# الفصل الثاني

## تركيب الأحياء الدقيقة ونموها وتغذيتها
## Microbial structure, growth and nutrition

كانت دراسة الأحياء الدقيقة في الماضي حتى منتصف القرن العشرين مقتصرة على الشكل الظاهري Morphological study فقط. وذلك لضعف الإمكانات وعدم تمكن الأجهزة والأدوات المتاحة من إعطاء تفاصيل أكثر. ثم شهد منتصف القرن العشرين الميلادي ظهور المجهر الإلكتروني الذي يستطيع تكبير الأشياء آلاف المرات. فتم توظيف المجهر الإلكتروني Electronic microscope في مجال علم الأحياء الدقيقة، وتوصل العلماء من خلاله إلى اكتشافات هامة أدت إلى تغييرات كبيرة وجوهرية في حياة الإنسان والصناعات، وعلاج الأمراض التي تصيبه وتتلف المحاصيل الزراعية.

أوضحت الدراسات أن الكائنات الحية عموماً يمكن تقسيمها إلى مجموعتين أساسيتين بناءً على تركيبها الخلوي، فالخلية الأكثر تعقيداً هي الخلية ذات النواة الحقيقية Eucaryotes وهي وحدة تركيب جميع الكائنات الحية ذات التركيب الخلوي (النباتات الراقية، والطحالب، والفطريات، والحيوانات الراقية، والبروتوزوا، وحسب تصنيف وايتكر ١٩٦٩م تتمثل في مملكة البروتستا، والمملكة النباتية، ومملكة



obeikandl.com

الفطريات، والمملكة الحيوانية). أما الخلية الأقل تعقيداً فهي الخلية ذات النواة البدائية Procaryotes، والكائنات الحية ذات النواة البدائية تشمل البكتيريا Bacteria، والبكتيريا الزرقاء (السيانية) Cyanobacter، أو ما كانت تعرف بالبكتيريا الخضراء المزرقة Blue green bacteria.

فتوالت جهود العلماء والباحثين مستغلين التطور الهائل في طرق ووسائل فحص الأحياء الدقيقة، وتحديداً تطبيقات المجهر الإلكتروني، وأدى ذلك إلى ثورة علمية كبيرة في رصد ودراسة التفاصيل الدقيقة لتراكيب وخصائص الكائنات الحية الدقيقة. ومع مرور الوقت نلاحظ أن اكتشافات العلماء المتلاحقة رسخت مفهوم الفصل بين الأحياء ذات النواة الحقيقية Eucaryotic Organisms، والأحياء ذات النواة البدائية Procaryotic Organisms. بل أصبحت خاصية وجود نواة حقيقية أو عدم وجودها من أكثر الصفات المحددة والمهمة في الفصل بين الكائنات الحية، وجعلهما في مجموعتين مختلفتين تماماً كل الاختلاف في الوظائف، والتركيب، والتصنيف.

### (٢,١) مقارنة بين الكائنات حقيقية النواة وبدائية النواة

لقد ساعدت الدراسة الخلوية بالمجهر الإلكتروني على توضيح التركيب البنائي الدقيق لخلايا الكائنات الحية، وهذا ما أدى إلى تغيير كبير في فهمنا ونظرتنا إلى هذه الكائنات الحية المتنوعة في الشكل والتركيب والحجم. فالأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية Eucaryotic Organisms هي الأكثر تطوراً، وتوصف خلاياها بأنها حقيقية النواة، وتكون فيها النواة ذات شكل محدد ومحاطة بغشاء نووي. بينما الأحياء ذات النواة البدائية Procaryotic Organisms هي أقل تطوراً، وخلاياها تكون غير تامة النواة، وهكذا فلا يوجد غشاء نووي، ويشكل هذا النوع من الخلايا وحدة البناء الأساسية في

البكتيريا، والبكتيريا الزرقاء أو ما يعرف بالسيانو بكتيريا. ويضع علماء التصنيف هذه المجموعة من الكائنات الحية في مملكة مستقلة أسموها مملكة البدائيات Monera.

في الماضي كان عدم وضوح النواة المحددة في بدائيات النواة مدعاة للاعتقاد بعدم احتوائها على نواة، إلى أن تبين فيما بعد أن خلايا هذه الأحياء تحتوي على منطقة نووية ولكنها غير محددة بغشاء بل تنتشر في سيتوبلازم الخلية.

ويمكن إجراء مقارنة بين تركيب خلايا الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية والأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية، وإعطاء عرض موجز لأهم الصفات المميزة لكل مجموعة حسب الجدول رقم (٢,١) الآتي:

**الجدول رقم ( ٢,١ ). مقارنة بين تركيب خلايا حقيقية النواة وبدائية النواة.**

| الصفة Character | بدائية النواة Procaryotes | حقيقية النواة Encaryotes |
|---|---|---|
| الأحياء التي تمثلها | البكتيريا، السيانو بكتيريا | النباتات والطحالب والفطريات والحيوانات الراقية والبروتوزوا |
| أبعاد الكائن | ١-٢ ×١-٤ من الميكرونات أو أقل. | أكثر من خمسة ميكرونات في عرضها أو قطرها. |
| الجدار الخلوي | تدخل في تركيبه البتيدات الجليكونية Peptidoglycans (سكريات أمينية) ومواد دهنية، وحَمض الميوراميك Muramic. | لا يحتوي على السكريات الأمينية، ولا المواد الدهنية، ولا على حَمض الميوراميك Muramic acid. |
| الأغشية السيتوبلازمية | لا تحتوي على ستيرولات Sterols وقد تحتوي على جزء من الجملة التنفسية وأحياناً على جهاز البناء الضوئي. | تحتوي على ستيرولات Sterols ولا تقوم بالتنفس ولا البناء الضوئي Photosynthesis. |

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١).

| الصفة Character | بدائية النواة Procaryotes | حقيقية النواة Eucaryotes |
|---|---|---|
| السيتوبلازم: | | |
| • طبيعتها | لا يوجد انسياب سيتوبلازمي Cytoplasmic streaming | تمتاز خلاياها بوجود انسياب سيتوبلازمي Cytoplasmic streaming |
| • محتوياتها | قد تحتوي على فجوات غازية Gas-vacuoles وميزوزومات Mesosomes | لا تحتوي على فجوات غازية Gas-vacuoles ولا ميزوزومات Mesosomes |
| | لا توجد شبكة إندوبلازمية Endoplasmic reticulum | توجد شبكة إندوبلازمية Endoplasmic reticulum |
| | لا تحتوي على الميتوكوندريا، ولا على البلاستيدات الخضراء، ولا أجسام جولجي Golgi bodies. | تحتوي على الميتوكوندريا، Mitochondria وعلى أجسام جولجي، وقد تحتوي على البلاستيدات الخضراء. |
| الجملة الوراثية: | | |
| • وجودها | في المادة النووية المبعثرة، والأجسام الكروماتينية Chromatin bodies. | توجد في النواة Nucleus، وفي الميتوكوندريا، وفي البلاستيدات الخضراء Chloroplasts |
| • بنية النواة | لا يوجد غشاء نووي ولا نويات Nucleolus. | محاطة بغشاء نووي، وتحتوي على نويات. |
| | يوجد كروموسوم واحد Chromosome، يتركب من أحماض نووية فقط. | يوجد أكثر من كروموسوم، تتركب من أحماض نووية وبروتين مرافق (هيستونات) |
| | لا يوجد انقسام ميتوزي Mitosis في خلاياها. | يوجد انقسام ميتوزي (خيطي). |

obeikandl.com

وسوف أتناول كلاً من الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية والأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية بشيء من التفصيل للمقارنة بينهما وتوضيح ما تتميز به كل مجموعة على حدة وما يميزها عن المجموعة الأخرى كما يلي:

### (٢,١,١) أولاً: الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية Eucaryotic Microorganisms

تُجمع الأحياء الدقيقة حقيقية النواة في مملكة واحدة هي مملكة البروتستا Protista، وتشمل ثلاث مجموعات رئيسة متميزة. وهي الطحالب Algae، والبروتوزوا Protozoa، والفطريات Fungi. مملكة البروتستا هي مجموعة من الأحياء الدقيقة تحتوي على نوىً حقيقية تشبه تلك الموجودة في النباتات الراقية والحيوانات. ومما يميز النواة الحقيقية عن النواة غير الحقيقية وجود الغشاء النووي Nuclear membrane. فيلاحظ أن هناك غشاء نوويًّا واضحاً يحيط بالنواة الحقيقية في غير مراحل الانقسام المختلفة، بينما تفتقر النوى غير الحقيقية إلى مثل هذا الغشاء النووي. كما تمتاز الأحياء الدقيقة حقيقية النواة بوجود عضيات متخصصة للقيام بوظائف معينة داخل الخلية مثل البلاستيدات الخضراء، والميتوكوندريا، والشبكة الإندوبلازمية، وأجسام جولجي وغيرها. والجدير بالذكر أن انقسام الخلايا حقيقية النواة والتكاثر الجنسي فيها يكون أكثر تعقيداً مما يحدث في الخلايا ذات النواة البدائية. علماً بأن النواة تحتوي على الصفات الوراثية للكائن الحي وهي المسئولة عن نقلها من جيل إلى آخر.

### (٢,١,١,١) الصفات العامة لذوات النواة الحقيقية

من خلال استعراض الأنواع المتنوعة من الأحياء الدقيقة حقيقية النواة نجد أنها تتشابه في عدد من الصفات الهامة، ويمكن التطرق لأبرز هذه الخصائص أو الصفات المشتركة في الكائنات الحية حقيقية النواة كما يلي:

- **وحدة الغشاء Membrane unit**

عند فحص خلايا الأحياء الدقيقة حقيقية النواة بواسطة المجهر الإلكتروني نجد أنها تكون محاطة بغشاء خلوي Cellular membrane مكون من ثلاث طبقات سمكه يصل إلى ثمانية نانوميترات، ويسمى أحياناً بالغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic membrane، أو الغشاء البلازمي Plasmic membrane. وتسمى الأغشية بهذا التركيب وحدة الغشاء. وعلى الرغم من التشابه الكبير في الأغشية الخلوية بين الأحياء الدقيقة حقيقية النواة وبدائية النواة، إلاّ أن أوجه التباين موجودة في التركيب البنائي، مثل اختلاف نوعية الفوسفوليبيدات Phospholipids والبروتينات Proteins. بالإضافة إلى الستيرولات Sterols ذات الصلابة Rigidity التي تنفرد بها أغشية الأحياء الدقيقة حقيقية النواة. لذا تكون الأغشية الخلوية للأحياء الدقيقة حقيقية النواة أكثر صلابة منها في بدائية النواة.

- **الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum**

تتميز الأحياء الدقيقة حقيقية النواة بوجود الشبكة الإندوبلازمية التي تغيب تماماً عن الأحياء الدقيقة بدائية النواة. والشبكة الإندوبلازمية ليست عضية داخلة محددة في الخلية بل هي عبارة عن خطوط متعددة من الغشاء الداخلي وظيفتها بناء البروتينات في الخلية. فهي شبكة غير منتظمة من قنوات رفيعة متعددة تنتشر في السيتوبلازم وتربط بين النواة من جهة وبين الريبوسومات من جهة أخرى. علماً بأن جزءاً من الشبكة الإندوبلازمية يحيط بالنواة مكوناً الغشاء النووي. والأجزاء الأخرى تنتشر في السيتوبلازم وتعرف باسم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum، وفيها يكون سطح الغشاء مغطى بالريبوسومات المسئولة عن بناء بروتينات

الخلية المتنوعة من خلال المعلومات الوراثية الموجودة على الحَمض النووي mRNA الذي يتكون في النواة ثم يمر من خلال قنوات الشبكة الإندوبلازمية إلى الريبوسومات.

- **أجسام جولجي Golgi bodies**

هي تركيبات محددة ذات غشاء تنفرد بها خلايا الأحياء الدقيقة حقيقية النواة حيث تغيب تماماً عن خلايا الأحياء الدقيقة بدائية النواة. الوظيفة الأساسية لأجسام جولجي هي إفراز الأنزيمات والجزيئات الكبيرة الأخرى. فهي عضيات داخلية غشائية تتكون من عدد من الأكياس والأوعية المفلطحة المختلفة الأحجام ومحاطة بوحدة الغشاء. تقوم أجسم جولجي بوظيفة إخراجية هامة تسمى Exocytosis تلاحظ لدى بعض الكائنات الحية حيث تعبأ الفضلات فيها ثم تتحرك أجسام جولجي إلى غشاء الخلية فتلتصق به ثم تنفجر. كما تقوم أجسام جولجي بنقل المواد البروتينية من مكان إلى آخر، حيث تعبأ المواد البروتينية المتكونة عند الشبكة الإندوبلازمية في هذه الأجسام التي تقوم بنقلها داخل الخلية.

