الحامض النووي DNA ودورة الخلية DNA and the cell cycle

تمر الخلية النامية بدورة الخلية المؤلفة بصورة رئيسية من مرحلتين: مرحلة الطور البيني Interphase ومرحلة الانقسام Division يأخذ الانقسام مجراه بواسطة الانقسام المايتوزي او الانقسام المايوزي او آليات اخرى للتكاثر الخلوي. لقد ركز علماء الخلية جهودهم بشكل رئيسي ولفترة طويلة على مرحلة الانقسام حيث استخدم المجهر الضوئي لملاحظة التغيرات الحاصلة اثناء الانقسام. يمكن اعتبار دورة الخلية كسلاسل معقدة لظواهر بواسطتها تنقسم المادة الخلوية بصورة متساوية بين الخليتين الشقيقتين وقبل ان تنقسم الخلية مايتوزياً لابد لمكوناتها الجزيئية الرئيسية من التضاعف حيث يمكن اعتبار الانقسام الخلوي عملية فصل المكونات للوحدات الجزيئية المتضاعفة وباتباع الطرق التقنية المتقدمة امكن التوصل الى ان تضاعف الـ DNA يحصل خلال الطور البيني وبواسطة استعمال التصوير الاشعاعي الذاتي مستعملين الثايميدين المشع (Labeled thymidine) امكن تحديد المرحلة التي يحصل خلالها تضاعف الـDNA في خلية حقيقية النواة. لقد برهنت هذه الدراسات ان عملية البناء (synthesis) تحدث فقط في جزء محدد من الطور البيني مايسمى بفترة البناء (synthetic (S-period period حيث يسبق ويعقب هذه الفترة فترتين هما: G1 و G) G2 تعني فاصلة Gap) والتي لايحصل فيها بناء للحامض النووي DNA في مرحلة G1 يكون مقدار الـ DNA هو X٢ وفي مرحلة S يبدأ تضاعف الحامض النووي DNA وفي خلال مرحلة G2 تحتوي الخلية (X٤) من كمية الـ DNA الموجودة في الخلية الاصلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (n٢) وبعد الانقسام المايتوزي و انقسام السايتوبلازم فان الخلايا الناتجة تدخل ثانية مرحلة G1 وفي هذه الحالة تكون هذه الخلايا حاوية كمية من الـ DNA مساوية لـ X٢. ان من بين المراحل المتنوعة لدورة الخلية تعتبر فترة G1 اكثر تغيراً في معظم خلايا حقيقية النواة وتستغرق كحد ادنى ثلاث الى اربع ساعات وقد تستغرق ايام أو اشهر او سنين أما المرحلتين G2, S فهي ثابتة نسبياً وفي معظم الخلايا يستغرق بناء الـ DNA سبعة الى ثمانية ساعات وتستغرق مرحلة G2 ساعتين الى خمس ساعات ومرحلة الانقسام المايتوزي تستغرق فقط حوالي ساعة واحدة .

بعض المصطلحات الشائعة :

الانقسام الخيطي

ان قدرة الكائن الحي (او الخلية) على التكاثر تعد من الخصائص الاساسية للحياة فان لم يتكاثر هذا الكائن فانه سينتهي سواء كان هذا الكائن احادي الخلية Monocellular organism او متعدد الخلايا Multicellular organism حيث يعاني النوع الثاني من موت او استهلاك عدد كبير من الخلايا يوميا وهذا يتطلب استبدالها او تعويضها بخلايا جديدة لابد ان تنتج عن انقسام الخلايا الاصلية فضلا عن هذا فأن انقسام الخلايا تعد احدى العمليتين اللتين تحققان استمرار النوع من جيل الى جيل حيث تمثل العملية الثانية اندماج الخلايا ففي العملية الاولى تنقسم الخلايا (في الانقسام الاختزالي) وينصف عدد الكروسومات لتكوين الكاميتات ثم يعاد اتحادها (في عملية الاخصاب) لتكوين الكائن الذي يحمل العدد الكامل من الكروموسومات وهكذا فان عملية انقسام الخلايا موجودة في جميع الكائنات الخلوية سواء اكانت احادية الخلية او متعددة الخلايا وعملية الانقسام تتباين في حدوثها حسب نوع الكائنات الحية وهي :

