الباب الثانى

قانون التوزيع الحر للعوامل

Law of Independent Assortment

مما سبق توضيحه أمكننا معرفة القانون الأول لمندل وهو القانون الخاص بانعزال العوامل الوراثية الذى ينص على أن « عاملى أى زوج من العوامل الوراثية تنعزل عن بعضها عند تكوين الجاميطات » . وكان كل كلامنا السابق محددا بدراسة وراثة زوج واحد من العوامل الوراثية الاليلومورفية أو صفة واحدة من الصفات السبعة التى درسها مندل وهى صفة شكل البذرة مستديرة أو مجعدة .

والآن سوف نرى كيف تقدم مندل خطوة أخرى للامام عن طريق دراسة السلوك الوراثى لزوجين من العوامل الوراثية المختلفة أو لصفتين من الصفات الاليلومورفية معاً أى مثلا دراسة صفة شكل البذرة (مستديرة أو مجعدة) مع دراسة صفة لون البذرة (صفراء أو خضراء) أو صفة طول النبات (طويل أو قصير) فى نفس الوقت ومن دراسته لهذا السلوك الوراثى أمكنه التوصل إلى قانونه الثانى وهو قانون التوزيع الحر للعوامل (Law of Independent assortment) .

وجد مندل من دراسته للسلوك الوراثى لزوجين من العوامل الوراثية فى تلك الحالة أن كل زوج من زوجى العوامل الوراثية الاليلومورفية يسلك فى وراثته مسلكه العادى كما لو كان منفردا أى تظهر فى الجيل الأول الصفة السائدة وفى الجيل الثانى يحدث الانعزال بنسبة ٣ : ١ لكل زوج من ازواج العوامل الوراثية المختلفة على حدة كما سبق توضيحه فى حالة القانون الأول لمندل ومن ذلك أمكن لمندل التوصل إلى صيغة القانون الثانى بعد أن وضع الفروض الأساسية التى سبق التحدث عنها والتى تتلخص فى أن أنواع الجاميطات المذكرة والمؤنثة متماثلة فى حيويتها وأن الاخصاب يحدث بالصدفة أى أن أى جاميطة مذكرة لها نفس

الفرصة فى أخصاب أى جاميطة مؤنثة أو العكس وتماثل حيوية الزيجوتات الناتجة وكذلك أن الجاميطات المذكرة أو المؤنثة فردية التركيب العاملى ومن المهم أن نشير هنا إلى أن القانون الثانى لمندل لايختلف عن الأول إلا فى اضافة أن انعزال أى زوج من العوامل الوراثية المختلفة عن بعضها مستقل تماما عن انعزال أى زوج آخر أى يسلك سلوكا منفردا . وعلى هذا الأساس فان صيغة القانون الثانى هى : « عاملا أى زوج من العوامل الوراثية المختلفة مستقلة فى انعزالها وتوريثها « أى انعزالها » يكون توريثا « توزيعا » حرا على الجاميطات » .

ولكى تتفهم فى خطوات مبسطة عموميات هذا التوزيع الحر سوف نناقش بشىء من التوضيح ما قام به مندل من تجربة .

حيث قام بإجراء تجربة تابع فيها سلوك صفتين من الصفات الوراثية المختلفة فى نفس الوقت للاجيال المتتالية وكمثال لهذا سوف نعطى المثال التالى حيث أن زوجى الصفات المختلفة هما :

١ ــ صفة شكل البذرة مستديرة ومجعدة .

٢ ــ صفة لون البذرة صفراء وخضراء .

ونتائج دراسة الصفة الأولى الخاصة بشكل البذرة مستديرة أو مجعدة بمفردها سبق توضيحها فى الباب الأول أما من حيث الصفة الثانية الخاصة بلون البذرة وجد مندل من دراسته السابقة لسلوك هذه الصفة أن لون البذرة الصفراء سائد سيادة تامة على لون البذرة الخضراء نتيجة إجراء التهجين بين نبات ذو بذور صفراء اللون وآخر ذو بذور خضراء أعطت نباتات الجيل الأول مجموعة شكل مظهرى واحدة فقط وهى نباتات ذات بذور صفراء وبالتلقيح الذاتى لنباتات الجيل الأول هذه ظهرت مجموعتا شكل مظهرى فى الجيل الثانى أحدهما صفراء البذور والأخرى خضراء البذور وبنسبة ١ : ١ والآن نتساءل ماذا يحدث لو تتبعنا دراسة وسلوك هاتين الصفتين معا فى هجين ثنائى dihybrid ؟ وإجابة مثل هذا