- **البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا Chloroplasts & Mitochondria**

يقتصر وجود كل من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا في خلايا الأحياء الدقيقة حقيقية النواة، بينما تخلو منهما تماماً خلايا الأحياء الدقيقة بدائية النواة. ويتم في هاتين العضيتين الغشائيتين Membrane-bound organelles (البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا) أنظمة التمثيل الضوئي وتوليد الطاقة. وكلاهما يحتويان على نظم غشائية داخلية خاصة. حيث تنفرد البلاستيدات الخضراء بالثيلاكويد Thylakoid وهو نظام غشائي مكون من ثنيات كثيرة تحتوي بين طياتها على صبغيات التمثيل الضوئي Photosynthesis pigments ونظام انتقال الإلكترونات Electronic transport system ومراكز التفاعل الضوئي Photochemical reaction centers بالإضافة إلى عدد من

الأنزيمات المسئولة عن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية Chemical bond energy. كما يحتوي الوسط الداخلي للبلاستيات الخضراء على مجموعة أخرى من الأنزيمات تعمل على تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى سكريات. بينما نجد أن النظام الغشائي للميتوكوندريا يسمى كريستا Cristae وهو عبارة عن ثنيات متعددة تحتوي بين طياتها على نظام انتقال الإلكترونات التنفسي Electronic transport system والأنزيمات الخاصة به. فالبنية الداخلية للميتوكوندريا توضح أنها مقسمة عرضياً بسلسلة من الأغشية الدقيقة التي تنشأ من الغلاف الداخلي المحيط بها. وتعتبر هذه الأغشية الموقع الذي توجد فيه الأنزيمات المسئولة عن نقل الإلكترونات من المادة المتأكسدة إلى الأكسجين، بالإضافة إلى الأنزيمات المسئولة عن أكسدة الكربوهيدرات وتحرر غاز ثاني أكسيد الكربون.

- **المواد الوراثية Nuclear genome**

في خلايا الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية توجد المواد الوراثية في المادة النووية المبعثرة، والأجسام الكروماتينية Chromatin bodies حيث لا يوجد غشاء نووي ولا نويات Nucleolus وبها كروموسوم واحد Chromosome، يتركب من أحماض نووية فقط. بينما توجد الجملة الوراثية في النواة Nucleus لدى خلايا الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية، وتكون موزعة على عدد محدود من التركيبات المميزة المعروفة باسم الكروموسومات. والنواة محاطة بغشاء نووي Nuclear membrane يحتوي على عدد كبير من الثقوب، وتحتوي النواة على نويات Nucleolus، وتمتاز بوجود أكثر من كروموسوم وكل كروموسوم ذي تركيب خيطي يتراوح طوله بين ٢٠- ٣٠ نانوميتراً، يتركب من الحَمض النووي Deoxyribonucleic Acid (DNA) وبروتينات مرافقة قاعدية تسمى هيستونات Histones وبروتينات غير هيستونية تقوم بدور خاص في تنظيم نشاط

المورثات Genes المختلفة. كما يوجد جزء من المواد الوراثية في خلايا الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية في كل من الميتوكوندريا وفي البلاستيدات الخضراء Chloroplasts. ولا يوجد انقسام غير مباشر ميتوزي Mitosis في الخلايا بدائية النواة. بينما يوجد انقسام ميتوزي (خيطي) في الخلايا حقيقية النواة بالإضافة إلى الانقسام الاختزالي ميوزي Meiosis (Reduction division). تؤدي عملية الانقسام الاختزالي إلى اختزال عدد الكروموسومات في الخلايا الناتجة بعد الانقسام إلى النصف وهي التي تكوِّن الجاميطات Gametes أو الأمشاج Germ cells. بينما نجد أن عملية الانقسام غير المباشر تؤدي إلى مضاعفة عدد الكروموسومات في بداية الانقسام ثم تنقسم لتعطي نفس العدد من الكروموسومات قبل الانقسام. وينتج عن اندماج الأمشاج تكوُّن اللاقحة Zygote ثنائية المجموعة الصبغية (٢N)، والجدير بالذكر أن اندماج الأمشاج يقترن باندماج النوى في جميع الخلايا حقيقية النواة، مما ينتج عنه احتواء اللاقحة على مجموعتين من المواد الوراثية إحداهما من المشيج المذكر والأخرى من المشيج المؤنث.

- **نظام الأنابيب الدقيقة Microtubular system**

تكون الأنبوبة الدقيقة Microtubule على شكل أسطوانة دقيقة متناهية في الصغر ذات أطوال مختلفة وقطرها لا يتجاوز ٣٠ نانوميتراً، وجدرها تتركب من وحدات بروتينية. فالأنابيب الدقيقة عنصر تركيبي هام في الكائنات الحية حقيقية النواة تلعب دوراً بارزاً ورئيساً في التكوين والصيانة للشكل العام لبعض الخلايا في الكائنات الحية حقيقية النواة. كما أن نظام الأنابيب الدقيقة يقوم بوظيفة أساسية في عملية الانقسام الخلوي تتمثل في تكوين شبكة المغزل التي يتم عليها الانقسام، وعملية انتقال الكروموسومات إلى المراكز الطرفية في الخلية أثناء عملية الانقسام.

بالإضافة إلى ذلك فإن نظام الأنابيب الدقيقة Microtubular system له دور هام في تركيب أجهزة الحركة وآلية عملها لدى خلايا الأحياء الدقيقة حقيقية النواة من أسواط Flagella وأهداب Cilia. فقد بينت الصور المأخوذة بالمجهر الإلكتروني لقطاعات عرضية في أسواط وأهداب الخلايا حقيقية النواة أنها تحتوي على تسعة أزواج أنابيب دقيقة خارجية محيطة بزوج أنابيب في مركز السوط أو الهدب. ولوحظ أن الزوج المركزي من الأنابيب يتكون من قاعدة قرب سطح الخلية، أما الأزواج التسعة المحيطة فهي تنشأ من جسم مركزي يسمى Centriole، وهو يتكون أيضاً بدوره من تسعة أزواج من الأنابيب الدقيقة. كما وجد أنه في بعض خلايا الكائنات الحية حقيقية النواة يشترك الجسم المركزي في تكوين ما يعرف بالمغزل Spindle الذي يشترك في الانقسام غير المباشر ميتوزي Mitosis؛ وذلك لوجود هذه الأجسام المركزية قرب قطبي المغزل أثنا عملية الانقسام الخلوي (النخال، ١٩٩٨م).

- **الحركة السيتوبلازمية Cytoplasmic streaming**

باستثناء وقت الانقسام الخلوي يلاحظ أن منطقة السيتوبلازم في خلايا الكائنات الحية حقيقية النواة تكون معزولة عن النواة ومحتوياتها بحكم وجود الغشاء النووي. وأثبت الفحص المجهري لعدد من الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة أن السيتوبلازم في معظم هذه الكائنات يكون في حركة داخلية مستمرة نشطة تسمى Cytoplasmic streaming. وللحركة السيتوبلازمية دورٌ هامٌ وبارزٌ في عدد من نشاطات الخلية في الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة. ومن فوائد الحركة السيتوبلازمية الداخلية تحرك الكروموسومات أثناء عملية الانقسام وتركيز عضية الميتوكوندريا في مواقع محددة في

السيتوبلازم. بالإضافة إلى دورها في ترتيب البلاستيدات الخضراء، وحركة الفجوات المنقبضة الإخراجية، وأجسام جولجيودورها في النقل الخلوي الداخلي.

والجدير بالذكر أن هذه الحركة السيتوبلازمية لا تؤدي في الغالب إلى تحرك الكائن؛ لأن هذه الكائنات تملك جداراً خلوياً سليلوزياً صلباً يفصل السيتوبلازم الداخلي عن الوسط الخارجي، فلا تتحول الحركة السيتوبلازمية إلى حركة فعلية تنقل الكائن الحي من مكان إلى آخر. ويستثنى من ذلك ما ليس له جدار خلوي، مثل الأوليات، والأميبا، والفطريات اللزجة التي تؤدي فيها الحركة السيتوبلازمية إلى حركة خلاياها على سطح البيئات الصلبة. أما الدياتومات فعلى الرغم من أنها تملك جداراً خلوياً فإن الحركة السيتوبلازمية فيها تساعد على حركتها، ويرجع ذلك إلى أن جدارها الخلوي غير مستمر ولا يحيط إحاطة تامة بالكائن الحي.

### (٢,١,٢) ثانياً: الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية Procaryotic Microorganisms

يضع علماء التصنيف هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة البدائية في مملكة مستقلة أطلق عليها اسم مملكة البدائيات (المونيرا) Monera، تشمل البكتيريا Bacteria، والبكتيريا الزرقاء Blue green bacteria. وهي أقل تطوراً من الكائنات الحية ذات النواة الحقيقية، وخلاياها تكون غير تامة النواة، وهكذا فلا يوجد غشاء نووي، ويشكل هذا النوع من الخلايا وحدة البناء الأساسية في البكتيريا والبكتيريا الزرقاء أو ما يعرف بالسيانو بكتيريا Cyanobacter.

في الماضي كان عدم وضوح النواة المحددة في بدائيات النواة مدعاة للاعتقاد بعدم احتوائها على نواة، إلى أن تبين فيما بعد أن خلايا هذه الأحياء تحتوي على منطقة نووية Nuclear region، ولكنها غير محددة بغشاء نووي، بل تنتشر في سيتوبلازم الخلية. ومنطقة النواة تمتلئ بمنظومة من اللُّيَيْفَات الدقيقة التي تتركب أساساً من الحَمض

النووي DNA غير المنتظم في كروموسومات. والحقيقة أن هذا الفرق الجوهري بين الأحياء الدقيقة الحقيقية النواة والأحياء الدقيقة البدائية النواة لم يتمكن العلماء من ملاحظته إلا في منصف القرن العشرين الميلادي أي بعد اكتشاف المجهر الإلكتروني الذي تصل قوة تكبيره للأشياء إلى أكثر من ١٠ آلاف مرة.

تمتاز الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة البدائية بأن جدارها الخلوي تدخل في تركيبه الببتيدات الجليكونية Peptidoglycans (سكريات أمينية) ومواد دهنية، إضافة إلى حَمض الميوراميك Muramic. أما الأغشية السيتوبلازمية فلا تحتوي على ستيرولات sSterol، وقد تحتوي على جزء من الجملة التنفسية، وأحياناً على جهاز البناء الضوئي. كما أنه لم يلاحظ في خلاياها الحركة السيتوبلازمية الداخلية الدءوبة أو ما يعرف بالانسياب السيتوبلازمي Cytoplasmic streaming الموجود في الخلايا حقيقية النواة. ومع أن السيتوبلازم في خلايا بدائية النواة يخلو من أي عضيات دقيقة؛ إلاّ أن العمليات والوظائف الأيضية التي تقوم بها هذه العضيات تحدث في الغالب في خلايا بدائية النواة.

تتحرك خلايا الأحياء الدقيقة وخصوصاً بعض الأنواع البكتيرية والسيانو بكتيريا على الأسطح الصلبة بواسطة الحركة الانزلاقية Gliding movement؛ وذلك لافتقارها إلى الحركة السيتوبلازمية Cytoplasmic streaming المشهورة في حقيقية النواة، بالإضافة إلى الأسواط Flagella في الأوساط الصلبة. وعدد قليل من البكتيريا يتحرك بواسطة ما يسمى بالخيط المحوري Axial Filament حيث تلتف حزم الألياف بشكل حلزوني حول الخلية البكتيرية المثبتة في نهايتها هذه الحزم من الألياف.

قد تحتوي خلايا الأحياء الدقيقة بدائية النواة على فجوات غازية Gas-vacuoles وميزوزومات Mesosomes. ولا توجد شبكة إندوبلازمية Endoplasmic reticulum في خلايا الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة البدائية، ولا تحتوي على الميتوكوندريا، ولا

على البلاستيدات الخضراء، كما لا تحتوي على أجسام جولجي Golgi bodies. وتوجد الجملة الوراثية في الأحياء الدقيقة بدائية النواة في المادة النووية المبعثرة، والأجسام الكروماتينية Chromatin bodies. ولا يوجد غشاء نووي ولا نويات Nucleolus. ويوجد كروموسوم واحد Chromosome يحمل جميع الصفات الوراثية، يتركب من أحماض نووية فقط. حيث تترتب جميع الصبغيات Genes ترتيباً خطيًّا في مجموعة ارتباط خطية Single linkage group، وتمتاز بعدم وجود أي صفات لها سيادة وراثية Dominance مما يؤدي إلى سرعة ظهور الطفرات Mutations عند حدوثها ولا يحول دون التعبير عنها صفة السيادة. ولا يوجد انقسام مباشر ميتوزي Mitosis في خلاياها. فالانقسام النووي لا يشتمل على انقسامات مباشرة في خلايا الكائنات الحية ذات النواة البدائية، بل تنقسم منطقة النواة إلى وحدتين متماثلتين دون أن يطرأ أي تغيير على شكلها.

ويتم انتقال الصفات الوراثية Genetic transfer في خلايا الأحياء الدقيقة بدائية النواة بثلاث طرائق أساسية. فهناك طريقة التزاوج الخلوي Cellular conjugation، والانتقال Transformation، والنقل Transduction. وجميعها تؤدي إلى الانتقال الجزئي للصبغيات وما يتبعه من مراحل حتى يتم تكوين اللاقحة الجزئية Merozygote التي تحمل الصفات المشتركة. ففي الخلايا البكتيرية يكون الاندماج مؤقتاً Fusion في حالة التزاوج الخلوي من الخلية المعطية Donor إلى الخلية المستقبلة Recipient، أي لا يحدث اندماج كامل في هذا النوع من التزاوج. ثم يعود جزء صغير فقط من المجموعة الصبغية Genome إلى الخلية المعطية، وذلك قبل انفصال الخليتين عن بعضهما.

