الباب الرابع
انقسام الخلية النباتية

من الضرورى لحدوث النمو والتكاثر فى الكائنات الحية أن تكون لخلاياها كلها أو بعضها القدرة على الانقسام. فى النباتات الراقية تتخصص بعض خلايا النبات لعملية الانقسام ، وتعرف هذه الخلايا بالخلايا المرستيمية meristematic cells. وأثناء عملية الانقسام يحدث إنتقال للعوامل الوراثية أى الجينات genes ، من الخلايا المنقسمة إلى الخلايا الناتجة عن الإنقسام. وتتكون الجينات من حمض دى أكسى ريبوز النووى (DNA) ، الذى يتميز بقدرته على تكرار نفسه.

تحمل الجينات على الكروموسومات chromosomes التى يتكون منها الشبكة الكروماتينية chromatin reticulum الموجودة فى نواة الخلية. ولكل نوع من النباتات عدد ثابت من الكروموسومات فى خلاياه المختلفة ما عدا الجاميطات فهى تحتوى على نصف العدد الثابت من الكروموسومات ، فمثلاً نجد أن الخلية الطبيعية لنبات القطن *Gossypium barbadense* تحتوى على 52 كروموسوما ، وكلٍ من جاميطاته يحتوى على 26 كروموسوم. كما نجد أن الخلية العادية لنبات الذرة *Zea mays* تحتوى على عشرين كروموسوما فى حين أن كل من جاميطاته يحتوى على عشرة كروموسومات.

تعرف ثلاثة أنواع من الانقسام فى الخلية ، هى الانقسام المباشر ، والانقسام غير المباشر ، والانقسام الاختزالى.

obeikandl.com

الانقسام المباشر

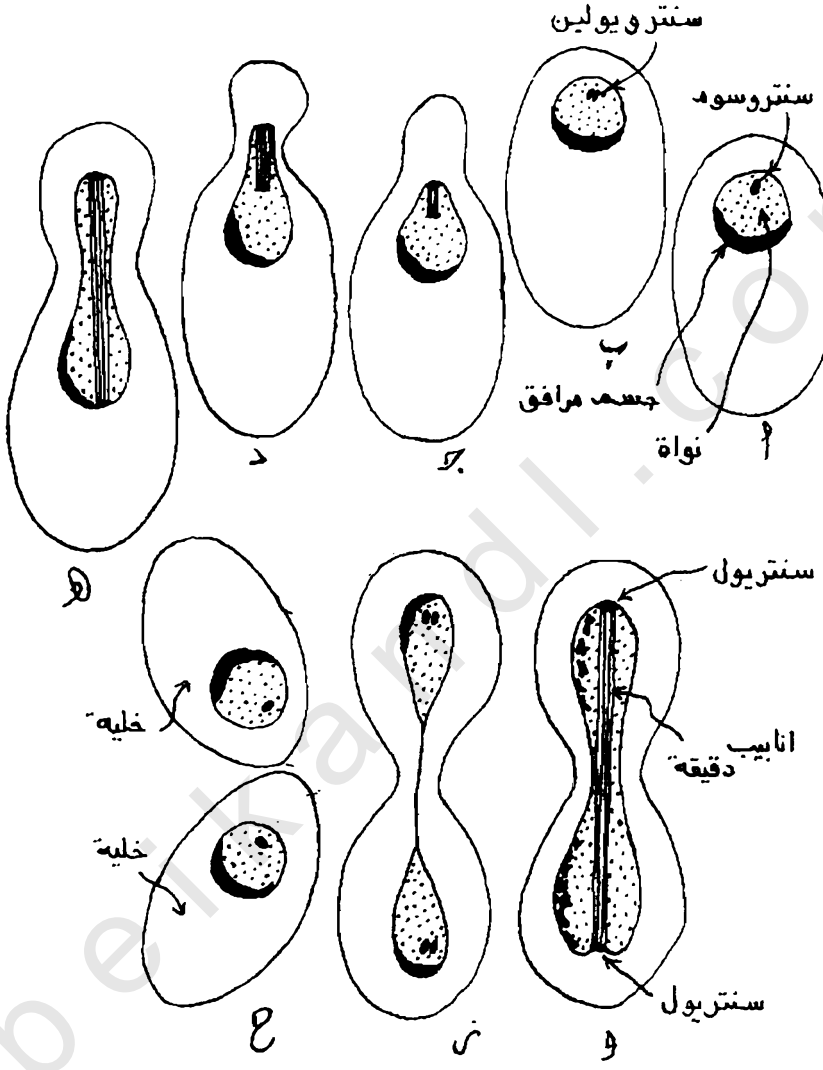
الانقسام المباشر amitosis يعرف أيضاً ، بالانقسام البسيط ، ويحدث عادة فى بعض النباتات الدنيئة وحيدة الخلية كالبكتريا والخمائر. وفى فطر الخميرة تتكون نواة الخلية من جزئين أحدهما كروى موجب لصبغة فولجين feulgen والآخر هلالى سالب لصبغة فولجين ويسمى بالجسم المرافق companion body. ويوجد بداخل النواة أو ملاصقاً لغلافها جسم مركزى centrosome. فى أثناء الإنقسام يستطيل الجزء الكروى ثم يضيق من الوسط ثم ينفصل إلى جزئين متساويين يكونا النواتين الجديدتين. وفى هذه الأثناء يستطيل الجسم المرافق ويتجزأ إلى أجزاء صغيرة حبيبية الشكل تتوزع بالتساوى تقريباً بين النواتين الجديدتين. كما أن السنتروسوم ينقسم أثناء إنقسام الخلية إلى سنتريولين centrioles ويتجه كل سنتريول إلى أحد طرفى النواة ويتحد بغلاف النواة ويصل بين السنتريولين أنيبيبات سيتوبلازمية دقيقة microtubules تشابه خيوط المغزل (شكل 1/4). يلاحظ أنه لا تتميز كروموسومات أثناء الإنقسام.