التساؤل سوف نحصل عليها من نتائج مندل نفسه التالية :

حيث أجرى مندل تلقيحا بين نبات ناتج عن بذور صفراء مستديرة مع آخر ناتج عن بذور خضراء مجعدة . وأعطى النسل الناتج فى الجيل الأول بذورا كلها مستديرة صفراء اللون مما يثبت سيادة صفة البذور المستديرة على البذور المجعدة والصفراء على الخضراء وعندما أخذ بذور الجيل الأول وزرعها وأجرى لنباتاتها تلقيحا ذاتيا للحصول على الجيل الثانى ظهرت أربع مجاميع شكل ظاهرى فى هذا الجيل بنسبة ٩ : ٣ : ٣ : ١ كما هو موضح فى الجدول التالى :

الأشكال المظهرية فى F_2 Phenotypes	عدد النباتات Number	النسبة Ratio
Round yellow أصفر مستدير	315	9,96
Round green أخضر مستدير	101	2,9
Wrinkled yellow أصفر مجعد	108	3,1
Wrinkled green أخضر مجعد	32	0,9

هذه النسبة المتحصل عليها قريبة جدا ولا تختلف اختلافا ملحوظا عن النسبة ٩ : ٣ : ٣ : ١ بالنسبة لهذين الزوجين المختلفين من العوامل الوراثية . لم يكتفى مندل بذلك بل أراد أن يتأكد من ثبات هذا السلوك بالنسبة لكل زوجين من العوامل الوراثية الممكن الحصول عليها من السبع صفات تحت الدراسة فعندما أخذ تباديل السبع صفات التى قام بدراستها بأخذ صفتين كل مرة حصل على نفس النسبة السابقة للأربع أشكال مظهرية فى الجيل الثانى نسبة ٩ للصفتين السائدتين ، ونسبة ٣ للمجموعة ذات الصفة السائدة والأخرى المتنحية ، ونسبة

٣ للمجموعة الأخرى ذات الصفة المتنحية والأخرى السائدة ونسبة ١ للمجموعة ذات الصفتين المتنحيتين وبملاحظة النتائج السابقة ٩ : ٣ : ٣ : ١ نجد المجموعتين ذات النسب ٩ ، ١ تشبه المجموعتين الابويتين اللتان استخدمتا فى أول التجربة كاباء أما المجموعة الثانية والثالثة ذات النسب ٣ ، ٣ فهى مجاميع جديدة ظهرت فى الجيل الثانى تحمل كل منها صفة واحدة من الأب والصفة الأخرى من الأم سواء كانت سائدة أو متنحية .

ومن جهة أخرى إذا أخذنا كل زوج من هذه الأزواج لدراستها على حدة نجد أنه بالنسبة لصفة شكل البذرة .

أن المجموعة الأولى تحمل صفة مستديرة البذور والمجموعة الثانية أيضا تحمل صفة مستديرة البذور وعليه تكون نسبة جميع النباتات المستديرة البذور هى حاصل جمع النسبتين الخاصيتين بتلك المجموعتين . وبالمثل نجد أن المجموعة المجعدة البذور تشمل حاصل الجمع نسبة المجموعة الثالثة والرابعة على التوالى :

المستدير = ٩ + ٣ = ١٢ .

المجعد = ٣ + ١ = ٤ .

أى كنسبة ٣ : ١ فى الجيل الثانى .

وبالمثل بالنسبة للون البذرة .

المجموعة الصفراء = ٩ + ٣ = ١٢ .

المجموعة الخضراء = ٣ + ١ = ٤.

أى النسبة هى ٣ : ١ فى الجيل الثانى أيضاً .

أى أن كل زوج من زوجى العوامل المختلفة مستقل فى انعزاله وتوزيعه عن الزوج الآخر .

استعمال الرموز فى شرح القانون الثانى

سبق أن رمزنا لصفة شكل البذرة المستديرة بالرمز W وصفة شكل البذرة المجعدة بالرمز w .

كذلك الحال بالنسبة للزوج الثانى من الصفات وهو لون البذرة الأصفر والأخضر تستخدم الحرف الأول من الصفة المتنحية وهى الأخضر Green فيكون رمز العامل الوراثى الخاص بلون البذرة الصفراء بالرمز G ولون البذرة الخضراء بالرمز g .

وعليه يكون التركيب الوراثى للأب الأصفر المستدير البذور هو WWGG والأب الأخضر المجعد هو wwgg .

وعند اجراء تهجين بين نبات أصفر مستدير × نبات أخضر مجعد ممكن توضيح ذلك تحليليا كالآتى .