### (٢,١,٣) ثالثاً: نمو الأحياء الدقيقة Microbial growth

يعتبر النمو Growth من أهم وأبرز الصفات والخصائص المميزة للكائنات الحية عن الجمادات. وظاهرة الحياة التي تتصف بها كل الكائنات الحية بما فيها الأحياء

الدقيقة إنما تعكس مستوى معيناً من تنظيم التركيب الخلوي، وأوجه النشاط الحيوي لمجموعة من المركبات (الجزيئات) الكيميائية التي يطلق عليها اسم "المادة الحية". وهكذا فإن ظاهرة النمو تتمتع بها جميع الكائنات الحية بلا استثناء، ويمكن ملاحظتها بأشكال وبطرائق متنوعة تختلف باختلاف الكائن الحي وخصائصه التركيبية. وبالمقابل لا يمكن حدوث النمو في الكائنات غير الحية مثل الجمادات.

يقصد بالنمو تلك الزيادة في المادة الحية التي تترافق بزيادة في أعداد الخلايا نتيجة لانقسامها، ويكبر حجم الخلايا الناتجة عن هذا الانقسام. ويستمر النمو بشكل طردي وبمعدلات خاصة بكل مرحلة من مراحل حياة الكائن الحي، حتى يصل إلى مرحلة النضج أو البلوغ، وعندها يتكاثر؛ أي يعطي أفراداً جديدة مشابهة لأصولها في الشكل والتركيب. وهناك نوعان من التكاثر لدى الأحياء الدقيقة، أحدهما يعرف بالتكاثر اللاجنسي Asexual reproduction. كانقسام الكائنات الحية وحيدة الخلية إلى قسمين يشكل كل منهما فرداً يشبه الخلية الأم. كما هو الحال في الخلايا البكتيرية والفطريات، أو تبرعم الخميرة Yeast Budding، أو التجزؤ Fragmentation؛ أي انفصال جزء من خيوط الطحلب فينمو معطياً نباتاً جديداً مشابهاً تماماً للطحلب الأصلي. والنوع الآخر من التكاثر لدى الأحياء الدقيقة يعرف باسم التكاثر الجنسي Sexual reproduction. يأتي نتيجة اتحاد مشيجين أحدهما مشيج مذكر، والثاني مشيج مؤنث يندمجان لتكوين خلية تسمى البيضة الملقحة أو اللاقحة Zygote، التي تنقسم انقسامات متتالية مكونة فرداً جديداً يتميز بالتطور والتبدل في صفاته الوراثية بسبب الطفرات Mutations التي تختلف باختلاف الكائن الحي والظروف البيئية المحيطة.

تتم زراعة الكائنات الحية الدقيقة في المختبرات والمعامل بواسطة توفير الأوساط الغذائية المناسبة للنمو Media في أنابيب اختبار Test tubes، أو أطباق بتري Petri

Dishes، أو دوارق مخروطية Conical flasks، أو غير ذلك مما يسمح بدخول الضوء إلى الكائن الحي، ويمكنه من المعيشة في ظروف معقمة. ويتم تعقيم الوسط الغذائي بواسطة جهاز الأوتوكلاف Autoclave، ويكون التعقيم بواسطة بخار الماء عند درجة حرارة ١٢١ °م وتحت ضغط محدد (حوالي ١٥ رطلاً في كل بوصة مربعة) لمدة ١٥- ٣٠ دقيقة تكون كافية لقتل جميع الكائنات الحية الدقيقة. على أن تكون فوهات أنابيب الاختبار أو الدوارق المخروطية أو القوارير الحاوية للأوساط الغذائية مسدودة بإحكام بواسطة القطن غير الممتص Nonabsorbent cotton. وهذا الوسط أو المنبت الغذائي Culture medium يختلف باختلاف الكائن الحي وتنوع احتياجاته الغذائية. ويتطلب نمو الكائن الحي توفير المواد الغذائية بشكل مناسب وبكمية كافية لاستعمالها كمواد بناء للخلايا الجديدة ومصدر للطاقة اللازمة لنمو وانقسامات الكائنات الحية الدقيقة. ويقصد بالمزرعة أو المنبت الغذائي أيُّ نموٍّ أو إكثارٍ للكائنات الحية الدقيقة في المختبر *In vitro*. والوسط أو المنبت الغذائي عبارة عن المحلول أو المركب الغذائي الذي تزرع أو تنمو عليه الكائنات الحية الدقيقة، ويحفظ عند درجة حرارة ورطوبة مناسبة، وضغط معروف ولمدة محددة من الوقت.

والجدير بالذكر أن هذه المزارع قد تكون نقية، أي تحوي نوعاً واحداً فقط من الكائنات الحية الدقيقة فتسمى Pure culture، أو تكون مختلطة من عدد من الأنواع المختلفة Mixed culture، وهذا هو الغالب الأعم في أطباق العزل الميكروبي بحكم وجود الأحياء الدقيقة من بكتيريا، وبكتيريا خضراء مزرقة، وريكتسيات، وفطريات، وطحالب، وأشنات بعضها مع بعض في الطبيعة في كل مكان، سواءٌ أكان ذلك في الهواء، أم في التربة، أم في الماء، أم غيرها من الأوساط البيئية المتنوعة.

في المختبرات يتم حفظ الكثير من الكائنات الحية الدقيقة على منابت صلبة Solid media حيث يضاف لهذه البيئات ١,٥٪ من مادة الآجار Agar ليتصلب ويتماسك الوسط المغذي. كما يتم حفظ البعض من الكائنات الحية الدقيقة في منابت سائلة Liquid media لحين استخدامها من قبل الباحثين أو لأغراض التدريس وعرضها أمام الطلاب والطالبات. هذا وتوضع البيئات المحقونة Inoculums media في حاضنات Incubations في ضوء خافت Dim light عند درجة حرارة مناسبة تتراوح بين ٢٥ °م عند عزل الفطريات والطحالب؛ و٣٧ °م عند عزل البكتيريا، والبكتيريا الزرقاء. وذلك على الرغم من أن درجة الحرارة تختلف من كائن حي إلى آخر، فعلى سبيل المثال طحالب جنس *Chlorella spp.* التي تعيش في الينابيع الحارة يتم تنميتها عند درجة حرارة ٤٠ °م للحصول على الكتلة الخلوية لهذا الجنس في المختبر. ومدة التحضين تكون ٢٤ ساعة بالنسبة للبكتيريا، و٥- ٧ أيام عند عزل الكائنات الفطرية والطحلبية.

علاوة على ضرورة توفر الاحتياجات الغذائية في المنبت أو الوسط الغذائي، فإنه يجب ضبط قيمة الأس الهيدروجيني pH (وهو اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين) في الوسط ليكون مناسباً لنمو الكائن الحي وتكاثره. حيث نجد أن البكتيريا تفضل النمو في المنابت القلوية الضعيفة ٦- ٨ pH؛ بينما يلاحظ أن الفطريات تفضل العيش في الأوساط الحامضية الضعيفة ٤- ٦ pH. كما ينبغي ملاحظة أن هناك كائنات حية دقيقة هوائية Aerobic ينبغي إمداد بيئاتها الغذائية بما تحتاجه من الأكسجين بكميات كافية، وفي المقابل هناك كائنات حية دقيقة لا هوائية Anaerobic ينبغي حجب الأكسجين عنها تماماً، وبينهما طائفة ثالثة تحتاج الأكسجين بكميات قليلة كي تنمو وتعيش وتسمى Microaerophilic.

تشير الدراسات إلى أن أول محلول استعمل لزراعة الكائنات الحية الدقيقة كان عبارة عن مستخلص لمواد طبيعية غنية بالمواد العضوية والأملاح، مثل مستخلص القش وحب الفلفل الذي استخدمه العالم لوين هوك. كما قام باحثون آخرون باستخلاص أنسجة الحيوان بالماء حيث تمكنوا من الحصول على أوساط غذائية ممتازة لزراعة البكتيريا. ويعرف مستخلص الأنسجة بالنقيع Infusion وكان يعتبر الوسط الغذائي الوحيد لعزل وزراعة البكتيريا في المختبر حتى أواخر القرن التاسع عشر الميلادي. ومن بين المنابت المناسبة لحفظ وزراعة الكائنات الحية الدقيقة تلك المكونة من المرق المغذي Nutrient Broth في حال البكتيريا والفطريات، والمكونة من تربة مشبعة بالماء أو مستخلص التربة Soil extract والآجار في حال عزل الكائنات الطحلبية.

المنابت الغذائية الصناعية المستخدمة لعزل الأحياء الدقيقة في المختبر يجب أن تكون قريبة الشبه أو مماثلة قدر الإمكان في مكوناتها لتلك التي تعيش عليها هذه الكائنات في بيئتها الطبيعية *In vivo*. والكائنات الحية الدقيقة ليست متماثلة في احتياجاتها ومتطلباتها الغذائية، بل هناك تباين كبير فيما بينها. فبعضها لديه القدرة على تخليق بعض ما تحتاجه من المواد الغذائية بطريقة ذاتية Autotrophic، فتأخذ احتياجاتها العضوية من غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر كربوني. وبالمقابل نجد أن البعض الآخر من الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتي التغذية Heterotrophic، وهذه لا تنمو إلا إذا أضيف لمنبتها مصدر كربوني عضوي. كما أن هناك من الكائنات الحية الدقيقة من لديه القدرة على تثبيت النيتروجين الجوي اللازم لبناء جسمه خلال عملية تعرف بالتآزت Nitrogen fixation. بينما بعضها يتطلب نموه إضافة مصدر نيتروجيني عضوي أو غير عضوي إلى الوسط الغذائي المراد تنميته فيه. أضف إلى ذلك قدرة بعض

الكائنات الحية الدقيقة على تخليق احتياجاتها من الفيتامينات، بينما نجد البعض الآخر يحتاج لإضافة بعض الفيتامينات إلى منبته الغذائي لكي ينمو ويتكاثر.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك طوائف عديدة من الكائنات الفيروسية والبكتيرية والفطرية لا يمكن تنميتها في المنابت الصناعية حتى ولو اشتملت على كل العناصر الضرورية اللازمة لنموها، ومثل هذه الكائنات تعرف باسم الطفيليات إجبارية التطفل Obligate parasite، حيث لا تنمو إلا على أنسجة حية مأخوذة من عوائلها.

لأجل ذلك كله ينبغي مراعاة كل الفروق والعوامل السابقة وغيرها عند تركيب وإعداد مكونات المنابت الغذائية للأحياء الدقيقة، حيث يجب توفر العناصر الضرورية الأساسية اللازمة التي يحتاجها الكائن الحي في الوسط الغذائي المراد تنميته فيه؛ وذلك للحصول على كتلة حيوية كافية من هذا الكائن الحي أو ذاك. ويأتي في مقدمة العناصر الضرورية الأساسية اللازمة لتغذية الكائن الحي التي ينبغي توفرها في الوسط الغذائي: الكربون، والنيتروجين، والهيدروجين، والأكسجين، والكبريت، والفسفور، والصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والمنجنيز، والحديد، والزنك، والكوبلت، وغيرها من العناصر الأخرى التي تختلف وتتنوع باختلاف الكائن الحي وتنوعه. كما أن الماء وسط مذيب لجميع هذه العناصر، ومهم في حياة الكائن الحي، بل إنه عامل محدد Limited Factor في نموها، حيث تعتمد عليه حياة جميع الكائنات الحية وتتوقف على وجوده. فتستطيع الكائنات الحية الدقيقة امتصاص المواد الغذائية من الوسط الذي تعيش فيه عندما تكون هذه المواد في صورة ذائبة بفعل وجود الماء.

وقد ساعدت التقنيات الحديثة المستخدمة في زراعة وتنمية الأحياء الدقيقة في المختبرات على إحداث تقدم ملموس في مجال دراسة الأحياء الدقيقة. حيث مكنت الباحثين والعلماء من تتبع دورات الحياة لهذه الكائنات الحية الدقيقة ودراسة تراكيبها

الفسيولوجية، وخصائصها التركيبية، والتقسيمية، والوراثية، والبيوكيميائية، وأنشطتها الأيضية، وإفرازاتها الأنزيمية بشكل دقيق وموسع. فاليوم نجد أن المنابت الغذائية أصبحت تستعمل لأغراض عديدة علاوة على حفظ الكائنات الحية الدقيقة واستكثارها ودراسة خواصها الفسيولوجية، حيث دخلت الأغراض الصناعية والطبية في هذا المجال. فنجد أن المنابت والأوساط الغذائية للكائنات الحية الدقيقة تستغل لإنتاج الأحماض العضوية، والكحولات، وبعض الفيتامينات، والهرمونات، والمضادات الحيوية، وغيرها من المواد ذات الأهمية الاقتصادية في حياة الإنسان.

إن معظم الكائنات الحية الدقيقة تمر أثناء نموها في مجتمعات في أربع مراحل أساسية أولها المرحلة التمهيدية Lag phase، وتليها المرحلة اللوغاريثمية Exponential phase، ثم المرحلة الساكنة Stationary phase، وآخر هذه المراحل ما يعرف بمرحلة الموت Death phase، وهذا ما يعرف بدورة النمو.