الانقسام غير المباشر

يعرف هذا الإنقسام أيضاً بالانقسام العادى أو الإنقسام الميتوزى mitosis. ويحدث هذا الإنقسام فى الخلايا المرستيمية غير المختصة بالتزاوج. وفى الإنقسام غير المباشر يحدث أولاً إنقسام للنواة إلى قسمين متساويين تماماً. وتسمى مرحلة إنقسام النواة karyokinesis ، ويعقب عادة ، إنقسام النواة مباشرة إنقسام السيتوبلازم cytokinesis لتتكون بذلك خليتان مشابهتان تماماً لخلية الأم.

وأحياناً يحدث إنقسام النواة ولا يعقبه إنقسام السيتوبلازم ، فينتج عتن ذلك خلية ذات نواتين ، إذا تكرر ذلك ينتج خلية عديدة النوايات ، وتعرف مثل هذه الخلية بالخلية السينوسيتية coenocyte ، كما فى بعض الأنابيب اللبنية وبعض الفطريات والطحالب.

يحدث الإنقسام غير المباشر على خطوات خمسة متتابعة (شكل 3/4) كما يلى :



(شكل 1/4) : الانقسام المباشر

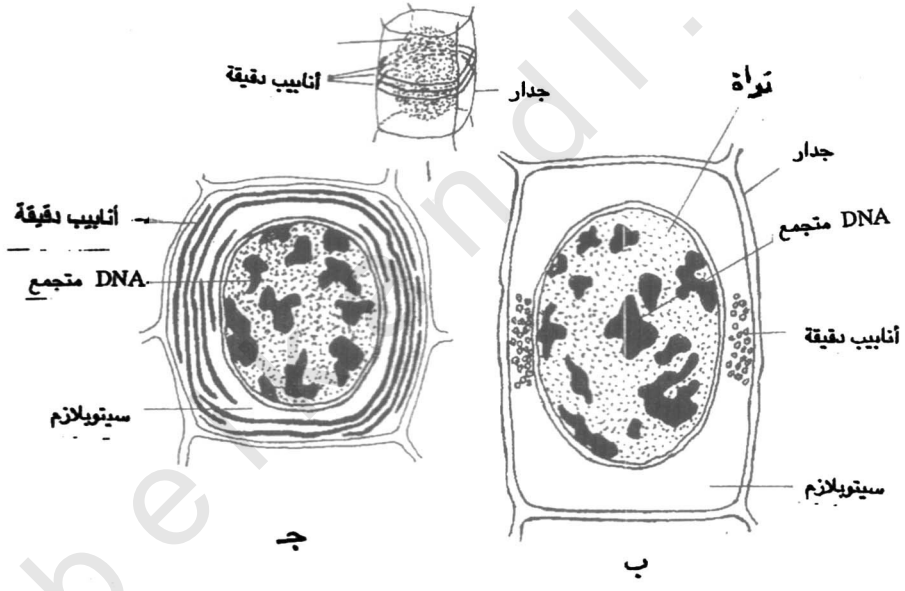
خطوات الإنقسام المباشر فى الخميرة

obeikandl.com

(أ) الطور الوسطى (البينى) Interphase

خلال هذا الطور تنشط الخلية حيوياً لتوفير كميات المواد المكونة للسيتوبلازم والمادة الكروماتينية بالنواة التى تلزم لتكوين خليتين جديدتين ، ولهذا فإنه إذا بدأت الخطوات التالية فى الإنقسام فإن الإنقسام لن يتأثر مطلقاً بالتغيرات البيئية التى قد تقلل من وصول متطلبات النمو والإنقسام إلى الخلية.

