المحاضرة الثانية

المرحلة الرابعة

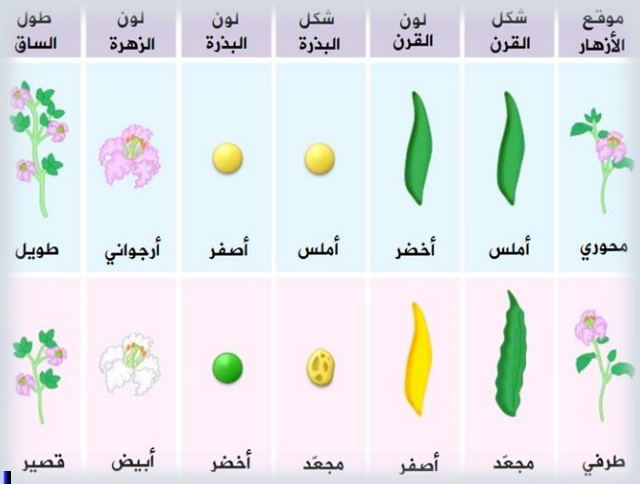
قسم العلوم

قانون مندل الثاني

اعداد أستاذ المادة

م .م. تغريد هادي ماهود

م. هبه جعفر



مقدمة

يُعَدّ العالِم غريغور مندل (Gregor Mendel) المؤسس الحقيقي لعلم الوراثة، إذ وضع من خلال تجاربه الدقيقة على نبات البازلاء الأسس العلمية التي تُفسِّر كيفية انتقال الصفات الوراثية من جيلٍ إلى آخر.

فبعد أن صاغ قانونه الأول المعروف بـ قانون انعزال الصفات، واصل مندل دراسته ليركّز على الصفات الثنائية التي تختلف في أكثر من سمة واحدة، فتمكن من صياغة قانونه الثاني الذي يُعرف

باسم **قانون التوزيع الحر أو قانون التوزيع المستقلIndependent Assortment**

أولاً: فكرة القانون الثاني

ينصّ قانون مندل الثاني على أن أزواج العوامل الوراثية (الجينات) التي تتحكم في صفاتٍ مختلفةٍ تتوزع بشكلٍ حرّ ومستقلٍ عن بعضها أثناء تكوين الأمشاج (الخلايا الجنسية).

وبمعنى آخر، فإن توريث صفةٍ معينة لا يؤثر في توريث صفةٍ أخرى، طالما أن الجينات المسؤولة عن هذه الصفات تقع على كروموسومات مختلفة.

فعلى سبيل المثال، إذا درسنا صفتين مثل لون البذور (أصفر أو أخضر) وشكل البذور (مستدير أو مجعد)، فإن الجينات التي تتحكم بهاتين الصفتين تُورَّث بشكلٍ مستقل، بحيث يمكن أن تظهر تراكيب جديدة في الأجيال الناتجة لم تكن موجودة في الآباء.

ثانياً: التجارب التي أدت إلى صياغة القانون

قام مندل بإجراء تهجين مزدوج (dihybrid cross) بين نباتات بازلاء تختلف في صفتين بدلاً من صفة واحدة كما في تجاربه السابقة.

اختار مندل نبات بازلاء يحمل بذورًا صفراء ومستديرة (صفة سائدة في كلتا الحالتين) وآخر يحمل بذورًا خضراء ومجعدة (صفة متنحية في كلتا الحالتين).

عند تهجين النباتين، لاحظ مندل أن:

الجيل الأول (F_1) أظهر جميعه بذورًا صفراء ومستديرة، أي أن الصفات السائدة طغت على المتنحية.

أما عند تلقيح نباتات الجيل الأول ذاتيًا، فقد حصل في الجيل الثاني (F_2) على أربع تركيبات مختلفة من الصفات:

1.صفراء ومستديرة (كالآباء السائدة)

2.صفراء ومجعدة

3.خضراء ومستديرة

4.خضراء ومجعدة (كالآباء المتنحية)

وبذلك استنتج مندل أن الصفات لا تنتقل كمجموعة واحدة، بل كل صفة تُورَّث بشكل مستقل عن الأخرى---

ثالثاً: تفسير نتائج مندل

اعتمد مندل في تفسيره على ما يلي:

1.وجود أزواج من العوامل الوراثية (الجينات) لكل صفة، يرث الفرد أحدهما من الأب والآخر من الأم.