### (٢,١,٣,١) منحنى النمو في الأحياء الدقيقة Growth curve of microorganisms

- **المرحلة التمهيدية Lag phase**

تعرف هذه المرحلة بطور الركود في عملية الانقسام، وفيها تبدأ الخلايا في عملية البناء البروتوبلازمي بداخل الخلية، ويزداد حجم الخلية إلى ثلاثة أضعاف حجمها الأصلي. وهذه المرحلة تبدأ بحقن المزرعة أو الوسط الغذائي بالكائن الحي، الذي يحتاج إلى بعض الوقت ليستأنف نشاطه في المزرعة الجديدة، ولذلك تسمى هذه المرحلة بالتحضيرية ويعتمد طولها على عمر الخلايا المنقولة. ولقد بينت الدراسات البيوكيميائية زيادة معدل النشاط الأيضي للخلية وزيادة كمية المكونات الأساسية للمحتويات النووية والمحتويات البروتينية بالخلية خلال المرحلة التمهيدية.

● **المرحلة اللوغاريثمية Log phase**

في هذه المرحلة يكون معدل إنتاج الأفراد والخلايا الجديدة متزايداً مع مرور الوقت، وفي تناسب طردي مع الزمن. فيحدث النمو اللوغاريثمي نتيجة لتضاعف الخلايا بعد كل وقت جيلي وتحت الظروف المثلى Optimal conditions، والوقت الجيلي يكون ثابتاً خلال طور النمو اللوغاريثمي، كما أن طول الوقت الجيلي يتحدد عادة بكل من العوامل الوراثية والظروف البيئية. وتختلف معدلات النمو لأي نوع معين من الكائنات الحية الدقيقة باختلاف الوسط الغذائي، ومكوناته، ودرجات الحرارة، والحموضة pH، والرطوبة، وغيرها من العوامل التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على نمو وانقسام الكائن الحي. علماً بأن الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة (البكتيريا) تتكاثر بشكل أسرع من الكائنات الدقيقة ذات النواة الحقيقية في المرحلة اللوغاريثمية.

● **المرحلة الساكنة Stationary phase**

تأتي هذه المرحلة بعد مرحلة النمو اللوغاريثمي التي تنتهي بنفاد المواد الغذائية من المنبت أو زيادة تركيز المواد الأيضية والمخلفات ذات التأثير السام الناتجة من النشاط الخلوي. وتسمى هذه المرحلة بطور ثبات النمو وفيه تتوقف المزرعة عن النمو عندما تصل إلى حد معين. ويبدأ معدل التكاثر في التناقص إلى أن يتوازن مع معدل موت الخلايا في الوسط الغذائي. ويلاحظ أن الخلايا في المرحلة الساكنة تكون أصغر من الخلايا في المرحلة اللوغاريثمية، كما أنها تكون أكثر مقاومة للظروف البيئية غير المناسبة مثل الحرارة والرطوبة والجفاف ودرجة الحموضة pH في المنبت أو الوسط الغذائي.

● **مرحلة الموت Death phase**

إن معدل موت الخلايا في هذه المرحلة يزيد عن معدل تكوين خلايا حية جديدة بالتكاثر. لذلك تسمى هذه المرحلة من عمر المزرعة الميكروبية بطور تناقص النمو أو

طور الموت Decline or death phase. وفي هذه المرحلة قد لا يلاحظ نقص في العدد المجهري المباشر لخلايا الكائن الحي، إلا إذا كان الموت فيها مصحوباً بتحلل الخلايا الميتة. والجدير بالذكر أن موت الخلايا في هذه المرحلة يتم بطريقة لوغاريثمية، أي يتناسب طردياً مع الوقت، ويختلف معدل الموت باختلاف الأحياء الدقيقة والوسط الذي تعيش فيه والظروف البيئية المحيطة. فقد يستمر ثبات معدل الموت لعدة أيام، وقد تموت كل الخلايا خلال هذه الفترة، تبعاً لنوع الكائن الحي وخصائصه. لذا تتراوح هذه المرحلة من ساعات إلى عدة أيام أو شهور أو حتى سنوات.

إن المنابت أو الأوساط الغذائية Cultures media للكائنات الحية الدقيقة تتباين في مكوناتها بتباين الكائنات الحية الدقيقة النامية عليها، وبما يتلاءم مع طبيعة وخصائص وحاجة الكائن الحي الذي يتغذى عليها. وعموماً تصنف المنابت الغذائية المتنوعة لتنمية وإكثار الكائنات الحية الدقيقة على أساس مكوناتها وقوامها وقدراتها الإنتاجية، وذلك على النحو الآتي:

### (٢,١,٣,٢) تنمية الكائنات الحية الدقيقة في مزارع الدفعات
**Microbial growth in batch cultures**

في هذا النوع من المزارع لا يستمر النمو اللوغاريثمي لعدة أجيال، بل يكون لأجيال محدودة فقط، وذلك لعدم تجدد العناصر الغذائية في مزارع الدفعات. بينما نجد أنه في المزارع المستمرة Continuous cultures يمكن الاحتفاظ بمرحلة النمو اللوغاريثمي لفترات زمنية طويلة بفعل استخدام نظام الزرع المستمر الكيموستات Chemostat الذي يجدد محتويات المنبت الغذائي بشكل مستمر. يتم من خلال مزارع الدفعات الحصول على خلايا فردية من المزارع ذات العمر الواحد Synchronous cultures، أي خلايا كلها في نفس المرحلة من دورة حياة الخلية. وذلك بخلاف النمو الأولي في المنبت الغذائي

الذي يضم مجتمعاً بأعداد هائلة من الخلايا للكائنات الحية تكون ذات أعمار مختلفة وأحجام متباينة. ويمكن الحصول على المزارع ذات العمر الواحد بعدة طرق من خلال وسائل التقنية الحديثة. فمثلاً يمكن استخدام مؤثرات بيئية محددة تحفز الخلايا على الانقسام في نفس الوقت وعلى فترات متماثلة. وفي بعض الأنواع البكتيرية يمكن تحقيق ذلك بنقل المزارع على فترات متساوية إلى درجات حرارة مرتفعة ومنخفضة، أو بوضع خلايا بدأت لتوها في مرحلة السكون في وسط غذائي جديد.

بالإضافة إلى ذلك هناك عملية الفصل الطبيعي لخلايا المزرعة الميكروبية التي يمكن من خلالها الحصول على خلايا ذات عمر واحد بواسطة الترشيح أو الطرد المركزي، حيث تؤدي إلى فصل الخلايا حديثة الانقسام عن الخلايا الأكبر عمراً. والطريقة التي تختار بها هذه الخلايا تعرف باسم طريقة هيلمستتر كامينجز Helmstetter-cummings وهذه الطريق مبنية على أساس أن بعض الأنواع البكتيرية تلتصق بشدة بأغشية ملليبور مكونة من نترات السليلوز Cellulose nitrate. وفي هذه الطريقة يتم ترشيح مزرعة بها خلايا مختلفة أعمارها على غشاء ملليبور، ثم يقلب الغشاء ويغسل بتيار خفيف من منبت غذائي معقم تم تحضيره مسبقاً. فالخلايا شديدة الالتصاق بالغشاء تبقى والأخرى تغسل مع التيار وهي الخلايا الصغيرة حديثة الانقسام. ثم تجمع كميات السائل الراشح بعد مروره على غشاء الترشيح ويكون بمعدل ثابت كل دقيقتين، وهذا يحتوي على خلايا متقاربة في العمر بدرجة كبيرة.

### (٢,١,٣,٣) تنمية الكائنات الحية الدقيقة في مزارع مستمرة

**Microbial growth in continuous cultures**

في بعض الأحيان ولأغراض بحثية وإنتاجية يتطلب الأمر وجود مزرعة ميكروبية على حالتها المزرعية في المختبر لمدة طويلة، وذلك عند مرحلة محددة من مراحل النمو، ولتكن مثلاً مرحلة النمو اللوغاريثمي. وفي المزارع المستمرة أو الدائمة

يمكن الاحتفاظ بمرحلة النمو اللوغاريثمي لفترات زمنية طويلة بفعل استخدام نظام الزرع المستمر الذي يعرف بالكيموستات Chemostat. حيث تكون غرفة النمو متصلة بمستودع يحتوي على منبت غذائي معقم. حيث تزود المزرعة آلياً بمنابت طازجة، بمعدل يوازي ما يستهلك من المواد الغذائية في المزرعة التي بدأ فيها النمو. وهذا يتطلب سحب قدر معلوم من المزرعة على أن تعوض بدلاً منه من منبت جديد طازج. أما الجزء المأخوذ من المزرعة فيستغل في استخلاص المنتج أو المادة التي من أجلها أعدت المزرعة. وإذا دخل المنبت الجديد بمعدل ثابت إلى غرفة النمو Growth chamber فإن كثافة الميكروب في غرفة النمو تظل ثابتة بعد فترة ضبط في بداية تشغيل الكيموستات. ويتم آلياً ضبط كل المتغيرات للحصول على طور النمو المطلوب لفترة زمنية طويلة، كضبط المكونات الغذائية، ودرجة الحموضة والرطوبة والتهوية ودرجة الحرارة، وغيرها من العوامل التي تؤثر على نمو المزرعة.

كما يوجد نظام آخر مماثل للزرع المستمر يسمى نظام العكارة Turbidostat، يختلف عن الكيموستات في أنه يشمل وسائل بصرية حساسة لقياس الامتصاص الضوئي Absorbance في غرفة النمو وهو الذي يتحكم في معدل انسياب المنبت الجديد من المستودع من خلال صمام يعمل بشكل آلي، بناءً على درجة التعكير في غرفة النمو، وهذا بدوره يتحكم في معدل النمو. بينما الكيموستات ينساب فيه المنبت الجديد من المستودع بمعدل معين للحصول على معدل نمو للمزرعة يتناسب مع معدل الانسياب المذكور.

### (٢,١,٣,٤) النمو البكتيري المتزامن

يقصد بالنمو البكتيري المتزامن العمل على إيجاد مزرعة بكتيرية خلاياها متماثلة، من حيث أن تكون جميعها في طور نمو واحد أو مرحلة نمو موحدة. كما أن خلايا هذه المزرعة تنمو وتنقسم في الوقت نفسه وبمعدل مشترك لتصبح كل خلايا المزرعة متجانسة. وللحصول على النمو المتزامن لخلايا المزرعة البكتيرية يجب التحكم

التام في جميع الظروف البيئية المحيطة بالمنبت أو الوسط الغذائي، مثل: درجة الحرارة، والرطوبة، والجفاف، ودرجة الحموضة pH، وكمية الأكسجين، وشدة الإضاءة، وغير ذلك. ويمكن تحقيق هذا التجانس من خلال الجوانب الثلاثة الرئيسة الآتية:

- إضافة مادة نمو أساسية موحدة لتكوين منتج هام للخلية، بحيث لا تبدأ الخلايا في عملية الانقسام إلا في وجود هذه المادة. فهي بمثابة عامل محدد Limited factor لنمو خلايا المزرعة وانقسامها، وبدونها لا يمكن أن يحدث انقسام لأي من الخلايا. وبذلك نضمن أن تكون المزرعة متزامنة فيما يتعلق بانقسام خلاياها في وقت واحد، وما سوف يترتب على ذلك من نمو، وتكاثر، ونحوهما من الأنشطة البيوكيميائية، والفسيولوجية، والإفرازات الأيضية.
- استخدام مرشحات ذات أبعاد محددة؛ لترشيح خلايا المزرعة البكتيرية من خلالها. بشرط أن تكون هذه المرشحات لا تسمح إلا بمرور الخلايا حديثة الانقسام لصغر حجمها. وتؤدي هذه الطريقة إلى ضمان أن السائل الراشح يحتوي على خلايا متجانسة في أحجامها، وأعمارها، فتتشابه في الخصائص والأنشطة البيولوجية في هذا النوع من المزارع ذات النمو المتزامن.
- الانتخاب الطبيعي لخلايا المزرعة، ويتم ذلك من خلال تعريض خلايا المزرعة البكتيرية لعوامل نمو بيئية محددة بشكل متزامن ليتسنى تحديد وانتقاء خلايا معينة دون غيرها، لديها القدرة على مواصلة النمو والتكاثر في مزرعة متجانسة. فمثلاً، يمكن تعريض المزرعة البكتيرية لدرجات حرارة منخفضة ومرتفعة على فترات متساوية ولتكن ٢٥°م و ٣٧°م على التوالي.

### (٢,١,٣,٥) احتياجات النمو الميكروبي Requirements of Microbial Growth

الكائنات الحية الدقيقة ليست متماثلة في احتياجاتها ومتطلباتها الغذائية، بل هناك تباين كبير فيما بينها. حيث إن بعضها ذاتي التغذية Autotrophic، يمكنها أن تنمو وتكون مكوناتها الخلوية من مركبات غير عضوية، فتأخذ احتياجاتها العضوية من غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر كربوني. وبالمقابل نجد أن البعض الآخر من الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتي التغذية Heterotrophic، تحتاج إلى واحد أو أكثر من المواد الغذائية العضوية لكي تنمو وتكوِّن مادتها الخلوية، فهذه لا تنمو إلا إذا أضيف لمنبتها مصدر كربوني عضوي. كما أن هناك من الكائنات الحية الدقيقة من لديه القدرة على تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة عملية تعرف بالتآزت Nitrogen fixation. وبعضها يتطلب نموه إضافة مصدر نيتروجيني عضوي أو غير عضوي إلى الوسط الغذائي المراد تنميته فيه. وبعض الكائنات الحية الدقيقة لديه القدرة على تخليق احتياجاته من الفيتامينات والأحماض الأمينية، بينما نجد البعض الآخر يحتاج إلى إضافة هذه الفيتامينات إلى وسطه الغذائي لكي ينمو ويتكاثر. ويكون ذلك بدرجات متفاوتة بين الأنواع المختلفة، وعلى مدى واسع فيما يتعلق باحتياجاتها من المكونات الغذائية. فعلى سبيل المثال هناك البكتيريا *Streptococcus pyogenes* – المسببة لمرض الحمى القرمزية والتهاب الحلق – تحتاج إلى ١٥ حَمضاً أمينيًّا لكي تنمو وتكون مادتها الخلوية. علاوة على أن هناك طوائف عديدة من الكائنات الفيروسية والبكتيرية والفطرية لا يمكن تنميتها في المنابت الصناعية حتى ولو اشتملت على كل العناصر الضرورية اللازمة لنموها، فلا تنمو إلا على أنسجة حية مأخوذة من عوائلها. ومثل هذه الكائنات تعرف باسم إجبارية التطفل Obligate parasite، أي لا تعيش ولا تتكاثر إلا داخل خلايا الكائن الحي.

