الفصل الخامس عشر

الكروموسومات THE CHROMOSOMES

بالرغم من أن ولدير ١٨٨٨ كان أول من أطلق هذه التسمية " الكروموسومات " الا أن هوفميتر كان قد سبق بخمسين عاما فى وصفها ، ويمكن تعريف " الكروموسوم " Chromosome بأنه تركيب نووى أى أنه يقع داخل النواة وأنه من مكونات النواة الأساسية . والكروموسومات لها ترتيب خاص ولكل كروموسوم الشخصية المستقلة والوظيفة الخاصة وله القدرة على الاستنساخ الآلى أى الازدواج الذاتى Autoduplication مع احتفاظه بالصفات الخارجية والوظيفية أثناء انقسامات الخلية المتعاقبة .

ولقد لقيت الكروموسومات أهمية عظيمة وذلك للدور الرئيسى الذى تقوم به فى الوراثة والتنوع والطفرة التطور بجانب دورها فى تنظيم التشكل والتكاثر والتوازن بين العمليات الحيوية .

وتظهر الكروموسومات عادة أثناء انقسام الخلية وعند ظهورها تبدو كأجسام قضيبية مصبوغة صبغا شديدا . ويتوقف مظهرها الخارجى على الحالة الوظيفية للخلية . وفى بعض الحالات تبدو الكروموسومات على هيئة خيوط رقيقة وفى بعض الحالات تبدو كأجسام متماسكة .

استمرارية الكروموسومات Chromosome continuity :

من المعتقد أن الكروموسومات تستمر وتبقى أثناء المرحلة البينية ولكنها فى حالة غير مرئية فى معظم الأنوية . وقد افترض أن إختفاء الكروموسومات يرجع إلى ارتفاع المستوى المائى بها ، وتمشيا مع هذا الرأى نجد أن الكروموسومات عندما تدخل المرحلة البينية تمتلئ بالماء وتصبح غير قابلة للتثبيت . وعند ابتداء المرحلة الابتدائية من الانقسام فإن الكروموسومات تتعرض لفقدان جزء من الماء وتصبح قابلة للتثبيت وتبدو مرئية كخيوط مصبوغة صبغا خفيفا. ويستمر تعرض الكروموسومات لفقد الماء ، وبهذا تزداد القابلية للتثبيت خلال المرحلة الابتدائية حتى تصل إلى ذروتها فى المرحلة الإستوائية ، ويتبع هذا أن الكروموسومات تصبح تدريجيا داكنة الصبغة ومتماسكة بتقدم المرحلة الابتدائية .

ويرى جريسون ١٩٤٨ أن عدم ظهور الكروموسومات أثناء المرحلة البينية لا يرجع فقط إلى ارتفاع المستوى المائى ولكن ربما يعود أيضا الى التغيرات التى تتبع انتقال الحامض النووى . ويجب ملاحظة أن وضع الكروموسومات فى المرحلة البينية لا يعرف على وجه الدقة على أه فى جميع الحالات فإن الكروموسومات فى المرحلة المبكرة جدا للمرحلة البدائية تكون منفصلة ذلك لا يوجد " الخلزون المستمر " spireme كما أعلن ذلك بعض المؤلفين القدامى .

الشكل الخارجى للكروموسومات Morphology of the chromosomes

من الثابت أن كل كروموسوم يتكون فى المرحلة الابتدائية من شطرين طوليين يسميان بالكروماتيدتين Chromatids وفى بعض الحالات فإن الانقسام الطولى يظهر بوضوع أثناء المرحلة الابتائية المبكرة . وفى حالات أخرى نجد أن الكروميدتين ملتصقيتن ببعضهما البعض بحيث يصعب تمييز الفاصل بينها . ولا يزال هناك جدل حول المرحلة التى يتم فيها ازدواج الكروموسوم ، فهناك بعض المؤلفين الذين يعتقدون بان الكروموسوم ينقسم استعدادا للإنقسام الخلوى التالى أثناء المرحلة البينية ويعتقد البعض الآخر أن ازدواج الكروموسوم يحدث فى المرحلة النهائية للإنقسام السابق ومن رأى البعض أن الكروماتيدات تتركب من الكروميرات Chromomeres التى ترتبط بعضها البعض بأجزاء غير مصبوغة يطلق عليها بين الكروموميرات interchromomeres ويتم انقسام الكروموسوم عن طريق ازدواج الكروموميرات هذه .

وتتم الدراسة الوافية لكشف الكروموسومات (شكل ٩٥) أثناء المرحلة الاستوائية والمرحلة الإنفصالية لإنقسام الخلية حيث تبدو الكروموسومات على هيئة أجسام اسطوانية ذات قابلية عالية للصبغات القاعدية . كما يمكن أيضا رؤية الكروموسومات فى الحالة الحية بواسطة ميكروسكوب التباين phase contrast وكذلك تظهر امتصاصا شديدا فى الطيف تحت البنفسجى microscope ultraviolet spectrum عند ٢٦٠٠ أنجستروم .

وهناك أربعة أنواع من الكروموسومات شائعة فى كل من الخلية الحيوانية والخلية النباتية (شكل ٩٦) :

١ - كروموسومات وسطية المركز metacentric وهى تأخذ شكل V ويتساوى فيها ذراعا الكروموسوم .

٢ - كروموسومات تحت وسطية المركز أو خطافية الشكل Sub-metacentric أى أن الكروموسوم ذو ذراعين غير متساويين .

٣ - كروموسومات قمة المركز acrocentric : حيث يبدو الكروسوم كBانه قضيب مستقيم ويقع السنترومير عند بداية هذا القضيب .

٤ - كروموسومات نهائية (أو ذيلية) المركز telocentric : وهى Bيضا تقع فيها القطعة المركزية - النترومير - فى نهاية الكروموسوم .