١- الانقسام المباش ر
٢- الانقسام الخيطي (غير المباشر)
٣- الانقسام الاختزال ي

١- الانقسام المباشر Direct division or amitosis

يحدث هذا النوع من الانقسام في بعض البروتوزوا ونادرا وما يحدث في الكائنات العديدة الخلايا تحت بعض الظروف الشاذة جدا والمرضية وفيه تستطيل النواة ثم تضيق تدريجيا في الوسط حتى تصبح بشكل Dumbbell ثم ينفصل النصفان ويضيق السايتوبلازم بالمثل وتنقسم الى قسمين وبذلك تتكون خليتان جديدتان ولايحدث أي تغير في هذا النوع من الانقسام أي لايحدث أي تغير في النواة ولا تتكون كروموسومات وتتكون النواة وهي تقريبا في دور سكون، واذا اختلفت النواتان الجديدتان في الحجم بشكل واضح فتسمى بتبرعم النواة Nuclear budding واذا حدث الانقسام بحيث زاد عدد الانوية الجديدة في الخلية الواحدة عن نواتين فيسمى Nuclear Fragmentation وذلك عند عدم انقسام السايتوبلازم بعد انقسام النواة

٢- الانقسام الخيطي (غير المباشر)

في عام ١٨٨٢م وصف Flemming تفاصيل الانقسام الميتوزي كما اطلق اسم كروماتين على اجزاء النواة القابلة للاصطباغ. وهو الذي اكتشف حقيقة ان الكروموسومات تنشق بطريقة طولية اثناء انقسام الخلية، وهذا النوع هو النوع المعتاد لانقسام النواة في كل من الحيوانات والنباتات الراقية لغرض زيادة عدد خلايا الجسم اثناء

النمو او لتعويض الخلايا المستهلكة او التالفة وترميم الانسجة .

ويلاحظ ان الاصطلاح mitosis يطلق أساسا على انقسام النواة ولو ان الكثيرين يطلقونه على عملية انقسام الخلية باكملها ويمكن تعريفه بانه العملية التي ينفصل فيها النصفين المتماثلين الناتجين من انشقاق الكروموسومات طوليا الى مجموعتين جديدتين تكون كل منهما نواة جديدة، كما يمكن تعريفة بانه العملية التي تقوم بها نواة واحدة لانتاج نواتين جديدتين متماثلتين في الشكل والتركيب لبعضهما وللنواة الاصلية. والتغيرات الطبيعية الكيماوية المعقدة التي تحدث للنواة في الانقسام العادي تحدث عادة في وقت قصير نسبيا.

وتنقسم عملية الانقسام الخيطي الى قسمين هما

١- انقسام النواة Karyokinesis .

٢-انقسام السايتوبلازم Cytokinesis .

اما اذا حدث انقسام النواة دون ان يتبعه انقسام السايتوبلازم ينتج عن ذلك خلية عديدة الانوية يطلق عليها coenocyte كما في slime mold وهي تختلف عن syncytiam وذلك ان الاخيرة عبارة عن كتلة بروتوبلازمية عديدة الانوية تنشأ من اندماج عدة خلايا مثل الخلايا العضلية المخططة stratified muscles يختلف الانقسام الخلوي في الكائنات الحية من نوع لاخر في عدة نواح غير ان العمليات والنتائج الجوهرية هي في اساسها متماثلة في جميع الكائنات ولتسهيل دراستها يمكن تقسيم العملية الى عدد من الادوار لغرض تحديد المسار الزمني للاحداث المستمرة في عملية الانقسام الخلوي وكما تختلف الفترة الزمنية في كل دور باختلاف الخلايا المختلفة.