الآباء	WWGG	×	wwgg
	أصفر مستدير		أخضر مجعد
الجاميطات	WG		wg
الجيل الأول F_1	تلقيح ذاتي	×	WwGg
الشكل المظهري للجيل الأول			أصفر مستدير

الجاميطات الناتجة عن كل من الابوين	WG	Wg	wG	wg
	1	2	3	4
WG	WWGG	WWGg	WwGG	WwGg
	مستدير أصفر	مستدير أصفر	مستدير أصفر	مستدير أصفر
	5	6	7	8
Wg	WWGg	WWgg	WwGg	Wwgg
	مستدير أصفر	مستدير أخضر	مستدير أصفر	مستدير أخضر
	9	10	11	12
wG	WwGG	WwGg	wwGG	wwGg
	مستدير أصفر	مستدير أصفر	مجعد أصفر	مجعد أصفر
	13	14	15	16
wg	WwGg	Wwgg	wwGg	wwgg
	مستدير أصفر	مستدير أخضر	مجعد أصفر	مجعد أخضر

حيث ان كلا من الأبوين متماثلان بالنسبة للتركيب الوراثى لزوجى الصفات المختلفة وهذ االتركيب ثنائي لكل أب سوف يعطى نوعا واحدا فقط من الجاميطات الأب الأول الأصفر المستدير سوف يعطى جاميطات جميعها من النوع WG بينما الأب الآخر الأخضر المجعد يعطى أيضا الجاميطات جميعها من النوع wg . وعند الاخصاب يكون التركيب الوراثى لجميع أفراد الجيل الأول خليط بالنسبة لزوجى الجينات وشكلها المظهرى هو صفراء مستديرة البذور . وعند التلقيح الذاتى لأفراد الجيل الأول للحصول على الجيل الثانى نجد أن أفراد الجيل الأول تنتج نوعين مختلفين من الجاميطات بالنسبة للزوج الأول هى w و W بنسبة ١ : ١ وأيضاً تنتج نوعين أخرين من الجاميطات بالنسبة للزوج الثانى هى G,g بنسبة ١ : ١ وعليه فان جميع الإحتمالات الممكنة لتكوين الجاميطات فى أفراد الجيل الأول سواء كانت جاميطات مذكرة أو مؤنثة هى أربعة احتمالات وهى wG ، Wg ، wG ، wg بنسبة ١ : ١ : ١ : ١ . وحيث أن الاخصاب اعتباطى بين هذه الأربعة أنواع من الجاميطات المذكرة أو المونثة فيكون هناك ١٦ احتمالا للتراكيب الزيجوتية الممكن الحصول عليها فى الجيل الثانى فى حالة زوجين من العوامل هذه الستة عشر احتمالا من الممكن الحصول عليها بسهولة عن طريق مايسمى باسم Punnet Square هذه الـ ١٦ احتمال من الممكن تجميعها طبقا للشكل المظهرى Phenotype الناتج فى أربع مجاميع فقط هى :

المجموعة الأولى بنسبة ٩/١٦ حامله للصفتين السائدتين صفراء ومستديرة فى المربعات أرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٧ ، ٩ ، ١٠ ، ١٣ .

المجموعة الثانية بنسبة ٢/١٦ حاملة لصفة سائدة وأخرى متنحية أى صفراء ومجعدة فى المربعات أرقام ١١ ، ١٢ ، ١٥ .

المجموعة بنسبة ٣/١٦ حاملة لصفة متنحية وأخرى سائدة خضراء ومستديرة فى المربعات أرقام ٦ ، ٨ ، ١٤ .

المجموعة الرابعة بنسبة ١/١٦ حاملة للصفتين المتنحيتين خضراء ومجعدة فى المربع رقم ١٦ فقط .

المجموعة الأولى :

والتى تحمل الصفتين السائدتين الصفراء والمستديرة وتظهر بنسبة ١٦/٩ من مجموع الـ ١٦ احتمالا هذه المجموعة ذات شكل ظاهرى واحد تحمل الصفتين السائدتين ولكنها تنقسم إلى أربعة مجاميع التراكيب الوراثية الآتية .

