المحاضرة الخامسة

الأساس الكيمياوي للمادة الوراثية

المادة الوراثية :

يعد الحامض النووي منقوص الأوكسجين DNA هو المادة الحاملة للمعلومات الوراثية في جميع الكائنات الحية باستثناء بعض الفيروسات التي تكون فيها جزيئات الحامض النووي الرايبوزي RNA هي المدة الحاملة للمعلومات الوراثية. ولم تكن هذه المعلومات معروفة سابقا حيث كان يعتقد أول الأمر إن البروتين هو المادة الحاملة والناقلة للمعلومات الوراثية إلا إن التقدم العلمي الذي أحرز اثار الشكوك حول هذا الاعتقاد.

فقد لوحظ أن جزيئات ألـ DNA تكون ثابتة ومستقرة في خلايا الكائنات الحية على العكس من البروتينات التي تتغير دائما. كما لوحظ ان جميع خلايا الكائن الحي الواحد تحتوي على كميات متساوية من الـ DNA في حين أن مجاميع الخلايا المختلفة في الكائن الحي الواحد تحتوي على أنواع وكميات مختلفة من البروتينات، مما أدى إلى اتجاه الأنظار نحو الدنا (DNA) بأعتبارها المادة التي تكون على الأغلب هي المسؤلة عن حمل المعلومات الوراثية.

قام الباحث كرفث Griffth عام 1928 م بأجراء تجربته الرائدة التي أثبت فيها قطعاً أن DNA هي المادة الحاملة للمعلومات الوراثة. وقد أجرى كرفث تجربته على البكتريا المسببة لمرض ذات الرئة وهي بكتريا *Diplococcus pneumonia* ، اذ يوجد نمطان مختلفان من خلايا بكتريا *Diplococcus pneumonia*، تكون خلايا النمط الاول محاطة بمحفظة تعطي المستعمرات النامية مظهراً ناعماً وتسمى الخلايا الناعمة(S) Smooth ce1l ويكون هذا النمط مرضياً أي يكون مسئولا عن الاصابة بمرض ذات الرئة وذلك بسبب وجود المحفظة، اما خلايا النمط الثاني فيطلق عليها الخلايا الخشنة Rough cell (R) لانها تكون مستعمرات خشنة المظهر بسبب فقدانها المحفظة وبهذا فهي غير مرضية (لا تسبب الاصابة بمرض ذات الرئة)، وقد لوحظ عند حقن الفئران بالخلايا الناعمة (S) يؤدي الى موتها بعد فترة نتيجة تكاثر هذه الخلايا المرضية في جسمها، الا ان قتل الخلايا الناعمة بالحرارة قبل الحقن سيفقدها التاثير على الفئران . كما لا تظهر الخلايا الخشنة الحية أي تاثير مؤذ على الفئران لانها غير مرضية.

لاحظ كرفث انه عند حقن عدد من الفئران بخليط مكون من عدد قليل من الخلايا الخشنة الحية وعدد كبير من خلايا السلالة الناعمة (S) *Diplococcus pneumonia* المقتولة بالحرارة لاحظ ظهور أعراض المرض الذي تسببه الخلايا الناعمة الحية على عدد من الفئران المحقونة، ومما اثار الدهشة أيضا انه قد تمكن من عزل اعداد كبيرة من الخلايا الناعمة (S) من نماذج الدم المأخوذة من الفئران المريضة مما يشير الى ان الخلايا الناعمة الميتة قد حولت الخلايا الخشنة الحية الى خلايا ناعمة مرضية خلال تواجدهما معا في الفار. تركز البحث بعد هذه السلسلة من التجارب حول طبيعة المادة الموجودة في مستخلص الخلايا الناعمة المسؤلة عن عمليات التحول التي اطلق عليها انذاك اسم مبدا التحول (Transformation principle) .

