

الفصل الثاني الانقسام الخلوي

يعتبر من الخطوات الأساسية في التكاثر والنمو وتلعب النواة الدور الأساسي في هذه العملية .

أنواع الانقسام الخلوي: هنالك نوعين من الانقسامات الخلوية كل منها مختص بنوع خاص من الخلايا وهما:

أولاً/ الانقسام الاعتيادي : Mitosis

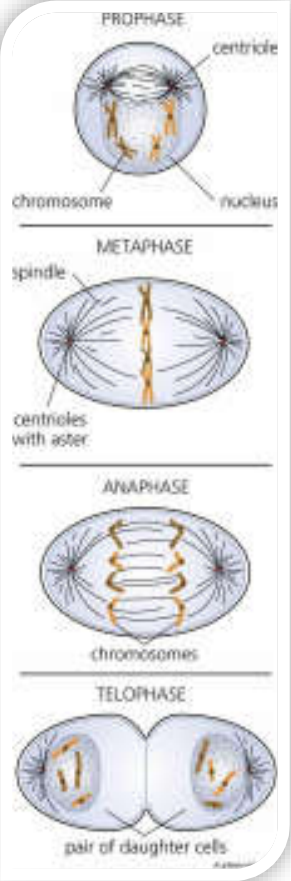
يسمى بالانقسام المباشر ويتم في الخلايا الجسمية وتكون نتيجته الحصول على خلايا جديدة تحمل نفس العدد الأصلي من الكروموسومات الذي كان متواجداً في الخلية قبل انقسامها وهذا بالتالي سيؤدي الى تواجد نفس التركيب الوراثي للخلية الأم في الخلايا الجديدة.

ويمر هذا الانقسام بأربع مراحل رئيسية كما موضحة في الشكل ويسبق هذه الأطوار طور الراحة Interphase وبعد ذلك تبدأ أطوار الانقسام على الشكل التالي:

١- **الطور التمهيدي Prophase** : تظهر الكروموسومات في هذا الطور على شكل كتلة كثيفة ملتوية غير متميزة ويبدأ تكثيف المادة البروتينية عليها الى أن تتميز الى خيوط رفيعة وفي نهاية هذا الطور فان الكروموسوم ينشطر الى شطرين كل شطر يسمى الكروماتيد Chromatid.

٢- **طور التقابل Metaphase** : في هذا الطور تتميز الكروموسومات بسمكها وقصر طولها ويلاحظ أيضاً اضمحلال الغلاف النووي وتحرك الكروموسومات الى منتصف الخلية وترتبط مع أجسام في أقطاب الخلية بواسطة خيوط تسمى خيوط الغزل وتكون الكروموسومات عندها مرتبة ضمن مستوى واحد في وسط الخلية.

٣- **الطور الانفصالي Anaphase** : في هذا الطور تبدأ الخيوط المغزلية بسحب الكروماتيدات (التي تم تضاعفها وتحولت الى كروموسومات مماثلة للكروموسومات الأصلية) الى أقطاب الخلية. وتتكون الكروموسومات على بعضها ويزداد طولها ويقل سمكها في نهاية هذا الطور .

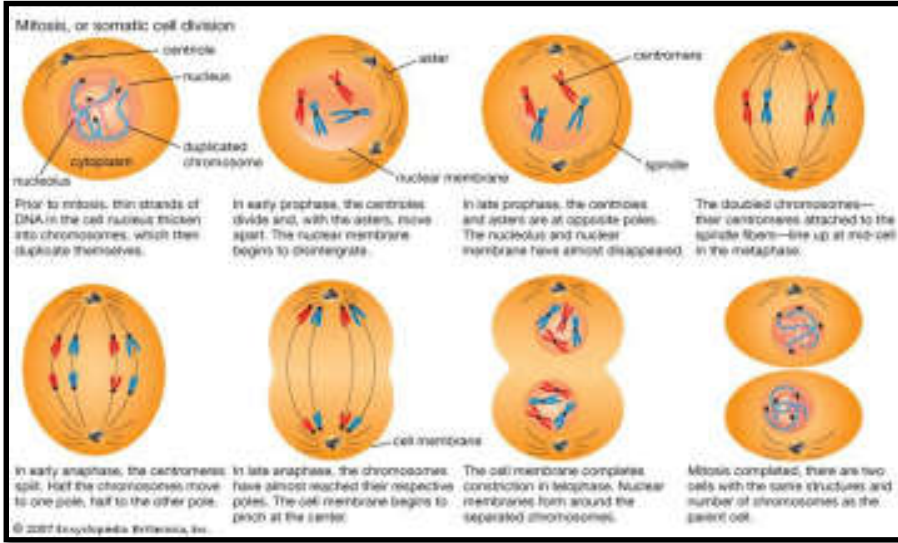


٣- مرحلة حركة الكروماتيدات الى الأقطاب المختلفة في الخلية.

٤- مرحلة تكوين أغلفة جدارية خلوية للخليتين الجديدتين.

وان هذا الانقسام يرتبط مع مع الانقسام الجنسي.

توضيح آخر لمراحل الانقسام الاعتيادي:



ثانياً / الانقسام الاختزالي Meiosis :

يسمى بالانقسام غير المباشر (الجنسي) ويعمل هذا الانقسام على توزيع الكروموسومات بانتظام في الخلايا الجسمية حيث أن كل خلية جسمية في أي كائن حي نحوي على عدد ثابت من الكروموسومات وكل خلية تحتوي على العدد الأصلي من الكروموسومات لأبائها وسبب هذا يعود الى اختزال عدد الكروموسومات في البيضة والسيرم الى النصف وعند اتحادهما خلال عمليتي التلقيح والخصاب يؤدي ذلك الى رجوع العدد الأصلي للكروموسومات في الجيل الناتج ويختص هذا الانقسام في الكائنات التي تتكاثر جنسياً . فعدم حصول الانقسام الاختزالي يؤدي الى تضاعف عدد الكروموسومات في الاجيال وبصورة غير محدودة وهذا مخالف لقوانين الطبيعة.

٥- الطور التشتتي Diakinesis :

يتميز هذا الطور بزيادة سمك الوحدات الثنائية وانتقال مناطق الالتحام Chiasmata الى أطراف كل كروموسوم وينتهي هذا الطور بالانفصال التام بين الكروموسومات.

ثانياً / الطور الاستوائي الأولي Metaphase 1 :

في هذا الطور تترتب الكروموسومات بصورة متقابلة مع بعضها في وسط الخلية ويلاحظان كل كروموسوم قد حصل على قطعة من كروموسوم آخر في المناطق التي حصل فيها عبور .

ثالثاً / الطور الانفصالي الأولي Anaphase 1 :

تبدأ ظهور الأجسام المغزلية وخيوط المغزل في نهاية الطور السابق وعند بداية هذا الطور تبدأ الكروماتيدات النظيرة بالانفصال عن بعضها الى أقطاب الخلية . وفي هذه الحالة يتجه نصف عدد الكروموسومات الى قطب كل خلية .

رابعاً / الطور النهائي الأولي Telophase 1 :

في هذا الطور تبدأ الكروموسومات بالاستطالة ويقل سمكها وتتكون صفيحة خلوية تفصل بين الخليتين الجديدتين ثم يظهر الغلاف النووي الذي يحيط بالكروموسومات التي ستكون فيما بعد مادة النواة.

خامساً / الطور الابتدائي الثاني Prophase II :

في هذا الطور والأطوار التي تليه يحصل انقسام مباشر للخلايا للحفاظ على نصف عدد الكروموسومات في كل خلية ويحصل هذا الانقسام فقط لزيادة عدد الخلايا التي تكونت نتيجة الانقسام الاختزالي الغير مباشر حيث يلي هذا الطور الطور الاستوائي الثاني ثم الطور الانفصالي الثاني وأخيرا الطور النهائي الثاني والذي يؤدي الى الحصول على أربعة خلايا كل خلية حاوية على نصف العدد الأصلي من الكروموسومات .

ويمكن تمييز الانقسام الجنسي بالمرحلة التالية :

- ١- مرحلة تضاعف كل كروموسوم طوليا مكونا اثنان من الكروماتيدات.
- ٢- مرحلة انتقال الكروموسومات المتناظرة (Homologous) الى المركز مع بقاء الكروماتيدات متصلة مع بعضها البعض في المناطق المسماة السنتروميير.
- ٣- مرحلة انفصال الكروموسومات المتناظرة بحيث ان كل كروموسوم من الكروموسومات المزدوجة ينتقل الى القطب المواجه مع بقاء الكروماتيدات متصلة.

في النوع الاول الغرس الذاتي لا يظهر الجسم استجابة مناعية Immune Response لهذا النسيج المغروس وذلك لانه مأخوذ من نفس الجسم وهو متعود عليه أي انه ليس غريبا بالنسبة لجهاز المناعة. وهو عكس النوع الثالث الغرس الغريب فان الجسم لا يظهر استجابة مناعية شديدة تجاه النسيج او العضو المغروس وذلك لان الجسم يعتبر هذا النسيج او العضو دخيلا غريبا فيواجه جهاز المناعة بالرفض ولذلك فان هذا النوع من الغرس لازالة مرحلة التجريب ولكن هناك حالات معينة تعامل بها النسيج او العضو معاملة خاصة لغرض تسهيل غرسه دون أن يجابه بالرفض.

وفي النوع الثاني (الغرس المماثل) فان الاستجابة المناعية تعتمد على مدى تقارب الكائنين حيث تقل هذه الاستجابة اذا كان الكائنات قريبي الصلة من بعضهما وتزداد كلما ازدادت الصلة بينهما بعدا.

الغرس المماثل Homotransplantations

كما ذكرنا فان هذا النوع من الغرس يتم بنقل عضو من كائن حي إلى اخر من نفس النوع Species ويعتبر هذا النوع من الغرس في الوقت الحاضر شائع الاستعمال بسبب قلة المناعة الاستجابية Immune Response ضد العضو المغروس ولكن هناك بعض المشاكل التي تعترض انتشار استعمال الغرس المماثل واهم هذه المشاكل:-

أ- عدم القدرة للسيطرة الكاملة على الاستجابة المناعية الحاصلة بسبب الغرس.

ب- فتور الاعضاء المغروسة في الجسم.

ج- فقدان الوسائل التكنيكية لحفظ وانعاش اعضاء الموتى واهم الاعضاء التي جرى غرسها هي الكلية والقلب والكبد والرئة والبنكرياس كما أن هناك محاولات لزرع العظم وقرنية العين.

الرفض Rejection:

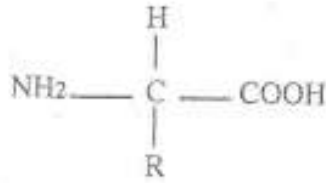
أن مشكلة الرفض تعتبر من اهم المشاكل والعوائق التي تجابه عمليات غرس الاعضاء. وبسبب هذا الرفض هو وجود بعض المستضدات Antigens في انسجة المعطي Donor والتي يفقدها المستلم Recipient هذه المستضدات لمسبب حصول تفاعل مناعي Immune Reaction بسبب تحفيزه هذه المستضدات للخلايا المنفية Lymphocytes التي ترشح Infiltrate خلال انسجة العضو المغروس وتحطم الاوعية الدموية وتستمر في عملها حتى يموت العضو.

البروتينات Proteins :

تؤلف البروتينات ما نسبته 80 - 85 % من الوزن الجاف للخلايا مما يعكس الأهمية الكبيرة لها حياتياً .

يتألف البروتين من سلاسل مختلفة العدد تبعاً لنوع البروتين ويختلف كذلك تنظيمها وطريقة التفافها على بعض .

تتألف كل سلسلة من سلاسل عديد الببتيد هذه من وحدات متكررة تدعى بالأحماض الأمينية يبلغ عددها حوالي عشرون حامضاً ، أن كل حامض أميني يتألف من ذرة كاربون مركزية تدعى بذره كاربون ألفا ترتبط معها مجموعة كاربوكسيل من جهة ومجموعة أمين من جهة ثانية إضافة لسلسلة جانبية تدعى بمجموعة R .



وتمثل مجموعة R الاختلاف في هذه الوحدات فقد تكون هذه المجموعة بمثابة الهيدروجين كما هو الحال في الجلايسين أو سلسلة كاربونية متفرعة كما هو الحال في الليوسين أو غير متفرعة كما هو الحال في الجلوماتامين . كما أنها قد تتضمن حلقة أروماتية كما هو الحال في التايروسين .