ويأتي في مقدمة العناصر الضرورية الأساسية اللازمة لتغذية الكائن الحي، والتي ينبغي توفرها في الوسط الغذائي بجانب الماء الذي يعمل كوسط مذيب لجميع العناصر الغذائية، وله أهمية كبرى في حياة الكائن الحي – كل من: الكربون،

والنيتروجين، والهيدروجين، والأكسجين، والكبريت، والفسفور، والصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والمنجنيز، والحديد، والزنك، والكوبلت، وغيرها من العناصر الأخرى التي تختلف وتتنوع باختلاف الكائن الحي وتنوع احتياجاته الغذائية.

وترجع الاختلافات في الاحتياجات الغذائية بين الكائنات الحية الدقيقة إلى اختلافاتها في القدرات التمثيلية الغذائية التي يحكمها التركيب الوراثي للكائن الحي والعوامل البيئية التي يعيش فيها هذا الكائن الحي ويؤثر فيها ويتأثر بها. فالتراكيب الوراثية لخلية الكائن الحي تعد بمثابة إمكانيات وقدرات لديه، بينما العوامل البيئية والبيئة المحيطة التي يعيش فيها الكائن الحي هي التي تتيح- أو لا تتيح- الفرصة لهذه الإمكانيات لأن تترجم في صورة نمو، أو تكوين مواد خلوية جديدة. فالقدرة الخلوية على استخدام مركب معين كمصدر للطاقة، أو استخدام مواد غير عضوية لبناء بروتين أو أغشية خلوية، تعتمد في الأساس على وجود مجموعة من الأنزيمات. علماً بأن المادة الوراثية بالخلية والبيئة تتحكم بشكل مباشر، أو غير مباشر، في تكوين هذه الأنزيمات.

وبهذا يمكن القول بأن عدم وجود جينٍ ما يكون مسئولاً عن تكوين أنزيمات معينة في خلية الكائن الحي، أو وجود جينٍ يثبطُ نشاطَ هذهِ الأنزيمات، كل ذلك يؤدي بالكائن الحي إلى إحداث تغيرات في احتياجاته الغذائية. فعندما يتغير التركيب الوراثي لخلية بكتيرية بسبب وجود طفرة معينة Mutation، يلاحظ أن الخلية الناتجة عن الطفرة قد تفقد القدرة على تكوين حَمضٍ أمينيٍّ معينٍ أو فيتامينٍ محددٍ أو غيرهما من المكونات الأساسية للخلية البكتيرية (الترك وآخرون، ٢٠٠٢م). وعليه يشترط

لاستمرار نمو الكائن الحي توفير المواد والمركبات التي لم يعد قادراً على بنائها في المنبت أو الوسط الغذائي لهذا الكائن الحي.

لأجل ذلك كله ينبغي مراعاة كل الفروق والعوامل السابقة وغيرها عند تركيب وإعداد مكونات المنابت الغذائية للأحياء الدقيقة، حيث يجب توفر العناصر الضرورية الأساسية اللازمة التي يحتاجها الكائن الحي في الوسط الغذائي المراد تنميته فيه، وذلك للحصول على كتلة حيوية Biomass كافية من هذا الكائن الحي أو ذاك. حيث إن إجراء البحوث والدراسات التطبيقية تحتاج إلى أعداد هائلة وكتلة حيوية كافية من خلايا الكائنات الحية الدقيقة لمعاملتها بعدد من المحاليل أو المركبات حتى تعطي نتائج واضحة ودلالات معنوية يمكن الاعتماد عليها وتحليلها إحصائياً.

إضافة إلى مكونات المنابت الغذائية للأحياء الدقيقة من أملاح معدنية وعناصر غذائية ومعادن وماء، ينبغي تهيئة جميع الظروف البيئية المحيطة بالمنبت أو الوسط الغذائي، مثل: درجة الحرارة، والرطوبة، والجفاف، ودرجة تركيز الأس الهيدروجيني pH، وكمية الأكسجين الذائب، وشدة الإضاءة وغيرها. وجَعْل جميع هذه الظروف البيئية أو العوامل المحيطة في حدودها المُثْلَى Optimal conditions المناسبة لنمو وتكاثر الكائن الحي وفق الخصائص التركيبية والوراثية المميزة للكائن الحي. حيث إن الكائنات الحية الدقيقة حساسة جداً إلى حد بعيد لهذه العوامل البيئية المتنوعة، سواء أكانت مفردة أم مجتمعة، فقد تتوفر المواد الغذائية بدرجة كافية في المنبت أو الوسط الغذائي، وعلى الرغم من ذلك لا ينمو فيه الكائن الحي بدرجة كافية، ولو فتشنا عن السبب الحقيقي الذي أدى إلى تثبيط نمو الكائن الحي لوجدناه يعود إلى اختلال أحد العوامل البيئية المحيطة بالكائن الحي.

وبشكل عام يتأثر كثيراً نشاط ونمو الأحياء الدقيقة بالظروف الطبيعية والكيميائية والفيزيائية للبيئات التي تعيش فيها هذه الكائنات؛ لذلك نجد أن لكل بيئة

من البيئات على سطح الكرة الأرضية- سواء أكانت يابسة أم مائية- ما يميزها من الكائنات الحية، وهي تلك التي تملك خصائص تركيبية وصفات وراثية تجعلها قادرة على العيش والنمو والتكاثر في هذه البيئة دون غيرها من سائر البيئات المتنوعة. أو قد تكون هذه الكائنات الحية قد تكيفت أو تأقلمت مع مرور الزمن لتصبح قادرة على تحمل الظروف والعوامل البيئية السائدة في هذه البيئة وتعيش فيها بسهولة وتتكاثر أجيالها.

علماً بأن الأحياء الدقيقة لا تستجيب للمؤثرات البيئية المختلفة بطريقة واحدة أو بدرجة متماثلة سائدة بين جميع الأنواع الموجودة في بيئة من البيئات. بل على العكس من ذلك تماماً، يُلاحظ أن بعض المؤثرات البيئية الضارَّة لبعض الأحياء الدقيقة قد تكون في نفس الوقت مفيدة لأحياء دقيقة أخرى. والجدير بالذكر أن الأحياء الدقيقة تستطيع تحمل بعض الظروف البيئية غير المناسبة أثناء نموها إلى حدٍّ أو مدىً معين يسمى بمدى التحمل Tolerance rang. لذا نستطيع القول بأن هناك فرقاً بين تحمل الأحياء الدقيقة للظروف البيئية غير المناسبة وبين معيشتها في الظروف البيئية المُثلَى. فالكائنات الحية الدقيقة قد تعيش في بيئةٍ ظروفها غير مناسبة، على الرغم من أن هذه الظروف تؤثر على أنشطتها وتكاثرها. فالفرق واضح بين تأثير الظروف البيئية على نشاط وتكاثر الأحياء الدقيقة، وبين تأثير الظروف البيئية على حياة تلك الأحياء الدقيقة.

### (٢,١,٤) رابعاً: التمثيل الغذائي وتغذية الأحياء الدقيقة

**Nutritional Principles of Microorganisms**

إن وجود الأحياء الدقيقة في بيئة معينة يدل على تكيفها مع هذه البيئة، وأنها تلبي احتياجاتها الغذائية اللازمة كي تنمو وتتكاثر في هذه البيئة دون غيرها من البيئات. فنمو الكائنات الحية يتطلب حصولها على كل المواد اللازمة لبناء مكوناتها، وكذلك المواد اللازمة لإنتاج الطاقة من البيئة التي تعيش فيها. وهذه المواد تسمى مغذيات أو عناصر غذائية Nutrients. وتنقسم إلى قسمين رئيسين هما :

١- العناصر الكبرى Macronutrients، وهي العناصر الغذائية التي توجد بكميات كبيرة في المادة الجافة لخلية الكائن الحي (أكثر من ٩٥ ٪ الوزن الجاف للخلية)، ويحتاج منها الكائن الحي إلى نسب كبيرة في تغذيته، وتشمل ستة عناصر هي: الهيدروجين، والأكسجين، والكربون، والنيتروجين، والفسفور، والكبريت.

٢- العناصر الصغرى Micronutrients، وهي العناصر الغذائية التي توجد بكميات بسيطة في المادة الجافة لخلية الكائن الحي، ويحتاج منها الكائن الحي إلى نسب ضئيلة في تغذيته، ومنها: البوتاسيوم، والصوديوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والحديد، والمنجنيز، والكوبلت، والموليبدنم، والزنك.

وتضاف هذه المعادن المختلفة وكذلك الفسفور في صورة أملاح معدنية إلى الوسط الغذائي، ويمكن للخلية أن تحصل منها على الكاتيونات المنفردة. بالإضافة إلى أملاح السليكات التي تحتاجها بعض المجموعات الحية مثل الدياتومات Diatoms، وبعض الطحالب ذات الجدار الخلوي الغني بالسليكا؛ ولذلك فهي تحتاج إلى السليكون Silicon في تغذيتها. علماً بأن خلية الكائن الحي تحتوي على نسبة عالية تتراوح بين ٨٠-٩٠ ٪ من وزنها الكلي من الماء، وهو يعتبر من أهم محتويات الخلية من الناحية الكمية، وعنصر أساس من عناصر تغذية الكائنات الحية الدقيقة، علاوة على الدور الذي يقوم به كوسط مذيب للمواد والمركبات التي يحتاجها الكائن الحي في تغذيته. وتشير الدراسات إلى أن الكائنات الحية الدقيقة تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً من حيث احتياجها للصوديوم؛ وذلك بسبب البيئة التي تعيش فيها، فنجد أن البكتيريا البحرية، أو الكائنات الحية الدقيقة المحبة للملوحة Halophytic بشكل عام، وبعض أنواع البكتيريا الزرقاء، والبكتيريا الممثلة للضوء جميعها تحتاج إلى تركيزات عالية من الصوديوم، كما أنه لا يمكن إحلال الصوديوم في تلك الحالات بأي عناصر غذائية

أخرى، أو أملاح أحادية التكافؤ Monovalent. في حين أن نسبة الصوديوم لا تتجاوز ١٪ من وزن المادة الجافة لمعظم الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الطبيعة.

أما النسب التفصيلية لكل عنصر من عناصر التركيب الكيميائي للمادة الجافة لخلايا الكائنات الحية فهي حسب الجدول رقم (٢,٢) الآتي:

**الجدول رقم (٢,٢). نسب العناصر الكيميائية للمادة الجافة لخلايا الكائنات الحية.**

| العنصر Element | النسبة من المادة الجافة |
|---|---|
| الكربون Carbon | ٥٠ ٪ |
| الأكسجين Oxygen | ٢٠ ٪ |
| النيتروجين Nitrogen | ١٤ ٪ |
| الهيدروجين Hydrogen | ٨ ٪ |
| الفسفور Phosphor | ٣ ٪ |
| الكبريت Sulfur | ١ ٪ |
| البوتاسيوم Potassium | ١ ٪ |
| الصوديوم Sodium | ١ ٪ |
| الكالسيوم Calcium | ٠,٥ ٪ |
| المغنيسيوم Magnessium | ٠,٥ ٪ |
| الكلورين Chlorine | ٠,٥ ٪ |
| الحديد Iron | ٠,٢ ٪ |
| بقية المعادن Other metals | ٠,٣ ٪ |

وفيما يتعلق بالوظائف الفسيولوجية العامة للعناصر الغذائية الأساسية المختلفة الداخلة في تركيب خلايا الكائنات الحية الدقيقة؛ يمكن توضيحها بشيء من التفصيل في الجدول رقم (٢,٣) الآتي:

obeikandl.com

الجدول رقم (٢,٣). الوظائف الفسيولوجية للعناصر الغذائية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة.