وقد اكتشف فيما بعد وعلى اثر سلسلة من التجارب ان مبدا التحول هو الحامض النووي DNA ، وكانت التجربة التي أجراها افيري وماكلويد ومكارتي عام 1944 من اولى التجارب التي اثبتت ذلك حيث اضافوا جزئيات DNA محضرة بصورة نقية من الخلايا الناعمة (S) الى خلايا خشنة (R) في انبوبة اختبار ونتج عن هذه الاضافة الحصول على بعض الخلايا الناعمة من نوع (S)، مما يؤكد دور الـ DNA بصورة لاتقبل الشك بكونه هو المسؤل عن نقل الصفات الوراثية ومما يؤكد دور الـ DNA في عملية التحول هو انزيم (DNAase) الذي يعمل على تحطيم جزئيات الـ DNA، فقد وجد ان معاملة الدنا بهذا الانزيم قبل اضافتها للخلايا الخشنة ابطل نهائيا عملية التحول في حين ان معاملة الـ

University of Diyala - College of Agriculture

DNA بانزيم التربسين (Trypsin) والذي يحطم البروتينات فقط لم يكن لـه أي تـاثير علـى عملية التحول ممـا ادى الـى استبعاد احتماليـة وجـود ملوثـات بروتينيـة مـع الـدنا المحضـرة يمكن ان تكون قد قامت بدورما في عملية التحول.

بناء وتركيب ال DNA

يتركب الحامض النووي الـ DNA من سلسلة طويلة من الوحدات البنائية التي تسمى النكليوتيدات، ويتكون كل نكليوتيد من سكر خماسي رايبوزي منقوص الاوكسجين مرتبط بمجموعة فوسفات وقاعدة نتروجينية، علما ان تسلسل القواعد النتروجينية في شريط الدنا هو الذي يحدد الطبيعة الوراثية المميزة لهذه الجزيئات .

وتعود القواعد النتروجينية التي تدخل في تركيب الاحماض النووية الى مجموعتين رئيستين :

1- البيورينات: وتشمل الادنين (A) والكوانين(G).

2- البايرمدينات : وتشمل السايتوسين (C) والثايمين (T) وكذلك اليوراسيل (U) والذي يدخل في تركيب الحامض النووي RNA بدلا عن الثايمين.

ترتبط البيورينات والبايرمدينات مع السكر الخماسي عن طريق اواصر كلايكوسيدية تتكون من ذرة كاربون رقم (1) للسكر الخماسي وذرة النتروجين رقم (1) للبيرمدينات وذرة النتروجين رقم (9) للبيورينات وتدعى الجزيئة الناتجة عن هذا الارتباط بالنكليوسايد.

ولكي يمكن للنكليوسايد ان يكون جزأ من الـ DNA او الـ RNA فلا بد ان يرتبط اولا مع مجموعة الفوسفات ليكون الوحدة البنائية للاحماض النووية والتي تسمى النكليوتايد.

ترتبط النكلوتيدت المكونة للحامض النووي عن طريق اواصر كيمياوية تتكون من مجموعة الفوسفات المرتبطة مع ذرة الكربون رقم (5) للسكر الخماسي لاحد النكليوتيدات وبين ذرة الكاربون رقم (3) للسكر الخماسي للنكليوتيد التالي، وبهذا ستتكون سلسلة من الاواصر القوية التي تدعى بالاواصر الفوسفاتية ثنائية الاستر تحمل النكليوتيدات مع بعضها على طول شريط الـ DNA او RNA.

يكون السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات العمود الفقري لسلسلة نكليوتيدات الـ DNA في حين تبرز القواعد النتروجينية من هذا العمود الفقري، وبما انها جزيئات مسطحة فانها تكون مرتبة الواحدة فوق الاخرى.