أن تركيب الأحماض الأمينية السابق يمنح البروتين قوة كبرىه في التناصُر مع مركبات عديده مختلفة في الخلية . فمجموعة R يمكن أن تكون غير قطبية وكارهه

البترول كغذاء والتي تفيد في تنظيف البحار والشواطئ من الملوثات البترولية نتيجة لانسكابات العرضية للبترول من ناقلات النفط.

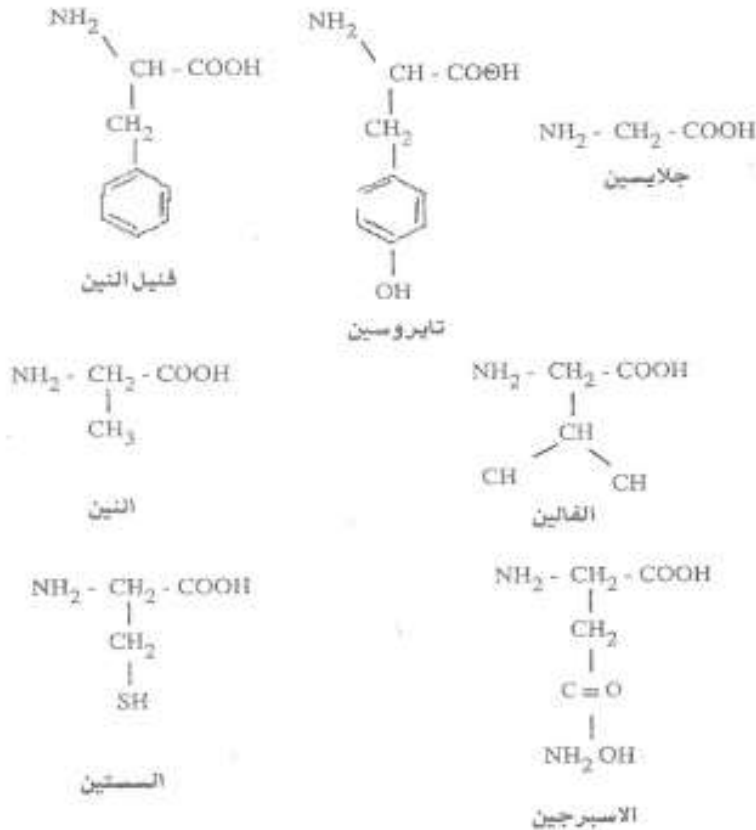
المجال الطبي:

تسعى الهندسة الوراثية حديثاً إلى تحديد عدد الجينات بدقة في الخلية الانسانية ومن ثم تحديد موضع هذه الجينات في الجينوم البشري، لغرض معرفة العلاقة بين الجينات من الناحية التركيبية والوظيفية وامكانية السيطرة على عمل الجينات، وامكانية العلاج عن طريق ازالة العيب في الجين المرضى (العلاج الجيني Gene therapy)

كما تهدف الهندسة الوراثية للتعرف على العلاقة بين الادوية والجينات وامكانية في المستقبل من انتاج ادوية جينية تحفز عمل الجين او الجينات، ادوية توقف عمل الجين، بعد معرفة الية حدوث الامراض ودور الجينات فيها او معالجة النقص وازالة الانحرافات الوراثية والجينية اثناء التطور الجنيني عن طريق حقن الجينات السليمة في الخلايا الجنينية التي تعاني نقص او عيب في عملها وبالتالي الحصول على اطفال بعيدين عن الانحرافات الوراثية عن طريق نقل الجينات من خلية وادخالها في خلية اخرى توظف وتمارس نشاطها كما لو كانت في الخلية الاصلية وقد مكنت الهندسة الوراثية من تحقيق:

- 1- تخليق وانتاج الانسولين البشري من بكتريا القولون لعلاج مرضى السكري في حين كان السابق يستخلص من بكترياس الابقار والخنازير الذي كان يسبب الحساسية لدى بعض المرضى.
- 2- التخليق الحيوي للسماتوتروبين Somatotropin الذي يعمل بالارتباط مع سوماتوستاتين Somatostatine لتنظيم عمل النمو.
- 3- انتاج الانترفيرونات Interferons هي مواد بروتينية لها القدرة على حماية الخلايا من الالصابات الفيروسية وعلاج بعض انواع السرطانات.
- 4- انتاج الكثير من المواد المناعية واللقاحات ضد الاثفلونزا والتهاب الكبد الفيروسي من نوع B والملاريا والتهاب الدماغ والكوليرا وبعض الهمومونات تجارياً.
- 5- ادخال ونقل الجينات.
- 6- زراعة الانسجة.
- 7- انتاج عامل التخثر رقم AHF factor VIII الذي ينتقل اليه المصابين بمرض نزف الدم الوراثي.

النشيط في هذا التركيب تجعل البروتين ذو قابلية عالية على التفاعل مع المركبات العضوية الأخرى. ويمكن تبعاً لذلك وجود البروتين بصورة بسيطة حرة أو مرتبطة كما هو الحال في البروتينات الدهنية والكاربوهيدراتية. كما يمكن للبروتين الارتباط مع مركبات أو عناصر غير عضوية كما هو الحال في ارتباط الجلوتين مع الحديد في كريات الدم الحمراء لإنتاج الهيموغلوبين أو في الارتباط مع الكبريت أو النحاس وغيرها (البروتينات المقترنة).



شكل 2-1: اختلاف مجموعة R في عدد من الأحماض الأمينية مما يعطي البروتين قدرة عالية على التآزر والتفاعل مع المركبات الأخرى.

استخدام الطريقتين السابقتين لزيادة كفاءة ادخال الجزيئات الهجينة إلى خلايا المضيف طورت العديد من طرق التحول والتحول بالعاني لاستعمالها مع المضيف المختلفة.

7- بعد ادخال الجزيئات الهجينة إلى خلايا المضيف يجب توزيعها بطريقة ملائمة لانتقاء الخلايا المستقبلة للجزيئة الهجينة الحاملة للجين المرغوب وتميزها عن الاعداد الهائلة من الخلايا المستقبلة للجزيئات الهجينة الأخرى. طورت عدة طرق لانتقاء المباشر وغير المباشر التي يمكن من خلالها انتقاء الخلايا الهجينة المرغوبة بسهولة وكفاءة عالية.

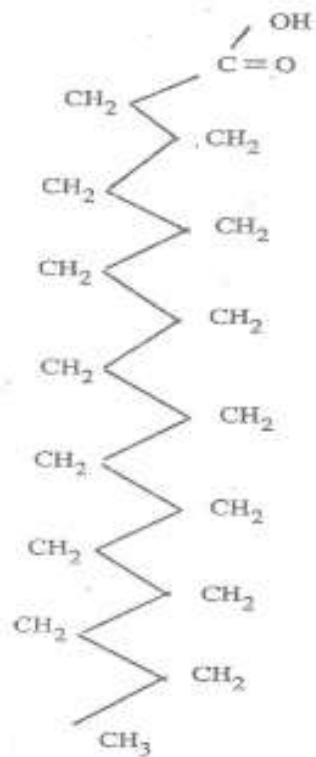
بعد الحصول على الخلايا الحاوية على الجين المكون يمكن انماءها في وسط زرع مناسب للحصول على اعداد هائلة منها. أي بمعنى آخر سيتم الحصول على اعداد هائلة من نسخ الجين المرغوب الذي يوجد بشكل نسخة واحدة في الكائن الاصلي وسيكون من السهولة عزل الجين المكون من هذه الخلايا والحصول عليه بكميات كبيرة مناسبة لاجراء الدراسات المختلفة عليه.

بعض تطبيقات الهندسة الوراثية:

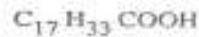
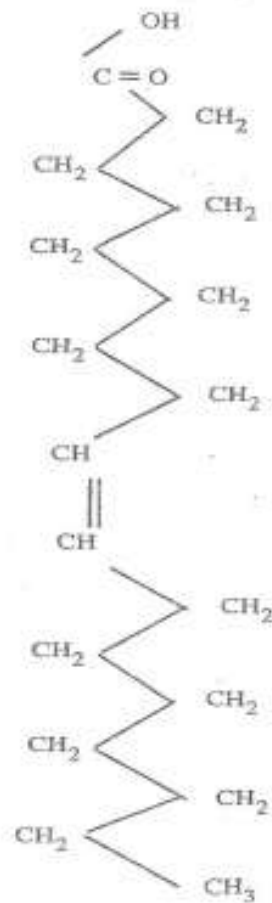
لقد اصبح واضحا الان الدور الكبير الذي تقوم به الهندسة الوراثية في تطوير التقنيات الحيوية او تطبيقاتها في مجالات عدة اضافة إلى زيادة المعرفة العلمية لاغراض البحث والتطور ومن هذه المجالات:

المجال الزراعي:

امكن من تحسين العديد من الاصناف الزراعية لزيادة انتاجها وتحسين نوعيتها ونتاج اصناف ذات قيمة اقتصادية ونتاجية عالية مثالها الاغذية المعدلة وراثيا (Genetic Modified Food) (GMF) لقد واجهت بعض مشاريع تطوير بعض النباتات صعوبة وذلك بسبب صعوبة كلونة هذه النباتات نتيجة خواصها التسلسلية والوراثية، ولكن هناك مشاريع رائدة في مجال تطوير الكثير من النباتات الاقتصادية بمواصفات جديدة مثل مقاومة الامراض وزيادة الانتاج والنمو السريع ومقاومة الظروف المناخية وتحمل البيئات الملحية والصحراوية وغيرها. ونجحت بعض التجارب في تثبيت النتروجين. حيث تستخدم الهندسة الوراثية وينجح في نقل الجينات المسؤولة عن صفة تثبيت النتروجين والموجودة في بكتريا العقد الجذرية إلى انواع اخرى من بكتريا التربة واكسابها هذه الصفة، وفي جانب اخر تعمل المختبرات المتطورة في هذا



دهن مشبع
«زيت النخيل»



دهن غير مشبع
«زيت الزيتون»

شكل 2 - 2 : جزيئتان من الدهون المشبعة وغير المشبعة .

على معرفة وظائف الجينات في الخلايا الجسمية والتمكن من اجراء التحليلات المفصلة لهذه الوظائف، حيث اصبحت مألوفاً في العديد من المختبرات بفضل التقنيات الحيوية المتطورة وبروز او نشوء حقل جديد في علم الوراثة الذي يعرف بالهندسة الوراثية التي تحاول تطبيق التطورات في العلوم البيولوجية الحديثة على الانسان والكائنات الحية الاقتصادية.

خطوات تقنية الهندسة الوراثية:

أن المحور الاساس في تقنية الهندسة الوراثية هو كلونة الجين والتي يمكن تعريفها على انها عملية تقويم اتحادات وراثية جديدة عن طريق غرس جزيئات الـ DNA فتتجه خارج الخلايا باي طريقة مناسبة في ناقل كلونة فايروس او بلازميدات او أي ناقل اخر مناسب ليتمنى ادخالها إلى كائن اخر لا يحتويها اصلا (أي جزيئات الـ DNA بحيث يمكنها التكاثر المستمر في المضيف الجديد ولاتمام عملية كلونة الجين لابد من توفر وسائل مختلفة يمكن من خلالها اجراء عملية الكلونة ومن هذه الوسائل هي:-

1- عزل وتقنية جزيئة الـ DNA المرغوب كلونتها ويطلق على هذه الـ DNA مصطلح الـ DNA الغريبة target DNA او الـ DNA المسافرة passenger DNA او الـ DNA الهدف target DNA طورت طرق عديدة لعزل الـ DNA الكروموسومية من خلال البكتريا حقيقية النواة (نباتية وحيوانية) وتعتمد جميعها على تكسير جدران الخلايا البكتيرية والنباتية) بشكل هادئ لا يؤثر على الكروموسومات ومن ثم فصلها عن باقي مكونات الخلية الاخرى باتباع طرق مختلفة تضمن الحصول على جزيئات الـ DNA بصورة نقيه.

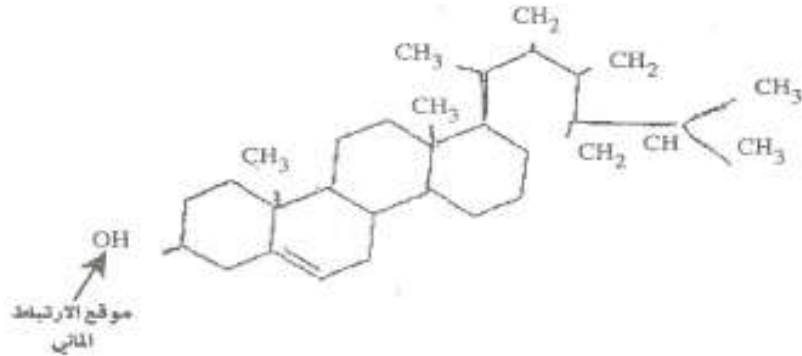
2- توفر ناقل كلونة مناسب والحصول عليه بصورة نقيه وذلك يتم ربط قطعة الـ DNA الغريبة بهذا الناقل، وتتوفر نواقل مختلفة في الوقت الحاضر يمكن استخدام المناسب منها حسب نوع التجربة ومعظم النواقل مشتقة من البلازميدات والفايروسات وطورت طرق عديدة لعزل وتقنية نواقل الكلونة ليتم الحصول على نواقل نقيه بشكل ملائم لتجارب الكلونة.

