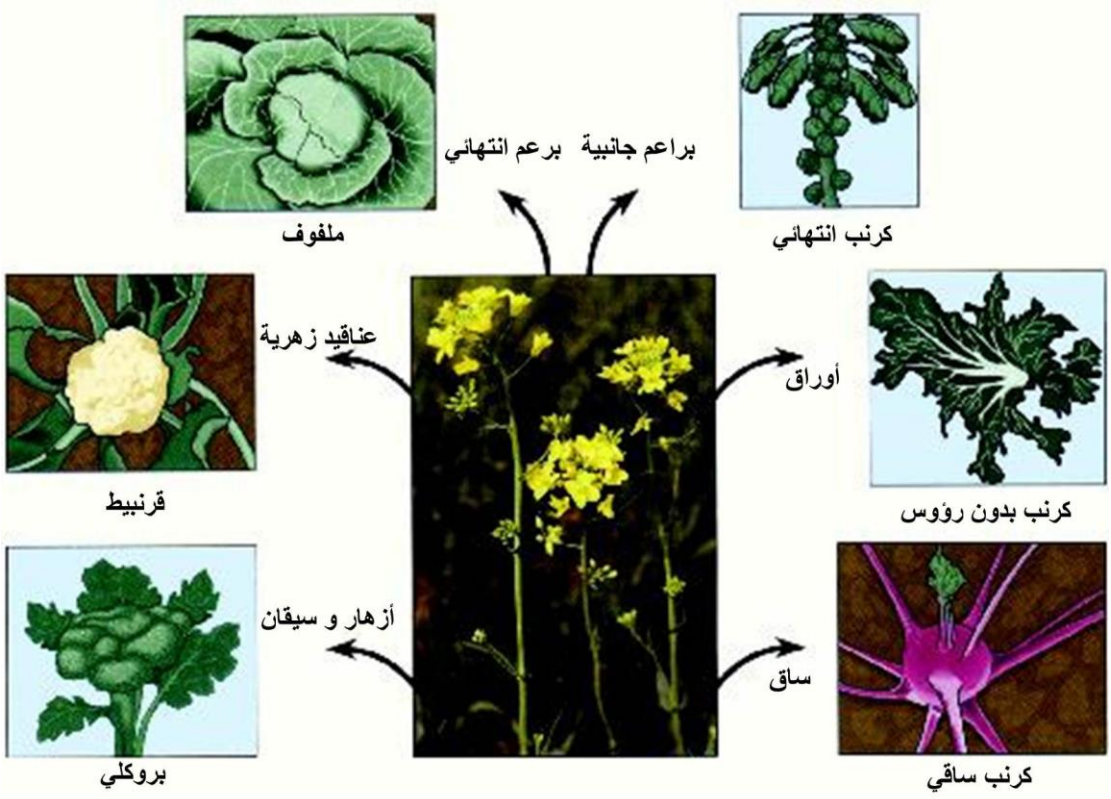
ب- الاستدلال الثاني: يعتمد البقاء على قيد الحياة في جزء منه على سجايا موروثة. فالأفراد التي تمنحها سجاياها الموروثة احتمالية عالية للبقاء على قيد الحياة و التناسل في بيئة معينة، إنما تمتلك ملاءمة أكبر و مقدرة أكثر على إعطاء المزيد من النسل بالمقارنة مع الأفراد الأقل منها لياقة.

ت- الاستدلال الثالث: تفضي هذه القابلية غير المتكافئة للبقاء على قيد الحياة و التناسل إلى تغير تدريجي في الجماعة مع تراكم للخصائص المستحسنة عبر الأجيال.

لقد أدرك داروين صلة مهمة بين الاصطفاء الطبيعي الناجم عما أسماه صراع الوجود و بين مقدرة المتعضيات الحية على زيادة التناسل. و يبدو أن مقدرة تزايد التناسل هذه هي من خصائص جميع الأنواع الحية. و نشير في هذا الصدد إلى أن من بين البيوض الكثيرة و الصغار المولودة و الحبوب المنشورة، لا يستكمل تناميه إلا الجزء الزهيد ليعطي بعد ذلك نسلا يخصه، أما الباقي فانه يؤكل أو يموت جوعا أو مرضا، أو أنه لا يتزاوج أو لا يكون قادرا على التناسل لسبب آخر.