أ- الدور التمهيدي prophase

تعد الزيادة في حجم النواة اول علامات الانقسام حيث تبدأ الكروموسومات في الظهور في نفس الموضع الذي كانت تشغله في نهاية الانقسام السابق للخلية. وتكون الكروموسومات مزدوجة طوليا ويسمى كل نصف منها كروماتيد Chromatid ويكون النصفان ملتصقان وملتقيان على بعض ويسمى بالالتفاف النسبي ثم تزداد الكروموسومات في القصر والسمك نتيجة تحلزن Coiling كل كروماتيدة، كما ان النوية تتناقص في الحجم حتى تختفي عادة قبيل بدء الدور الاستوائي (بعض علماء الخلية يفسرون تجمع مادة Matrix حول الكروماتيدات الى هذا الحدث) ويحدد انتهاء هذا الدور اختفاء الغشاء النووي وانطلاق الكروموسومات.

وفي الخلية الحيوانية ينقسم الجسم المركزي centrosome (الذي يكون ملاصقاً للغشاء النووي في بداية هذا الدور) وذلك بابتعاد (الكريتين centrioles عن بعضهما واتجاه كل منهما الى احد قطبي الخلية حيث يقف تحركهما عندما تبلغ الزاوية بينهما ١٨٠ درجة تقريباً. وان مكانهما يحدد موضع قطبي المغزل. تم تتكون نبيبات دقيقة microtubules من هاتين الكريتين لتعطيهما شكلاً نجمياً لتسمى بذلك الاشعة النجمية Aster rays ولا نشاهد هذه الاشعة النجمية في الخلايا النباتية لعدم وجود الجسم المركزي.

ب- الدور الاستوائي Metaphase

يميز بدء هذا الدور ظهور المغزل spindle or achromatic figure الذي يختلف كثيرا من حيث التركيب او المنشأ حيث تبدأ الكروموسومات في التجمع في المستوى المتوسط equatorial or metaphase plate بين قطبي المغزل وتتوزع الكروموسومات بالتساوي تقريبا في هذا المستوى فاذا كانت الكروموسومات قصيرة جدا فيبقى كل كروموسوم في هذا المستوى، اما اذا كانت الكروموسومات طويلة فيكون وضعها بحيث يوجد جزء او نقطة معينة ثابتة في كل منها في هذا المستوى تسمى نقطة الاتصال بالمغزل Centromere وقد يطلق عليها Kinetochore or spindle- Fiber attachment region

وقد قسم Darlington سنة ١٩٣٧ تحركات الكروموسومات الى ثلاث تحركات تحدث تقريبا في نفس الوقت وهي

١- تجمع Congression الكروموسومات من اوضاعها المتفرقة المتباعدة داخل النواة الى وضع متوازن بين القطبين .

٢- توجية Orientation اذ تترتب نقطة الاتصال بالمغزل بحيث يصبح كل نصفي كل كروموسوم عند هذه النقطة على محور المغزل .

٣- توزيع distribution اذ تكون نقطة الاتصال بالمغزل بالمستوى المتوسط تماما. وفي الكائنات الراقية وجد نوعين من توزيع الكروموسومات بالمستوى المتوسط للمغزل هما:-

١- تكون نقطة الاتصال بالمغزل على حافة المستوى المتوسط وتوجد اجسام الكروموسومات في السايتوبلازم تاركة وسط المغزل خاليا ويوجد هذا في بعض الخلايا الحيوانية.

٢- تكون نقطة الاتصال بالمغزل موزعة بالتساوي في المستوى المتوسط وهو شائع في النبات.

ويتكون الكروموسوم في الدور الاستوائي من كروماتيدين متضامني الحلزنة مرسلتين جنبا الى جنب ومتصلتين بالمغزل عند طريق القطعة المركزية centromere ولا يكون السنترومير منقسما واما اذا كان منقسما فان شطريه يكونان داخل حويصلة واحدة تسلك كجسم واحد، ويلاحظ في بعض الحشرات ان نشاط السنترومير يكون معبرا عنه ليس بنقطة واحدة ولكن بكثير من النقط على طول الكروموسوم، ويمكن عد الكروموسومات بصورة اسهل وذلك من خلال النظر للخلية من جهة القطب polor view .