(شكل ٩٥) أنواع الكروموسومات وفقا لموقع السنترومير

(شكل ٩٦) منظر الكروموسوم من الخارج

القطعة المركزية (السنترومير) Centromere :

هى منطقة خاصة على الكروموسوم تلتصق وتعلق بها خيوط المغزل أثناء انقسام الخلية وهذه هى التى تعرف بالقطعة المركزية أو السنترومير (centromere) أو الجزء الأولى

(شكل ٩٦) ، وهى أقل قابلية للصباغة عن المناطق الأخرى للكروموسوم . ويمكن فى بعض الكررموسومات رؤية خيطين رقيقين يخترقان«القطعة المركزية . وهذه الخيوط تسمى الكروموناماتا chdromonemata وفى بعض الحيوانات توجد حبيبة أو جسم كروى صغير كنوسوم (kinosome) فى منتصف كل خيط . ويعتقد هوايت ١٩٣٥) بأن المنطقة غير القابلة للصبغ هى عضو الالتصاق بينما يعتبر دارلنجتون (١٩٣٦) بأن الحبيبة هى العضو الحقيقى للالتصاق غير أن الإعتقاد السائد الآن هو أن اصطلاح القطعة المركزية " يدل على أن المنطقة بأكملها هى منطقة الإلتصاق بالمغزل وكثيرا جدا ما نجد أن الكروموسومات فى الاطوار الإستوائية والإنفصالية تلتوى عند القطعة المركزية ويبدو الكروموسوم وكأنه مكون من جزئين أو من طرفين تفصلهما عن بعضهما فجوة غير مصبوغة .

ويعرف كل من جزئى الكروموسوم الذان يقعان على جانبى القطعة المركزية بالأذرع والتى قد تكون متساوية أو غير متساوية فى الطول معتمدة على موقع القطعة المركزية التى تكون ثابتة بالنسبة لكل كروموسوم . ولهذا نجد أنه تبعا لموقع القطعة المركزية او السنترومير - يأخذ الكروموسوم أشكالا متعددة التى قد تكون وسطية المركز ، تحت وسطية المركز ، قمية المركز ثم نهائية (أو ذيلية) المركز كما سبقت الاشارة . وقد يتغيرشكل الكروموسوم اذا تأثر مثلا بعقار ما فمثلا يتحول الكروموسوم تحت وسطى المركز ، تحت تأثير مادة الكوليتشيسين ، إلى كروموسوم مستقيم ، وعادة يوجد سنترومير واحد لكل كروموسوم وفى هذه الحالة يطلق عليه كروموسوم وحيد السنترومير - أى وحيد القطعة المركزية monocentric ، وقد يكون هناك قطعتان مركزيتان على الكروموسوم الواحد ثنائى السنترومير diplocentric وقد يكون هناك أكثر من قطعتين مركزيتين عديد النسترومير polycentric .

وهناك احتمال كبير جدا بأن للسنترومير علاقة معينة بحركة لكروموسومات أثناء عملية الإنقسام .

الحز (الاختناق) الثانوى Secondary constriction :

قد تحمل الكروموسومات جذورا ثانوية على أحد أو كلا ذراعيها وهذه الحزوز الثانوية ثابتة الموقع بالنسبة لكل كرموسوم . ويمكن تمييز الحز الثانوى عن الحز الأولى Primary constriction (الذى تقع به القطعة المركزية - السنترومير) وذلك لغياب الإنحراف الزاوى الملحوظ بين قطع الكروموسوم على كلا الجانبين (شكل ٩٦).

التيلوميدات أو القطع النهائية Telomeres :

التيلوميرات هى الأجزاء النهائية للكروموسومات . وعند تكسير الكروموسومات بواسطة أشعة إكس يلاحظ أن القطع الناتجة قد تلتحم مع بعضها مرة ثانية عدا القطعة النهائية . لهذا فإنه يبدو أن التيلومير (القطعة النهائية) لها خاصية استقطابية معينة تمنع القطع الأخرى من الإتصال أو الإلتحام بها .

منطقـــة النوويـــــة Nucleolar zone :

يوجد أيضا جزء آخر على بعض الكروموسومات يصعب تمييزه عن الحز الثانوى . ويعرف هذا الجزء بالمنطقة النووية أو منظم النوية nucleolar organizer أو منطقة تكون النوية nucleslus-forming region لأن لها علاقة وثيقة بتكوين النوية . وعادة ما تحتوى كل خلية على كروموسومين يعرفان بالكروموسوماتا النويية nucleolar chromosomes التى تمتلك هذه الخاصية .

ويلاحظ فى الطور الإنفصالى نجد أن التحديد الدقيق لمنطقة منظم النوية غير واضح تماما حيث أن الكروموسوم يكون فى هذا الطور منضغطا والنوية غير موجودة . وفى الطور النهائى عندما تفقد الوسادة الكروموسومية قابليتها للصباغة وتختفى نجد أن النوية تأخذ فى الظهور ويكون ظهوها مرتبطا بالكروموتيمات عند أو قريبا من ذلك الحز . ويجب ملاحظة أن المادة الكروماتينية للنوية مستخلصة من كل الكروموسومات المتواجدة فى النواة ولكن بطريقة ما فإنها تتجمع وتنتظم كنوية فى المنطقة النووية فقط . ولهذا يبدو أن محتويات النوية تنتقل اليها من الكروموسومات .