2.انفصال هذه الجينات أثناء تكوين الأمشاج، بحيث يحتوي كل مشيج على جين واحد فقط من كل زوج.

3.أثناء عملية الانقسام المنصف(Meiosis) ، يتم توزيع الكروموسومات (والجينات الموجودة عليها) بشكلٍ عشوائي ومستقل في الأمشاج، مما يؤدي إلى ظهور تراكيب جديدة من الصفات الوراثية في الأبناء.

وقد تم تأكيد هذا التفسير لاحقاً عندما تم اكتشاف الكروموسومات ودراسة الانقسام المنصف باستخدام المجهر، فتبين أن الكروموسومات المختلفة تتوزع بصورة مستقلة، وهو ما يفسر قانون مندل الثاني على المستوى الخلوي.

رابعاً: شروط تطبيق القانون

يُطبَّق قانون التوزيع الحر فقط عندما تكون الجينات المسؤولة عن الصفات المختلفة واقعة على كروموسومات مختلفة.

أما إذا كانت الجينات تقع على نفس الكروموسوم، فإنها تميل إلى الانتقال معاً إلى الجيل اللاحق، وتسمى هذه الحالة الارتباط الجيني(Genetic Linkage) ، مما يشكّل استثناءً لقانون مندل الثاني.

خامساً: أهمية قانون مندل الثاني

يُعَدّ قانون التوزيع الحر خطوة مهمة جداً في فهم الوراثة لأنه:

.1-يفسر التنوع الوراثي الكبير الذي نلاحظه في الكائنات الحية.

.2-يوضّح كيفية إعادة تركيب الصفات وظهور صفات جديدة لم تكن موجودة في الآباء.

3-يشكل الأساس الذي بُنيت عليه دراسات الوراثة الحديثة مثل العبور الكروموسومي (Crossing Over) والارتباط الجيني.

.4-ساعد العلماء في التنبؤ بنسب ظهور الصفات في الأجيال القادمة وفهم أسس الوراثة في الإنسان والحيوان والنبات.

سادساً: العلاقة بين القانونين الأول والثاني

بينما يركّز القانون الأول (قانون انعزال الصفات) على انتقال جين واحد وتأثيره على صفة محددة، فإن القانون الثاني يتناول انتقال أكثر من جين واحد وتأثيرها على صفات مختلفة.

لكن كلا القانونين يشتركان في فكرة أن الجينات لا تختلط أو تندمج، بل تحافظ على استقلالها وانتقالها من جيل لآخر وفق نظام محدد ودقيق.

س**ابعاً: تطبيقات حديثة على القانون**

تطبيقات حديثة تعتمد أو تتأثر بمبدأ التوزيع المستقل

إليك أمثلة على تطبيقات حديثة في البيولوجيا، الزراعة، الطب، والبحث الوراثي حيث يُستخدم أو يُؤخذ في الحسبان قانون مندل الثاني:

المثال الحديث كيف يُستخدم مبدأ التوزيع المستقل أو كيف يُؤخذ في الاعتبار

1-الزراعة وتربية النباتات التهجين الانتقائي (Hybrid Breeding) و الاختيار المعتمد على المؤشرات (Marker-Assisted Selection, MAS)عند محاولة دمج عدة صفات مرغوبة (مثلاً مقاومة لمرض + إنتاجية عالية + تحمل الجفاف)، يُفترض أن الجينات المسؤولة عن كل صفة يمكن أن تتوزع بشكل مستقل (إن لم تكن مرتبطة). هذا يساعد في توقع نسب الأفراد الحاملين لمجموعة من الصفات.

2-***تحسين المحاصيل متعددة الصفات** عند إدخال تغييرات وراثية في محاصيل، يتم اختيار أفراد تجمع بين عدة صفات مرغوبة. يُفترض أن الأليلات الخاصة بكل صفة تُورَّث بشكل مستقل (ما لم توجد روابط جينية) لتوليد توليفات جديدة.