وتتكون خيوط المغزل من اعادة ترتيب المواد النووية والسايتوبلازمية ويحتمل انها تتركب من سلاسل بروتينية protein chains وبروتينات دهنية lipoproteins وكمية صغيرة من DNA على هيئة خيط عالي المطاطية، وبعض هذه الخيوط تكون مستمرة من قطب الى القطب الاخر للمغزل وتسمى fibers Continuous في حين يكون البعض الاخر متجهاً من القطب الى القطع المركزية للكروموسومات التي تتصل به chromosomal Fibers.

ج- الدور الانفصالي Anaphase

بعد ان يصل الدور الاستوائي الى ذروته metaphase climax بانقسام القطعة المركزية والذي يعد بداية الدور

الانفصالي وحدث البدء له

the initiating event of anaphase حيث ينفصل كل كروماتيد عن شقيقه (اصبحت الان كروموسومات) ويتجهان الى قطبي المغزل، ويبدأ النصفان في الانفصال دائما عند نقطة الاتصال بالمغزل حيث تكون هذه النقطة دائما في المقدمة نحو قطبي المغزل وتجر ورائها ذراعي الكروماتيدة والتي لايمكنها التحرك من دونها، واذا تصادف وجود كروموسوم خال من السنترمير على المغزل فاما ان يتبع حركة سيل التيارات على طول المغزل واما ان يفشل في التحرك ويبقى lagging كجسم خامل بالقرب من الصفيحة الاستوائية، واذا منع انقسام السنترومير بأي طريقة فسوف يقف انقسام النواة ويتضاعف عدد الكروموسومات بها، وبانفصال نصفي كل كروموسوم عن بعضهما يمكن ان نطلق على كل منها كروموسوم وتظهر في هذا الدور نقطة الاتصال بالمغزل واضحة تماما ويمكن معرفة مكانها، وبعد انتقال الكروموسومات الى منطقتي القطبين تقف حركتهما ان عدد وشكل الكروموسومات التي تذهب الى احد القطبين يساوي تماماً عدد وشكل الكروموسومات التي تذهب الى القطب الثاني والذي يعد بمثابة الدليل البارز على انشقاق الكروموسومات طوليا الى نصفين متماثلين في الانقسام العادي وان كل من هاتين المجموعتين تساوي او تماثل الكروموسومات التي كانت بالنواة الاصلية في العدد والشكل والتركيب الوراثي .

د- الدور النهائي Telophase

يعد وصول مجموعتي الكروموسومات الاختية الى قطبي الخلية بداية هذا الدور، وينتهي بتكوين نواتين جديتين ومعظم التغيرات التي حدثت في الدور التمهيدي تحدث في اتجاه عكسي فتدخل مجموعة الكروموسومات في غشاء نووي جديد وتستطيل الكروموسومات تدريجيا وتنفك حلزنتها وتصبح اقل اصطباغا وتظهر النويات . وتختلف التغيرات التي تحدث بالنواة باختلاف النسيج وسرعة انقسام الخلايا، ففي الانسجة القديمة نسبيا في اطراف الجذور حيث تكون الانقسامات بطيئة نسبيا ويكوين عادة دور سكون بينما في الاجزاء التي بها الانقسام نشط وسريع فانه قد يبدأ دور تمهيدي جديد قبل تقدم الدور النهائي كثيرا.

انقسام السايتوبلازم Cytokinesis

وبعد انقسام النواة يحدث انقسام السايتوبلازم، ويختلف ميعاد انقسام السايتوبلازم بالنسبة لميعاد انقسام النواة وفي الكائنات المختلفة توجد اختلافات كبيرة، ففي الخلايا النباتية يختلف عنه في الخلايا الحيوانية، حيث يلاحظ في الخلايا النباتية ان انقسام السايتوبلازم يبدأ بتكوين الصفيحة الخلوية cell plate في وسط الخلية المنقسمة ثم تتوسع الى ان تصل الجدران الجانبية للخلية الام وبذلك يكون السايتوبلازم قد انقسم الى قسمين. اما في الخلايا الحيوانية فأن انقسام السايتوبلازم يبدأ بتخصر الغشاء البلازمي في منطقة الاستواء ويأخذ هذا التخصر بالتعمق حتى تنفصل الخليتان الجديدتان عن بعضهما ثم تبدأ كل منهما بالنمو... وبهذا فأن انقسام الخلية خيطياً ينتهي بتكوين خليتين جديدتين تحتوي كل منهما على عدد مساوٍ ومشابه لكروموسومات الخلية الام