الجسم النجمى(المطهر) Sateuite :

تعرف القطعة الصغيرة من الكروموسوم التى تلى المنطقة النويية بالجسم النجمى أو ترابانت (شكل ٩٦) والجسم النجمى هو زائدة مستديرة أو مستطيلة تتصل ببقية جسم الكروفوسوم بخيط كروماتينى رقيق . وحجم الجسم النجمى متغير وقد يكون الخيط الكروماتينى قصيرا أو طويلا ولكن هذه الصفات تكون ثابتة دائما بالنسبة لكل كروموسوم معين . ففى الكروموسوم النويى فإن المنطقة المكونة تقع فى الجزء الذى يتصل به الجسم

النجمى بالكروموسوم . ويعتقد أن المنطقة التى تنتج النوية تتكون من :

أ - منظم النوية Nucleolar ogranizor : وهى المنطقة التى تقع فى نهاية الكروموسوم وتتصل ببقية جسم الكروموسوم بواسطة الخيط الكروماتينى .

ب - الجسم النوى Nucleolar body وهو جزء النوية الذى يبدأ تكونها قبل ظهورها نفسها بصورة كاملة .

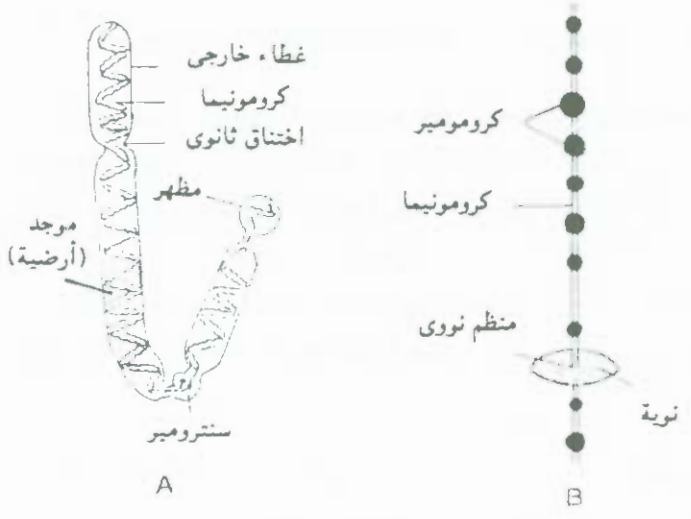
جـ - خيط الجسم النجمى Filament of the satellite وهو امتداد الكروموتيما بدون الوسادة وهو تكوين دائم الكروموسوم .

الكاريوتيب أو الثوابت أو النموذج الكروموسومى Karyotype :

هى أهم المميزات التى تعرف وتحدد فردية الكروموسومات بعضها عن بعض فى الإنقسام غير المباشر (الميتوزى) وتشتمل على عددها ، الحجم النسبى ، التركيب ، السلوك والتنظيم الداخلي بجانب مميزات وصفات أخرى مثل الإنقباض الخطى ودرجة الحلزنة spinal coiling وغيرها .

عدد الكروموسومات : عدد الكروموسومات ثابت فى كل الخلايا الجسمية للنواع الواحد . وهذا العدد ليس ثابتا فقط فى الخلايا الجسمية بل نجد أيضا أن المجموعة الكروموسومية متشابهة أيضا ، أى أن كل خلية جسمية بها العدد الثابت للنوع كما أن المجموعة الكروموسومية متشابهة أيضا من حيث الشكل والحجم . وتوجد الكروموسومات فى معظم الخلايا الحيوانية للنوع الواحد على هيئة ازواج ويتشابه الفردان بالنسبة لكل زوج من أزواج الكروموسومات تشابها تاما فى الشكل والحجم وإن كان كل زوج يختلف عن أزواج المجموعات الكروموسومية الأخرى فى النوع الواحد . ولذلك يطلق على كل زوج بأنها كروموسومات متناظرة homologous chromosomes ولهذا فان مجموعة الكروموسومات الجسيمة هى مجموعة مزدوجة Diploid set (2n) تتكون من مجموعتين فرديتين haploidset (n) ؛ احدى هاتين المجموعتين تأتى من الأب عن طريق الحيوان المنوى وتسمى الكروموسومات الأبوية paternal chromosomes وتأتى المجموعة الأخرى من الأم عن طريق البويضة ، وهى الكروموسومات الأمية maternal chromosomes .

الشكل : شكل الكروموسومات مميز لكل نوع وقد يتغير هذا الشكل تحت تأثير العوامل الكميائية أو الإشعاع . وقد تحدث مثل هذه التغيرات من وقت إلى آخر بصورة تلقائية .



(شكل ٩٧)

(A) شكل يوضح التركيب الداخلى للكروموسوم (B) رسم يبين الكروموسوم فى المرحلة البينية

وتعتمد المقاييس التى تستخدم فى التعرف المورفولوجى على الكروموسومات أساسيا على موقع السنترومير والقطعة المركزية وعلى الحز الثانوى وموقع الجسم النجمى وبعض المعايير الأخرى .

الحجم : حجم الكروموسومات ثابت ونسبى وهام جدا فى تحديد فردية اعضاء المجموعة الكروموسومية . وتختلف الأبعاد النسبية للكروموسومات عادة فيما بينها . وقد يتراوح طول الكروموسوم بين ٢، الى ٥٠ ميكرون . ويتراوح قطره بين ٢، إلى ٢ ميكرون .

هذا وتطلق كلمة " كاريوتيب " Karyotype على مجموعة الثوابت أو الصفات التى يجب أن تؤخذ فى الإعتبار عند التعرف على المجموعة الكروموسومية والكاريوتيب (شكل ٩٨) خاصية مميزة للفرد والعنصر والجنس أو التجمعات الاكبر ويمثل الكاريوتيب

عادة بشكل يعرف بالإيديوجرام idiogram الذى يتضمن ترتيب الكروموسومات حسب نظام عالمى متفق عليه . ويمكن عن طريقه التعرف - ليس فقط على جنسه (ذكر أم اثنى) ولكن ما اذا كان سليما وراثيا أو ان به شذوذا وراثيا ام مرضا وراثيا .