12- الاصطفاء الاصطناعي Artificial Selection

لقد استنبط داروين قطعة أخرى من نظريته، و ذلك من خلال الأمثلة المألوفة عن التربية الاصطفائية للنباتات و الحيوانات الأليفة. إذ حور البشر أنواعا حية أخرى على مر أجيال عديدة عن طريق اصطفاء و تربية أفراد تمتلك سجايا مرغوب بها، و هي عملية تدعى بالاصطفاء الاصطناعي. و كنتيجة لهذا الاصطفاء الاصطناعي جرى تربية نباتات محاصيل و حيوانات(مثل مواش، و حيوانات منزلية أليفة) غالبا ما تحمل شبها قليلا بأسلافها البرية (الشكل 9).



الشكل (9): الاصطفاء الصناعي: لقد جرى اصطفاء هذه الخضروات جميعها من نوع واحد من الخردل البري و قد حصل المربون على هذه النتائج المتباعدة. عن طريق اصطفاء تباينات في أجزاء مختلفة من ذلك النبات.

فإذا كان الاصطفاء الاصطناعي يحقق مثل هذا التغير الكبير في فترة قصيرة نسبيا، فقد فكر داروين أن الاصطفاء الاصطناعي يجب أن يكون قادرا على إحداث تحوير كبير للأنواع الحية على مدى مئات أو آلاف الأجيال. و حتى إذا كانت مزايا بعض السجايا الموروثة طفيفة بالقياس للسجايا الأخرى، فان الاختلافات المفيدة سوف تتراكم تدريجيا في الجماعة، كما سوف تتضاءل الاختلافات الأقل استحسانا.

13- ملخص الاصطفاء الطبيعي

نذكر فيما يلي أفكار الاصطفاء الطبيعي الرئيسة فيما يلي:

أ- الاصطفاء الطبيعي يمثل النجاح المتفاوت في التناسل (بمعنى المقدرة غير المتكافئة للأفراد على البقاء على قيد الحياة و التناسل).و يتأتى هذا النجاح من التضافر بين أفراد تتفاوت في سجاياها الموروثة و بيئاتها.

ب- على مر الزمن، يستطيع الاصطفاء الطبيعي زيادة تكيف الكائنات لبيئاتها.

ج- إذا تغيرت بيئة ما مع الزمن، أو إذا انتقلت أفراد نوع حي معين إلى بيئة جديدة، فان الاصطفاء الطبيعي يمكن أن يسبب تكيفا إزاء هذه الظروف الجديدة، و يفضي أحيانا إلى نوع حي جديد.

لا بد أن نؤكد على ثلاث نقاط دقيقة و لكنها مهمة حول التطور عن طريق الاصطفاء الطبيعي.

أ- النقطة الأولى: هي أن الاصطفاء الطبيعي بالرغم من أنه يحدث عبر التآثراتInteraction بين متعضيات فرادى و بيئاتها، فان الأفراد لا تتطور. و نشير إلى أن الجماعة هي أصغر وحدة تستطيع أن تتطور. و الجماعة بالتعريف هي: مجموعة من أفراد متناسلة فيما بينها تنتمي إلى نوع حي معين و تتقاسم منطقة جغرافية مشتركة. و لا يقاس التطور إلا بالتغيرات في النسب النسبية للاختلافات الموروثة لدى جماعة ما عبر أجيال متعاقبة.

ب- النقطة الثانية: هي أن الاصطفاء الطبيعي لا يضخم أو يضائل الا السجايا القابلة للتوريث، (بمعنى السجايا التي تمر من المتعضيات الحية إلى نسلها). يجب أن نميز بين تكيفات تتطلبها متعضية ما أثناء حياتها و بين تكيفات قابلة للتوريث تتراكم في جماعة ما على مدى أجيال عديدة نتيجة الاصطفاء.

ج- النقطة الثالثة: لنتذكر أن العوامل البيئية تتفاوت من مكان إلى آخر و من زمان إلى زمان. فالسجية المفيدة في مكان ما قد تكون عديمة الفائدة أو حتى مؤذية في مكان آخر. و هكذا صور داروين الحياة على أنها تتطور عبر هذا التراكم المتدرج لتغيرات صغيرة. لقد افترض أن الاصطفاء الطبيعي، الذي يشتغل في سياقات متباينة على مدى مسافات زمنية طويلة حسب ما كشفت العلوم الجيولوجية، يمكن أن يفسر التنوع الكلي للحياة.