University of Diyala College of Agriculture

البناء التركيبي للّولب المزدوج (المادة الوراثية DNA):

اوضح كل من واطسن وكريك لاول مرة عام 1953م البنية الحلزونية المزدوجة للـ DNA حيث وجد هذان العالمان ان الـ DNA يتكون من سلسلتين متكاملتين تلتفان حول بعضهما ليكونا حلزونا مزدوجا منتظما، وتشكل فيه وحدات السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات الجزء الخارجي للحلزون، في حين تبرز القواعد النتروجينية من العمود الفقري الى الداخل وبمستوى عمودي على محور الحلزون، وان كل سلسلة تحتوي على عشرة نكليوتيدات في كل لفة كاملة .

ترتبط سلسلتا الحلزون مع بعضهما عن طريق الاواصر الهيدروجينية المتكونة بين ازواج القواعد النتروجينية، حيث يزدوج الادنين دائما مع الثايمين باصرتين هيدروجينيتين والكوانين مع السايتوسين بثلاث اواصر هيدروجينية.

لقد وضع كل من واطسن وكريك عام 1953 البناء التركيبي للـ DNA حيث افترضا ان هناك سلسلتين من البولي نيكليوتيدات لتشكل اللولب المزدوج او جزيئة مزدوجة وبتطبيق نماذج العصي والكرات البلاستيكية جربا فكرة وضع العمود الفقري المكون من السكر والفوسفات الى الخارج وجعلا القواعد النتروجينية الى داخل اللولب، ولاجل الحصول

علـى تركيـب لـولبي مسـتقر يعطـي الابعـاد الصـحيحة للجزيئـة وجـب ان تكـون القاعـدة النتروجينيــة (A) مقابـل القاعـدة (T) وان تكـون القاعـدة (C) مقابـل القاعـدة (G) وهـذا مايطلق عليه بالازدواج القاعدي **Base – pair** كمـا وجد ان التركيـز المـولاري للقاعدتين (A) و(T) متساويان وكذلك فان (C = G) .

كما اتضح بان (A) تتحد مع القاعدة(T) بواسطة اصرتين من الاواصر الهيدروجينيـة اما القاعدة (G) فتتحد مـع القاعدة (C) بـثلاث اواصر هيدروجينيـة، كمـا وجد العلمـاء بـان نســـبة (G + C)الى نسبة (A + T) تكون ثابتة للنوع الواحد ومختلفة من نوع الى اخر .

ان شكل الحلزون المزدوج والمكون مـن الجزيئـات العملاقـة والطويلـة لــ **DNA** يكـون علـى هيئـة سلم او درج حيث يكـون العمـود الفقـري لهـا مـن سلسـلتين مـن وحـدات السـكر والفوسفات بصورة متبادلة اما درجات السلم الحلزوني فهي ازواج القواعد النتروجينية .

توجد (10) قواعد نتروجينيـة مزدوجـة فـي كـل لفـة مـن لفـات اللولـب المـزدوج وهـذه القواعد تصطف علـى بعضـها الـبعض وتكون المسـافة بين الواحـدة والاخـرى هـي $3.4\ A^\circ$ وبذلك يكون طول اللفة (الدورة الواحدة) $34\ A^\circ$ ويبلـغ قطر الحلزون المزدوج حـوالي $20\ A^\circ$ ، ولكي يحصل الاستقرار الكيمياوي لجزيئة الـ **DNA** يجب ان يكون اتجاه شريطي الــ **DNA** متعاكسين فالاول يكون باتجاه 3 →5 والاخر يكون باتجاه 5 → 3 .