وخلال هذا الطور يحدث تضاعف للأحماض النووية DNA المكونة لكروموسومات الخلية ، وكذلك تتضاعف الأحماض النووية RNA والبروتينات التى تدخل فى تركيب الكروموسومات. وفى نهاية هذا الطور تكون نواة الخلية



(شكل 2/4) : أنابيب دقيقة فى بداية انقسام الخلية

أ) خلية فى بداية الانقسام
ب) قطاع طولى فى خلية
جـ) قطاع عرضى فى خلية

obeikandl.com

أكبر حجماً من نواة الخلايا غير المنقسمة كما أن السائل النووى يكون حبيبى دقيق (شكل 3/4 أ)٠

ويعتقد أن الأنابيب الدقيقة microtubules هى التى تحدد مكان الإنقسام للخلية حيث تتجمع وتحيط بالنواة فى هذا المكان وتكون موازية للصفيحة الخلوية التى ستتكون بعد إنقسام الخلية (شكل 2/4)٠

(ب) الطور التمهيدى Prophase

فى بداية هذا الطور تنفصل الشبكة الكروماتينية إلى الكروموسومات التى تتكون منها ، ويظهر كل كروموسوم كخيطين رفيعين يلتفان حول بعضهما ويلتقيان معاً فى منطقة ثابتة بالنسبة لكل كروموسوم ، وتعرف هذه المنطقة بالسنترومير centromere ، كما يعرف كل خيط من الكروموسوم بالكروماتيد chromatid٠ تقصر الكروموسومات وتسمك كما تغلف بمادة شديدة القابلية للصبغ تعرف باسم ماتركس matrix٠ أثناء ذلك تصفو منطقة بيضاوية حول النواة بأن تنتقل منها البلاستيدات والميتوكوندريات والأجزاء الكبيرة الأخرى٠ وتحدد هذه المنطقة الأقطاب ومستوى الإنقسام٠ وفى نهاية هذا الطور يختفى الغلاف النووى والنويات (شكل 3/4 ب ، جـ)٠

(جـ) الطور الاستوائى Metaphase

فى بداية هذا الطور تكون الكروموسومات متصلة بالميتوبلازم مباشرة ، ثم تتكون خيوط دقيقة تشع من نقطتين فى طرفى الخلية يعرفان بالقطبين poles ، وتتقابل الخيوط الدقيقة التى تعرف بخيوط المغزل spindle عند خط استواء الخلية٠ هذه الخيوط عبارة عن أنابيب دقيقة تتكون من الميتوبلازم٠ تتحرك الكروموسومات إلى نقطة تقابل خيوط المغزل ، فتتصل السنترميرات ببعض خيوط المغزل ، وتسمى خيوط المغزل المتصلة بالسنترميرات بالأنابيب الدقيقة الكروموسومية chromosomal microtubules ، وتسمى خيوط المغزل الأخرى بالأنابيب الدقيقة المستمرة continuous microtubules (شكل 3/4 د)٠