التركيب الداخلى للكروموسومات Internal structure of chromosomes :

يمكن دراسة التركيب الداخلي للكرورموسومات باستخدام طرق خاصة مثل انعكاس أشعة إكس واستخدام الميكرسكوب المستقطب والميكروسكوب الالكترونى أو الأشعة فوق البنفسجية بواسطة التحليل الضوئى وكذلك كيمياء البروتين ودراسة الإنزيمات وتمكن هذه الوسائل من توضيح خيط دقيق يعرف بالكروموتيما chromonema التى تلتف التفافا حلزونيا على طول الكروموسوم . وتوجد الكرمونيما مغمورة فى وسادة matrix تغطى من الخارج بجليد رقيق pellicle وتعمل الوسادة كمادة حشوية تغطى الكروموتيما وتعطيها شكلها الحلزونى .

وتتواجد الكروموتيما فى كل مراحل دورة النواة . ويفترض أن الكروموتيما هى التى تحمل الجينات أو الكروموميـرات وتبدو الوسادة واضحة فقط فى بعض أطوار الانقسام الميتوزى . ويجب الإشارة إلى أن الكروموميرات التى تقع على طول الكروموتيما تبدو مرئية أثناء الطور التمهيدى عندما تكون الخيوط محتوية على المادة الكروماتينية بنسبة أقل ولكنها قلما ترى اثناء الطور الانفصالى . ويجب ملاحظة أن بعض علماء الخلية ينكرون وجود الوسادة ولكن رؤية الحلزون فى كثير من الكروموسومات أثناء الطور الاستوائى يبدو كدليل يثبت وجود الوسادة .

ويشتمل الكرموسوم على لفتين : لفات رئيسية major gyres تتراوح من ١٠ - ٣٠ ثنية ولفات صغرى minor gyres عمودية على اللفات الرئيسية وتتكون من ثنيات صغيرة . ويعتمد عدد الثنيات فى اللفات الرئيسية على طول الكروموسوم ، فالكروموسوم الطويل قد يحتوى على ٢٠ - ٣٠ ثنية بينما قد لا يحتوى الكروموسوم الصغير على أية ثنية كاملة .

ويرجع انقباض الكروموسوم أثناء الطور التمهيدى للإنقسام الى درجة التفاف الكروموتيما التى ينتج عنها التركيب الحلزونى إلا فى موضع الإتصال بالخيوط المغزلية لذلك على هيئة حزم أو اختناق صغير constriction .

وتظهر طرق التثبيت العادية الكروموسومات الاستوائية على هيئة قضبان متجانسة غير أنه باستخدام طرق تثبيت خاصة (التثبيت فى ماء مغلى أو المعاملة ببخار الأمونيا أو الأحماض القوية أو بطريقة فصل الكروموسومات) تظهر أن كل كروماتيده فى الطور الاستوائى تلتف لتكون حلزونا . ويعتقد العالم هوايت أن هذا هو تركيب حقيقى فى الحالة الحية وأن الطرق الخاصة المثبتة تعمل الى حد ما على فصل هذه الثنيات الكروموسومية وبهذا يظهر التركيب الحلزونى . وبمعنى آخر أن هذه الحلزونات لا ترى عادة الا فى الحالة الحية ولا فى التحضيرات المثبتة بالطرق العادية ، ويرجع هذا الى وجود ثنيات الحلزون متصلة ببعضها البعض . وعلاوة على ذلك فقد وجد أن هناك كمية معينة من الحامض النووية تغطى كل هذه التراكيب . وفى النباتات ذات الكروموسومات الضخمة مثل النرجسيات ، فإن التركيب الحلزونى يرى عندئذ بوضوح .

وتمثل الالتفافات عادة صفة يتميز بها كروموسوم ما . وفى بعض الحالات فإن اتجاه الالتفاف يكون موحدا فيكون فى اتجاه عقرب الساعة . وفى بعض الحالات الأخرى فإن هذا الاتجاه يختلف ويتنوع فى الأجزاء المختلفة من الكروموسوم حيث يكون فى اتجاه عقرب الساعة فى منطقة معينة وعكس إتجاه عقارب الساعة فى منطقة أخرى . وقد يتغير اتجاه الالتفاف عند نقطة اتصال المغزل - ولكن هذا ليس ظاهرة أساسية . ويجب ذكر أن الكروماتيدتين لزوج معين من الكروموسومات قد تلتف منفصلة الواحدة عن الأخرى أو قد تلتفان مع بعضهما . ويبدو الكروموسوم فى الحالة الأولى على هيئة 8 فى القطاع العرضى ولكن فى الحالة الثانية فإن الكروموسوم يبدو مكونا من شكلين مستديرين أو بيضاويين داخل بعضهما . ويتعرض الكروموسوم فى الطور النهائى لعملية عدم تكدس اللفات الحلزونية وتفككها .

وعندما تطول المرحلة البينية فإن التركيب الحلزونى قد يختفى قبل بداية الطور التمهيدى ولكن عندما تكون المرحلة البنية قصيرة فان كرموسومات الطور التمهيدى المبكرة تلتف فى حلزون غير متماسك والتى أطلق عليها دارفنجنون (١٩٣٥) " رفاة الحلزون " relic spiral أو بقايا حلزون الطور الإستوائى السابق . وتختفى بقايا الحلزون باقتراب منتصف الطور التمهيدى وعنئذ يبتدئ الحلزون الجديد فى التكوين والنمو فى نهاية هذه المرحلة ويتم تكونه فى الطور الاستوائى . لذلك فإن هناك نوعين من الحلزونيات :النوع الأول

وهو حلزونيات بدأ به الطور التمهيدى المبكر والنوع الثانى الذى يتكون فى نهاية الطور التمهيدى ويكتمل فى الطور الإستوائى . ولهذا فإن حلزونيات الطور الإستوائى ليست استمرارا لحلزونيات الطور التمهيدى .