وتختلـف جزئيـات الــ **DNA** فـي مقاومتهـا للحـرارة اعتمـادا علـى طبيعـة القواعـد النتروجينيـة الداخلـة فـي تركيبتهـا. اذ تكـون الجزيئـات الغنيـة بالــ G + C اكثـر مقاومـة للحرارة من تلك الغنيـة بالــ A + T ، وعنـدما تعرض الحلزون المزدوج الـى درجـة حـرارة عاليـة بحـدود 100م° تتكسـر جميـع الاواصـر الهيدروجينيـة التـي تـربط السلسـلتين ويبتعـد الخيطان المتكاملان عن بعضهما وتسمى هذه العملية مسخ الـ **DNA**، وبما ان الـ G تـرتبط بالـ C بواسطة ثلاث اواصر هيدروجينية فان الحرارة اللازمة لفصل خيوط الـ **DNA** الغنيـة بالـ G + C تكون اعلى من تلك اللازمـة لفصل خيوط الــ **DNA** الغنيـة بالــ A + T التـي ترتبط بواسطة اصرين هيدروجينية .

ويمكن اعـادة ارتبـاط خيطـي الحلـزون الممسـوخ كليـا وذلـك عن طريـق التبريـد البطيـئ لمحلول الـ **DNA** الممسوخ، حيث تسمح هذه العملية بالتقـاء الخيـوط المفـردة المتكاملـة ثـم ارتباطهـا معـا عـن طريـق اعـادة بنـاء الاواصـر الهيدروجينيـة بـين الازواج القاعديـة لتكـوين الحلزون المزدوج .

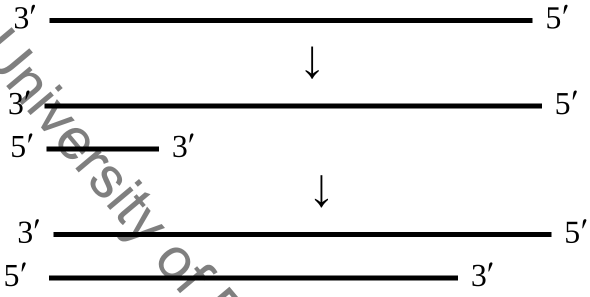
تكرار الـ **DNA** (تضاعف **DNA**) :

من اجل ان تقوم جزئيات الــ **DNA** بخزن ونقل المعلومـات الوراثيـة بصـورة أمينـة، لابد ان تكون لها القدرة على التكرار والتضاعف بصورة دقيقة غير قابلة للخطأ بشكل يؤمن حصـول الاجيـال الناتجـة علـى نفـس الكميـة والنوعيـة مـن المعلومـات الوراثيـة الموجـودة عنـد الاباء.

أوضح واطسن وكريك طريقـة تكرار جزيئـات الــ **DNA** والتـي سميت بطريقـة التكـرار شـبة المحـافظ بنـاءا علـى حقيقـة تكامـل خيطـي الحلـزون حسـب قاعـدة الازواج القاعـدي . وتفترض هذه الطريقـة انفصـال خيطـي الحلـزون عـن بعضـها فـي بدايـة عمليـة التكـرار، حيـث يستخدم كل خيط باعتباره قالبـا يخلـق علـى اساسـه خيط جديد مكمـل حسب قاعدة الازدواج القاعدي لينتج عن ذلك حلزونـان مماثلان للحلزون الاصلي يتكون كل منهمـا مـن خيط قديم واخر جديد، وبنفس الطريقة ينتج عن تكرار هذين الحلزونين اربعـة حلزونـات يتكـون اثنـان منهما من دنـا جديدة في كلا الخيطين في حين تحتوي الحلزونـات الباقيـة علـى خيط جديد واخـر مصـدره الحلـزون الاصـلي ، وهكـذا تسـتمر عمليـة التكـرار بحيـث يتضـاعف عـدد الحلزونـات المزدوجة (الكروموسومات)في كل دورة .