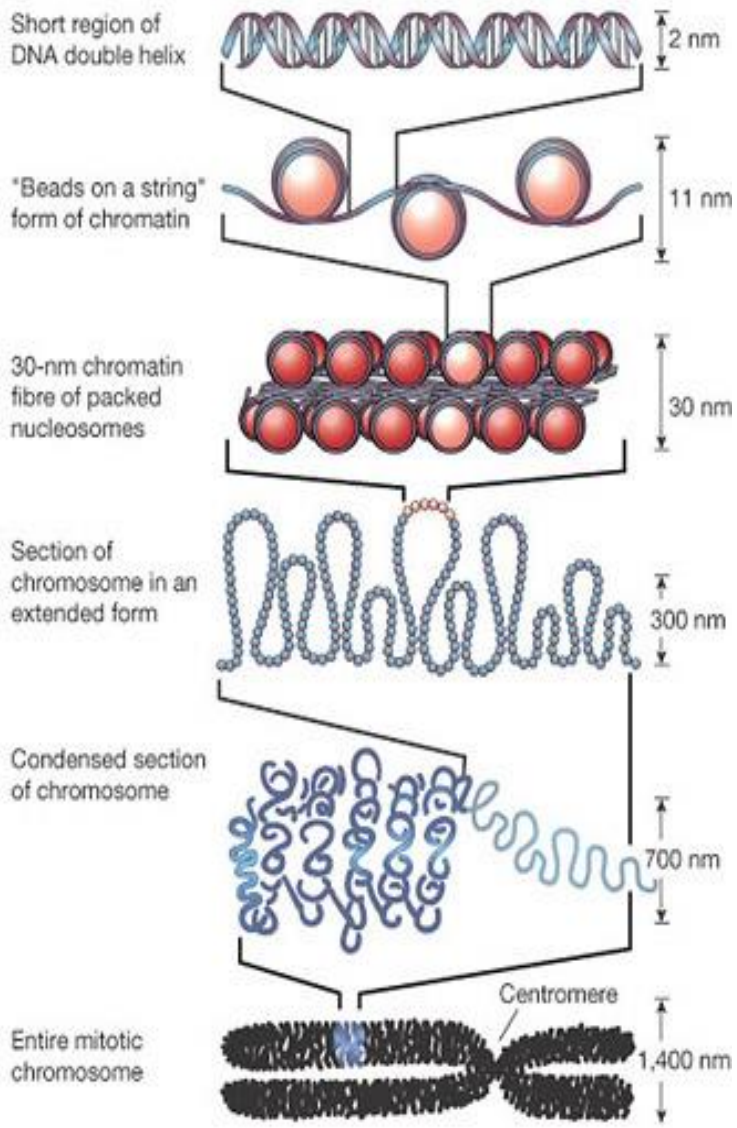
وبعدها تبدأ الخلايا الشقيقة الناتجة من الانقسام بالنمو الى ان تصبح قريبة من حجم الخلية الام

هـ- الدور البيني Interphase

يقع هذا الدور بين الانقسامات والذي يعرف بدور الراحة وفيه تكون النواة غير واضحة التركيب البنائي وتظهر النوية واضحة وكذلك الشبكة الكروماتينية، وتنمو الخلية ويزداد حجمها في هذا الدور، ويفترض انه يحدث خلاله ازدواج الكروموسومات والتي تكون مفردة في نهاية الدور النهائي ومزدوجة (مكونة من كروماتيدين) في أوائل الدور التمهيدي، وهناك اجماع على ان تضاعف الـ DNA في الخلايا الجسمية يحدث في هذا الدور كما تتضاعف الهستونات ومراكز حركة الكروموسومات kinetochores.