3- يجب توفر وسيلة مناسبة لتقطيع جزيئة الـ DNA الغريبة للحصول على قطعة DNA صغيرة قابلة للكلونة تحتوي على الجين المرغوب، لقطع ناقل الكلونة مرة واحدة لجعله مناسب لاستقبال قطعة الـ DNA الغريبة اصبحت عملية تقطيع جزيئة الـ DNA شكل مسيطر عليه يمكن بعد اكتشاف

وقد تتصلب مجموعة الهيدروكسيل في الدهن مع الكاربوهيدرات (السكريات مثلاً) مولدة الدهون السكرية كما يمكن أن يحل الكحول الاميني بدلاً من الجليسرول . ويمكن أن نجد جميع أنواع هذه الدهون المعقدة في الاغلفة الخلوية المختلفة .

أما الستيرويدات فهي مركبات كحولية لا تشابه في تركيبها الدهون ولكنها تشابهها في الصفات كما هو الحال في الكوليسترول و هرمونات الغدة الكظرية والهرمونات الجنسية .

تتألف الستيرويدات من هيبتروكربونات حلقيه ترتبط مع سلسلة كاربونية في أحد نهايتها ويمكن أن يكون هذا المركب ذو نهاية محبة للماء وأخرى كارهه له كما هو الحال في تركيب الكوليسترول (الشكل 2 - 4) .



شكل 2 - 4 : التركيب الكيميائي للكوليسترول .

2- طفرات مستحدثة Induced وهي الطفرات التي تحدث بسبب تدخل الانسان وذلك باستعمال المواد المطفرة كالاشعة المؤينة مثل اشعة السينية (x) والفا وبيتا وكاما والاشعة غير المؤينة مثل الاشعة فوق البنفسجية وكذلك درجة الحرارة والمطفرات الكيميائية .

رابعاً :- حسب الاتجاه Direction وتكون :

1- الطفرات الامامية Forward mut. وتؤدي الى تغيير الطراز البري الى طراز مظهري جديد.

2- طفرات عكسية او رجعية Reverse mut. وهي عكس النوع الاول اي ترجع الطراز المظهري الغير عادي الى الطراز البري.

خامساً :- حسب نوع الخلية Cell type التي تحصل فيها الطفرة :

1- طفرات جسمية Somatic mut. :

تحدث في الخلايا الجسمية وتنتج شكلا مظهريا ظاهرا في جزء من الكائن الحي مثل السرطان في الانسان او الكايمرا في النبات وهي لا تتوارث عبرالاجيال .

2- طفرات جنسية (كميتية) Gametic mut. :-

وتحدث في الخلايا الجنسية وهي تتوارث خلال الاجيال المتعاقبة .

الطفرات و الاقلمة :

ليس جميع التغيرات في الاشكال المظهرية للكائنات الحية تعود الى الطفرات الوراثية بالضرورة بل هناك عدد من العوامل التي تؤثر بصورة ما على الصفات البرية للكائن الحي، حيث يمكن ان تكون بعض التغيرات في الشكل المظهري البري رجعا الى متطلبات التأقلم Adaptation وليس سبب الطفرة كما مر ذلك سابقاً حول تغير بعض الصفات المظهرية بسبب درجة الحرارة مثلاً او الغذاء .

2 - التكرار او الاضافة : (Addition) Duplication

هي حالة اضافة قطعة زائدة من الكروموسوم تحمل جين واحد او اكثر الى كروموسوم اخر وقد تكون الاضافة طرفية او وسطية، صغيرة او كبيرة، وقد تكون الاضافة في احد الكروموسومين او في كليهما. وعندما تكون الاضافة في احد الكروموسومين النظيرين تحدث حلقة الاضافة وهي تشابه حلقة النقص تحت المجهر. وللإضافة دور مهم خصوصا اذا كانت الجينات المضافة ذات ميزات اقتصادية مهمة.

3 - الانقلاب : Inversion

وهو عبارة عن انقلاب قطعة من الكروموسوم فيها مجموعة من الجينات وتغيير اتجاهها بمقدار 180° اي ينعكس تأثيرها وذلك لانكسار الكروموسوم ثم التحامه مرة اخرى والكروموسوم الناتج يحمل نفس الجينات الاصلية الموجودة على الكروموسوم الا انها بترتيب مختلف والانقلابات الكروموسومية على نوعين :

- انقلاب يشمل منطقة السنتروميير ويشمل هذا الانقلاب على اجزاء من ذراعي الكروموسوم لذا فان منطقة الانقلاب تحتوي على السنتروميير .
- انقلاب خارج منطقة السنتروميير ويكون هذا النوع من الانقلاب قاصراً على ذراع واحد من ذراعي الكروموسوم اي تكون القطعة المنقلبة بأكملها الى جانب واحد من جانبي السنتروميير لذا فهو يقع خارج منطقة الانقلاب .

4 - الانتقالات Translocation

هي عبارة عن تبادل اجزاء كروموسومية قد تكون متساوية الطول او غير متساوية للكروموسومات غير المتناظرة و في بعض الاحيان يحدث كسر لكروموسوم واحد او اكثر حيث تبدو النهايات المكسورة لهذه الكروموسومات كما لو كانت لزجة وقد تتصل مع كروموسوم غير نظير حيث ينتج عن ذلك حالات الانتقال المختلفة وهي :

- الانتقال البسيط : يتمثل هذا النوع بانتقال قطعة كروموسومية مكسورة من كروموسوم الى اخر غير مناظر له .
- الانتقال المتبادل : في هذا النوع من الانتقال يتبادل الكروموسومان غير النظيرين جزئين من القطع الكروموسومية قد تكون متساويتين او غير ذلك .

ثانياً : الطفرات الجينية او النقطية

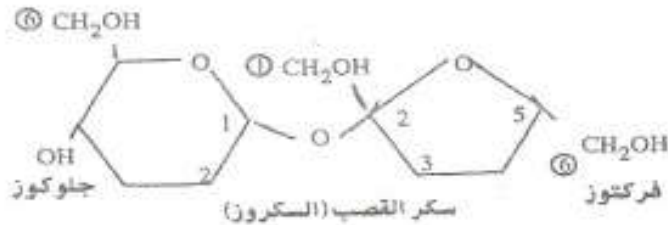
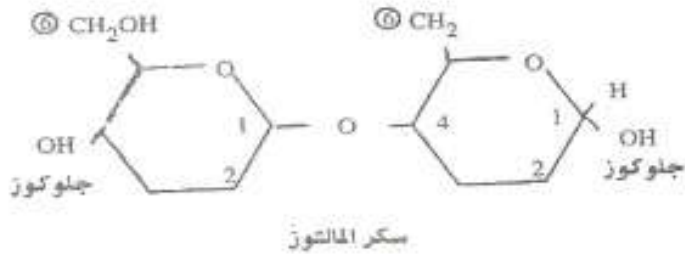
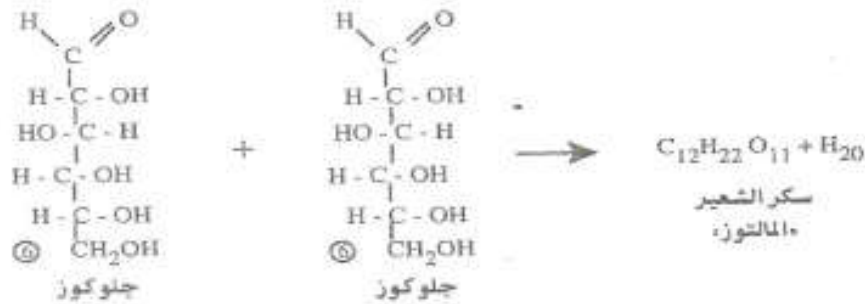
وهي الطفرات التي تحدث على مستوى الجين ويعرف الجين على انه تتابع خصوصي (متوضف) من النيكلوتيدات في الـ (DNA). والجينات المختلفة تمتلك تتابعات مختلفة من النيكلوتيدات وعلى ذلك فالطفرات هي تبديل في تتابع تسلسل ازواج القواعد النتروجينية للـ (DNA) ويمكن ان تكون الطفرات الجينية على احد الاشكال التالية:

انواع الطفرات الجينية :

- 1- طفرات الحذف Deletion mutations : وتحدث حينما يحذف زوج او اكثر من ازواج القواعد النتروجينية للجين .
- 2- طفرات الغرس او الحشر Insertion mut. : وتحدث حينما يحشر زوج قواعد جديدة بين ازواج قواعد الجين .

السكريات القليلة :

وهي سكريات مؤلفة من 2 - 4 جزيئات من السكريات الاحادية كما هو الحال في سكر القصب (السكروز) الذي يتألف من جزيئين من الجلوكوز والفركتوز (سكر الفواكه) وسكر الحليب الذي يتألف من جزيئة سكر جلوكوز وأخرى جلاكتوز وسكر الشعير (المالتوز) الذي يتألف من جزيئين جلوكوز (شكل 2 - 6)



شكل 2 - 6 : بعض أنواع السكريات القليلة .

الانزيمات Enzymes :

الانزيمات عوامل حفازة للتفاعلات الكيميائية وذلك عن طريق تزويدها بطاقة تنشيط Activation energy دون أن تدخل في التفاعلات أو تتحطم .

الانزيمات بروتينات بسيطة في الغالب الا أن بعضها مؤلف من بروتينات معقدة يصل وزنها الجزيئي الى اكثر من مليون .

يعود تعقيد تركيب هذه الانزيمات الى ارتباطها مع مجموعة غير بروتينية ترتبط مع البروتين الذي يعرف بالابوانزيم Apoenzyme ويسمى المعقد الكامل بالهولوانزيم Holoenzyme . وعندما يرتبط الجزء غير البروتيني من المعقد ارتباطاً وثيقاً مع البروتين فإنه يمكن أن يعد جزء منه ويدعى عندها بالمجموعة الملحقة Prosthetic group . أما إذا كان الارتباط ضعيفاً فإنه يعد كوحدة مستقلة تدعى بمرافق الانزيم Co enzyme عندما يكون المركب غير البروتيني مادة عضوية مثل الفيتامينات وبالعامل المساعد Co - factor عندما يكون المركب غير البروتيني مؤلف من مادة غير عضوية مثل أيونات الحديد والنحاس والزنك والكالسيوم وغيرها .

ومن ابرز مرافقات الانزيم فيتامين B في الانزيم NADP والعوامل المساعدة مثل Carbonic anhydroginase الذي يحتوي على أيون الزنك والسايتوكروم C و 450 التي تحتوي على الحديد وأنزيم الاميليز الذي ينشط بوجود أيونات الكلور وأنزيمات الكاينيز مع وجود أيونات المغنيسيوم وأنزيم الكحول ديهيدروجينيز بوجود أيونات الزنك .

تمتلك الانزيمات أماكن خاصة نشيطة تتأصر من خلالها مع أماكن مماثلة موجودة في المواد الداخلة في التفاعل Substrates . تختلف الانزيمات في تخصصها فبعضها ذو تخصص مطلق لمادة تفاعلية واحدة مثل أنزيم اليوريز Urease الذي يعمل على تحليل اليوريا الى ماء وثاني أكسيد الكاربون وبعضها ذو تخصص مطلق يتطلب مادة مستقبلة للالكترونات مثل أنزيم G6PD الذي يعمل على تحويل المركب جلوكوز-6- فوسفات الى حامض لاكتون مفسر وتنتقل الالكترونات الناتجة الى

وترجع حالات التعدد الكروموسومي المختلفة الى سبب او اكثر من الاسباب التالية :-

- 1- عدم انقسام السايتوبلازم بعد اتمام عملية انقسام الكروموسومات اثناء الانقسام الخلوي سواء في الانقسام الاعتيادي او الاختزالي .
- 2- عدم انشطار السنتروميير يؤدي الى عدم انفصال الكروموسومات في الدور الانفصالي، و اذا حدث ذلك في الانقسام الاختزالي فنتج عنها كميات (2n) .
- 3- عدم تكوين المغزل يؤدي الى عدم توزيع الكروموسومات المتضاعفة الى قطبي الخلية.