University of Diyala-College of Agriculture

وتتم الية تكرار الـ DNA بوجود انزيم DNA Polymerase المسؤل عن تخليق خيوط الدنا (DNA) الجديدة اثناء عملية التكرار شبة المحافظ من خلال اضافة النكليوتيدات الجديدة بصورة متعاقبة الى الخيط النامي ويتم ذلك حسب قاعدة الازدواج القاعدي باستخدام الخيط الابوي كقالب template في هذه العملية ، وتبدا عملية التكرار بارتباط البادئ وهو عبارة عن قطعة DNA او RNA صغيرة مكملة لتتابع معين في القالب وذات نهاية 0H ـ 3 حرة . يرتبط هذا البادئ مع الجزء المكمل له من القالب بعدها يبدا انزيم DNA polymerase باضافة النكليوتيدات واحدة بعد الاخرى الى النهاية 0H ـــ 3 للبادئ وحسب قاعدة الازدواج القاعدي ، فاذا كانت القاعدة الموجودة في القالب هي A فان القاعدة المضافة للخيط الجديد ستكون T ، وستضاف C مقابل كل G ، وهكذا يستمر الانزيم باضافة النكليوتيدات واحدة بعد الاخرى الى النهاية 0H ـ 3 مما يؤدي الى استطالة الخيط الجديد بالاتجاه 5 ← 3 .



دنا جديدة

تخليق الـ DNA بواسطة انزيم DNA polymerase

وقد اوضحت الدراسات التي اجريت على بكتريا E. coli وغيرها من الكائنات الحية ان تكرار الـ DNA داخل الخلايا عبارة عن عملية انزيمية معقدة يشترك فيها العديد من الانزيمات والعوامل المساعدة وتمر عملية التكرار بثلاث مراحل هي :

1- مرحلة بدا التكرار
2- مرحلة الاستطالة
3- مرحلة الاستئصال والربط

اذ يبدا الكروموسوم الدائري (الحلقي) لبكتريا E. coli دائما من نقطة ثابتة تدعى منشا التكرار حيث ينفك خيطا الحلزون في هذه النقطة ويبتعدان عن بعضهما وعندما يبدا انزيم DNA polymerase بتخليق خيطين جديدين مكملين للخيطين الابويين ، وكلما استطال الخيطان الجديدان استمر انفصال خيطي الحلزون القديم عن بعضهما . وتدعى منطقة انفصال الخيطين الابويين شوكة التكرار . وتستمر استطالة الخيطين الجديدين في كلا الاتجاهين الى ان يصلا الى نقطة على الكروموسوم مقابلة لمنشا التكرار تسمى النهاية terminus التي ينفصل عندها الخيطان الابويان انفصالا تاما وتكمل عملية التكرار بتكوين حلزونين يتكون كل منهما من خيط جديد واخر قديم . تسمى عملية التكرار هذه التكرار ثنائي الاتجاه وذلك لحدوثه باتجاهين متعاكسين حيث يتم تخليق 50% من الدنا الجديدة في كل اتجاه .

هذا فيما يخص تكراركروموسوم البكتريا ، أما في حالة الخلايا حقيقية النواة فأنها تمتلك أكثر من منشأ تكرار واحد في الكروموسوم ويعود السبب في ذلك الى كبر حجم كروموسوماتها مقارنة بكروموسوم البكتريا ، أذ يبدأ التكرار في المناشئ المختلفة وتتم الأستطالة في كلأ ألأتجاهين الى أن تلتقي أجزاء الخيوط الجديدة مع بعضها لتكوين خيوط جديدة كاملة .

الاستنساخ والترجمة :

University of Diyala-College of Agriculture

أن عملية تحويل المعلومات الوراثية المخزونة في ألجين إلى بروتين فعال تسمى عملية تعبير الجين وتمر بمرحلتين أساسيتين هما الاستنساخ والترجمة، حيث تستنسخ المعلومات الوراثية المجودة في الـ DNA إلى جزيئة رنا رسول (mRNA) ثم تقوم الرايبوسومات بترجمة هذه المعلومات المستنسخة لانتاج البروتين .
كما تشمل هذه العملية عددا من عمليات التحوير على البروتين الناتج وذلك لاعطائه شكله النهائي الفعال.