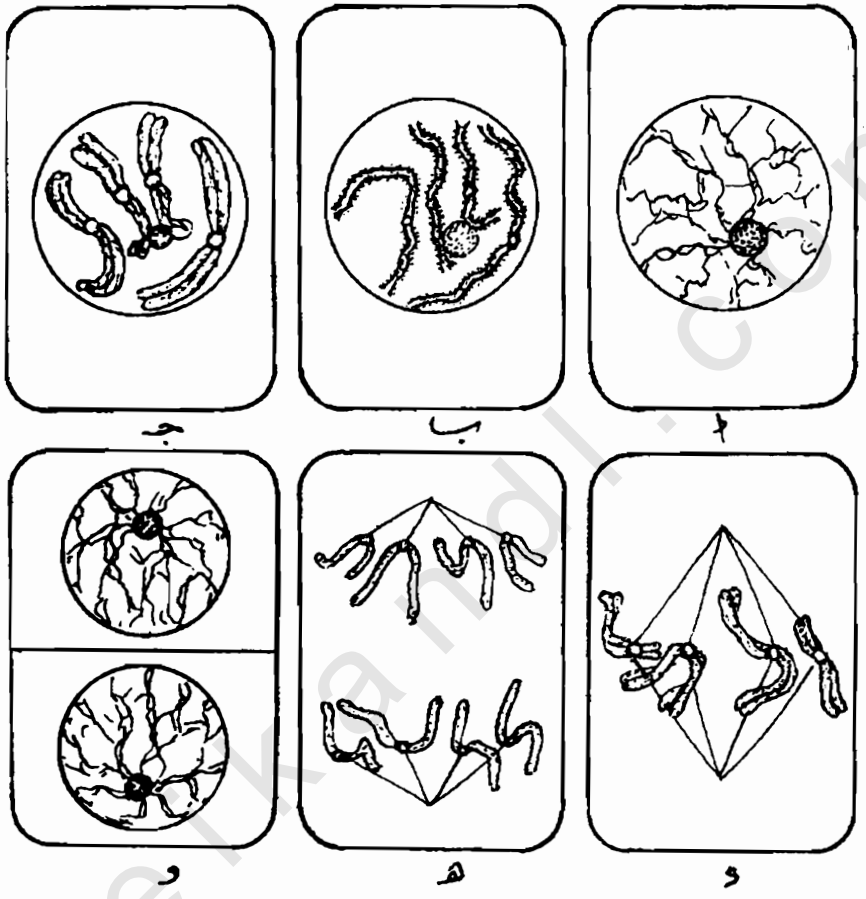
(د) الطور الانفصالى Anaphase

فى بداية هذا الطور تنشق السنترومیرات وبذلك ينفصل كروماتيدى كل كروموسومين ويصبحان كروموموميين متشابهين ، وبذلك يصبح فى الخلية ضعف العدد العادى من الكروموسومات ، يتحرك كل من الكروموسومين المتشابهين الناتجين عن إنشقاق السنترمير ، فى إتجاهين متضادين نحو قطبى المغزل ، وبذلك يتجمع عند كل قطب عدد من الكروموسومات مساو للعدد الأصلى من الكروموسومات ومشابه له (شكل 3/4 هـ)٠

ميكانيكية حركة الكروموسومات تجاه الأقطاب غير معروفة بالضبط ، إلا أنه من المعروف أن الأنابيب الدقيقة الكروموسومية تقصر بينما الأنابيب الدقيقة المستمرة تتمدد أثناء حركة الكروموسومات نحو الأقطاب٠ ويفترض أن مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات الذى يرمز له بالرمز ATP هو مصدر الطاقة فى هذه العملية٠

(هـ) الطور النهائى Telophase

يحدث فى هذا الطور تغييرات عكسية بالنسبة لما حدث فى الطور التمهيدى ، فتتلاشى مادة الماتركس المغلفة للكروموسومات ، وتقل قابلية الكروموسومات للصبغ ، وتصبح الكروموسومات أطول وأرفع٠ تظهر النوية أو النويات ، ودائماً تتصل النوية بكروموسوم ثابت فى كل مجموعة كروموسومية ، وفى موضع ثابت منه ، تتشابك الكروموسومات مكونة الشبكة الكروماتيدية٠ يتكون الغلاف النووى من الشبكة الاندوبلازمية ، وبذلك يتم تكوين نواتين داخل الخلية٠ تستمر خيوط المغزل بين النواتين الجديدتين٠ يتكون عند خط إستواء المغزل حويصلات ناتجة من جهاز جولجى ، تتجمع وتلتحم مكونة الصفيحة الخلوية وغشاءان بلازميان على جانبى الصفيحة الخلوية والتى تتحول فيما بعد إلى الصفيحة الوسطى ، التى يترسب على كل من جانبيها جدار ابتدائى ، وبذلك ينتهى هذا الطور بتكوين خليتين جديدتين تحتوى كل منهما على العدد الأصلى من الكروموسومات (شكل 3/4 و)٠



(شكل 3/4) : خطوات الانقسام غير المباشر

١) الطور الوسطى
ب ، جـ) الطور التمهيدى
د) الطور الاستوائى
هـ) الطور الانفصالى
و) الطور النهائى

الانقسام الاختزالى

يعرف الانقسام الاختزالى ، أيضاً ، بالانقسام الميوزى meiosis ، ويحدث هذا الانقسام فى النباتات الراقية عند تكوين الجاميطات ، وتحتوى الجاميطات الناتجة عن الانقسام على نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأم المنقسمة. وتختلف عادة كروموسومات كل جاميطة من الجاميطات الناتجة من خلية أم واحدة فى نوع الجينات المحددة للصفات المختلفة. وعند حدوث التزاوج بين نواة الجاميط المذكر مع نواة الجاميطة المؤنثة ينتج الزيجوت الذى يحتوى على نفس عدد الكروموسومات الأصلية فى الخلايا العادية لنباتات الأبوين ، وتكون العوامل الوراثية فى الزيجوت بعضها ناتج عن الجاميط الأب والبعض ناتج عن الجاميطة الأم.