2- التعدد الكروموسومي غير الكامل (Aneuploidy) :

هي الاختلافات الكروموسومية التي لا تشمل مجامع كاملة من الكروموسومات بل تشمل زيادة او نقصان بعض الكروموسومات من بعض الأزواج الكروموسومية المتناظرة وينشأ هؤلاء الافراد بسبب عامل او اكثر من العوامل التالية :

- 1- اتحاد كميات غير متوازنة الكروموسومات مع بعضها لاي نوع من الانواع.
- 2- فقد او زيادة كروموسوم واحد او اكثر في احدى الخلايا نتيجة عدم انتظام الدور الانفصالي Anaphase في الانقسام الاختزالي .

يكون الافراد ذات التعدد الكروموسومي غير الكامل قليلي الانتشار و ذو حيوية واطنة وعدم القدرة على العيش و التناسل بصورة طبيعية، وتنقسم افراد هذه المجموعة الى :

أ – باتجاه الزيادة : (Hyperploids) وتشمل :-

- 1- Trisomic (2n+1) → AA BB CCC ثلاثية الكروموسوم
- 2- Double trisomic (2n+1+1) → AABBBCCC ثنائية ثلاثية الكروموسوم
- 3- Tetrasomic (2n+2) → AA BB CCCC رباعية الكروموسوم
- 4- Pentasomic (2n+3) → AABBBCCCC خماسية الكروموسوم

ب – باتجاه النقصان : (Hyposomic) وتشمل :-

- 1- Monosomic (2n-1) → AABBC احادية الكروموسوم
- 2- Doublemonosomic (2n-1-1) → AA B.C ثنائية احادية الكروموسوم
- 3- Nullisomic (2n -2) → AA BB .. غائبة الزوج الكروموسومي

الطفرات الوراثية

من خلال الدراسات الوراثية والخلوية تبين ان كل نوع من الكائنات الحية يتميز بمجموعة كروموسومية كاملة ومحددة العدد، وان الخلايا التناسلية (الكميات) تكون احادية المجموعة الكروموسومية $1n$ haploid) وتدعى ايضاً monoploid . كما ان العدد الطبيعي للمجموعة الكروموسومية $2n$) للكائن الحي يعود عند اتحاد الكميات الانثوية والذكرية لتكوين البيضة المخصبة، اما خلايا الانسجة المختلفة لجسم الفرد فتحوي على المجموعة الكروموسومية الكاملة على $2n$) وتدعى Diploid .

وتأسيساً على ذلك في فان اي خطأ يحدث اثناء انقسام النواة فانه يقود الى شذوذ كروموسومي او ما يعرف بالطفرة نتيجة التعرض لبعض المؤثرات الكيماوية والفيزيائية وهذه تعد من اهم العوامل المطفرة .

ان مصطلح الطفرة (Mutation) يشير الى التغيرات الحاصلة في المادة الوراثية والى العملية التي يحدث عن طريقها هذا التغيير. والكائن الحي الذي يبدي شكلاً مظهرياً جديداً نتيجة الطفرة يسمى بالطافر (Mutant) وبعبارة اخرى فان الطفرة هي تغيير فجائي مستمر في التركيب الوراثي للكائن الحي ومتوارث خلال الاجيال، ولا يشمل هذا التعريف الاتحادات الجديدة الناتجة عن العبور. وتعتبر الطفرة مصدر اساسي للتغيرات الوراثية في الطبيعة وتوفر امكانية التطور لاغراض التكيف مع التغيرات البيئية الجديدة. ومن ناحية اخرى فان ازدياد معدل الطفرات قد يؤدي الى عدم الانتظام في انتقال المعلومات الوراثية بدقة من جيل لآخر .

ان الطفرات يمكن ان تكون على مستوى الكروموسومات وتسمى بالطفرات الكروموسومية او ان تكون على مستوى الجينات (على المستوى الجزيئي) وتسمى بالطفرات الجينية . وفي ما يلي شرح لكل النوعين :

اولاً :

الطفرات الكروموسومية وتشمل الحالات التالية :

- 1- الاختلافات في اعداد الكروموسومات .
- 2- الاختلافات في حجم الكروموسومات .
- 3- الاختلافات او التغيرات البنائية للكروموسومات .
- 4- الاختلافات في شكل الكروموسومات .

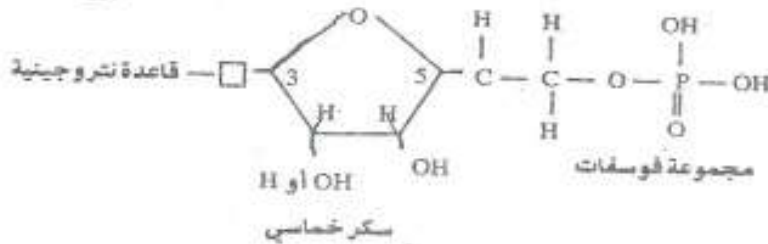
ولاهمية التغيرات العديدة والاختلافات البنائية للكروموسومات سوف نوضح بالتفصيل هذين النوعين :

في الحامض النووي RNA . كما تبين بأن نيوكليوتيدات الحامض النووي RNA لا تحتوي على قاعدة الثايمين المتوفرة في نيوكليوتيدات الحامض النووي DNA بل تستبدل هذه باليوراسيل .

لقد اتاحت الدراسات الكيمائية على الاحماض النووية معرفة الكثير من المعلومات عنها منها أن نسبة القواعد النتروجينية في الاحماض النووية مختلفة وانها تختلف من حامض نووي لنوع معين في الاحياء الى آخر .

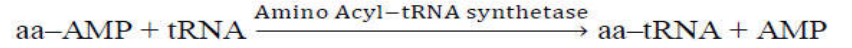
لقد أظهرت النتائج السابقة ايضاً بأن هناك خمسة من أنواع القواعد النتروجينية هي الثايمين والسايثوسين واليوراسيل والادين والجوانين وأن هذه القواعد تقع في مجموعتين كيميائيتين هما البازيميدنيات المؤلفة من الثايمين والسايثوسين واليوراسيل والبيورينات المؤلفة من الادنين والجوانين (شكل 2 - 9) .

ترتبط النيوكليوتيدات المؤلفة لسلاسل الاحماض النووية بطريقة معينة بحيث ترتبط المجموعة الفوسفورية الواقعة في النهاية الخامسة لنيوكليوتيد مع ذرة الكاربون الثالثة لسكر النيوكليوتيد التالي . (شكل 2 - 10) . تدعى هذه الروابط الفسفور ثنائي الاستر وهي تمثل العمود الفقري لسلاسل عديد النيوكليوتيدات المؤلفة للحامض النووي .



شكل 2 - 8 : تركيب النيوكليوتيد في الاحماض النووية .

ويكون اتصال الحامض الاميني بمجموعة الهيدروكسيل (3-OH) في سكر الريبوز الموجود في نيوكليوتيدة الادنين الطرفية في جزئين الـ tRNA عن طريق رابطة من نوع اسيل acyl bond مع مجموعة الكربوكسيل الموجودة في الحامض الاميني.



ثانياً: والخطوة الثانية في بناء البروتين هي تجميع الاحماض الامينية المنشطة والمرتبطة بالاحماض النووية الناقلة الى الريبوسوم حيث يبدأ تكوين الروابط الببتيدية بين الاحماض الامينية ويحتوي الريبوسوم في كل الكائنات سواء بكتريا او كائنات راقية على موقعين احدهما يعرف باسم (A) amino acyl site والآخر يعرف باسم (P) Peptidyl site. وتبدأ عملية ترجمة الرسالة الوراثية المتمثلة بالحامض النووي المرسل mRNA بارتباط الريبوسوم بخيط mRNA عند شفرة بداية الترجمة AUG وهي الشفرة الخاصة بالحامض الاميني ميثيونين (في البكتريا يكون فورمايل ميثيونين) ويمكن تلخيص خطوات السلسلة عديدة الببتيد الى ثلاث مراحل على النحو التالي :-

- (a) **بدأ تكوين السلسلة Initiation** :- تبدأ هذه الخطوة بارتباط الريبوسوم بخيط الـ mRNA عند شفرة بداية الترجمة حيث يتم دخول اول حامض نووي ناقل الذي يحمل الحامض الاميني ميثيونين الى الموقع (P) من الريبوسوم.
- (b) **إطالة السلسلة Elongation** وتتم إطالة السلسلة عديدة الببتيد في الطول على النحو التالي :-

1. يدخل ثاني حامض نووي ناقل وما يحمله من حامض اميني في الموقع (A) من الريبوسوم وبذلك يكون كلا الموقعين من الريبوسوم محتلين بنوعين من الاحماض النووية الناقلة وما يحمله كل منها من حامض اميني، ثم يقوم انزيم **peptidyl transferase** بتكوين الرابطة الببتيدية بين مجموعة الكربوكسيل في الحامض الاميني الاول مع مجموعة الامين في الحامض الاميني الثاني.
2. بعد تكوين الرابطة الببتيدية بين الحامض الاميني الاول والثاني يتحرر الحامض النووي الناقل الاول ويترك الريبوسوم ويصبح الحامض النووي الناقل الثاني محملاً باثنين من الاحماض الامينية.
3. يتحرك الريبوسوم على طول خيط الـ mRNA حركة مقدارها شفرة ثلاثية واحدة وبذلك ينتقل الحامض النووي الناقل الثاني من الموقع A الى الموقع P من الريبوسوم وبذلك يصبح الموقع A خالي.
4. يدخل الحامض النووي الناقل الثالث وما يحمله من حامض اميني الى الموقع A من الريبوسوم وتتكون رابطة ببتيدية بين الحامض الاميني الثالث والحامض الاميني الثاني وبذلك يتحرر الحامض النووي الناقل الثاني ويترك الموقع P من الريبوسوم بينما يصبح الموقع A محتل بالحامض النووي الناقل الثالث والذي يحمل الاحماض الامينية الثلاثة.
5. تتكرر هذه الخطوة كلما تحرك الريبوسوم حركه مقدارها شفرة واحدة ليتم وضع حامض اميني اخر على طول خيط الـ mRNA حتى يتم التعبير عن كل الشفرات الوراثية الموجودة في الرسالة الوراثية mRNA وتكون حركة الريبوسوم في الاتجاه 5' الى 3'.

المادة الوراثية

اكتشاف المادة الوراثية :

كان من المستحيل ان نفهم شيئاً عن العمليات البيوكيميائية التي من خلالها تحدد المورثات النمط الظاهري للفرد وتنتقل بواسطها التعليمات من جيل لآخر في ظل غياب المعرفة الكاملة للجزئ الذي يحمل المعلومات الوراثية لذا سعى العلماء جاهدين لاكتشاف هذا الجزئ وتحديد خصائصه وصفاته . تمكن Fridrich Miescher (1869) من عزل مادة غنية بالفوسفور ذات طبيعة حامضية من نوى الكريات البيضاء سماها (Nuclein) ، بعد ذلك تمت دراسة التركيب والخواص الكيميائية لهذه المادة فتيبين انها مؤلفة من سكر الريبوز منقوص الاوكسجين ، توجد هذه المادة في النواة وهي ذات طبيعة حامضية وبالتالي اطلق عليها الحمض النووي الريبي منقوص الاوكسجين (DNA) Deoxy Ribonucleic Acid



في عام 1923 قام Feulgen بتلوين مجموعة من نوى الخلايا بملون يدعى كاشف شيف (Schiff reagent) حيث اخذت الصبغيات اللون الاحمر بينما لم تتلون المناطق الاخرى من الخلايا هذه التجربة اكدت على ان DNA موجود حصراً داخل الصبغيات