اختلاف تركيز الصبغ Heteropyknosis :

أظهرت كروموسومات معينة فى بعض الحالات - أن أجزاء معينة منها لها قابلية للأصطباغ بطريقة تختلف عن بقية مناطق الكروموسومات فى النواة الواحدة وأثناء طور أو أطوار معينة من انقسام الخلية . وتعرف هذه الظاهرة بأنها " اختلاف تركيز الصبغ " heteropyknosis . وعند انصباغ كروموسوم أو جزء منه كثافة أشد من مناطق أخرى من الكروموسومات يطلق على هذه المناطق بأنها " ايجابية اختلاف تركيز الصبغة " Positively heteropyknotic واذا صبغت صبغا خفيفا فيطلق عليها بأنها " سلبية اختلاف تركيز الصبغة " (negatively heteropyknotic) - شكل

وظاهرة اختلاف تركيز الصبغة ظاهرة عامة بين الكروموسومات الجنسية ولكنها لوحظت أيضا في الكروموسومات الجسمية فى بعض الحالات مثل القنفد حيث وجد كروموسوم جسمى له " سلبية اختلاف تركيز الصبغة " فى الطور الاستوائى للإنقسام الاختزالى الأول (سايز ودوجاس ودى دوبرتس ١٩٣٦) .

والمعروف أنه يوجد نوع واحد من اختلاف تركيز الصبغة فى أنوية خلايا الكائن الواحد ، غير أنه وجد فى نوع من الجراد كلا من ايجابى وسلبى اختلاف الصبغة معا فى المراحل المختلفة لنمو الخلايا الجرثومية فى الذكر . وأحيانا تعرف المناطق الكروموسومية التى تصير مختلة الصبغة فى بعض مراحل الإنقسام النووى بأنها غير متجانسة أو خاملة الكروماتين heterochromatic بينما تسمى المناطق التى يقل فيها أو تنعدم الصبغة فتعرف بانها " حقيقية الكروماتين أو الكروماتين الفعال " enchromatic. ويقصد عادة بالكروماتين الخامل أجزاء الكرموسومات التى بقيت مركزه أو متكدسة فى المرحلة البينية مكونة النويات الكاذبة أو المراكز الملونة chromocentres ويعتبر الكروماتين الخامل حالة كرموسومية وليس بمادة خاصة .

الكروماتين الجنس (جسم بار) Sex chromatin (Barr body) :

لاحظ العالمان باروبرترام (١٩٤٩) لأول مرةوجود جسم صغير كروماتينى مصبوغا صبغا قائما فى الخلايا العصبية لأنثى القط لا يوجد هذا الجسم فى الخلايا الممثالة للذكر .

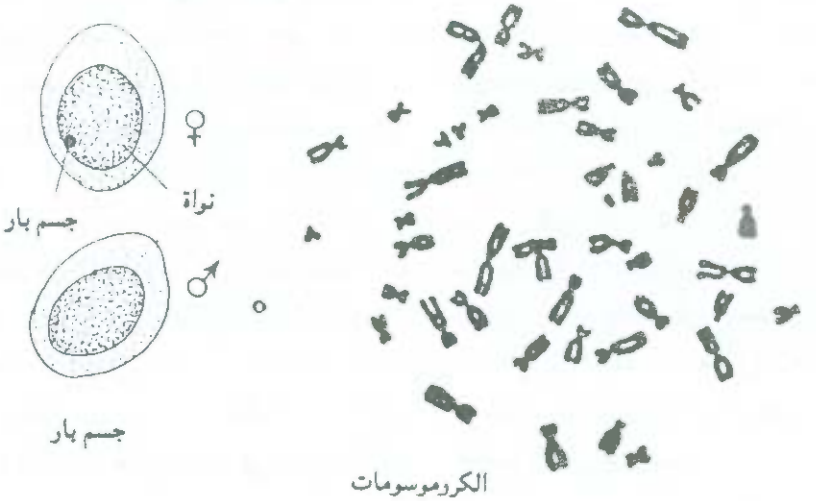
ويقع هذا الجسم على السطح الداخلى للغشاء النووى . وقد قام هذان العالمان بدراسات واسعة على أنواع أخرى من الخلايا فى أنواع أخرى من الحيوانات ، وقد استطاعا دائما توضيح هذا الجسم داخل الانوية . وقد أطلق على هذا الجسم " جسم بار " (شكل ١٠٤) وقد أصبح معلوما أن ظهور جسم بار فى خلايا الإناث ينتج عن وجود كروموسوم (كروموسوم جنسى) تكون فى اللفات الحلزونية ومكدسة بإحكام . ويمتد هذا الحلزون إلى مسافة كبيرة من الكروموسوم أو بأكمله فى الطور البينى . ونتيجة لهذا التحلزن المحكم فإن الكروموسوم يصبغ بشدة ليكون جسم بار ومن المعروف أنه فى حالة وجود كرموسومين جنسين ٢ x فإن واحدا منهما فقط هو الذى يوجد فى حالة نشطة (كروماتين نشط) ويكون الكروموسوم الآخر فى حالة غير نشطة (فى حالة الكرماتين الخامل) . وفى هذه الحالة فقط يظهر جسم بار . وهذا يوضح عدم تواجد جسم بار فى الخلايا الذكرية التى يوجد بها كروموسوم جنسى واحد والذى يجب أن يكون فى مثل هذه الحالة موجودا فى حالة نشطة . والمعروف الآن أن جسم بار يتم اتخاذه كدلالة على جنس الجنين فى رحم الأم خلال الأسابيع الأولى من عمره .