| العنصر Element | الوظائف الفسيولوجية |
|---|---|
| الكربون Carbon | أحد مكونات المادة العضوية في الخلية. |
| الأكسجين Oxygen | أحد مكونات الماء الخلوي والمادة العضوية في الخلية. |
| النيتروجين Nitrogen | يدخل في تكوين البروتين والأحماض النووية ومرافقات الأنزيمات. |
| الهيدروجين Hydrogen | أحد مكونات الماء الخلوي والمادة العضوية في الخلية. |
| الفسفور Phosphor | مكون للأحماض النووية والفوسفوليبيدات ومرافقات الأنزيمات. |
| الكبريت Sulfur | مكون للبروتين (للأحماض الأمينية السيستين والميثيونين) ومرافقات الأنزيمات. |
| البوتاسيوم Potassium | أحد الكاتيونات الأساسية في الخلايا، وعامل مساعد لبعض الأنزيمات. |
| الكالسيوم Calcium | كاتيون هام في الخلية، وهو عامل مساعد للأنزيمات المحللة للبروتين. |
| المغنيسيوم Magnessium | كاتيون هام في الخلية، وأحد مكونات الكلوروفيل، وعامل مساعد لبعض الأنزيمات. |
| المنجنيز Manganese | عامل مساعد لبعض الأنزيمات، ويحل أحياناً محل المغنيسيوم في تفاعل بعض الأنزيمات في الخلية. |
| الكوبلت Cobalt | أحد مكونات فيتامين ب١٢ والمرافق الأنزيمي المشتق منه. |
| الحديد Iron | من مكونات السيتوكرومات وبروتينات الهيم ومصاحب لبعض أنزيمات التنفس. |
| النحاس والزنك والموليبدنم | مكونات معدنية لبعض الأنزيمات الخاصة. والموليبدنم له دور في عملية تثبيت النيتروجين الجوي Nitrogen fixation |

obeikandl.com

تجدر الإشارة إلى أن بعض الأحياء الدقيقة تحتاج إلى مواد عضوية تسمى عوامل النمو Growth factors تستخدمها لبناء مكونات الخلية، وهي غير قادرة على توفيرها بنفسها. وبدون هذه المواد العضوية لا تستطيع الأحياء الدقيقة النمو، فهي إذن مواد عضوية معقدة يحتاجها الكائن الحي لتساعد في العمليات الأنزيمية أو لتدخل كأحد المواد المبدئية Precursor لتخليق مادة عضوية خلوية هامة لا يستطيع الكائن الحي أن يخلقها من المصادر الكربونية البسيطة. لذا يجب إضافتها في المنابت أو البيئات الصناعية بدرجة كافية لاحتياج الكائن الحي. وتقسم عوامل النمو إلى ثلاثة أقسام رئيسة وفقاً لتركيبها ووظيفتها الحيوية حسب الآتي:

١- الأحماض الأمينية Amino Acids التي تحتاجها الخلية كوحدات لبناء البروتين.

٢- البيورينات Purines والبريميدينات Pyrimidines التي تحتاجها الخلية كوحدات لبناء الأحماض النووية.

٣- الفيتامينات Vitamins وهي مجموعة مواد عضوية تعمل كمرافقات لأنزيمات معينة أو كمراكز لنشاط أنزيمات أخرى.

لذلك يجب أن تحتوي المنابت أو الأوساط الغذائية (البيئات الصناعية) على جميع العناصر المغذية اللازمة لنمو الكائنات الحية الدقيقة. ونظراً لاختلاف الكائنات الحية الدقيقة من حيث تركيبها وخصائصها الفسيولوجية وتنوعها؛ فإن احتياجاتها الغذائية تختلف اختلافاً كبيراً على نطاق واسع. ونتيجة لذلك نجد أن الشركات الصناعية، والدوائية، وعلوم التقنية الحيوية وفرت آلاف البيئات الغذائية الصناعية؛ لتناسب أكبر قدر ممكن من الكائنات الحية الدقيقة، وتغطي معظم المواد والمركبات ذات

الأهمية الاقتصادية في حياة الإنسان، والمراد إنتاجها صناعياً بفعل نشاط الأحياء الدقيقة.

## (٢,٢) أقسام الأحياء الدقيقة وفقاً لنمط تغذيتها

قسَّم العلماء والباحثون جميع الكائنات الحية الدقيقة إلى عدة أقسام معتمدين في ذلك على طبيعة مصدر الطاقة التي تحصل عليها كل مجموعة أو قسم، وكذلك على طبيعة مصدر الكربون الأساس، بغض النظر عن مدى الاحتياج أو عدمه لعوامل النمو المتخصصة. فالكائنات الحية الدقيقة التي تستعمل الضوء كمصدر للطاقة تسمى الأحياء الممثلة للضوء Phototrophic، أما الكائنات الحية التي تستعمل مادة كيماوية كمصدر للطاقة تسمى الأحياء الممثلة للطاقة الكيميائية Chemotrophic.

أما من حيث مصدر الكربون، فإن الكائنات الحية التي تستطيع استعمال غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد أو أساس للكربون اللازم لحياتها فتعرف باسم الأحياء ذاتية التغذية Autotrophic، أما الكائنات الحية التي لا تستطيع استعمال غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد أو أساس للكربون ويلزم لحياتها كربون عضوي فتعرف باسم الأحياء غير ذاتية التغذية Heterotrophic.

وبناءً على المبدأين الأساسيين السابقين فقد تمكن علماء الأحياء من تقسيم جميع الكائنات الحية الدقيقة من الناحية الغذائية إلى المجموعات الأربع الآتية:

- **الأحياء ذاتية التغذية ضوئياً Photoautotrophic organisms**

وهذه الأحياء الدقيقة هي التي تعتمد على غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر رئيس للكربون، أو تستطيع استعمال ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون، وعلى الضوء كمصدر للطاقة. مثل: بكتيريا الكبريت الخضراء Green sulfur bacteria،

والطحالب الخضراء، والأشنات وجميعها تحتوي خلاياها على صبغ اليخضور، الذي يمكنها من استغلال الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية كامنة في خلاياها تستغل لحرق المركبات أثناء عملية التنفس. هذا النوع من الكائنات الحية الدقيقة ثبت أنه يستخدم المواد اللاعضوية كمانحة للهيدروجين Hydrogen donor، وهذا الهيدروجين الناتج يستغل في اختزال ثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى المركب العضوي $CH_2O$. وفي المقابل نجد أن النباتات الخضراء تقوم بهذه العملية مستخدمة الماء كمانح للهيدروجين وليس المواد اللاعضوية، وبذلك يتصاعد غاز الأكسجين الأساس في عملية التنفس وحرق المواد العضوية.

● **الأحياء ذاتية التغذية كيميائياً Chemoautotrophic organisms**

وهي تلك الأحياء الدقيقة التي تعتمد على غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر رئيس للكربون، وعلى الطاقة الناتجة من التفاعلات الكيميائية كمصدر للطاقة. وهذه الكائنات تنمو في الظلام على وسط غذائي به أملاح معدنية، وخالٍ من المواد العضوية. مثل: البكتيريا *Thiobacillus* التي تؤكسد الكبريت، وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة التي تعتمد على تفاعلات الأكسدة لأملاح النيتريت *Nitrobacter*، والأمونيا *Nitrosomonas*، والحديدوز *Gallionella*، وتستخدمها كمصدر للطاقة.

● **الأحياء غير ذاتية التغذية ضوئياً Photoheterotrophic organisms**

هذا النوع من الأحياء الدقيقة يعتمد على المركبات العضوية كمصدر للكربون، وعلى الضوء كمصدر للطاقة. مثل: البكتيريا القرمزية غير الكبريتية Purple nonsulfur bacteria، فهذا النوع من الكائنات الحية الدقيقة ينمو في الظلام، ويتغذى على بيئات غذائية بها مواد عضوية، كما يقوم بتثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون في الضوء.

obeikandl.com

● **الأحياء غير ذاتية التغذية كيميائياً Chemoheterotrophic organisms**

أما هذا النوع من الأحياء الدقيقة فيعتمد على المركبات العضوية كمصدر للكربون، وعلى الطاقة الناتجة من التفاعلات الكيميائية كمصدر للطاقة. وتشمل هذه المجموعة معظم البكتيريا وجميع الفطريات، مثل: *Azotobacter spp.*، وبكتيريا العقد الجذرية *Rhizobium spp.* وغالباً ما تعتمد هذه الأحياء الدقيقة على المركبات العضوية في الأوساط الغذائية كمصدر للطاقة والكربون معاً. ومنها ما يعيش على مواد عضوية لكائنات ميتة وتسمى مترممة Saprophytes، وهي عادة لا تسبب أمراضاً؛ لأن البقايا العضوية التي تتغذى عليها ميتة أصلاً. والبعض الآخر منها يعيش متطفلاً Parasites على أنسجة الكائنات الحية الأخرى، ومن ثم ينتج عنه أعراض مرضية للعائل الذي يتطفل عليه.

والجدير بالذكر أن هناك نوعاً من التغذية معروفاً لدى بعض الكائنات الحية الدقيقة يسمى Mixotrophic، ويقصد به التغذية المختلطة، ويطلق على مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة لديها القدرة على استعمال مواد عضوية أو غير عضوية كمصدر للطاقة أو كمصدر للكربون. فهذه الكائنات الحية الدقيقة في الأصل تكون ممثلة للضوء Photosynthetic، وتستطيع النمو والتكاثر في ظل وجود الضوء، وتستعمله كمصدر للطاقة لإتمام العمليات الحيوية داخل خلايا الكائن الحي. وفي الوقت نفسه تستطيع هذه الكائنات الحية الدقيقة ذات التغذية المختلطة أن تنمو، وتعيش، وتتكاثر حتى في غياب الضوء عن البيئة الغذائية التي تعيش فيها. وبمعنى آخر هذا النوع من الكائنات الحية الدقيقة مختلط التغذية، لديه قدرات تركيبية، وخصائص وظيفية تمكنه من التأقلُم، والتكيُّفِ مع البيئة التي يعيش فيها، والاستفادةِ من المتاح

من المواد الغذائية في بيئته المحيطة به، دون أن تتأثر أنشطته الحيوية من تكاثرٍ، ونموٍّ، وغيره، بغيابِ نوعٍ معينٍ من مصادر التغذية.

## (٢,٣) التركيب الكيميائي لخلايا الكائنات الحية الدقيقة
## The Chemical compound of Microbial Cells

يمكن القول بشكل عام إن خلايا جميع الكائنات الحية تتشابه في مكوناتها الكيميائية الأساسية. وهذه المكونات العديدة تشترك بنسبٍ متفاوتة؛ لتشكل مركبات الخلية الحية، أو ما يعرف بالجزيئات العملاقة Macromolecules. ويعود الاختلاف في الوظائف والخصائص الملحوظ بين خلايا وأنسجة الكائنات الحية الدقيقة إلى مركبات الخلية وصفاتها البنائية. فالمركبات الكيميائية مع أنها عديمة الحياة، لكنها تشكل، مجتمعة، أساس المادة الحية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة المتنوعة. وتشير الدراسات التحليلية في مجال علم الكيمياء الحيوية Biochemistry إلى أن خلايا الكائنات الحية الدقيقة تحتوي على نحو ثلاثين عنصراً كيميائياً موزعة على ثلاث مجموعات هي ما يأتي:

**المجموعة الأولى:** تشكل عناصر هذه المجموعة ما يقرب من ٩٤ ٪ من وزن المادة الحية في خلايا الكائنات الحية، وتشمل العناصر الثلاثة الرئيسة المميزة للمركبات العضوية، وهي الكربون C، والأكسجين O، والهيدروجين H.

**المجموعة الثانية:** تسمى عناصر هذه المجموعة بالعناصر الكبرى Macroelements، وتشمل ستة عناصر هي: النيتروجين N، والفسفور P، والبوتاسيوم K، والكالسيوم Ca، والكبريت S، والمغنيسيوم Mg. وقد وُجِدَ أن تركيز هذه العناصر يتراوح بين ٠,١ – ٥ ٪ من المادة الحية.

**المجموعة الثالثة:** توجد عناصر هذه المجموعة بتركيزات ضئيلة جداً في خلايا الكائنات الحية الدقيقة، ويصل عددها إلى عشرين عنصراً، وتسمى بالعناصر الصغرى Microelements. وهذه العناصر تلعب دوراً هاماً في حياة الكائنات الحية الدقيقة، على الرغم من وجودها بتركيز ضئيل يصل إلى حد الندرة. ونقصها أو غيابها قد يؤدي إلى هلاك أو موت خلايا الكائن الحي. ومن عناصر هذه المجموعة: الحديد Fe، والألمنيوم Al، والصوديوم Na، والموليبدنم Mo، والبورون B، والكلور Cl، والزنك Zn، والسليكون Si، والمنجنيز Mn، والكوبلت Co، والنحاس Cu، والنيكل Ni، واليود I.

لذا نجد أن المركبات المؤلفة للمادة الحية لخلايا جميع الكائنات الحية الدقيقة تتكون من هذه العناصر الكيميائية مجتمعة في المجموعات الثلاث. ويمكن تقسيم مركبات المادة الحية إلى قسمين رئيسين هما:

- **مركبات لا عضوية An organic compounds، تضم الماء والأملاح المعدنية**

حيث يعتبر الماء المكوِّن الأساس لبروتوبلازم الخلايا الحية النشطة؛ إذ تصل نسبته إلى ٩٠ ٪ من وزنها الكلي، وهو يعتبر من أهم محتويات الخلية من الناحية الكمية وعنصر أساس من عناصر تغذية الكائنات الحية الدقيقة. وإذا ما انخفضت نسبة الماء في بروتوبلازم خلايا الكائنات الحية الدقيقة عن حد معين، فإن الكائن الحي يموت أو يدخل في مرحلة من الحياة البطيئة. ويلعب الماء دوراً هاماً في حياة الخلية الحية، فهو يحافظ على البنية الغروية للسيتوبلازم ويقوم بدور دعامي للخلايا، علاوة على الدور الذي يقوم به كوسط مذيب للمواد والمركبات التي يحتاجها الكائن الحي في تغذيته.