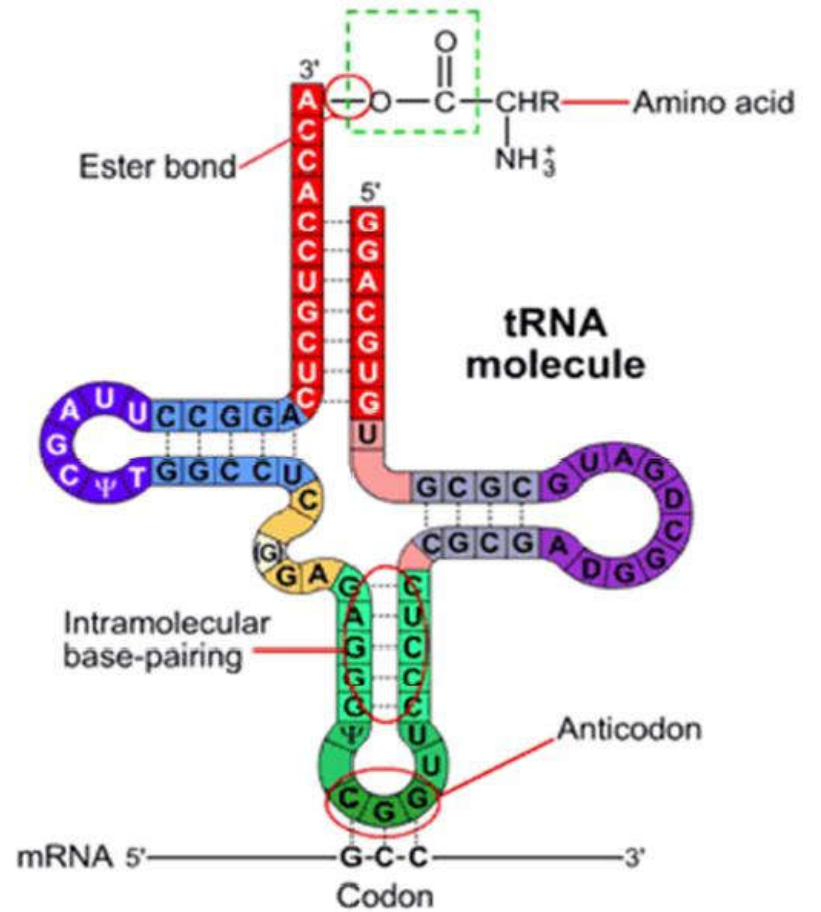
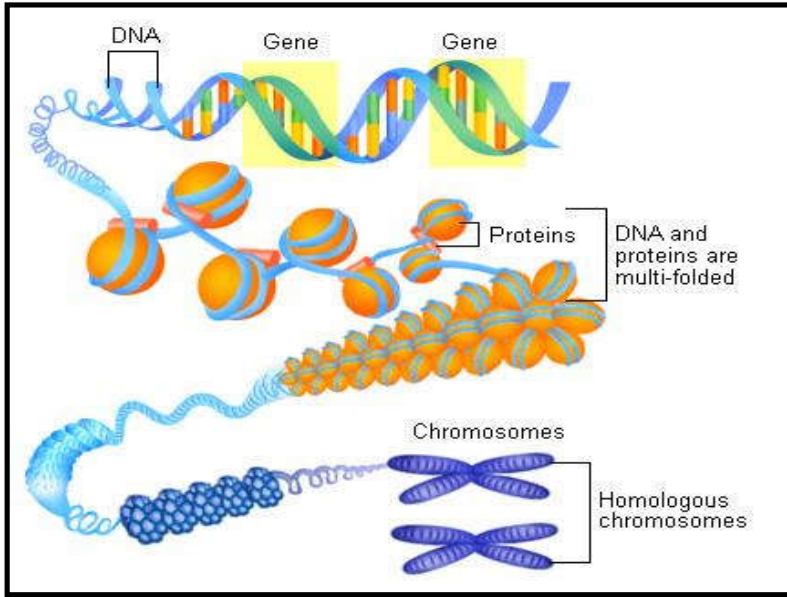
عزف العلماء أن المعلومات الوراثية محمولة على الكروموسومات في خلايا المخلوقات الحية الحقيقية النوى أهم مكونين من مكونات الكروموسومات هما DNA والبروتين. حاول العلماء معرفة أي هذين الجزئين الكبيرين DNA أو البروتين هو مصدر المعلومات الوراثية ، في 28 شباط 1953 أعلن الباحث الانجليزي

المركب الناتج من ارتباط الحامض الاميني بمركب الادنوسين احادي الفوسفات (AMP) يعرف باسم الحامض الاميني المنشط حيث يحتوي على مستوى من الطاقة تمكنه من الارتباط بالحامض النووي الناقل tRNA كما في شكل ٢٣.

اهم خصائص نموذج DNA لواتسون وكريك :

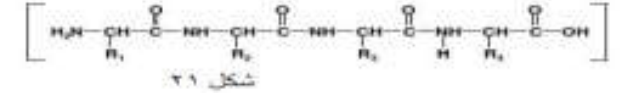
- ١- سلسلتين خارجيتين يتكونان من سكر الريبوز المنقوص الأوكسجين والفوسفات بشكل متبادل .
- ٢- يرتبط السائتوسين والكوانين معاً بثلاث روابط هيدروجينية .
- ٣- يرتبط الثايمين والأدينين معاً برابطتين هيدروجينيتين .

الحامض النووي (DNA) : هو الذي يحمل المعلومات الوراثية الخاصة بالخلية كمادة وراثية و من أهم خصائصه قدرته على التضاعف الذاتي بمعنى انه يكون نسخة جديدة طبق الأصل منه و هذا يحدث قبل أن تبدأ الخلية في الانقسام و يرى الكروموسوم بالمجهر عبارة عن نصفين متماثلين تماما في الحجم و الشكل و ملتصقين معا بواسطة جسم مادي يعرف بالسنترومير .



شكل ٢٣

الكربوكسيل في الحامض الاميني الثالث، مع مجموعة الاميون في الحامض الاميني الرابع وهكذا على طول السلسلة عديدة الببتيد كما هو مبين في شكل ٢١ .



وبذلك سوف تحتوي السلسلة عديدة الببتيد على مجموعة امينية واحدة في الطرف الذي بدأ من عنده تكوين السلسلة ومجموعة كربوسيل حره واحدة في الطرف الاخر من السلسلة وهو الطرف الذي ينتهي عنده تكوين السلسلة عديدة الببتيد. وتسمى بالسلسلة عديدة الببتيد لاحتوائها على العديد من الاحماض الامينية التي تدخل في بنائها وعموما هناك عشرون حامض اميني مختلفة تدخل اساسا في تركيب كل البروتينات الطبيعية ولكن تختلف البروتينات عن بعضها في عدد الاحماض الامينية ونوعها وترتيبها في السلسلة عديدة الببتيد. وتختلف عدد الاحماض الامينية في السلسلة عديدة الببتيد باختلاف البروتينات حيث يتراوح ما بين ٥١ حامض اميني كما في بروتين الانسولين الى اكثر من ١٠٠٠ حامض اميني كما في بروتين الفيبروين Fibroin وهو بروتين الحرير الطبيعي. وعموما فان ترتيب الاحماض الامينية في سلسلة عديدة الببتيد يعرف بالتركيب الاولي (primary structure) للبروتين وهذا الترتيب الذي يحدده ويمليه تتابع النيوكليوتيدات الاربعة (C, G, T, A) في جين ما، ويمثل هذا التتابع النيوكليوتيدي الشفرة الوراثية لكل حامض اميني، ويتحكم الجين في التركيب الاولي للبروتين (تتابع الاحماض الامينية في البروتين) عبر ميكانيكية خاصة، وتتمثل هذه الميكانيكية بالتعبير الجيني Gene expression والتي هي عبارة عن عمليتين رئيسيتين هما:-

اولاً، عملية نسخ الجين (gene transcription) وهي العملية التي يتم بواسطتها انتقال المعلومات الوراثية (التتابع النيوكليوتيدي في الجين) الموجودة في جين ما الى السايوتوبلازم عن طريق وسيط يعرف بالحامض النووي الرسول (mRNA).

وثانياً، عملية الترجمة الى بروتين (Translation) وتعرف عملية الترجمة بانها عبارة عن تحويل المعلومات الوراثية من جزيئة mRNA الى بروتين ، حيث يتم

لأصبحت الخلايا الناعمة ناتجة من نوع (IIS) وليس (IIIS) وكان الاستنتاج المنطقي الوحيد لتفسير هذه الظاهرة هو ان الخلايا الناعمة الميتة من السلالة (IIIS) قد حولت الخلايا الخشنة الحية إلى خلايا ناعمة مرضية من نوع (IIS) خلال تواجد هما معا في الفأر.

استغنى في تجارب لاحقة اجراها باحثون اخرون عن الفئران حيث لوحظ امكانية الحصول على خلايا حية ناعمة مرضية نتيجة خلط خلايا ناعمة مقتولة بالحرارة مع خلايا خشنة في انبوب اختبار ووجد في تجارب اخرى أن اضافة مستخلص الخلايا الناعمة المقتولة بالحرارة يكون فعالا في تحويل الخلايا الخشنة الحية إلى خلايا ناعمة.

تركز البحث بعد هذه السلسلة من التجارب حول طبيعة المادة الموجودة في مستخلص الخلايا الناعمة والمسؤولة عن عملية التحول التي اطلق عليها آنذاك اسم مبدأ التحول Transforming principle لقد اكتشف فيما بعد وعلى اثر سلسلة من التجارب أن مبدأ التحول هو الـ DNA وكانت تجربة ايفري وماكلويد ومكارتني في عام ١٩٤٤م من اولى التجارب التي اثبتت ذلك حيث اضافوا جزيئات الـ DNA محضرة بصورة نقية من الخلايا الناعمة من نوع IIIS إلى خشنة في انبوبة اختبار ونتج عن هذه الاضافة الحصول على بعض الخلايا الحية الناعمة من نوع IIIS تاكد دور الـ DNA في عملية التحول بصورة لانقبل الشكل بعد تنقية انزيم نيوكليير الـ deoxyribonuclease (DNA ase) الذي يعمل على تحطم جزيئات الـ DNA فقد وجد أن معالجة DNA بهذا الانزيم قبل اضافتها للخلايا الخشنة ابطل نهائيا عملية التحول في حين أن معالجة الـ DNA بانزيم (التريسين Trypsin الذي يحطم البروتينات) وبنفس الطريقة لم يكن له أي تأثير على عملية التحول مما ادى استبعاد احتمالية وجود ملوثات بروتينية مع الـ DNA المحضرة يمكن أن تكون قد قامت بدور في عملية التحول.

٢- تجارب هيرشي- شاس Hershey- chase Experiments

نشر في سنة ١٩٥٢ هيرشي Hershey وشاس Chase تجارب اشارت إلى أن الحامض النووي الـ DNA مادة وراثية بطريقة اكثر مباشرة وقد اهتمت تجاربها بفجاجة البكتريا Bacteriophage T2 وهو فايروس يتكاثر داخل بكتريا القولون Escherichia coli فقط تركيب فايروس . يتألف الفايروس من راس سداسي hexagonal يحتوي على الحامض النووي الـ DNA وذيل Tail والياف الذيل tail fibers وقد تضمنت الخطوة الاولى اصابة بكتريا القولون بالفاج T2 والمعروفة في ذلك الوقت عن طريق التصاق Adsoption الفاج بالغلاف الخارجي لخلية العائل بواسطة الياف الذيل بحيث تدخل مادة الفاج إلى داخل البكتريا بطريقة ما ثم تتضاعف على حساب البكتريا حتى تنفجر البكتريا وتتحلل (lysed) محررة حوالي المائة من نسل الفاج الجديد.

يرتبط مضاد الكودون للحامض النووي tRNA بالكودون التالي على جزيء الحامض النووي mRNA وبالتالي يصبح الحامض الأميني الذي يحمله الحامض النووي tRNA الحامض الأميني التالي في السلسلة عديد الببتيد، ثم حدوث تفاعل نقل الببتيد الذي ينتج عنه رابطة ببتيدية بعده يكون الحامض النووي tRNA الأول فارغاً ويترك الرايبوسوم، أما الحامض النووي tRNA الثاني فيحمل الحامض الأميني له مع الحامض الأميني الأول (المثيونين). ويتحرك الرايبوسوم على امتداد الحامض النووي mRNA فينتقل الحامض النووي tRNA حاملاً الحامض أو الحامضين الأميين في الموقع P ويدخل إلى الموقع A كودون جديد وهو التالي ثم تبدأ الدورة مرة أخرى مكونه الحامض الأميني الثالث وهكذا يتكرر الأمر. وتقف عملية البناء عندما يصل الرايبوسوم إلى كودون وقف البناء على الحامض النووي mRNA وهناك بروتين يرتبط بكودون الإيقاف يسمى عامل الإطلاق Release factor حيث يحرر الرايبوسوم من الحامض النووي الرسول mRNA (شكل ٢٠).

وتمت البرهنة على عدم امكانية اجراء تجارب نظيفة على غرار تجربة هيرشي - شاس ما دامت اصابة البكتريا بالفاج الكامل تكون جزءا من الطريقة التجريبية وذلك لان زرق كمية صغيرة من البروتين تكون عاملا ضروريا لعملية الاصابة الطبيعية بالفاج واذا امكن تجريد البكتريا من جدارها الخلوي لتكوين البروتوبلاست Protoplast فلا حاجة للفاج الكامل Intact phage لاحداث الاصابة وبهذا يمكن ادخال الحامض النووي النقي للفاج إلى داخل البروتوبلاست ويستمر ظهور نسل الفاج الوبائي.