التركيب الكيميائى للكروموسومات Cemistry of the chromosomes :

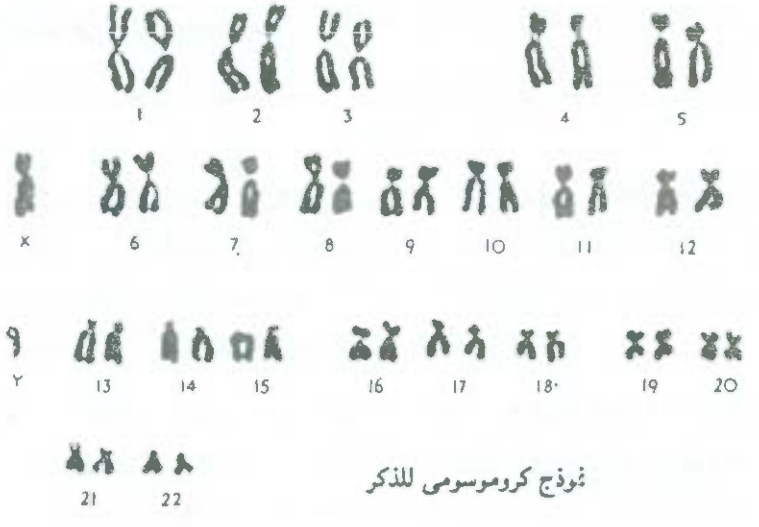
تتكون الكروموسومات من بروتينات نووية بمعنيان البروتينات البسيطة توجد متحدة بالحماض النووية .

ويتكون الجزء البروتينى أساسا من الهستونات فى جميع الخلايا ويظهر البروتامين protamine فقط فى الحيوانات المنوية للأسمال ولكن شدمان وشدمان (١٩٤٣) وصفا نوعا جديدا من البروتين يعرف بالكرموسومين chromosomin فى أنوية الحيوانات المنوية بجانب الهستونات وحامض دى أكسى ريبونيكييك .

وتتكون الأحماض النووية من تجمعات وحدات معينة تعرف بالنيكليتوتيدات nucleotides والنيوكليوتيده عبارة عن جزئ من حامض الفسوسفوريك وجزئ وسكر خماسى وقاعدة من البيورين أو البريمدين . وترجع قابلية الكروموسومات للاصباغ النووية - مثل الهياتكسلين - إلى وجود هذه المجاميع القاعدية .



الكروموسومات



نموذج كروموسومى للذكر

(شكل ٩٨)
الكروموسومات

ويعتقد بعض العلماء أن كروموسوم الطور التمهيدى يتكون من ليفات أو لوفات بروتينية تعرف بالكروموتيما chromonema فى بعض المناطق المعينة لهذه الليفيات مكونة مايشبه العقد التى تسمى بالكروميرات chromomeres غير أن بعض العلماء يعتقد بأن هذه الكروموميرات ما هى إلا مناطق تراكم لفات الكروموسوم وتحتوى المناطق بين العقدية (بين الكروموميرات) inter-chromomeres وهى المناطق الواقعة بين الكروموميرات على كمية قليلة من الحامض النووى أو قد لا يحتوى بالمرة على هذ الحامض ولهذا تبدو دائما عديمة اللون تقريبا فى التحضيرات المصبوغة . وهذا المظهر العقدى للكرموسوم يميز الطور التمهيدى للإنقسام الإختزالى كما أنه يشاهد أيضا فى الانقسامات غير المباشرة . وعندما يختفى الغشاء النووى فإن كمية الحامض النووى تزداد فى الكروموسومات . وحيث أن الحامض النووى يتواجد فى سيتوبلازم الخلايا سريعة الانقسام ولا يتواجد أو يكون بكمية قليلة جدا فى الخلايا التى توقفت عن الإنقسام لذلك فإنه من المحتمل أن يكون الحامض النووى قد أزيل من الستوبلادم وانتقل إلى الكرموسومات عند ابتداء عملية الإنقسام المباشر وكذلك فإنه ينتقل من الكروموسومات إلى الستوبلازم بعد كل إنقسام نووى .

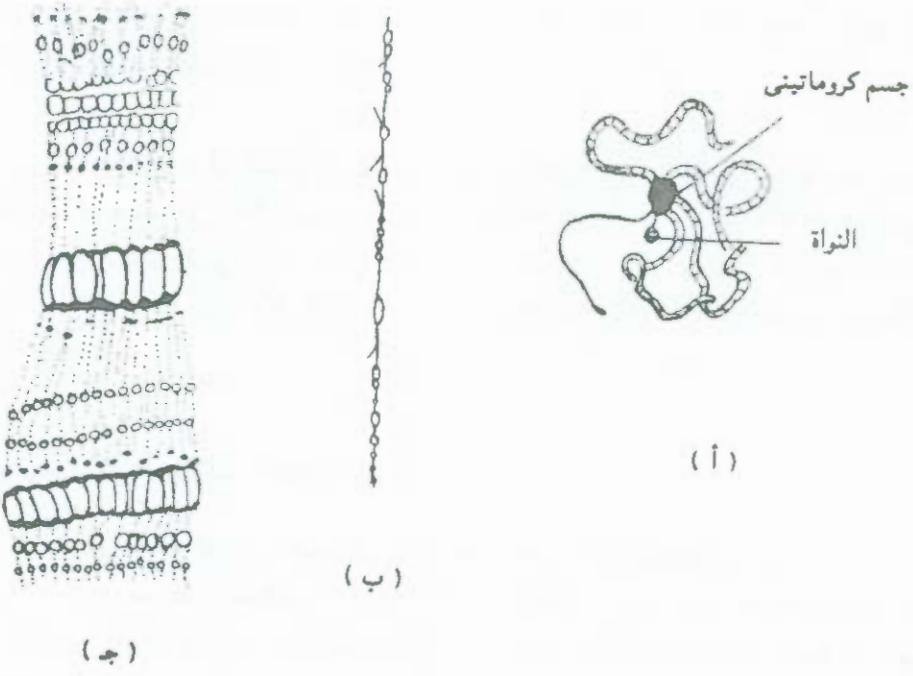
وتختفي النويات فى الطور التمهيدى للإنقسام وتظهر فى الطور النهائى وعادة ما تنشأ مرتبطة بمنطقة معينة على الكروموسوم تعرف " بالمنظم النووى nucleolar organizer وتحتوى النويات على حامض الببونيكليك الذى يتميز به السيتوبلازم ولكن المحتمل ان يتحول نوعا الأحماض النووية كل إلى الآخر وان تلعب النوية دورًا فى نقل الحامض النووى من والى الكروموسومات .