فى بعض النباتات لا يرتبط الانقسام الاختزالى ارتباطاً مباشراً بتكوين الخلايا الجنسية ، فنجد أن الخلايا الناتجة عن الانقسام الاختزالى تنقسم عدة مرات قبل تكوين الخلايا الجنسية. فكثير من الطحالب الخضراء والفطريات والحزازيات تحتوى نواياتها على العدد الأحادى من الكروموسومات ، أى نصف العدد الأصلى من الكروموسومات ، ويستمر ذلك معظم دورة الحياة ويسمى هذا الطور من دورة الحياة بالطور الجاميطى gametophyte . وأن العدد الثنائى من الكروموسومات لا يشاهد إلا فى فترة قصيرة من دورة حياة الكائن الحى والتى تسمى بالطور الجرثومى sporophyte .

والانقسام الاختزالى فى معظم النباتات يتكون من انقسامين متتاليين ، وينتج عنهما تكوين أربع جاميطات من كل خلية أم. فى الانقسام الاختزالى الأول meiosis I يختزل عدد الكروموسومات إلى النصف ، وفى الانقسام الاختزالى الثانى meiosis II يبقى عدد الكروموسومات كما هو لأنه انقسام غير مباشر (شكل 4/4).

ويحدث الانقسام الاختزالى فى خطوات متتابعة كما يأتى :

أولاً : الانقسام الاختزالى الأول

(أ) الطور التمهيدى الأول Prophase I

فى بداية هذا الطور تحتوى نواة الخلية على عدد ثنائى من الكروموسومات ينتج عن وجود مجموعتين متماثلتين من الكروموسومات. تتجمع خلال هذا الطور الكروموسومات المتماثلة فى أزواج ثم تتنافر. تقصر الكروموسومات وتزداد فى السمك ، وفى نهاية الطور تكون النوية أو النويات والغلاف النووى قد تلاشت ، ويمكن تقسيم هذا الطور إلى خمس مراحل كما يأتى

1) المرحلة القلادية Leptotene : تظهر الكروموسومات كخيوط طولية ورفيعة ملتوية ، تظهر عليها انتفاخات حبيبية مختلفة الحجم ، تقبل الصيغات بشدة وتسمى كروموميرات chromomers. عدد الكروموميرات وأحجامها ومواضعها على كل كروموسوم ثابتة لكل كائن حى (شكل 4/4 أ).

2) المرحلة التزاوجية Zygotene : تقترب الكروموسومات المتماثلة من بعضها ، ويلتصق كل زوج منها فى عدة مواضع متماثلة على طول الكروموسومين (شكل 4/4 ب).

3) المرحلة الضامة Pachytene : ينشق كل كروموسوم طولياً إلى كروماتيدين يلتقيان معاً فى السنترومير. ويلتف كل كروموسوم مع الكروموسوم المماثل له ، وبذلك تكون الكروماتيدات موجودة فى مجاميع رباعية chromatid tetrads وينتهى هذا الطور بزوال قوى الجذب الموجودة بين كل كروموسومين متماثلين. يبدأ كل كروموسوم فى الابتعاد عن مثيله (شكل 4/4 جـ).

4) المرحلة الانفراجية Diplotene : عند ابتعاد كل كروموسوم عن مثيله فإنه لا ينفصل عنه تماماً ، حيث أن الكروماتيدة الداخلة من كل كروموسوم تتصل بمثيلاتها فى الكروموسوم الماثل ، وتسمى منطقة الاتصال لكل كروماتيدين باسم كيازما chiasma ، وقد يكون الاتصال فى أكثر من كيازما. ويكون عدد الكيازمات فى كروماتيدات الكروموسومات الطويلة أكثر من عددها فى كروماتيدات

الكروموسومات القصيرة. وعند زيادة ابتعاد كروموسمى كل زوج قد يحدث كسر فى مواضع الكيازمات يعقبه التحام بالتبادل بين جزئى الكروماتيدين المنكسرين ، ويؤدى هذا إلى حدوث العبور الوراثى crossing over (شكل 4/4 د).

5) المرحلة التشتتية Diaknesis : يصل التنافر بين كل كروموسومين متماثلين إلى ذروته ، وتقصر الكروموسومات ، وتزداد فى السمك ، ويصعب مشاهدة الكروماتيدات فى كثير من الأحوال وتختفى النوية أو النويات والغلاف النووى (شكل 4/4 هـ).

(ب) الطور الاستوائى الأول Metaphase I

يتكون القطبان وخيوط المغزل ، ثم تتحرك الكروموسومات وتصطف عند خط استواء خيوط المغزل متصلة بها عند السنترومیرات ، تتجاور الكروموسومات المتماثلة فى أزواج (شكل 4/4 و).