ومن جهة أخرى توجد الأملاح في خلايا الكائنات الحية الدقيقة بنسب مختلفة تصل عند بعض الفطريات إلى ٥,٥ ٪، وتصل إلى ٧,٢ ٪ من الوزن الجاف لبعض الطحالب. وتدخل بعض الأملاح المعدنية في النشاط الحيوي والوظيفي للمادة الحية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة، كما هو الحال بالنسبة للفوسفات $PO_4$، والكبريتات

$SO_4$، والنترات $NO_3$، وأملاحها. وهناك كربونات الكالسيوم، وكبريتات الكالسيوم، وأكزالات الكالسيوم التي تشكل بلورات داخل فجوات خلايا بعض الطحالب؛ وأملاح البوتاسيوم كيود وبروم البوتاسيوم اللذين يستخلصان من رماد بعض الطحالب البحرية.

● **مركبات عضوية Organic compounds**

وتشمل الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات، والأحماض النووية، والفيتامينات، والأنزيمات. وسوف نتناول كلاً من هذه المركبات بشيء من التفصيل؛ لأهميتها ودورها في إنتاج الطاقة والأنظمة الحية Energy and Living systems داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة.

### (٢,٣,١) الكربوهيدرات Carbohydrates

تتكون الكربوهيدرات (السكريات) من ثلاثة عناصر رئيسة هي: الكربون، والهيدروجين، والأكسجين. وتدخل الكربوهيدرات في تركيب الخلايا والأنسجة لجميع الكائنات الحية الدقيقة. وتضم مجموعة المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعة ألدهيد أو مجموعة كيتونية، وكذلك على عدد من مجمعات الهيدروكسيل. إن عدد ذرات الهيدروجين فيها ضعف عدد ذرات الأكسجين، وهي تأخذ الصيغة البنائية ($CH_2O$). وللكربوهيدرات وظيفتان هامتان:

١- وظيفة غذائية حيث تستخدم كمصدر أساسي للأكسدة وإنتاج الطاقة اللازمة للتفاعلات البيوكيميائية.

٢- ووظيفة أخرى تركيبية في بنية الهياكل الخلوية وتحت الخلوية مثل: الجدار الخلوي، وغيره من عناصر الوقاية والدعامة.

obeikandl.com

وتنقسم السكريات إلى ثلاث مجموعات رئيسة هما السكريات البسيطة (الأحادية) Monosaccharides، والسكريات المعقدة قليلة التعدد Oligosaccharides، والسكريات المعقدة كثيرة التعدد Polysaccharides.

١- تعتبر السكريات الأحادية مشتقات لمركبات متعددة الوظيفة الكحولية، وهي تذوب في الماء ولها طعم حلو. وكيميائياً، تعتبر مركباتٍ ألدهيديةً متعددة الهيدروكسيل، أو مركباتٍ كيتونيةً متعددة الهيدروكسيل. وعليه، فإن جميع السكريات الأحادية إما أن تكون ألدهيديةً أو كيتونيةً. ومن أمثلتها الجلوكوز Glucose، والفركتوز Fructose، والجالاكتوز Galactose، والرايبوز Ribose.

٢- تضم السكريات المعقدة قليلة التعدد المركبات السكرية التي تحتوي في تركيب جزيئاتها على عدد محدود من السكريات الأحادية، يتراوح بين ٢- ١٠ جزيئات سكرية أحادية. وتشمل السكروز Sucrose، والمالتوز Maltose، واللاكتوز Lactose، والسليوبيوز Cellobiose.

٣- السكريات المعقدة كثيرة التعدد هي بوليمرات للسكريات الأحادية، وتتكون من تجمع أكثر من عشرة جزيئات من السكريات الأحادية؛ ولذا فهي ذات وزن جزيئي كبير، وتقسم إلى سكريات متجانسة تتألف من جزيئات نوع واحد من السكريات الأحادية مثل: النشاء Starch، والجليكوجين Glycogen، والسليلوز Cellulose؛ وسكريات غير متجانسة مثل: الهيبارين Heparin، والسكريات المخاطية، والسكريات الببتيدية Peptidoglycans، والكيتين Chitin.

### (٢,٣,٢) الدهون Lipids

تتكون الدهون من الكربون والهيدروجين والأكسجين، وتشمل مجموعة واسعة ومختلفة من المركبات الإستيرية الطبيعية غير المنحلة في الماء، وتذوب في مركبات عضوية خاصة تسمى بمحللات الدهون. وتدخل الدهون في تركيب بروتوبلازم الخلايا والجدر الخلوية لبعض الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا وغيرها. وتلعب الدهون دوراً هاماً في عمليات الهدم وإمداد الكائنات الحية الدقيقة بالطاقة. فتحرر عند أكسدتها الكاملة كمية كبيرة من الطاقة تفوق تلك الناتجة عن أكسدة أوزان مماثلة من الكربوهيدرات أو البروتينات.

وتقسم الدهون اعتماداً على بنيتها الكيميائية وخواصها الفيزيائية والتفاعلية إلى الأقسام الثلاثة الآتية :

١- الدهون البسيطة Simple lipids، وتضم كلاً من الدهون الحقيقية Fats (الجليسريدات الثلاثية Triglycerides) والشموع Waxes. وتتألف من أسترات الأحماض الدهنية Fatty acids مع كحول الجليسيرول Glycerol أو مع مركبات كحولية أخرى.

٢- الدهون المعقدة Complex lipids، وتشمل الدهون الفسفورية Phospholipids، والدهون السكرية Glycolipids، والدهون البروتينية Lipoproteins. لذا فهذه المجموعة تضم عدداً كبيراً من المركبات الواسعة الانتشار التي تدخل في تركيب كثيرٍ من خلايا الكائنات الحية الدقيقة.

٣- الستيروئيدات Steroids، وهذه مواد دهنية غير قابلة للتصبن تؤلف مجموعة كبيرة من المواد الدهنية الواسعة الانتشار. وهي عبارة عن أسترات الأحماض الدهنية مع كحولات معقدة متعددة الحلقات تدعى ستيرينات Sterins أوستيريدات Sterids. والجدير بالذكر أن الكائنات الحية حقيقية

النواة تصنع الستيروئيدات، إلا أن الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة، كالبكتيريا والسيانوبكتيريا، ليس لها القدرة على ذلك.

### (٢,٣,٣) البروتينات Proteins

البروتينات جزيئات كبيرة جداً تتكون من اتحاد جزيئات صغيرة هي الأحماض الأمينية Amino acids ، التي تعتبر وحدات البناء في البروتينات. تعود تسمية البروتينات Proteins إلى الكلمة اليونانية Protos التي تعني "الأول" أو "الهام". وهكذا فقد أعطي لها الدرجة الأولى من الناحية الحيوية من بين المركبات الأخرى المكونة للمادة الحية في خلايا جميع الكائنات.

تعتبر البروتينات من المركبات الهامة المشتركة لدى جميع الكائنات الحية الدقيقة، فهي تقوم بدور هام في تكوين البنية الخلوية، وفي الربط الحيوي والوسائط البروتوبلازمية، وفي تنظيم عمليات الأيض الخلوي. وكيميائياً تعرف بأنها مركبات عضوية نيتروجينية ذات وزن جزيئي مرتفع يتراوح من بضعة آلافٍ إلى مليونٍ وأكثر.

تتكون البروتينات من الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين وبعضها قد يحتوي على الكبريت، وتدخل هذه العناصر بنسب مئوية محددة وثابتة للنوع الواحد من البروتينات في تركيب الجزيئات البروتينية حسب الجدول رقم (٢,٤) الآتي:

الجدول رقم (٢,٤). النسب المئوية للعناصر الكيميائية في الجزيئات البروتينية.

| العنصر Element | النسبة المئوية |
|---|---|
| الكربون Carbon | ٥٠ ـ ٥٥ ٪ |
| الأكسجين Oxygen | ٢٠ – ٢٣ ٪ |
| النيتروجين Nitrogen | ١٥ ـ ١٨ ٪ |
| الهيدروجين Hydrogen | ٦ ـ ٨ ٪ |
| الكبريت Sulfur | ٠ ـ ٤ ٪ |

وبشكل عام يتم تقسيم البروتينات في جميع خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلى ثلاث مجموعات رئيسة كبيرة هي :

١- **الأحماض الأمينية Amino acids**، وهي أبسط وحدة بنائية أساسية للبروتينات، وهي قابلة للتبلور، ومنحلة في الماء بنسب تختلف من حَمض لآخر، وتعتبر الأحماض الأمينية أيونات مشحونة كهربائيًّا، ولها القدرة على التحرك في المجال الكهربائي. يعرف حاليًّا أكثر من ثمانين حَمضاً أمينيًّا توجد بشكلٍ حرٍّ أو تدخل في تكوين المركبات المختلفة، أما في تركيب البروتينات الطبيعية فلا يعرف سوى عشرين حَمضاً أمينيًّا، وحَمضين أميديين. وتصنف الأحماض الأمينية إلى ثلاث فئات أولها: تكون ذات سلاسل مفتوحة (اللادورية) Aliphatic، مثل: الجلايسين Glycine، والآلانين Alanine، والفالين Valine، واللوسين Leucine، والسيرين Serine، والتريونين Threonine، والجلوتاميك Glutamic، والأسبراجين Asparigine، والأرجنين Arginine، والسيستين Cystine. والفئة الثانية حلقية (دورية) Aromatic، مثل: الفينيلانين Phenylanine، والتيروزين Tyrosine، والثالثة تسمى الأحماض الأمينية المختلطة Heterocyclic مثل: التربتوفان Tryptophan، والهيستيدين Histidine.

٢- **الببتيدات Peptides**، تتشكل الببتيدات من الأحماض الأمينية الحاوية على مجموعة أمينية، وأخرى كربوكسيلية في آنٍ واحد. وتكون آلية تشكيلها عبر عملية تكاثف متعدد يتم بين المجموعة الأمينية لأحد الأحماض من جهة، والمجموعة الكربوكسيلية لحَمض أمينيٍّ آخر من جهة ثانية. إن الرابطة المتشكلة بين هاتين المجموعتين الوظيفيتين هي ما تُدعى بالرابطة الببتيدية

Peptide bond. وهكذا يسمى المركب الناتج عن تكاثف حَمضين أمينيين بالببتيد الثنائي، وكلما زاد عدد الأحماض في السلسلة حصلنا على مركباتٍ ذات وزن جزيئيٍّ مرتفع تسمى بالببتيدات المتعددة Polypeptides. يعرف حالياً أكثر من ١٢٠ ببتيداً مختلفاً تم الحصول عليها من مصادر بيولوجية مختلفة، وهي معروفة البنية ومدروسة الخواص والدور الحيوي الذي تقوم به داخل الخلايا الحية. ويقدر الباحثون بأن عدد الببتيدات المستقلة الموجودة في الكائنات الحية يزيد على ١٠٠٠ ببتيد مختلف، تؤخذ عادة الأحرف الثلاثة الأولى من أسماء الأحماض الأمينية للدلالة على اسم الببتيد أو الجزيء البروتيني.

٣- **البروتينات Proteins**، تصنف إلى بروتينات بسيطة تتركب من أحماض أمينيةٍ فقط وبروتينات معقدة ترتبط بها مركبات أخرى كالأحماض النووية والسكريات والدهون وحَمض الفسفور وغيرها. وتنتمي معظم الأنزيمات إلى البروتينات المعقدة. ومعلوم أن الأنزيمات تلعب دوراً حيويًّا هامًّا للغاية في السيطرة والتوجيه لمجمل النشاطات والتحولات البيوكيميائية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة. إن الروابط الببتيدية هي أساس بنية الجزيئات البروتينية التي تتكون من سلاسل ببتيدية متعددة طويلة أو قصيرة. لذا نجد أن الروابط التي توجد بين الأحماض الأمينية المكونة لجزيء البروتين هي نفس الروابط الببتيدية (-CO-NH-) الموجودة بين الأحماض الأمينية للببتيدات. فهناك أهمية كبرى للببتيدات المتعددة كأساس هيكلي للجزيئات البروتينية. أما الروابط التي توجد بين السلاسل الببتيدية المتجاورة فيمكن أن تكون روابط هيدروجينية، أو روابط تساهمية، أو روابط أيونية، أو روابط

كارهة للماء. وتختلف مستويات التنظيم التركيبي للبروتينات من سلسلة إلى شكل حلزوني إلى كرة مسطحة إلى أكثر من وحدة ترتبط بعضها مع بعض مشكلة تركيباً متداخلاً. وتشترك البروتينات بجميع التفاعلات والخواص التي تتمتع بها الأحماض الأمينية؛ لأن الخواص التي تتميز بها البروتينات تعود إلى الطبيعة الكيميائية لجذور الأحماض الأمينية المكونة لها. ومن أهم الخواص الفيزيائية والكيميائية للبروتينات، الحالة الغروية، والوزن الجزيئي المرتفع، وقابليتها للذوبان في الماء وفي المحاليل الملحية وبعض المذيبات العضوية.