	نسبة التراكيب الوراثية	التراكيب الوراثية
مربع رقم ١	1	WWGG
مربع رقم ٣ ، ٩	2	WwGG
مربع رقم ٢ ، ٥	2	WWGg
المربعات أرقام ٤ ، ٧ ، ١٠ ، ١٣	4	WwGg
	9/10	

وحيث أن جميع هذه التراكيب الوراثية ذات مجموعة شكل ظاهرى واحدة التى تشمل الصفتين السائدتين « مستديرة وصفراء البذور » وكما سبق القول فى حالة السيادة التامة لايوجد فرق فى الشكل المظهرى بين التركيب الوراثى WW أو التركيب الوراثى Ww أو بين التركيب الوراثى GG ، أو التركيب الوراثى Gg لذلك اصطلح فى الوراثة على أن يعبر عن هذه المجموعة بالشكل الآتى :

W _ G _

هذه الشرطة (–) معناها أن قد يكون الجين الذى يوضع مكانها أما W أو w أو G أو g وكلاهما يعطى نفس الشكل المظهرى .

المجوعة الثانية :

ظهرت هذه المجموعة بنسبة ١٦/٣ فى مربع Punnet وتحتوى مظهريا على صفة من الصفتين بحالة سائدة والأخرى بحالة متنحية أى « صفراء مجعدة » .

وهذه المجموعة تنقسم إلى مجموعتين من ناحية التراكيب الوراثية .

	نسبة التركيب الوراثية	التراكيب الوراثية
مربع رقم ١٢ ، ١٥	2	wwGg
مربع رقم ١١	1	wwGG
	3/16	

فى هذه المجموعة لكى تظهر الصفة المتنحية (مجعدة) يجب أن تكون بحالة متنحية أصيلة وهى ww ولكن ظهور اللون الأصفر (السائد) فى البذرة أما أن تكون سائدة أصيلة أو سائدة خليطة GG أو Gg وكما حدث فى المثال السابق يمكن التعبير عنها بالرمز ـــ ww G .

وهذه الشرطة (ـ) معناها قد يكون الجين مكانها أما G أو g وكلاهما مظهريا يكون شكلا واحدا .

المجموعة الثالثة :

وهذه المجموعة السابقة مع عكس الصفتين أى شكل البذرة مستديرة (الصفة السائدة) ولكن اللون أخضر أى الصفة المتنحية وتظهر أيضاً بنسبة ٣/١٦ من مربع Punnet ويمكن أيضا تقسيمها إلى مجموعتين من ناحية التراكيب الوراثية ذات الشكل المظهرى الواحد وهى :

	نسبة التركيب الوراثية	التراكيب الوراثية
مربع رقم ٨ ، ١٤	2	Wwgg
مربع رقم ٦	1	WWgg
	٣/16	

ويمكن كما فى الحالة السابقة التعبير عنه بـ W - gg والشرطة هنا كما سبق القول معروف أنها تمثل أما الجين W أو الجين w .

المجموعة الرابعة :

هذه المجموعة تظهر ممثلة بنسبة ١ / ١٦ فى جدول Punnet وهى الحالة التى توجد بها الصفتين المتنحيتين وهما شكل البذرة المجعدة ولون البذرة الخضراء وهى طبعا ذات مجموعة تركيب وراثى واحد حيث سبق القول أن الشكل المظهرى للصفة المتنحية له تركيب وراثى واحد أى تركيب وراثى أصيل وعليه فان هذه المجموعة ذات تركيب وراثى واحد wwgg وهذا التركيب موجود فى المربع رقم ١٦ .

من المهم هنا أن نشير إلى أنه لايشترط فى بداية التجربة السابقة أن يحمل الأب الأول الصفتين السائدتين معا ويحمل الأب الثانى الصفتين المتنحيتين معا . فهناك أكثر من احتمال خلاف ما سبق ذكره لتركيب كل أب منهما . من هذه الاحتمالات أيضا أنه قد يحمل الأب الأول سواء كان مذكرا أو مؤنثا الصفة السائدة من زوج العوامل الأول والصفة المتنحية لزوج العوامل الثانى أى يكون شكله المظهرى هو مستدير البذور خضراء البذور وتركيبه الوراثى يكون بالتالى WWgg ويكون الأب الثانى سواء مذكرا أو مؤنثا شكله المظهرى متنحى بالنسبة للزوج الأول وسائد بالنسبة للزوج الثانى أى يكون مجعد البذور أصفر البذور وتركيبه الوراثى هو wwGG وعند اجراء التهجين بين هذين الأبوين نجد أنهما أيضا يختلفان عن بعضهما فى زوجى العوامل الوراثية الخاصة بهاتين الصفتين . نتيجة التهجين تعطى نسل الجيل الأول وأن الشكل المظهرى لجميع أفراد الجيل الأول يحتوى على الصفتين السائدتين أتت الصفة السائدة الأولى من الأب الأول وأتت الصفة السائدة الثانية من الأب الثانى أى يكون الشكل المظهرى للجيل الأول هو مستدير البذور صفراء البذور . أما بالنسبة للتركيب الوراثى لأفراد الجيل الأول نجد أن هذه الأفراد أتت لها جاميطات من الأب الأول جميعها تحمل العاملين Wg وأتت لها جاميطات من الأب الثانى كلها تحمل العاملين wG وعليه يكون التركيب الوراثى للـ F_1 هو تركيب خليط بالنسبة لزوجى الجينات أى WwGg .