الكروموسومات العملاقة Giant chromosomes

لوحظ فى بعض المراحل المعينة فى دورة حياة بعض الخلايا وجودكروموسومات ضخمة تسمى " الكروموسومات العملاقة giant chromosomes " تتميز بكبر حجمها بجانب كبر حجم كلا من النواة والخلية المحتوية عليها . وتشتمل الكروموسومات العملاقة على الكروموسومات عديدة التضام polytene التى توجد فى يرقات حشرات ربترا (ثنائية الأجنحة) Diptera فى الغدد اللعابية وكذلك الكرموسومات التى تسمى " فرشاة المصباح " lamp brush فى البويضات الأولية فى بعض الحيوانات .

الكروموسومات عديدة التضام Polytene :

يعتبر بالبيانى (١٨٨١) أول من اكتشف الكروموسومات العملاقة عديدة التضام فى خلايا الغدد اللعابية ليرقات بعض الحشرات . وقد قام بعض علماء الخلية مثل هايتزوباور ١٩٣٣ بينتر ١٩٣٤ وكلر ١٩٣٥ بعد ذلك دراسة هذه الكروموسومات وبيان أهميتها بالنسبة للوراثة السيتولوجية حيث أن كروموسومات الغدد اللعابية عادة ما تتكون من أزواج من كروموسومين متناظرين ومتلاصقين وهذان الكروموسومين يظهران كما لو أن بهما شرائط أو أقلام عرضية نتجت من تبادل قطع قابلة للصبغة وأخرى غير قابلة للصباغة وهذان الكروموسومان النظيران يشبهان فى كثير من الأوجه تنائيات الطور الضام .



(شكل ٩٩)

(أ) منظر الكروموسومات العملاقة فى خلايا الغدة اللعابية فى ذبابة الفاكهة (دروسوفيلا) .
(ب) شكل تفصيلى يوضح الكروميرات .
(جـ) منظم الكروموتيما والكروميرات .

ويطلق بعض المؤلفين على هذه الكروموسومات العملاقة تسمية أو " اصطلاح الكروموسومات عديدة التضام " polytene chromosomes لأن وجودها غير مقصور على أنوية الغدد اللعابية لثنائية الأجنحة ولكن توجد فى أنسجة أخرى مثل خلايا طلائية المعى ، وأنيبيبات ملبيجى ، كما توجد في الخلايا العصبية . وفى هذه الحالة فإن كل كرموسوم يزدوج بإحكام بنظيره بمعنى أن كل كروموسومين نظيرين يلتصقان التصاقا تاما علي امتداد طولهما ولذلك فإن عدد الكروموسومات يبدو فردى العدد وليس بالزوجى . ويلتف الكروموسوم التفافا حلزونيا حول نظيره الآخر كالحبل المجدول . لكن يجب ملاحظة أن هذه الكروموسومات لا تلتف التفافا حلزونيا محكما . ويبلغ طول هذه الكروموسومات ٥٠ مرة بالنسبة لطولها فى الطور النهائى للإنقسام الميتوزى .

(شكل ١٠٠)
صورة للكروموسومات العملاقة فى الغدد اللعابية لذبابة الفاكهة

وقد فسر بنيان (تركيب) هذه الكروموسومات العملاقة على أساس أنه حدث فى الكروموسومات العادية انقسامات طولية متتابعة إلى أن تكون كتلة غير منتظمة تشبه الحبل . ومن ثم أطلقت عليها تسمية "الكروموسومات العملاقة " عند جرش (صحن أو طحن) crush كروموسومات الغدد اللعابية تحت غطاء الشريحة وصبغها بالصبغة المناسبة مثل صبغة الأستيوكارمين التى تستخدم للصبغة والتثبيت فإن هذه الكروموسومات تبدو مكونة من سلسلة من الشرائط المعتمة يفصلها عن بعضها مناطق غير مصبوغة تعرف بأنها بين عقدية أو بين الاشرطة interbands وبمعنى آخر فإن الكروموسومات العديدة التضام تظهر كأنها مخططة بوضوح تخطيطا عرضيا ، وهى على ذلك تشبه فى مظهرها الفصلات المخططة .

(شكل ١٠١)

شكل يوضح الكروماتين فى احد كروموسومات الثدييات فى المرحلة الاستوائية

والشرائط المعتمة غنية بالحامض النووى فهى تصبغ بشدة بالصبغات المميزة للأنوية الخامة بالنواة مثل صبغ فولجين Feulgen بينما نجد أن المناطق بين العقدية تحتوى على قليل من الحامض النووي وتبدو المناطق بين الشرائط ليفية المظهر أو اكثر مرونة عن الشرائط ولا تصبغ بالصبغات القاعدية وتختلف الشرائط عن بعضها نتيجة لتراكم الكروموميرات . وهناك بعض الشرائط الكبيرة خاصة تلك التى تتواجد فى المناطق الخاملة من الكروموسوم ، تتكون من كروموميرات حوصلية يطلق عليها أحيانا الكروموميرات غير المتجانسة أو الهيتروكروموميرات heterochromomeres وتتركب بعض الشرائط السميكة من شرائط رقيقة بها العديد من المسافات بين العقدية القصيرة .