(جـ) الطور الانفصالى الأول Anapase

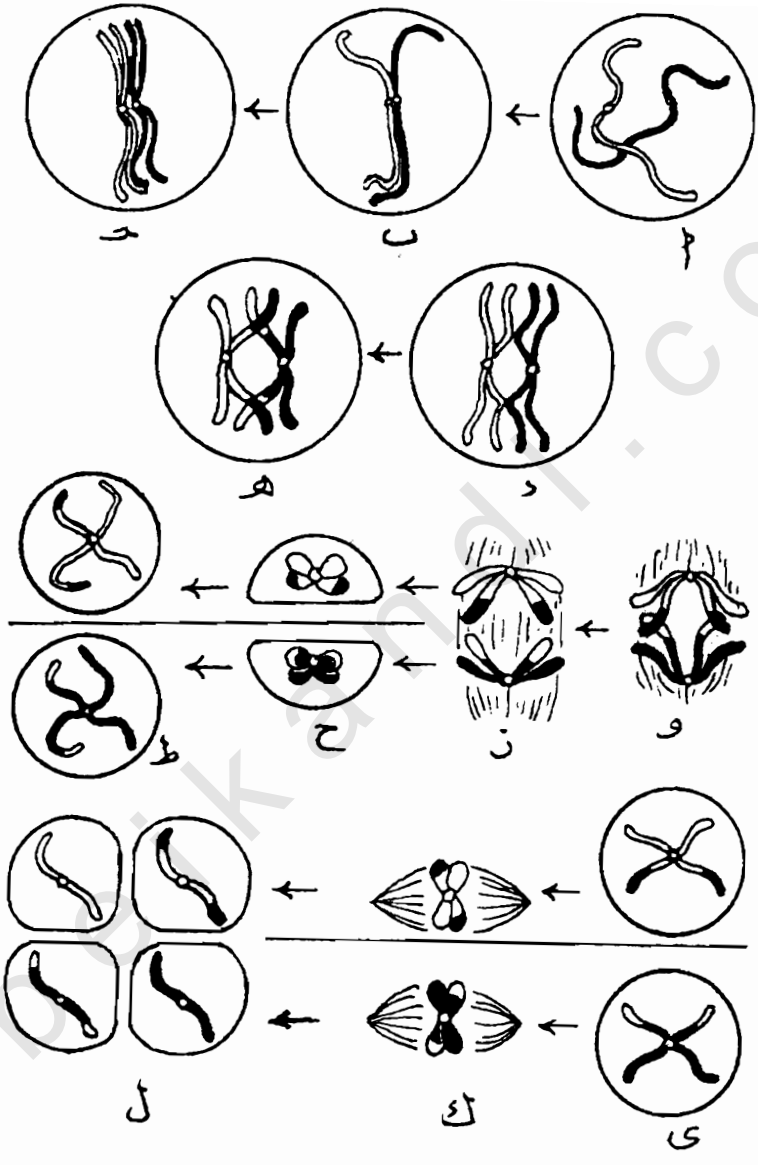
يتجه كروموسوم من كل زوج نحو أحد أقطاب المغزل بينما يتجه الكروموسوم الآخر نحو القطب المقابل ، وبذلك يجتمع عند كل قطب نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأصلية (شكل 4/4 ز).

(**شكل 4/4**) : خطوات الانقسام الاختزالى

أ- هـ) الطور التمهيدى الأول
جـ) المرحلة الضامة
و) الطور الاستوائى الأول
ط) الطور الوسطى
ل) الطور النهائى الثانى

أ) المرحلة القلادية
د) المرحلة الانفراجية
ز) الطور الانفصالى الأول
ى) الطور التمهيدى الثانى

ب) المرحلة التزاوجية
هـ) المرحلة التشتتية
ح) الطور النهائى الأول
ك) الطور الاستوائى الثانى


أ
ب
ج
د
هـ
و
ز
ح
ط
ى
ك
ل

(د) الطور النهائى الأول Telophase I

يختفى المغزل ، وترفع وتستطيل الكروموسومات ، وتظهر النوية أو النويات وتتشابك الكروموسومات مكونة الشبكة الكروماتينية ، ويتكون الغلاف النووى ، وبذلك تحتوى الخلية الناتجة على نواتين أحاديتى العدد الكروموسومى يتكون الجدار الذى يفصل ما بين النواتين. وفى كثير من الأحيان لا يتكون جدار عرضى يفصل النواتين الأحاديتى الكروموسومات ، بل تواصل كلاً من النواتين الانقسام الإختزالى الثانى لتكوين أربع نوايات بالخلية ثم تتكون الجدر الفاصلة (شكل 4/4 ح).