ويتضح من ذلك احتواء الحامض النووي DNA لوحدة على جميع المعلومات الضرورية لبناء الفاج الوبائي T2 (Virulent T2 phage)

٢ - التجارب على الفيروسات التي تحتوي الحامض النووي RNA

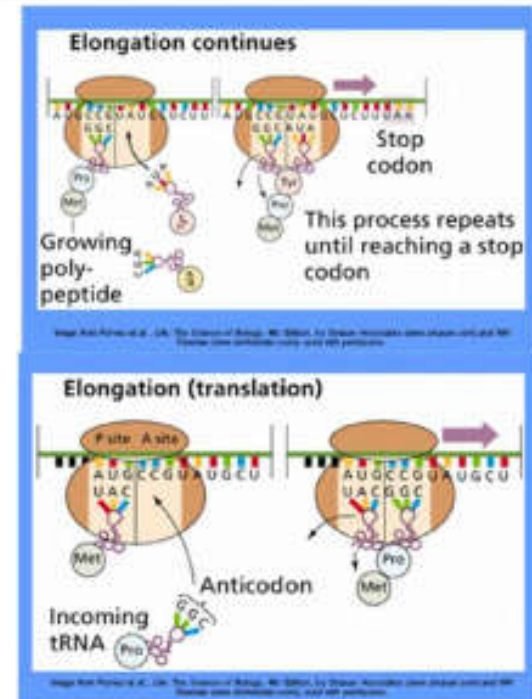
يتكون فايروس مرض تبرقش نبات التبغ (Tobacco Mosaic) TMV من بروتين وحامض نووي. يهاجم الفايروس أوراق نبات التبغ ويسبب لها مرض التبغ، ويمكن احداث الاصابة بحك (تخدش) اوراق التبغ ثم تعريضها لـ TMV يحدث الحك تمزق المنطقة ليتمكن الفيروس أن يدخل من خلالها إلى خلية العائل، وبعد أن تدخل وحدة واحدة من TMV لخلية العائل تتكون بعد مرور فترة مئات من النسل الجديد لـ TMV يمكن فصل البروتين الفيروس عن الـ RNA الخاص به بوضع الفيروسات في خليط من الفينول (حامض الكاربونيك) والماء، اذ ينتقل لـ RNA إلى الماء في حين ينتقل البروتين إلى الفينول وبعد ذلك يمكن فصل الفينول عن الماء والتخلص من الماء والفينول للحصول على كل من البروتين و RNA بصورة نقية.

وإذا عرضت اوراق التبغ (المخدشة) لبروتين الفايروس فقط (المنقى) لم يلاحظ في خلايا اوراق التبغ نسلا جديدا من الفايروس، بينما اذا عرضت اوراق التبغ (المخدشة) لـ RNA الفايروس نقي نتجت مئات من ذرية الفايروس TMV المتكون من بروتين و RNA الفايروس.

مما يدل على أن الـ RNA المستخلص من الفايروس يحتوي على المعلومات الوراثية لبناء كلا من البروتين والـ RNA الفايروس داخل خلايا العائل .

✓ من اهم الفيروسات التي تحتوي على الـ RNA وبروتين تلك التي تهاجم الخلايا الحيوانية مثل فايروسات شلل الاطفال والأنفلونزا والتهاب الدماغ وبعض الفايروسات التي تهاجم الخلايا البكتيرية (الفاجات Phages و bacteriophages)

✓ من اهم الفايروسات التي تحتوي على الـ DNA والبروتين الملتصقات البكتيرية وفاج T و ١٧٤ × التي تصيب بكتريا القولون.



شكل ٢٠: رسم تخطيطي يوضح خطوات بناء البروتين.

ويتم نسخ الحامض النووي الرسول mRNA أي الرسالة التي ترسلها النواة إلى الخلية بشكل إنتقائي حيث يحدث نسخ جزئي فقط لتتابعات معينة من DNA الجين لإنتاج الحامض النووي mRNA. وتتقي النواة جينات معينة لنسخها لتقوم بوظائف محددة تبعاً لنوع الخلية ومكانتها ووظيفتها في النسيج أو العضو لذلك فانزيمات بلمرة الحامض النووي RNA لا بد لها من التعرف على منطقة المستبدئ أو المحفز الموجودة في الجين والمعروفة باسم **Promoter** عن طريق إرتباط بروتينات معينة مع تتابعات معينة من DNA القالب لتنشيط المحفز. ويطلق على تلك البروتينات إسم عوامل النسخ **Transcription factors**، وهي بمثابة مفتاح التشغيل لبدء التناسخ، وتبحث عوامل النسخ على تتابع معين يعرف بصندوق **TATA** يتم التعرف عليه باستخدام أصابع الزنك في عامل النسخ ويكون عادة على بعد ٢٥٠ قاعدة من موقع بدء النسخ فيؤدي عامل النسخ على تحفيز النشاط النسخي لإنزيمات بلمرة الحامض النووي RNA وينتج سلسلة الحامض النووي hnRNA من عدد من الوحدات يتراوح عددها بين ٨٠٠٠ – ٢٠٠٠٠ نيوكليوتيدة وهي أطول كثيراً من طول الحامض النووي mRNA الذي يكون البروتين وكذلك فإن طول الحامض النووي mRNA يكون أطول من سلسلة البروتين (وعلى سبيل المثال إذا كان الحامض النووي mRNA

يتكون من ١٢٠٠ نيكلوتيدة فإنها تشفر لحوالي ٤٠٠ حامض أميني ليكون سلسلة البروتين).

والسؤال الآن كيف يتسنى لإنزيم Aminoacyl-tRNA synthetase ربط الحامض النووي tRNA بالحامض الأميني المعين والتوفيق بين الحامض الأميني الصحيح وبين الحامض النووي tRNA النوعي الخاص وخاصة للأحماض الأمينية المتشابهة التركيب حيث يقوم الإنزيم بالتفرقة بين الأحماض الأمينية تبعاً للمراكز النشطة له وكذلك التفافه حول الحامض النووي tRNA الملائم.

ويدخل في بناء البروتين الرايبوسومات وهي بمثابة مواقع يتكون عليها البروتين ويتكون جسم الرايبوسوم الذي يظهر كحبيبات على الشبكة الأندوبلازمية من الحامض النووي RNA الرايبوسومي من تحت وحدتين أحدهما كبيرة والأخرى أصغر ويبدأ تخليق البروتين عندما ترتبط تحت وحدة رايبوسومية بجزء الحامض النووي mRNA الذي يكون له أول كودون AUG وهو كودون أو شفرة البدء للترجمة وتكوين سلسلة عديد الببتيد أو البروتين التي ستبنى، ثم ترتبط تحت وحدة رايبوسوم كبيرة بالمركب السابق وعندئذ تبدأ تفاعلات بناء البروتين. ويوجد على الرايبوسوم موقعين يمكن أن ترتبط بهما جزيئات الحامض النووي tRNA أحدهما يطلق عليه موقع البيبتيديل (P site) والثاني يطلق عليه موقع أمينو أسيل (A site) (accepter site) وهناك موقع آخر يطلق عليه موقع الخروج (E site) وتبدأ سلسلة عديد الببتيد في الإستطالة في دورة تتكون من ثلاث خطوات وهي مرحلة البداية (Initiation) ومرحلة الإستطالة (Elongation) ثم مرحلة الإنتهاء (Termination).

التركيب الكيميائي للمادة الوراثية و تضاعفها

تم عزل DNA لأول مرة من قبل العالم الألماني فريدريك ميسر Friedrich Miescher عام ١٨٦٩، كانت المادة التي عزلها ميسر مادة سكرية بيضاء اللون حامضية قليلاً وتحتوى على النيتروجين والفسفور ولأن وجودها اقتصر على النواة أطلق عليها تسمية نوكلين Nuclein. تم تغيير الاسم لاحقاً إلى الحامض النووي ثم إلى الحامض النووي الريبي منقوص الأوكسجين (DNA) Deoxyribonucleic acid تميز لها عن مركب وراثي آخر موجود ضمن الخلية وهو الحامض النووي الريبي (RNA) Ribonucleic acid وقد أكد العالم ليفين Levene عام ١٩٢٠ أنه من الممكن تجزئة DNA إلى ثلاث مكونات هي :

جزيئة سكر (ريبوز منقوص الأوكسجين) ، مجموعة فوسفاتية ، أربع أسس نيتروجينية اثنان منها من النمط البيوريني (ادينين A وكوانين G) واثنان من النمط البيريميديني (ثايمين T وسايوتوسين C) .

يعتبر الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين (DNA) المادة الوراثية لجميع خلايا كائنات حقيقية وبدائية النواة وهو عبارة عن خيوط مزدوجة متحلزنة ، يتألف كل خيط من نيوكليوتيدات متعددة polynucleotides وتتألف النيوكليوتيدة Nucleotide من :

أولاً : قاعدة نايتروجينية : وتكون هذه القواعد على نوعين هما :

الببيورينات purines واكثر انواع هذه القواعد شيوعاً في جزيئة DNA هي الادنين Adenine والكوانين Guanine وهي اكبر حجماً من الصنف الثاني .

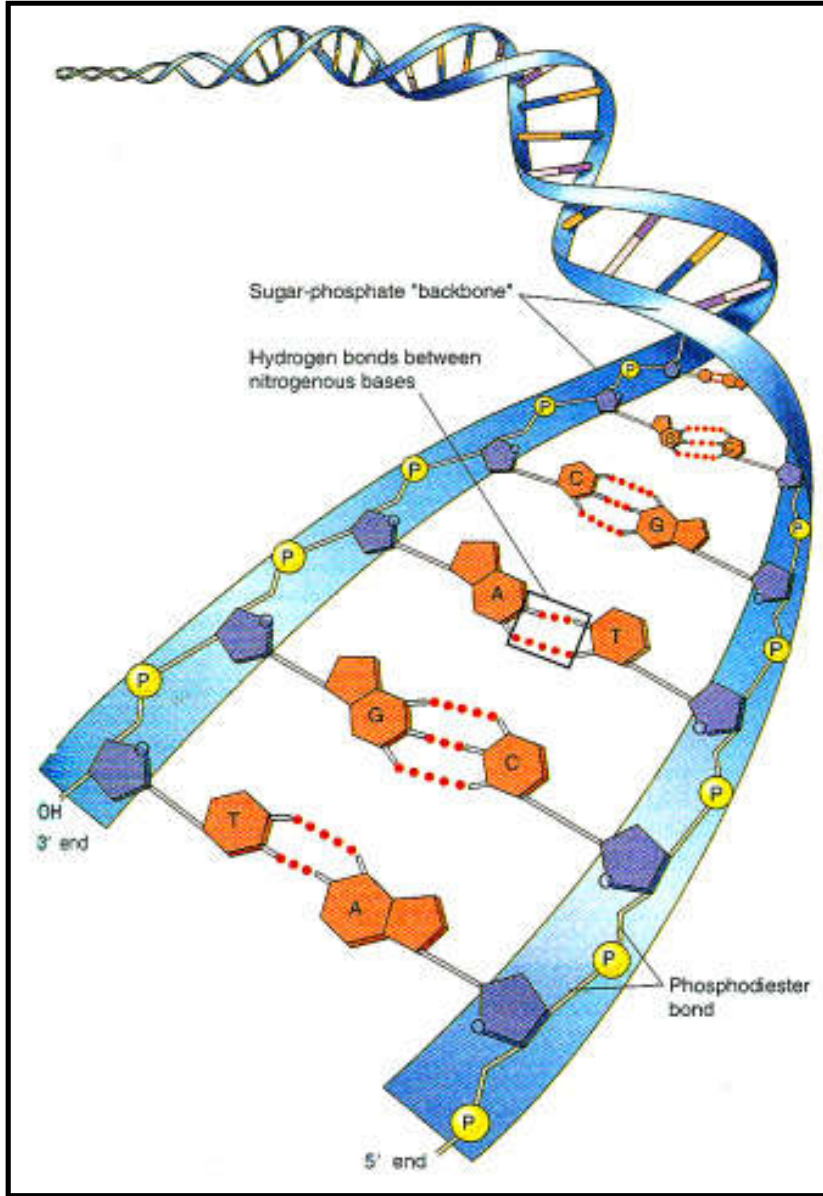
البيريميديينات pyrimidine وهي اصغر حجماً من الصنف السابق واكثر انواعها شيوعاً في الـ DNA هي السايتوسين Cytosine والثايمين Thymine .

ثانياً : سكر خماسي الكاربون يسمى ريبوز منقوص الأوكسجين Deoxyribose .