الاحماض النوويةNucleic acids

تعرف الاحماض النووية بانها عبارة عن جزيئات كبيرة تحمل المعلومات الوراثية وتكون مسؤولة عن نقل المعلومات الخاصة ببناء البروتينات وتكون الاحماض النووية على نوعين هما.



النوع الاول:

يحتوي هذا النوع على سكر الرايبوز Ribose لذا يطلق عليه الحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid (RNA) .

النوع الثاني :

يحتوي هذا النوع على سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين Deoxyribonucleic acid (DNA)ويتكون كلاهما بشكل بوليمرات خيطية مكونة من وحدات تعرف النيوكليوتيدات Nucleotidesوهذه النيوكليوتيدات ترتبط مع بعضها البعض عن طريق اواصر فوسفاتية ثنائية الاستر Phosphodiester حيث ترتبط مجموعة الفوسفات المرتبطة مع ذرة الكربون٥ (C5) للسكر المكون للنيوكليوتيد الاول مع مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة مع ذرة كربون رقم ٣ (C3) للسكر المكون للنيوكليوتيد التالي له.

مكونات الاحماض النووية Components of Nucleic Acids

تتركب النيوكليوتيدة من ثلاث وحدات بنائية هي القواعد النايتروجينية (بيورين وبايرميدين (Pyrimidine, Purine)والتي ترتبط بجزيئة سكر خماسي قد يكون رايبوز او رايبوز منقوص الاوكسجين بالاضافة الى مجموعة فوسفات ترتبط بجزئ السكر عند ذرة الكربون الخامسة.

أ- القواعد البايريمدينية Pyrimidines

عبارة عن مشتقات من المركب الحلقي غير متجانس والمعروف بأسم البايريميدين ذو الصفة الحلقية وتتضمن القواعد البايريميدينية مركبات اليوراسيل Uracil والسايتوسين Cytocine والثايمين Thyamine ويدخل السايتوسين واليوراسيل في تركيب الحامض النووي RNA بينما يدخل الثايمين Thyamine والسايتوسين في تركيب الحامض النووي DNA وتتميز قواعد البايريميدين بقدرتها على التحولات الايزوميرية .

ب- البيورينات Purines

ان مصدر البيورينات يرجع الى مادة البيورين التي تتكون من التحام البايريمدين سداسية الشكل بحلقة اخرى مؤلفة من ذرتي نيتروجين وذره كربون ومن القواعد البيورينية الادنين (Adenine)والكوانين (Guanine) واللتان تتواجدان في نوعي الاحماض النووية RNA) و DNA)باضافة الى ذلك فهناك مشتقات اخرى للبيورين وتعتبر اقل انتشاراً منها مثل البيورينات الميثيلية والهيدرانشين والزانفيسن وحامض الاوليك .

ج- السكريات Sugars

يحتوي الحامض النووي الرايبوزي RNA على سكر خماسي D-ribose في صفته الحلقية الفيورانوزية بينما يحتوي الحامض النووي الرايبوزي منقوص الاوكسجين DNA على سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين .

د- النيوكليوسيدات Nucleosides

النيوكليوسيد هو عبارة عن المركب الناتج عن اتحاد القواعد البيورينية او البايريميدينية مع السكر الخماسي رايبوز او رايبوز منقوص الاوكسجين فعندما تتحد قاعدة الادينين (A) مع الرايبوز تتكون مادة الادينوسين بينما عند اتحاد الكوانين (G) مع الرايبوز فانه يعطي الكوانوسين وهكذا بالمثل عند اتحاد قواعد البايريميدين مثل السايتوسين (C) واليوراسيل (U)

اما النيوكليوسيدات المناظرة والتي تنتج من اتحاد قواعد البيورين او اليايرميدين مع سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين فانها يطلق عليها مثلاً ادينوسين منقوص الاوكسجين .