وتختلف شرائط الكروموسوم البوليتينى عن بعضه فى الحجم على أنها تحتل مكانا مطابقا فى الكروموسومين النظيرين . ويكون الموضع والحجم والعدد دائما ثابتا فى كروموسوم معين فى أى فرد من أفراد النوع الواحد . ولهذا فإن الخرائط الكروموسومية يتم تجهيزها من كروموسومات الغدد اللعابية لتظهر عدد وموضع الشرائط وعلي ذلك فإنه من السهل التحقق من عدم التنظيم والتغيير فى ترتيب الشرائط ترتيبا خطيا . وحيث أن بعض الشرائط السميكة تكون مركبة بمعنى أنها تتكون من عدد كبير من الشرائط الدقيقة الملتصقة بعضها البعض فإنه من الصعب التعرف على عدد الشرائط فى أى كروموسوم . ويبلغ مجموع عدد الشرائط فى الكرموسوم الجنسى (x) للدوسوفيلا ميلانوجستريربو على ٤٠٠٠ شريطا . وغالبا ما تكون هذه الشرائط مزدوجة بمعنى أن كل شريطين متجاورين يكون لهما نفس السمك ويعتبر كل شريط قرصا حيث أنه يمتد ويحيط بالكروموسوم . علاوة على ذلك فإن كل شريط يتكون من حبيبات عديدة (حوالى ٢٥٦ فى حشرة الكيرومونس) تلتحم ببعضها البعض لتكون منبعجة عرضيا . وتتصل حبيبات الشريط الواحد بحبيبات الشريط الذي يليه بواسطة خيوط دقيقة على كل من الجانبين .

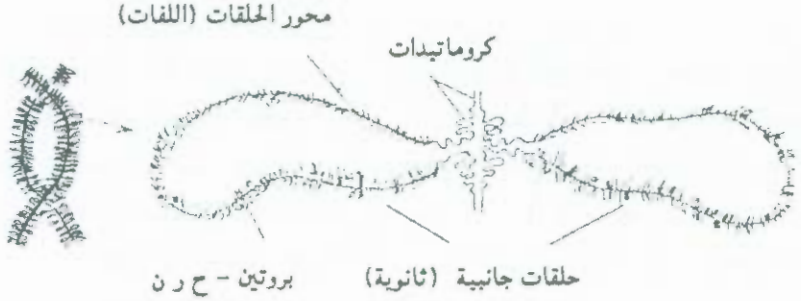
ويلاحظ فى الرووسوفيلا أن المناطق الهيتيروكروماتينية التى توجد حول السنترومير (القطعة المركزية) تلتحم ببعضها نتيجة لتناظرها لتكون كتلة واحدة تعرف بالكروموسنتر chromocentre تتصل بها النوية بواسطة خيط معين (شكل ١٠٥) وفى بعض الحشرات ثنائية الأجنحة مثل كروموسومات الغدد اللعابية للكيروموناس نجد أنها منفصلة وغير مرتبطة ببعضها ولهذا فان الكروموسنتر يكون غائبا . وعدم وجود الكروموسنتر فى مثل ثنائية

الأجنحة يحتل أن يرجع إلى نقص المناطق المتناظرة حول السنترومير (القطعة المركزية) ولدراسة كروموسومات الغدد اللعابيـة أهمية كبرى بالنسبة للتعرف على التركيب الكرموسومى .

طبيعة الكروماتين فى الكروموسومات البوليتينية :

Chromatin nature of polytene chromosomes

تتركب بعض شرائط الكروموسومات البوليتينية " الكروماتين الحيقى " enchromatin ، بيننما يتكون الآخر من " الكروماتين غير المتجانس " heterochromatin .



(شكل ١٠٢)
الكرموسومات الفرجونية

ويعتبر كاسبرسون (١٩٥٠) أن مناطق الكيروماتين الحقيقى تحتوى على حامض دى أكسى / بيونيو كليك (ح ر ن) DNA متحدا بالهستونات وتعطى تفاعلا قويا مع محلول " جمورى للفسفاتيز القاعدى " . وتعتبر هذه المناطق بأنها هى التى تحمل معظم الجينات أما المناطق الهيتروكروماتينية فإنها تحتوى ايضا على DNA ولكن كميته معرضة لتغيرات كثيرة حسب الاحوال الوظيفية أو المرضية . فمثلا وجد أن المعاملة بالتبريد تسبب نقصا في ح ر ن (DNA) . ولهذا فإن هذه المناطق تصبغ بدرجات متفاوتة تبعا لكمية DNA . وتعرف هذه الظاهرة بالهترويكنزية الموجهة Positive heteropyknosis أما تلك المناطق التى تصبغ صبغا

خفيفا فتعرف بالهتروبكنوزية السلبية Negative heteropyknosis للمناطق ، أما المناطق غير المصبوغة أو المناطق بين العقدية فهى سلبية لصبغة الفولجين والتى تدل على غياب حامض DNA .

الكروموسومات الفرشائية (فرشاة المصباح) Lampbrush chromosomes :

هذه الكروموسومات أكثر طولا من الكروموسومات البولينئية . وتشاهد فى خلايا أم البويضات أثناء الانقسام الإختزالى الأول . وتتميز هذه المرحلة بأن عملية النسخ تبلغ مداها فى هذا الوقت ويتكون كل كروموسوم فى هذه الكروموسومات من محور وسطى يحمل العديد من الفروع الجانبية (شكل ١٠٣) ويكتسب الكرموسوم شكل فرشاة الأنبوبة أو فرشاة المصباح . وترجع زيادة نمو هذا النوع من الكروموسومات إلى زيادة حجم الكرموتيماتا .