(هـ) الطور الوسطى Interphase

تستطيل الكروموسومات ، فى هذا الطور ، وتصبح أقل قابلية للصبغ ، وهذا الطور قد يكون طويلاً حسب نوع النبات (شكل 4/4 ط). وفى بعض النباتات لا يوجد الطور الوسطى حيث يبدأ الطور التمهيدى للإنقسام الاختزالى الثانى عقب الطور النهائى للإنقسام الاختزالى الأول مباشرة دون تغيير فى مظهر الكروموسومات.

ثانياً : الانقسام الاختزالى الثانى

جميع خطوات هذا الإنقسام تشبه خطوات الانقسام غير المباشر إلا أنها تتم فى خلايا ذات عدد أحادى من الكروموسومات (شكل 4/4 ى - ل) ، وخطواتها كالآتى :

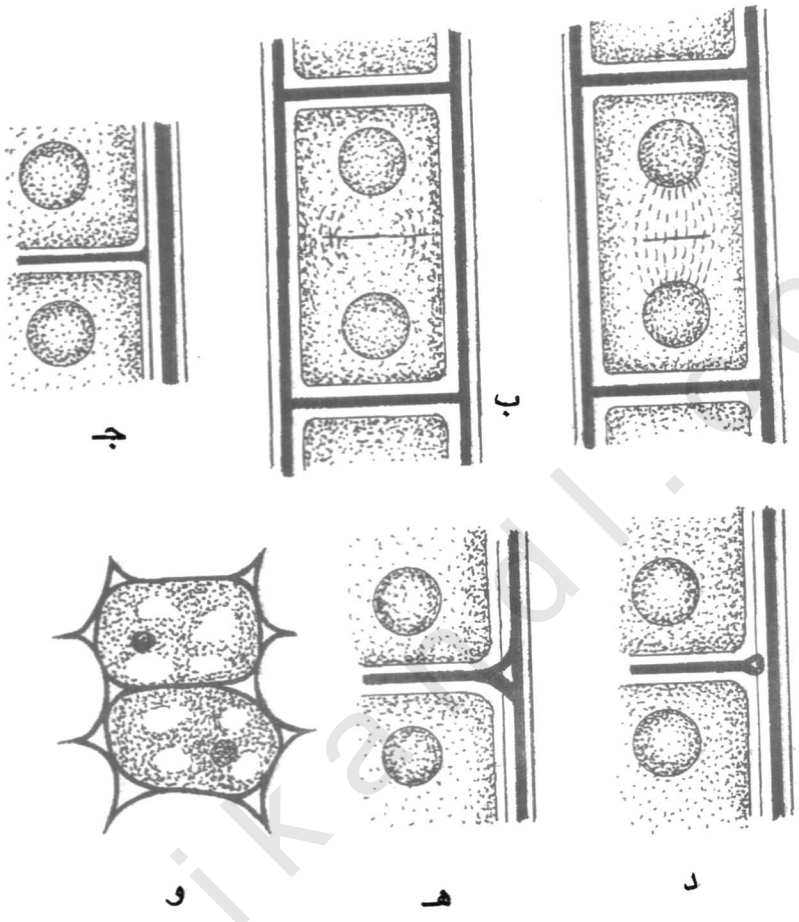
(أ) الطور التمهيدى الثانى	Prophase II
(ب) الطور الاستوائى الثانى	Metaphase II
(ج) الطور الانقصالى الثانى	Anaphase II
(د) الطور النهائى الثانى	Telophase II

وبذلك ينتج عن الإنقسام الاختزالى بمرحلتيه أربع خلايا تحتوى كل منها على العدد الأحادى من الكروموسومات haploid ، وذلك من إنقسام خلية أم ذات عدد ثنائى من الكروموسومات diploid ٠

إنقسام السيتوبلازم وتكوين الجدار الخلوى والمسافات البينية

فى الطور النهائى من إنقسام الخلية تتكون من الخلية الواحدة نواتان ، وتصل خيوط المغزل بين النواتين مكونة شكل برميلى يسمى فراجموبلاست phragmoplast٠ تتجمع على خط إستواء الفراجموبلاست حويصلات تحتوى على مركبات بكتينية وبعض المكونات الأخرى التى تنشأ من أجسام جولجى المنتشرة فى السيتوبلازم ، وينتج عن ذلك تكوين الصفيحة الخلوية cell plate٠ كما يتكون من جدران الحويصلات غشاءان بلازميان للخليتين الجديدتين وذلك على جانبى الصفيحة الخلوية٠ وأثناء ذلك تختفى خيوط الفراجموبلاست من المنطقة الوسطية وتزداد جانبياً حتى تصل إلى الجدر الجانبية ويتم تكوين الصفيحة الخلوية (شكل 5/4 أ ، ب)٠ تحدث بعد ذلك تغييرات فى الصفيحة الخلوية ، وتتحول تدريجياً إلى الصفيحة الوسطى middle lamella (شكل 5/4 جـ)٠ يعقب ذلك ترسيب مواد الجدار الابتدائى على كل من جانبى الصفيحة الوسطى وذلك بواسطة محتويات الحويصلات الناتجة من جهاز جولجى والتى تنتج بكميات كبيرة فى هذه الأثناء (راجع وظيفة جهاز جولجى)٠ ويلاحظ أن الصفيحة الوسطى للجدار الجديد لا تلامس الصفائح الوسطى للجدر الجانبية للخلية الأصلية ، بل تلامس من جوانبها الجدر الابتدائية للجدر الجانبية للخلية الأصلية٠