3-***الهندسة الوراثية والتعديل الجيني** إدخال جينات متعددة (Stacking Genes) عند إدخال أكثر من جين (transgene) في النبات، يُفضل أن تكون هذه الجينات على مواقع غير مرتبطة لتسهيل توزيعها المستقل في الأجيال الجديدة. هذا يسهل إدخال مجموعات من الصفات المرغوبة (مثل مقاومة لامراض + تحمُّل للملوحة).

4-علم الوراثة الكميّة (Quantitative Genetics) تحليل الصفات الكمية المعتمدة على عدة loci في دراسات الصفات المعقدة (مثل ارتفاع، وزن، إنتاجية)، يُفترض جزئيًا أن الأليلات عند مختلف المواقع تُساهم بشكل مستقل (عدديًا) في الصفة، مع إضافة تأثيرات التفاعل والبيئة. في البحوث الحديثة، يُنظر إلى "الهندسة الوراثية المعمارية (genetic architecture) "التي تبني على مبادئ مندل مع الأخذ في الحسبان التداخل بين .loci

5-الاستدلال الوراثي (Genetic Mapping) واكتشاف الجينات الخرائط الوراثية Genetic linkage) (mapsوربط الجينات بالصفات (QTL mapping) في بناء الخريطة الوراثية، يُفترض أن المناطق غير المرتبطة تُعطي توزيعًا مستقلاً، مما يُسهل تحديد مواضع الجينات المؤثرة على الصفة. أيضاً يستخدم مبدأ التوزيع المستقل في التقدير الإحصائي لارتباط الأليلات.

5-الاستشارة الوراثية والطب الجيني تقدير مخاطر الوراثة المتعددة عندما يُدرس تورّث أمراض متعددة الجينات في الإنسان، يُستخدم مفهوم أن الأليلات عند مواقع مختلفة قد تُورَّث بشكل مستقل (ما لم تكن هناك علاقة ارتباط قوية). هذا يساعد في تقدير الاحتمالات لوراثة أكثر من صفة جينية في نفس الفرد أو العائلة.

6-البحوث التطورية والسكانية النمذجة السكانية وتوزيع الأليلات في نماذج التطور والجينات السكانية يُفترض في كثير من الحالات أن الأليلات عند loci مختلفة تُوزَّع بشكل مستقل (لتبسيط النمذجة) ما لم تُدرَج عوامل الارتباط أو الترابط.

7-توجيه التطور الاصطناعي (Directed Evolution, Synthetic Biology) السيطرة على توزيع الطفرات في التجارب التطورية في بعض الأبحاث الحديثة في توجيه تطور الجزيئات أو الكائنات، يُستخدم توزيع مستقل لمواقع الطفرات لتوليد تنوّع أكبر وتجربة مجموعات متعددة من التغيرات.

التحديات والقيود المعاصرة

عند تطبيق قانون مندل الثاني في الأبحاث أو التطبيقات الحديثة، يجب الانتباه إلى بعض التحديات:

1 .الارتباط الجيني(Linkage)

عندما تكون الجينات قريبة على نفس الكروموسوم، فهي تميل إلى أن تُنتقل معًا بدلاً من أن تتوزّع بشكل مستقل، مما يُخل بالتوزيع المستقل .

2 .التفاعل الوراثي(Epistasis)

تداخل الجينات بحيث يؤثر جين على التعبير أو التأثير لجين آخر يمكن أن يغير النسب المتوقعة بناءً على التوزيع المستقل.

3 .التأثير البيئي والجيني-البيئي

البيئة قد تؤثر على التعبير الجيني، مما قد يغيّر النسب الفعلية للتعبير الظاهري عما هو متوقع نظريًا.

4 .التعدد الجيني(Polygenic Traits)

الصفات التي تتأثر بعدة جينات (عادة كثيرة) تجعل التوقعات المبسطة المشتقة من قوانين مندل أقل دقة، ولذلك تُستخدم نماذج إحصائية أكثر تعقيدًا.

5 .اضطراب في الاستقلالية(Non-independent assortment)

أحيانًا تظهر ظواهر غير متوقعة بسبب إعادة التركيب ((recombination ratesغير الموحدة، تعديل كروموسومي، أو تأثيرات كروموسومية خاصة.