هـ- النيوكليوتيدات Nucleotides

النيوكليوتيدات ما هي الا استرات تتكون من خلال اتحاد النيوكليوسيدات (Nucleosides) مع حامض الفوسفوريك وفيها يرتبط الرايبوز منقوص الاوكسجين مع مجموعة الفوسفات عند ذرة الكاربون رقم ٣ من السكر وينشأ عن ذلك تكوين النيوكليوتيدة وكل نيوكليوتيدة ترتبط مع نيوكليوتيدة اخرى بواسطة الاصرة الفوسفاتية ثنائية الاستر لتكوين شريط الحامض النووي.

التركيب النيوكليوتيدي Neucleotide والاصرة الفوسفاتية ثنائية الاستر والاواصر الهيدروجينية.

انواع الحامض النووي الرايبوزيTypes of RNA

ان جزئ RNA يتكون من سلسلة مفردة من متعدد النيوكلوتيد Polynucleotide وتكون على هيئة خيط مفرد وملتف حول نفسه وهناك عدة انواع من الحامض النووي الرايبوزي RNAويدخل في تركيبها القواعد النتروجينية الادنين (A) والكوانين (G)والسايتوسين (C) واليوراسيل . (U) وان هذه الانواع من الـ RNA تختلف عن بعضها في الترتيب النيوكليوتيدي والوزن الجزيئي وتختلف ايضاً في الوظيفة التي يؤديها ومن اهم هذه الانواع ما يلي:

1- الحامض النووي الرايبوزي الرايبوسوميRibsomal RNA

يرمز له بالرمز rRNA ويمثل هذا النوع المكون الرئيسي للـ RNA الكلي في الخلية ويمثل نسبة ٨٠-٨٥% من RNA الكلي يوجد متحداً مع البروتين القاعدي في الرايبوسوم حيث يكون في صورة اجسام كروية تقريباً في اغلب الخلايا ويشكل نسبة ٥٠% من الرايبوسوم.

2- الحامض النووي الرايبوزي الناقلTransfer RNA

ويرمز له بالرمز tRNA ويقوم بنقل الاحماض الامينية المنشطة من السايتوبلازم الى الرايبوسومات حيث تحدث عملية بناء البروتين ولذلك سمي الناقل ويكون وزنه الجزيئي صغير ويختص كل tRNA بنقل حامض اميني من الاحماض التي تدخل في تخليق البروتين ويشكل

tRNAحوالي ١٠-٢٠% من كمية RNA الكلية في الخلية وهو خليط من عدة انواع يتراوح الوزن الجزيئي لها من ٢٥-٣٠ الف دالتون أي ان الوزن يحتوي على ٥٧ نيوكليوتيدة.

3-الحامض النووي الرايبوزي المرسالMessenger RNA

ويرمز له بالرمز mRNA ويوجد اساساً في سايتوبلازم الخلية والنواة ويمثل نسبة ضئيلة من الكمية الكلية لـ RNA ويتراوح الوزن الجزيئي له من ٣٠ الف الى عدة ملايين ويختلف الترتيب النيوكليوتيدي وعدد النيوكليوتيدات في جزيء mRNA باختلاف نوع البروتين المراد تخليقه ومن الناحية النظرية فان عدد النيوكليوتيدات في جزء mRNA لا يقل عن ثلاثة امثال عدد الاحماض الامينية في سلسلة متعدد الببتيد (البروتين) المراد تخليقه في الخلية. يعد mRNAحاملاً للشفرة الوراثية لذلك يكون وجوده في صورة خيطية مستقيمة حيث يرتبط مع عدد من الرايبوسومات التي تمثل مصنع بناء البروتين ويكون mRNA بوزن جزيئي كبير وهو المسؤول عن نقل الشفرات الوراثية من نواة الخلية الى السايتوبلازم حيث تقوم الرايبوسومات بترجمة الشفرة الوراثية الى تسلسل من الاحماض الامينية .

ويتم تخليق الانواع الثلاثة السابقة من RNA في النواة من النيوكليوتيدات الحرة حيث يكون احد خيطي DNA بمثابة قالب (Templet) وتتجمع النيوكليوتيدات حسب خاصية الازدواج القاعدي بحيث يقابل الادنيين قاعدة اليوراسيل ويقابل الكوانين قاعدة السايتوسين ويشترك في عملية البناء انزيمRNA Polymerase