فى فترة لاحقة يتم اتصال الصفيحة الوسطى للجدار الجديد بالصفائح الوسطى الجانبية للخلية الأم بإحدى طريقتين :



(شكل 5/4) : خطوات تكوين الجدار الخلوى

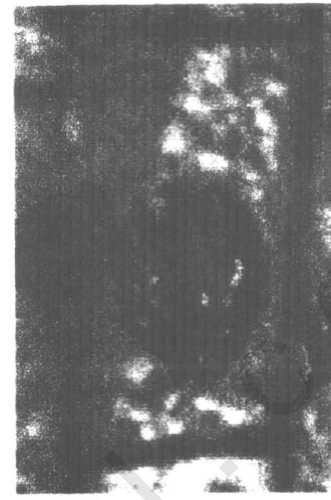
أ ، ب) تكوين الصفيحة الخلوية
جـ) تكوين الصفيحة الوسطى
د ، هـ) تكوين مسافة بينية
و) تشكل الخلايا المنقسمة

obeikandl.com

فى الطريقة الأولى تكبر الخليتان الجديدتان فى الحجم وتضغطان على جدر الخلية الأم ، فتتمدد ثم تتمزق فى مناطق تقابل الجدار الجديد مع الجدر القديمة وينتج عن ذلك اتصال الصفيحة الوسطى للخليتين الناتجتين بالصفائح الوسطى لجدر الخلية الأم.

وفى الطريقة الثانية تظهر فجوة صغيرة تتكون عند كل نقطة من نقط اتصال الصفيحة الوسطى للجدار الجديد بالجدر القديمة ، ثم تكبر هذه الفجوة وبذلك تتصل الصفيحة الوسطى للجدار بالصفائح الوسطى للجدر القديمة ، وتتكون المسافات البينية التى تظهر فى القطاع العرضى بشكل مثلث وتكون مغلفة بالصفائح الوسطى للجدر الملاصقة (شكل 5/4 د ، هـ ، و). ويعتقد البعض أن الصفيحة الوسطى لجدار خلية تتكون من طبقتين ، ولهذا فإنه عند استدارة الخلية تتكون المسافات بين طبقتى الصفائح الوسطى. ويعتقد البعض الآخر أن الصفيحة الوسطى تذوب جزئياً فى المسافات البينية ولذلك تبقى المسافات مبطنة ببقايا الصفائح الوسطى. ويعتقد أن ذوبان الصفائح الوسطى الجزئى راجع إلى تحللها بواسطة الأنزيمات المحللة للبكتين التى تفرزها الخلايا.

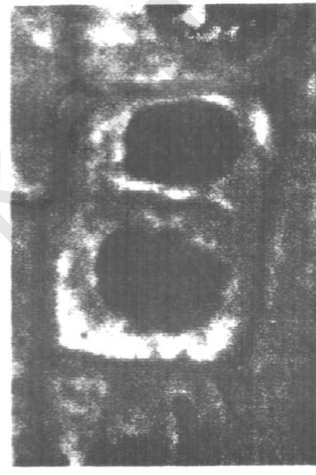
من الممكن أن تزداد المسافات البينية نتيجة لتجمع أكثر من مسافة بينية ، أو نتيجة لانكماش بعض الخلايا أو تحللها أو نتيجة لاختلاف سرعة النمو فى الأنسجة المختلفة.



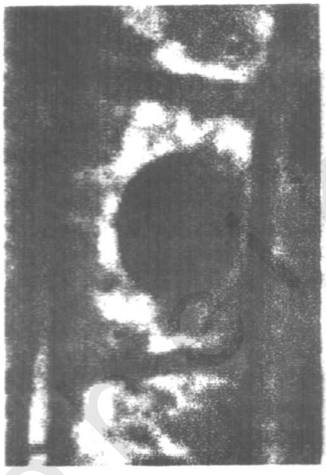
الطور التمهيدى

الطور الإستوائى

الطور الإنفصالى



الإنقسام السيتوبلازمى



الطور النهائى

خطوات إنقسام غير مباشر فى جذر البصل