هذا التركيب الوراثى والشكل المظهرى الخاصيين بأفراد الجيل الأول هما نفس

ماتحصلنا عليه بالنسبة للتجربة السابقة حينما كان الأب الأول حاملا للصفتين السائدتين والأب الثانى حاملا للصفتين المتنحيتين معا . وعند اجراء التلقيح الذاتى لأفراد الجيل الأول الخليط فى زوجى العوامل الوراثية نجد أن هذه الأفراد تنتج أيضا أربع أنواع مختلفة من الجاميطات سواء كانت مذكرة أو مؤنثة بنسبة متساوية وهى Wg و wG و WG وعند اخصاب الأربعة أنواع من الجاميطات المذكرة هذه Wg مع الأربعة أنواع المختلفة من الجاميطات المؤنثة ينتج لدينا ١٦ احتمالا للتراكيب الزيجوتيه لأفراد الجيل الثانى كما سبق توضيحه فى التجربة السابقة . هذه الستة عشر احتمالا نجدها موزعة على أربع مجاميع شكل مظهرى .

بنسبة ٩ للمجموعة الحاملة للصفتين السائدتين

بنسبة ٣ للمجموعة الحاملة للصفة السائدة الأولى والمتنحية الثانية

بنسبة ٣ للمجموعة الحاملة للصفة المتنحية الأولى والسائدة الثانية

بنسبة ١ للمجموعة الحاملة للصفتين المتنحيتين .

أو بمعنى آخر سوف نحصل على نفس النتائج سواء كانت خاصة بالجيل الأول أو الجيل الثانى مادام الابوان يختلفان عن بعضهما فى زوجين من العوامل الوراثية بغض النظر عن أيهما يحمل السائدة أو المتنحية أو العكس .

التلقيح الاختبارى « الرجعى »

قام مندل أيضا باجراء التلقيح الرجعى أو الاختبارى وذلك بغرض إثبات الفروض الأساسية التى وضعها لهذه الحالة مثلما سبق فى حالة زوج واحد من العوامل الوراثية وأهمها أن أفراد الجيل الأول تنتج أربعة أنواع من الجاميطات المختلفة بنسب متساوية .

يجرى التلقيح الرجعى بأخذ نباتات من الجيل الأول وهذه النباتات كما هو

معروف تحمل الصفتين السائدتين من ناحية الشكل المظهرى ولكنها خليط من ناحية التركيب الوراثى أى WwGg هذه النباتات تهجن رجعيا إلى الأب المتنحى فى الصفتين وهذا الأب كما هو معروف أيضا له تركيب وراثى واحد هو wwgg وتبعا للفروض الأساسية لمندل سوف نجد أن أفراد الجيل الأول تنتج أربع أنواع مختلفة من الجاميطات بنسب متساوية وهى wg ، wG ، Wg ، WG أما بالنسبة للأب المتنحى فسوف ينتج نوع واحد فقط من الجاميطات جميعها تحمل wg وعند الاخصاب سوف نجد أن هناك فقط أربعة احتمالات للتراكيب الزيجوتيه الناتجة من مثل هذا التلقيح هذه الأربع تراكيب هى wwgg و wwGg و Wwgg و WwGg وهذه بالتالى تؤدى إلى الحصول علي أربع أشكال مظهرية فى نسل التلقيح الرجعى هى مجعد أخضر ، مجعد أصفر ، مستدير أخضر ، مستدير أصفر . وعندما احصى مندل هذه النباتات داخل كل مجموعة وجد أن عدد هذه الأربع مجاميع هى :

٥٣ مجعد أخضر
٤٩ مجعد أصفر
٥١ مستديرة أخضر
٤٥ مستديرة أصفر

أى أن الاعداد المتحصل عليها لهذه الأربع أشكال مظهرية تقترب من النسبة ١:١:١:١ ومعنى حصول مندل على النسبة ١:١:١:١ فى نسل التلقيح الرجعى للهجين الثنائى دليل على اثبات أن أفراد الجيل الأول تنتج أربع أنواع مختلفة من الجاميطات بنسب متساوية فى الهجين الثنائى وهذه بالتالى تدل بصفة مباشرة على أن زوجى الجينات هذه مستقلة فى توزيعها فى الهجين الثنائى .