ثالثاً : مجموعة الفوسفات PO₄ .

عندما تتحد واحدة من القواعد النايتروجينية مع السكر الخماسي فإنها تكون النيوكليوسيدة Nucleoside وتتحد النيوكليوسيدة مع مجموعة الفوسفات لتعطي النيوكليوتيدة Nucleotide ترتبط النيوكليوتيدات ببعضها بواسطة اواصر فوسفاتية ثنائية الاستر phosphodiester bonds مكونة خيوط متعددة النيوكليوتيدات polynucleotide strand . درس التركيب الكيميائي للحامض النووي DNA من قبل العديد من الباحثين وفي عام ١٩٥٣ استنتج كل من ويلكنس Wilkins ورنالد Randall من دراساتهم حيود الأشعة السينية في رؤوس حيامن الحبار بان خيوط النيوكليوتيدات المتعددة الـ DNA تكون لولبية وليست ممدودة . وفي نفس السنة توصل باحثون آخرون ومن بينهم واطسون Watson وكريك Crick إلى وجود حلزونين في جزيئة الـ DNA وقدموا مودلاً خاصاً بذلك كما وصلوا إلى استنتاجات أخرى عن جزيئة الـ DNA ومنها :

يعد التعرف إلى البنية الفراغية لجزيء DNA واحداً من أهم الاكتشافات في عالم الوراثة ، إذ تبين ان جزيء DNA يتكون من سلسلتين متممتين لبعضهما متقابلتين ترتبطان ببعضهما عبر جسور او روابط هيدروجينية



القطعة الطرفية Telomere :

مصطلح يطلق على اطراف الكروموسومات وتمتلك وظيفة فريدة يعملها على منع الالتصاق بين نهايات الكروموسومات وبدونها تلتصق الكروموسومات مع بعضها . وهي عبارة عن تواليات متكررة من الحامض النووي DNA موجودة في نهايتي الكروموسوم الخطي لمعظم الكائنات حقيقية النواة وعدد قليل من بدائية النواة وتختلف اطوالها كثيراً باختلاف الانواع وهي تتراوح بين (٣٠٠-٦٠٠) زوج قاعدي في الخميرة الى عدة الاف من الازواج القاعدية في الانسان وتتكون اعتيادياً من (٦-٨) صفوف متكررة غنية بالكوانين اما اهميتها فهي تعوض عن التضاعف شبه المحافظ غير التام في نهاية الكروموسوم .

تصنيف الكروموسومات Chromosomes Classification :

يمكن تصنيف الكروموسومات على اساس موقع القطعة المركزية الى اربعة اصناف وهي :

- ١- كروموسوم وسطي التمرکز Metacentric
حيث يكون موقع القطعة المركزية في وسط الكروموسوم تماماً حيث يقسم الكروموسوم الى ذراعين متساويين في الطول ويظهر على شكل حرف (V) باللغة الانكليزية اثناء الطور الانفصالي .
- ٢- كروموسوم تحت وسط التمرکز Submetacentric
وفيه يكون موقع القطعة المركزية قريباً عن الوسط ويقسم الكروموسوم الى ذراعين غير متساويين في الطول ويظهر اثناء الطور الانفصالي على شكل حرف (L) وحرف (J) باللغة الانكليزية .
- ٣- كروموسوم نهائي التمرکز Telocentric
وفيه تقع القطعة المركزية عند احدى نهايتي الكروموسوم ويكون الكروموسوم مؤلفاً من ذراع واحد .
- ٤- كروموسوم تحت نهائي التمرکز Subtelocentric
وفيه تقع القطعة المركزية قرب احدى نهايتي الكروموسوم حيث ينقسم الكروموسوم الى ذراع طويل وذراع قصير ويطلق عليه أيضاً Acrocentric .



الامينين اللايمين والارجينين كما يملك كل نوع رئيسي عدة انواع ثانوية ، توجد الهستونات والحامض النووي DNA بنسب متساوية تقريباً في كروماتين اللبائن ويحافظ على هذه النسبة خلال دورة الخلية عن طريق التلازم في بناء الهستون وتضاعف ال DNA تبني الهستونات فقط خلال طور (S-phase) من دورة الخلية وقد اثارت التجارب الى ان اي خلل في تضاعف ال DNA يتبعه هبوط في بناء الهستون والعكس صحيح .

اللاهستونات Nonhistones :

تشمل البروتينات اللاهستونات الكروموسومية جميع البروتينات الكروموسومية باستثناء الهستونات التي تعزل سوية مع ال DNA من الكروماتين ومن الصعوبة عزل ودراسة هذا النوع من البروتينات وذلك للأسباب التالية :

١- انها اقل تلامراً من الهستونات .

٢- ان اللاهستونات تضم على الاقل ٢٠ نوع رئيسي .

النيوكليوسومات Nucleosomes :

عند تحرير الكروماتين من النواة وفحصه باستخدام المجهر الاليكتروني تظهر تراكيب تشبه الخرز وقد تظهر مرتبطة بخيوط دقيقة او روابط او لا تظهر هذه الروابط حيث يعتمد ذلك على طريقة التحضير ويطلق على كل خزرة بالنيوكليوسوم (Nucleosome) وكل منها يصل قطرها (٧-١٠) نانوميتر ، لقد تم اثبات امكانية عزل نيوكليوسوم مفرد بمعاملة الكروماتين بانزيم يسمى Staphylococcal nuclease وبالتالي امكن دراسة مظهره ومكوناته بشكل تفصيلي حيث يظهر ان النيوكليوسوم مؤلف من حلزون ويخرج نفس الموقع من النيوكليوسوم مكوناً لفتين متجاورتين مؤلفة من ١٤٦ زوج من النيوكليوتيدات الخاصة بال DNA ويملا الفراغ المركزي للنيوكليوسوم ثمانية جزئيات من الهستون التي تكون بنماس مع الحلزون في مواقع خاصة تمتلك الهستونات في اللب تركيب منتظم جدا والمؤلف من : جزئيتين من H_2A وجزئيتين من H_2B وجزئيتين من H_3 وجزئيتين من H_4 (H يعني هستون) اما $H1$ فيكون بين النيوكليوسومات ، ان النيوكليوسومات اصغر من ان تكون جينات حيث يعتقد ان الجين بصورة عامة يتألف من حوالي ١٠٠٠ زوج من النيوكليوتيدات ويظهر بانه يحتوي على تسلسلات نيوكليوتيدية خاصة قد تلعب دوراً مهماً في فعاليات تضاعف DNA وعملية تكوين الاتحادات الجديدة (Recombination) والطفرات والاستساح .

الكروموميرات Chromomeres :

عندما تبدأ عملية تكثيف الكروموسومات خلال الطور التمهيدي من الانقسام المايوتوزي او المايوتوزي تتوضح تراكيب تشبه الخرز على طول الكروموسومات في المجاهر الضوئية ، كل من هذه الخرز اكبر بكثير من النيوكليوسوم ويشار الى هذه الخرز بالكروموميرات Chromomeres . ويرى عدد من المتخصصين بالوراثة الخلوية بان الكروموميرات قد تطابق الجينات او مجاميع الجينات هذه الفكرة التي طرحت لأول مرة من قبل ماكلينتوك Macklintoح عام ١٩٣١ ،

الا انها تختلف عنها في ثلاث نقاط هي :

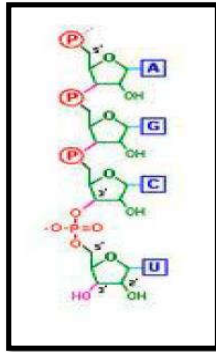
✓ يتألف جزيء RNA من سلسلة خطية مفردة بدلاً من سلسلتين .

✓ يحتوي جزيء RNA على سكر الرايبوز بدلاً من سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين .

✓ يحتوي جزيء RNA على الاساس النتروجيني يوراسيل (U) بدلاً من الاساس النتروجيني ثايمين (T) .

الحامض النووي الريبوي (RNA) RiboNucleicAcid

يوجد ال RNA في معظم العضويات كسلسلة مفردة خطية وهو جزيء متعدد النكليوتيد مع عمود فقري مكون من توالي الفوسفات والسكر حيث ترتبط مجموعة الفوسفات مع ذرة الكربون 5' من السكر الريبوز مع ذرة الكربون 3' من السكر الريبوز المجاور كما في الشكل التالي :



انماط ال RNA

هناك ثلاثة انماط رئيسية من ال RNA :

١- المرسل (m-RNA) Messenger RNA :

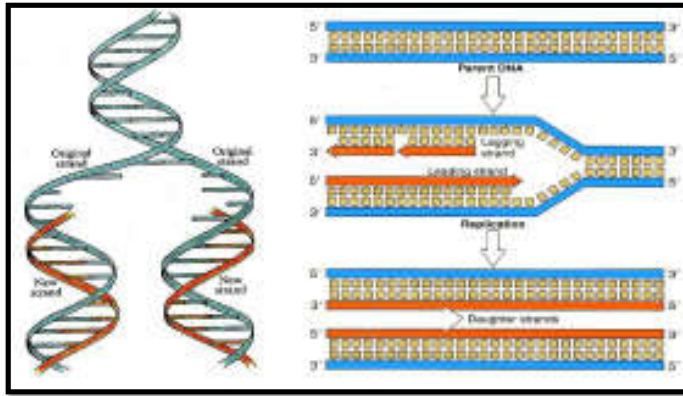
يشكل ٥% او اقل من كمية ال RNA الموجودة في الخلية وهو غير ثابت ويعتبر جزيء مفرد السلسلة وتتألف اسسه من A,G,C,U حيث يمكن ان ينثني خارج الجسيمات الريبية وتزدوج اسسه المتقابلة مشكلاً بنية ثانوية ، تتجلى الوظيفة الرئيسية له بحمل الشفرة الوراثية من النواة الى الساييتوبلازم حيث يتم ترجمتها الى توالي معينة من الاحماض الامينية عند تركيب البروتين .

٢- الناقل (t-RNA) Transfer RNA :

يشكل حوالي ١٥% من كمية ال RNA في الخلايا يتألف من سلسلة واحدة وهو اصغر حجماً من ال m-RNA له بنية على تشتمل على مناطق حلزونية مزدوجة ترتبط بالرابطة الهيدروجينية تشبه ورقة البرسيم ، يمارس دوره اثناء عملية الترجمة حيث يعد عامل نقل كونه يقوم بقراءة الكود (الرمز) ويحمل الاحماض الامينية

(T) في الشريط الجديد دوماً مقابلاً للادنين (A) في الشريط القالب والكوانين (G) في الشريط الجديد دوماً مقابلاً للسايتوسين (C) في الشريط القالب .

يقوم انزيم DNA بوليميراز بتصنيع الشريط الجديد دوماً في الاتجاه من 5' الى 3' ولكن جزيء DNA يتألف من شريطين (سلسلتين) يسيران باتجاه متعاكس (احدهما 5' - 3' والاخر 3' - 5') فان هذا يعني ان يتم التصنيع على احدهما بشكل مستمر دون انقطاع مشكلاً مايسمى بالشريط الاول Leading strand ، بينما يتم تصنيع الشريط الاخر بشكل متقطع معطياً مايسمى بالشريط المتأخر Lagging strand .



تضاعف الحمض النووي: DNA replication

يحدث تضاعف الحمض النووي DNA اثناء انقسام الخلية لتكوين نسخة طبق الأصل تنتقل الى الخلية الجديدة والـ DNA يتكون من شريطين متكاملين يعتبر كل منهما دليل بناء للأخر لان كل شريط يحتوي على قواعد نيتروجينية مكملة للشريط الاخر .

تشتمل الية تضاعف جزئى حمض DNA على فك ارتباط شريطي عديد من النيوكليوتيدات المكونين للجزء بعضها عن بعض وذلك بفك الروابط الهيدروجينية الضعيفة التي تربط بينهما ، ويتبع هذا تراص نيوكليوتيدات جديدة امام كل شريط ، وارتباط بعضهما ببعض بمساعدة انزيم البلمرة DNA polymerase وبذلك يتم تخليق شريطين جديدين من عديد من النيوكليوتيدات وبمعنى اخر فان كل شريط قديم يعمل كقالب يتكون وفقاً له شريط جديد، وبذلك فان كل جزء من الحامض النووي DNA يكون قد تضاعف الى جزئين. ومن المهم ان نذكر ان تتابع القواعد النيتروجينية في الشريط القديم هو الذي يحدد تتابعها على الشريط الجديد .