### (٢,٣,٤) الأحماض النووية Nucleic Acids

تتركب الأحماض النووية من وحدات بناء تعرف بالنيكليوتيدات Nucleotides، فتوصف بأنها بوليمرات حيوية Biopolymers ذات سلسلة طويلة من النيوكليوتيدات؛ ولذا تعتبر الأحماض النووية نيوكليوتيدات متعددة Polynucleotides. وللأحماض النووية دوراً أساسياً بارزاً في نقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر لدى جميع الكائنات الحية؛ إذْ تدخل الأحماض النووية في تركيب نوى خلايا الكائنات الحية الدقيقة والراقية بلا استثناء. كما تدخل أيضاً في تركيب السيتوبلازم والعديد من العضيات الدقيقة كالبلاستيدات والميتوكوندريا. وقد أثبت الباحثون قيام الأحماض النووية بدورٍ هامٍّ في عمليات البناء الحيوي للمركبات المختلفة الداخلة في عضوية جميع الكائنات الحية الدقيقة.

يوجد نوعان مختلفان من الأحماض النووية، أولهما: الحَمض النوويُّ الريبوزيُّ Ribonucleic acid، ويرمز له اختصاراً بالرمز RNA، ويوجد بشكلٍ رئيسٍ في السيتوبلازم. وثانيهما: الحَمض النوويُّ منقوص الأكسجين Deoxyribonucleic acid،

ويرمز له بالرمز DNA، وهذا النوع يتمركز بشكل رئيسٍ في نوى خلايا الكائنات الحية، كما يوجد في كلٍّ من البلاستيدات والميتوكوندريا. ويمكن إيجاز أوجه الشبه والاختلاف بين جزيئي الـ DNA والـ RNA بالجدول رقم (٢,٥) الآتي:

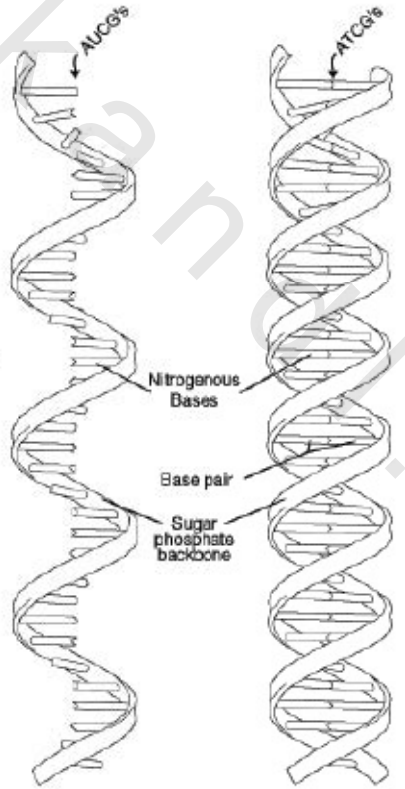
**الجدول رقم (٢,٥). أوجه الشبه والاختلاف بين جزيئي ال DNA وال RNA.**

| المركب الكيميائي | الأحماض النووية | |
|---|---|---|
| | DNA | RNA |
| الأسس البيورينية Purines | أدنين Adenine<br>جوانين Guanine | أدنين Adenine<br>جوانين Guanine |
| الأسس البيريميدينية Pyrimidines | سيتوسين Cytosine<br>ثيمين Thymine | سيتوسين Cytosine<br>يوراسيل Uracil |
| السكريات Carbohydrates | الريبوز منقوص الأكسجين وأحياناً الجلوكوز Glucose | الرايبوز Ribose |
| المركبات اللاعضوية | حَمض الفسفور | حَمض الفسفور |

وفيما يتعلق ببناء جزيء الـ DNA فقد اكتشف العالمان واتسون وكريك Watson & Crick في عام ١٩٥٣م أن جزيء الـ DNA يتألف من سلسلتين بيكليوتيديتين متعددتين ملتفّتين حلزونياً على بعضهما، وتكون فيهما السلسلة السكرية الفسفورية إلى الخارج، وتقابلها من الداخل الأسس (القواعد) البيورينية والبيريميدينية، كما يتم ارتباط السلسلتين مع بعضهما عن طريق الروابط الهيدروجينية التي تنشأ بين القواعد النيتروجينية المتقابلة في السلسلتين. أما بالنسبة لترتيب المجموعات النيكليوتيدية في كل من سلسلتي جزيء الـ DNA فهو محدد ودقيق للغاية، ويعتبر بحد ذاته البنية الأولية للجزيء نفسه.

ويتم ارتباط النيكليوتيدات في جزيء الـ RNA بنفس طريقة الارتباط في جزيء الـ DNA، وذلك عبر مجموعات الفوسفات وتشكيل رابطتين إستيريتين Diester تربطان

ذرتيّ الكربون الثالثة والخامسة $C_3$ و $C_5$ التابعتين لجزيئي سكر الرايبوز الموجودين في نيكليوتيدتين متجاورتين. ويتألف جزيء الـ RNA من سلسلة نيكليوتيدية متعددة واحدة ليس لها شكلٌ فراغيٌّ ثابتٌ، بل يتحدد شكلها حسب شروط الوسط الموجودة فيه، والعلاقات المتبادلة بين مكونات السلسلة نفسها؛ ففي الوسط الملحي تكون حلزونية غير منتظمة، ملتوية وملتفّة على بعضها، بحيث تأخذ في النهاية شكلاً كروياً أو متطاولاً كما في الشكل رقم (٢,١).




الشكل رقم (٢,١). مقارنة بين بناء جزيء DNA و RNA.

obeikandl.com

الجدير بالذكر أن هناك عدة أنواعٍ أو أشكالٍ من الحَمض النوويِّ RNA هي: الحَمض النوويُّ الريبوزيُّ الرسولُ (Messenger RNA) m-RNA، والحَمض النوويُّ الريبوزيُّ الناقلُ (Transfer RNA) t-RNA، والحَمض النوويُّ الريبوزيُّ الريبوزوميُّ (Ribosomal RNA) r-RNA، والحَمض النوويُّ الريبوزيُّ الفيروسيُّ، وهذا النوع الرابع يوجد في الجزيئات الفيروسية، ويستخرج منها باستعمال مذيبات عضوية خاصة.

### (٢,٤) إنتاج الطاقة The Energy

يتم إنتاج الطاقة الكامنة أو تحريرها من المواد والمركبات المختلفة في خلايا الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية فسيولوجية تسمى بالأيض Metabolism تتم في عضيَّة حية تعرف بالميتوكوندريا. وتعرف عملية الأيض بأنها العملية التي يتم بواسطتها تبادل المواد بين العضيَّة الحية والوسط الخارجي، وتشمل جميع التحولات البيوكيميائية التي تتم في آنٍ واحدٍ داخل العضيَّة الحيةِ من بناء Anabolism وهدم Catabolism. الطاقة المتحررة أثناء عملية الأيض تستخدم في بناء مكونات خلوية أخرى، أي يتم خلال عملية الهدم تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في المواد إلى طاقة حرارية، ثم إلى طاقة كامنة من جديد خلال عملية البناء، وهذا ما يُدعى بدورة الطاقة Energy cycle.

وعندما تتكسر الروابط الكيميائية الموجودة في بعض المركبات، تتغير الجزيئات في الحجم، وتحل الطاقة الكامنة للمواد الناتجة محل الطاقة الكامنة للمواد المتفاعلة، ويعتبر الفرق بين هذين المستويين من الطاقة معبِّراً عن الطاقة المتحررة أو المستهلكة أثناء سير التفاعل. فالتفاعلات الكيميائية، عامةً، إما أن تكون منتجةً للحرارة فتسمى Exothermic reactions، أو تكون مستهلكة للحرارة فتسمى Endothermic reactions.

وتميل جميع النظم الفيزيائية والكيميائية أثناء سيرها في التفاعلات إلى اتخاذ الترتيبات الجزيئية الأكثر عشوائية، ونتيجة لذلك يرتبط جزء من التغير في الطاقة الكامنة بهذا التغير في الترتيب أو الانتظام، وهذا ما يُسمى بعامل العشوائية أو الإنتروبي Entropy، ويرمز له بالحرف "S"، وهو يمثل ذلك الجزء من الطاقة غير المتاح لأداء عملٍ ما، ويرمز له بالحرف "Q" مقسوماً على درجة الحرارة المطلقة، ويرمز لها بالحرف "T"، حسب المعادلة الآتية : $S = Q / T$

ويعتبر عامل العشوائية مقياساً لدرجة انتظام أو عشوائية نظامٍ ما، بمعنى أن النظام الذي يمكن أن يوجد في صور متعددة يكون أكثر عشوائية، مثل السوائل والغازات، وبذلك تكون قيمة الإنتروبي أعلى، في حين أن النظام الذي يوجد في صورٍ أو أنماطٍ أقل عدداً يكون أقل عشوائية، مثل الأجسام الصلبة والبروتينات، وبذلك تكون قيمة الإنتروبي أقل. ويمثل الإنتروبي حرية حركة الجزيئات داخل المادة أو النظام، وكذلك حركة الذرات التي يتألّف منها الجزيء، وكلما كانت حرية الحركة أكبر، كانت العشوائية أعظم، وكانت الطاقة المرتبطة بالإنتروبي أوفر. وهكذا تزداد طاقة الإنتروبي كلما ارتفعت درجة الحرارة.

وحيث يصعب أو يندر معرفة تركيز كلٍّ من المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في النظم الحية لخلايا الكائنات الحية الدقيقة فإنه يصعب هنا تطبيق قيم الطاقة الحرة $\Delta F$ ؛ إذ إن هذه الأخيرة تختلف باختلاف تركيز المواد المتفاعلة. ويضاف لما تقدم ضرورة قيام العمليات تحت ظروف تسمح بأن تكون عكسية، وذلك حسب الأسس العامة للديناميكا الحرارية Thermodynamic التي تعتمد عليها قِيَمُ الطاقة الحرة $\Delta F$ نفسها. فتتعذر قابلية مثل هذه التفاعلات للانعكاس ؛ لأن النظم الحية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة تطلق وتفرز موادَّ عديدةً خلال استمرار ما يجري فيها من عمليات وتفاعلات

كيميائية وحيوية متنوعة، وهذه المواد المفرزة يستبعد تأثيرها على سير التفاعلات الجارية.

كما تميل التفاعلات العكسية نحو حالة الاتزان Equilibrium التي يكون تغير الطاقة الحرة ΔF عندها معدوماً (أي مساوياً للصفر)، حيث لا يتم أي تحول بين المواد المتفاعلة والناتجة. وهذا لا يحدث في خلايا الكائنات الحية التي يُلاحظ أنها تمتاز بأن المواد الناتجة من التفاعلات أو العمليات الحيوية لديها تدخل في سلسلة من المسارات Pathways أو التفاعلات الأيضية، بشكل يكون فيه واحدٌ أو أكثرُ من نواتج التفاعل الأول ضمن المواد المتفاعلة في التفاعل الذي يليه، وهكذا دواليك، بحيث يحول دون استبعاد النواتج أولاً بأول، الأمر الذي يمنع نشوء حالة الاتزان.

يحدث في العديد من العمليات الحيوية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة ألاً تعقبها تفاعلات تزيل النواتج أو تدخلها في تفاعلات أخرى تالية، بل قد تتراكم نواتجها النهائية في الخلية الحية بكميات كبيرة، كما هو الحال في السكريَّات المتعددة Polysaccharides، والبروتينات Proteins، والدهون Lipids. وهذا يعني أن تراكم مثل هذه النواتج البوليمرية قد تم في الخلية بآلية أخرى غير آلية التكاثف أو التكاثف المتعدد Polycondensation، أو البلمرة Polymerization (حيث تكون ΔF موجبة)، وبشكل يكون فيه التغيُّر الكليُّ في طاقتها الحرة ذا قيمةٍ سالبةٍ لكي يستطيع الاستمرار تلقائيًّا.

ولأن خلايا الكائنات الحية الدقيقة تعيش وتعمل في الغالب تحت ظروف ثابتة من الضغط ودرجة الحرارة، أي أن أيَّ خليةٍ حيةٍ تكون جميع أجزائها في درجة حرارة واحدة وتحت ضغط جوي واحد؛ فإن أنظمة خلايا الكائنات الحية الدقيقة تختلف عن غيرها من النظم غير الحية في نمط آليات تحول الطاقة. وبناءً على ذلك فإن خلايا الكائنات الحية الدقيقة لا تستطيع استخدام الحرارة كمصدر للطاقة؛ لأن الطاقة

الحرارية لا يمكن أن تؤديَ شغلاً تحت ظروفِ ضغطٍ ثابتةٍ إلاَّ بمرورها عبر منحدرٍ حراريٍّ Temperature gradient.

فالخلايا الحية إذاً تعتبر طرازاً فريداً مختلفاً تماماً عن الآليات الحرارية أو الكهربائية المألوفة، فهي آلية كيميائية تعمل عند درجة حرارة ثابتة، وتحوِّل الطاقة التي تحصل عليها من بيئتها التي تعيش فيها إلى طاقة كيميائية. ويتوقف تشغيل هذه الآلية الحيوية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة على منحدرات طاقة كيميائية Chemical energy gradients، كما يتطلب تغير الطاقة الكيميائية حدوث تغيرٍ مصاحبٍ في التركيب الجزيئيِّ الذي يترافق بإعادة توزيع وترتيب إلكترونات التكافؤ. علماً بأن إلكترونات التكافؤ تأخذ في العضيَّات الحية داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة المتنوعة صورة أو مجرى انسيابٍ هابطٍ للإلكترونات عبر منحدر تأكسديٍّ اختزاليٍّ Oxidation-reduction gradient، وعلى مراحل عديدة، وبواسطة سلسلة من الأنزيمات الخاصة بكل مرحلة.

ObeKandl.com