1- الاستنساخ: Transcription

تبدا هذه العملية بتباعد خيطي حلزون الدنا عن بعضهما، ثم يستخدم احدهما قالبا لتخليق جزيئة mRNA التي تنسلخ فيما بعد عن قالب الدنا لتقوم بنقل المعلومات الوراثية الى مواقع صنع البروتينات وهي الرايبوسومات التي تقوم بعملية الترجمة .

2- الترجمة : Translation

تشترك في عملية النرجمة ثلاث انواع من الحامض النووي RNA هيm RNA و tRNA و r RNA بالاضافة الى انواع مختلفة من الانزيمات والبروتينات التي تعمل معا لانتاج البروتين . فبعد ايصال المعلومات الوراثية بواسطة mRNA يعمل الرنا الرايبوسومي rRNA باعتباره منصة لتخليق السلسلة الببتيدية المتعددة في حين يقوم الرنا الناقل tRNA بالتفاعل مع الحوامض الامينية ليؤمن اضافتها بالشكل الصحيح الى سلسلة البروتين النامية . تترجم الرايبوسومات المعلومات الوراثية عن طريق قرائتها للشفرات الوراثية في جزيئة الرنا الرسول mRNA، وتتكون كل شفرة من ثلاث نكليوتيدات تسمى كودون (Codon) تختص بحامض اميني معين، ويتم التعرف على الشفرة (الكودون) بواسطة ضد الشفرة (anticodon) الموجودة على جزيئة الرنا الناقل tRNA المرتبطة بحامض اميني معين . وهكذا كلما قرأ الريبوسوم مشفر معين تقوم جزيئة الـ tRNA باضافة الحامض الاميني المناسب الى سلسلة الببتيد المتعدد .

الصفات العامة الاستنساخ :

الاستنساخ هو عملية تحويل المعلومات الوراثية المخزونة في الـ DNA الى معلومات وراثية مخزونة في جزيئة الرنا الرسول mRNA التي تقوم بنقل هذه المعلومات الى مواضع صنع البروتينات في الخلية، يقوم انزيم الاستنساخ RNA polymerase باستنساخ الجين الى جزيئة رنا رسول mRNA بعملية مشابهة لعملية تكرار الدنا DNA وذلك من خلال اضافته للنكليوتيدات الجديدة الى خيط الرنا الرسولي النامي، مستخدما احد خيطي الحلزون قالبا وحسب قاعدة الازدواج القاعدي، ولكن الاختلاف في هذه الحالة هو اضافة اليوراسيل (U) الى خيط الرنا الرسولي mRNA النامي بدلا عن الثايمين (T) كلما ظهر ادنين (A) في قالب الـ DNA، وباستثناء ذلك فان خيط الدنا يستنسخ بامانة تامة بواسطة انزيم بوليمريز الرنا RNA polymerase وتكون استطالة خيط mRNA بالاتجاه 5 ← 3 كما هو الحال عند تكرار الـ DNA . لذا تكون قطبية الرنا الرسولي mRNA الناتج مخالفة لقطبية قالب الـ DNA .

العلاقة بين الـ DNA والكروموسومات

اي كيفية انتضام الـ DNA ورزمه في الكروموسومات :

من المسائل التي واجهت علماء الوراثة والوراثة الخلوية هي كيفية انتظام جزيئة الـ DNA الطويلة جدا في الكروموسومات داخل الخلية . فبينما نجد ان طول الـDNA كبيرا جدا نلاحظ بالمقابل ان حجم او طول الخلية النسبي هو اقل من طول الـDNA بفارق كبير جدا وحتى لو اخذنا الفيروسات او البكتريا فان المسالة تبدو معقدة جدا. فمثلا في خلية البكتريا *E. Coli* يبلغ طولها (2nm) وقطرها (1nm) اما حلقة الـDNA فيها فتبلغ (1360 nm) وهو ما يكفي للف الخلية بين (400 – 1000) مرة. وفي ذبابة الفاكهة (الدروسفلا) يبلغ طول الـDNA (16000) ناتوميتر وفي خلايا الانسان يكون طول

University of Diyala College of Agriculture

الـDNA في الكروموسومات داخل الخلايا اكثر من مليون ناتوميتر، بينما قطر خلايا معظم الكائنات الحية لايتجاوز بضع نايتوميترات. وعلى هذا الاساس فلابد من نظام معين يتم فيه رزم الـ DNA في الكروموسومات داخل الخلايا .