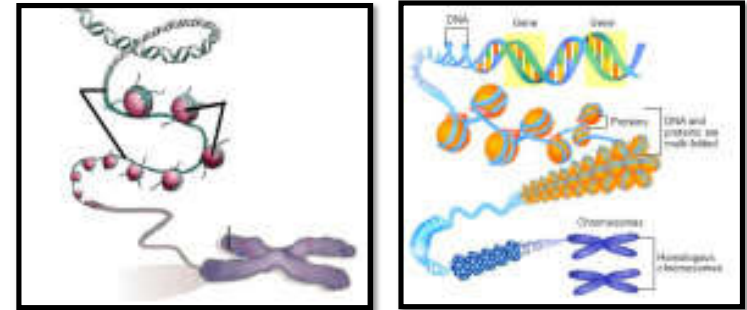
الجدول (1): عدد الكروموسومات في خلايا بعض الكائنات

الكائن الحي	الذكور	أنثى	خلية التكاثر	خلية الجسم	نوع التكاثر	نوع الخلية	الغذاء	البيئة	الموطن	اللون	الوقت	الفترة	الاستجابة	إعدادات	التكاثر	نوع التكاثر	نوع الخلية	
عبد	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ويرجع الاختلاف بين الكائنات التي لها العدد نفسه من الكروموسومات إلى الاختلاف في تركيب

كروموسوماتها، فما تركيب الكروموسوم؟

يتكون الكروموسوم من المادة الوراثية DNA ترتبط مع جزيئات من البروتين تسمى هستون ولكل نوع من الكائنات الحية DNA يختلف في ترتيب جزيئاته وعددها وإلى ذلك يعزى الاختلاف بين الكائنات من حيث الشكل والحجم وغيرها .

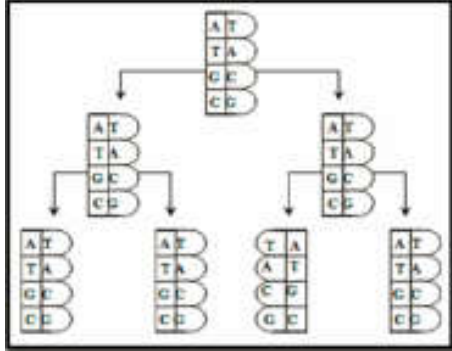


يوجد بالكروموسوم عدة اختناقات :

1- **الاختناق الابتدائي:** يمثل منطقة الحركة بالكروموسوم حيث توجد فيها حبيبة مركزية على جانبيها تتصل ألياف المغزل .

2- **الانقباض الثانوي** هو موقع تخزين الشفرة الوراثية الخاصة بالنبوية

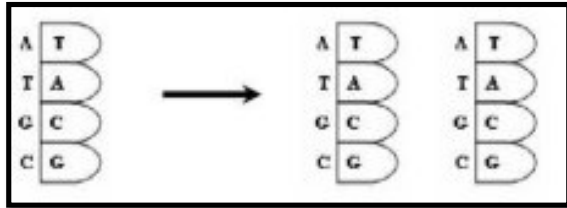
3- **الجسم النجمي (التابع)** هو زائدة مستديرة أو مستطيلة تتصل بجسم الكروموسوم عن طريق خيط كروماتيني



وبعبارة اخرى انه يمكن لكل خيط ابوي في هذه الحالة ان يدير عملية تكوين خيط مكمّل جديد على اساس شروط نظام تزاوج القواعد النيتروجينية السابق ذكره، وبالتالي فكل خيط ابوي يعمل كقالب لخيط جديد فمثلا الجوانين (G) في الخيط الأبوي يعمل كقالب لوضع السيتوسين (C) وايضاً الثايمين (T) في الخيط الابوي يعمل كقالب لوضع الادينين (A) وسميت هذه الطريقة في تكرار DNA بالطريقة شبه المحافظة للتكرار نظرا لان الحلزون الابوي المزدوج يحافظ عليه جزئياً اثناء تكرار الحامض النووي DNA وآلية التكرار شبه المحافظة Semiconservative Replication Mechanism هذه قد تم اقتراحها بواسطة العالمان واسطن وكريك، وهي طريقة بسيطة وتوضح كيفية مضاعفة الحامض النووي DNA .

٢- الطريقة المحافظة لتكرار المادة الوراثية Replication of DNA Conservative

ان الية هذه الطريقة المحافظة هنا تعني بقاء الحلزونات الابوية المزدوجة كما هي بدون ان تنفصل أي بدون تكسر الروابط الهيدروجينية الموجودة بين القواعد النيتروجينية ومن هنا جاءت التسمية انها محافظ عليها تماما. وفي هذه الطريقة فان الحلزون المزدوج يقوم بتكوين حلزون مزدوج جديد مكون من خيطين مخلقين (شكل ٣) يوضح الشكل الالية المحافظة لتكرار DNA (مضاعفة) ويتضح في الشكل ان الحلزون الابوي يبقى كما هو دون ان تنفصل السلسلتين ويستخدم كقالب وتطبع عليه القواعد المقابلة للقواعد النيتروجينية الموجودة في القالب الابوي. وبالتالي ينتج قلب جديد من DNA (وهو المرسوم بالنقط وليس بخطوط متصلة).



تركيب الكروموسوم

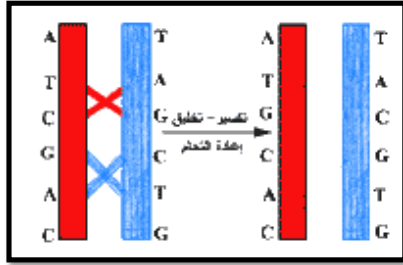
تعرف الكروموسومات بانها اجسام خيطية تظهر عند صبغها تكون غامقة اللون منتشرة في الحامض النووي والكروموسومات كلمة مشتقة من اللغة اليونانية القديمة (مصطلح يوناني) مؤلفة من مقطعين هما Chroma وتعني اللون و soma وتعني جسم وقد استخدم هذا الاسم لأول مرة من قبل الباحث والديير Waldyer عام ١٨٨٠ للاشارة الى التراكيب الخيطية الموجودة في النواة . لقد درست هذه التراكيب بصورة كبيرة مقارنة ببقية العضيات الخلوية ففي العام ١٩٠٣ اشارالباحث سوتون Sutton الى ان المورثات (الجينات) محمولة على هذه التراكيب وقد اثبت الباحث موركان Morgan خلال تجاربه على حشرة الدروسوفيلا وجود الجينات على الكروموسومات ومما يميز هذه التراكيب عن غيرها قابليتها على التكاثر الذاتي والحفاظ على صفاتها الوظيفية والشكلية اثناء انقسام الخلية .

و يتميز الكروموسوم أيضا بالقدرة على التكاثر الذاتي مع الاحتفاظ بخواصه المورفولوجية والسيولوجية خلال مروره في أطوار الانقسام الخلوية المتتابعة قد حظيت الكروموسومات باهتمام بالغ النظر للدور الرئيسي الذي يحمل Genes وتتقل العوامل الوراثية أو الجينات الذي تلعبه في الوراثة و التكاثر و التباين و الطفرات وغيرها توجد الكروموسومات في الخلية كأزواج ففي الإنسان يوجد ٤٦ كروموسوم وهذا يعني أن كل خلية جسمية من خلايا جسم الإنسان تحتوي على ٤٦ كروموسوم تسمى **بالكروموسومات الجسمية (2n) Somatic Chromosomes** أفضل مرحلة لفحص و دراسة الكروموسومات هي مرحلة الانقسام المعروفة باسم المرحلة الاستوائية.

المظهر الخارجي Morphology :

تظهر الكروموسومات على شكل خيوط ملتوية داخل النواة وان طول الكروموسوم وحجمه يتغيران اثناء مراحل دورة الخلية وان اطوار انقسام الخلية هي افضل المراحل لدراسة شكل الكروموسوم وخصوصاً الطور الاستوائي والطور الانفصالي حيث تظهر على شكل اجسام اسطوانية ذات كثافة عالية وتصطبغ بشدة بالصبغات القاعدية يحوي كل كروموسوم منطقة تخرصر تعرف بالقطعة المركزية Centeromere او Kinetochoe والتي تقسم الكروموسوم الى ذراعين .

مجموعات فوسفات مرتبطة بذرة الكربون الخامسة بمجموعة السكر والقاعدة ومع كل ارتباط اثنين من النيوكليوتيدات مع بعضها يتم نزع مجموعتين فوسفات من جزيء النيوكليوسيدات ثلاثية الفوسفات Nucleoside Triphosphates وبما ان سلسلة عديدة من النيوكليوتيد Polynucleotide Chain المخلفة تمتد لتطول بواسطة ربط 5' Phosphate group للنيوكليوتيد القادم بالـ 3' Hydroxyl Group of the Sugar عند نهاية الخيط لذا فالخيط الجديد المخلق من DNA عادة ما ينمو في اتجاه 5' _____ 3'.



واستنادا الى نتائج التجارب المختبرية التي اجريت من قبل العديد من العلماء لكشف لغز الشفرة الوراثية فانه تم التوصل الى صياغة جدول خاص يمثل الشفرات الوراثية ومايقابلها من الاحماض الامينية المسئولة عنها . على فرض ان المعلومات المثبتة في هذا الجدول تنطبق على جميع الاحياء ولم يجد العلماء لحد الان اي دليل على وجود اختلافات في الشفرة الوراثية الخاصة بهذه الاحماض ، فيما اكدت دراسات الطفرات دقة المعلومات .
الجدول التالي يبين الـ 64 كودون والاحماض الامينية لكل منهم ويكون اتجاه mRNA هو من الـ 51 الى الـ 31 .

القاعدة الثالثة				
G	A	C	U	
سوسنتن (UGU (Cys/C	تيروسين (UAU (Tyr/Y	سرين (UCU (Ser/S	فينيل ألانين (UUU (Phe/F	U
سوسنتن (UGC (Cys/C	تيروسين (UAC (Tyr/Y	سرين (UCC (Ser/S	UUC (Phe/F) Phenylalanine	
(UGA Opal (Stop	(UAA Ochre (Stop	UCA (Ser/S) Serine	ليوسين (UUA (Leu/L	
تريبتوفان (UGG (Trp/W	(UAG Amber (Stop	سرين (UCG (Ser/S	UUG (Leu/L) Leucine	C
أرجنين (CGU (Arg/R	هيستيدين (CAU (His/H	برولين (CCU (Pro/P	CUU (Leu/L) Leucine	
CGC (Arg/R) Arginine	CAC (His/H) Histidine	CCC (Pro/P) Proline	CUC (Leu/L) Leucine	
CGA (Arg/R) Arginine	جلوتامين (CAA (Gln/Q	CCA (Pro/P) Proline	CUA (Leu/L) Leucine	A
CGG (Arg/R) Arginine	CAG (Gln/Q) Glutamine	CCG (Pro/P) Proline	CUG (Leu/L) Leucine	
AGU (Ser/S) Serine	أسباراجين (AAU (Asn/N	ثريونين (ACU (Thr/T	ايزوليوسين (AUU (Ile/I	
AGC (Ser/S) Serine	AAC (Asn/N) Asparagine	ACC (Thr/T) Threonine	AUC (Ile/I) Isoleucine	G
AGA (Arg/R) Arginine	لايسين (AAA (Lys/K	ACA (Thr/T) Threonine	AUA (Ile/I) Isoleucine	
AGG (Arg/R) Arginine	AAG (Lys/K) Lysine	ACG (Thr/T) Threonine	متيونين (AUG ^{Met}) (Met/M	
غلوسين (GGU (Gly/G	حمض الأسباريك (GAU (Asp/D	ألانين (GCU (Ala/A	فالين (GUU (Val/V	G
غلوسين (GGC (Gly/G	حمض الأسباريك (GAC (Asp/D	ألانين (GCC (Ala/A	فالين (GUC (Val/V	
غلوسين (GGA (Gly/G	حمض الجلوتاميك (GAA (Glu/E	ألانين (GCA (Ala/A	فالين (GUA (Val/V	
غلوسين (GGG (Gly/G	GAG (Glu/E) Glutamic acid	GCG (Ala/A) Alanine	فالين (GUG (Val/V	



نظرية الارجوحة Wobble Hypothesis :

باعتبار ان الشفرة الوراثية ثلاثية فانه لابد من وجود 64 جزيئة tRNA تحتوي كل منها على تردد خاص يتمكن من الارتباط مع الشفرة الوراثية التي يحملها شريط mRNA والتي تمثل حامض اميني معين ، لكن في الواقع هذه العملية تتم بواسطة 32 جزيئة tRNA مختلف . لقد تم تفسير هذا العدد القليل من جزيئات tRNA من قبل كريك سنة 1966 ووضع نظريته التي تدعى **نظرية الارجوحة** التي فسر فيها العدد القليل