ان عملية رزم الـ DNA هي من المسائل المهمة في جميع الكائنات الحية (البدائية والراقية) لكنها تبدو اكثر حاجة للاحتكام والتنظيم في الكائنات الراقية (حقيقية النواة) منها في بدائية النواة . وبعد ان اتضح لنا مما سبق بان الـDNA يمكن النظر اليه بانه سلسلة طويلة مكونة من ازدواج النيكلوتيدات، الا ان الكروموسوم يمكن النظر اليه من حيث الحجم والتركيب البنائي على انه مكون من وحدات كروموسومية يطلق عليها اسم النيكلوسومات ترتبط مع بعضها بـ DNA الفاصل التي يمكن وصفها بحبات المسبحة. وهي تمثل الوحدات التركيبية المتكررة في الكروموسومات وتتالف من :

1- (146) جزيئة من النكليوتيدات .
2- البروتينات القاعدية (الهستونات) وهي على خمسة انواع :

[H1, H2a, H2b, H3,H4]، ان الهستونات من النوع (H1) يقتصر وجودها على الـDNA الفاصل فقط اما الانواع الاربعة الاخرى فهي تشترك في تركيب النيكلوسومات . لقد اظهرت الدراسات ان كل نيكلوسوم يتالف من جزيئتين من كل من الهيستونات H4 ,H2b H2a H3,H2,أي ثمانية جزيئات وهي تمثل اللب وتحيط بها قطعة من الـ DNAطولها (146) جزيئة من النيكلوتيدات تدور حول اللب الهيستوني حوالي دورتين . اما الـ DNA الفاصل فيالف من (50 – 60) جزيئة من النكليوتيدات تحيط بالهسيتون H1 . ولكون الهستونات القاعدية موجبة الشحنة والـDNA سالب الشحنة فان ارتباطها يتحقق عن طريق اواصر ايونية .

وعلى اية حالة يبدوان الكروموسوم يتضمن جزيئة طويلة من الـ DNA وليس جزيئات متعددة وعلى هذا الاساس فان الكروماتيد ماهو الا جزيئة واحدة طويلة مفردة من الحلزون المزدوج للـ DNA وهي غير مقطعة، ملولبة ثم تعاد اللولبة لتكوين اللولبة الفائقة والتي تنطوي بدورها لتكوين الكروماتيد .

مستويات تنظيم الكروموسوم المختلفة :

1- الحلزون المزدوج للحامض DNA وهو مؤلف من ازدواج النكليوتيدات .
2- الياف الكروماتين وهي ناتجة من اقتران الهستونات مع شريطي الـ DNA لتكوين سلسلة من النكليوسومات يفصل بعضها عن بعض الـDNA الفاصل ويبلغ قطر الليفة الكروماتينية حوالي (10) nm (أي نفس قطر جزئية النكلوسومات) .
3- النبيب Solinoid وهو ناتج من حلزنة الليف الكروموتيني بحيث يكون دورة كاملة في كل (ستة نكليوسومات) ويبلغ قطر النبيب (30)نانوميتر .
4- تحصل حالة حلزنة للنبيب ليكون الانبوب الاجوف Holow tube وقطره حوالي (nm 200) .
5-الكروماتيد: يعاني الاجوف حلزنة اضافية وانطوءات اخرى لتكوين الكروماتيد وهو المستوى المميز للكروموسومات في الطور الاستوائي ويبلغ قطر الكروماتيد (nm 600).

University of Diyala-College of Agriculture