University of Tikrit
College of Education for Women
Biology Department

جـامعة تكـريـت
كليـــة التـربيـة للـبـنات
قسـم علـوم الحـياة

الارتباط والعبور Linkage, Crossing-Overand

مقدمة

يقصد بالارتباط Linkage ميل الجينات الموجودة في كروموسوم معين للبقاء مع بعضها وعدم انعزالها انعزالاً حراً حسب مبدأ مندل الثاني، وقد اكتشف باتيسون وبونيت W. Bateson & R. C. Punnett هذه الخاصية عند دراستهما توارث صفة لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح في نبات البازلاء الحلوة Lythrus adoratus، فعند تضريبهما نباتاً بنفسجي الأزهار طويل حبات اللقاح نقياً سائداً مع نبات أحمر الأزهار مستدير حبات اللقاح، فإن نباتات الجيل الأول كانت تحمل صفات سائدة هجينة، ولكن نباتات الجيل الثاني والناتجة من تضريب نباتات الجيل الأول مع بعضها، كانت 284 نباتاً بنفسجي الأزهار طويل حبات اللقاح، و 21 نباتاً أحمر الأزهار مستدير حبات اللقاح. و 21 نباتاً نبفسجي الأزهار طويل حبات اللقاح، و 55 نباتاً أحمر الأزهار مستدير حبات اللقاح، أي إن النسبة المندلية كانت 2:1:1:13 بدلاً أن تكون 1:3:3:9 وكما مبين في أدناه

احمر الازهار حبوب لقاح مستدير X بنفسجي الازهارحبوب لقاح طويلة

P1 **PPLL** **ppII**

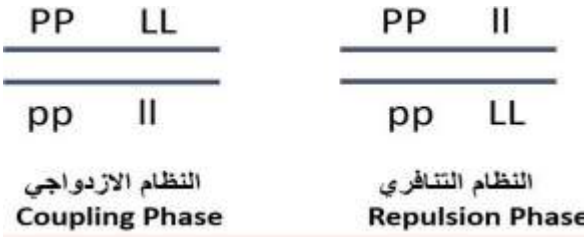
G1 **pI** **PL**

F1 **PpLl**

100 % بنفسجي الازهارحبوب لقاح طويلة

الطراز الوراثي		العدد الناتج	العدد المتوقع المندلي
بنفسجي الازهار حبة لقاح طويلة	P-L-	284	215
احمر الازهار حبة لقاح مستديره	P-11	21	71
بنفسجي الازهار حبة لقاح طويلة	ppl-	21	71
بنفسجي الازهار حبة لقاح طويلة	ppll	55	225

استنتج الباحثان أن الأليلين السائدين يميلان إلى البقاء معاً وكذلك الأليلان المتنحيان، بينما يميل كل اليل سائد واليل متنح إلى التنافر. ولهذا استعملا تعبير «النظام الازدواجي» Coupling or cis arrangement «النظام التنافري » Repulsion or trans-arrangement للدلالة على هاتين الظاهرتين، وحاولا تفسير التجاذب والتنافر من خلال نظرية التضاعف الجديد Reduplication theory التي تنص على أن يحدث الانعزال في الصفات في الأطوار الأولى من النمو الجيني، كما إن الانعزال لا يحدث في وقت واحد مما يؤدي إلى تضاعف بعض العوامل بصورة أسرع من تضاعف العوامل الأخرى.



لم تثبت نظرية «التضاعف الجديد » في وجه الانتقادات الموجهة إليها، فقد وجد التنبرك Altenbutg ، عام 1916 أن حبات لقاح متك زهرة واحدة تعطي الانعزالات نفسها، وليس انعزالات مختلفة في حالة صحة النظرية، كما إن إعادة تجربة باتيسون وبونيت، أثبتت أن تضريب نباتات حمر الأزهار طويلة حبات اللقاح مع نباتات بنفسجية الأزهار قصيرة حبات اللقاح سيؤدي إلى إنتاج نباتات تشبه الأبوين بكميات أكبر بكثير من نباتات مخالفة في طرازها الوراثي للأبوين مما يعني حدوث تجاذب بين الأليل السائد والأليل المتنحي وحدوث تنافر بين الأليلين السائدين والأليلين المتنحيين، كما هو مبين في أدناه:

الطراز الوراثي		العدد الناتج
حمراء الازهار حبة لقاح طويلة	PpL	284
بنفسجي الازهار حبة لقاح مستديره	Pp	284
بنفسجي الازهار حبة لقاح طويلة	PpL	52
حمراء الازهار حبة لقاح مستديرة	ppll	52

ولكن جميع هذه التجارب لم تستطع أن تضع تفسيراً واضحاً لظاهرتي التجاذب والتنافر، وأعدت هذه الحالات حالات شاذة عن مبدأ مندل الثاني، إلى أن أثبتت تجارب مورجان ومساعديه عامي (1910-1915) على ذبابة الفاكهة أن ظاهرتي التجاذب والتنافرهما وجهان لظاهرة واحدة هي ظاهرة الارتباط Linkage، فقد افترض مورجان . وأثبت ذلك فيما بعد ميل الجينات إلى البقاء مرتبطة بنسب عالية في تراكيبها الأصلية أو الأبوية، مما يدل على ميلها للبقاء على الكروموسوم نفسه (ظاهرة التجاذب)، ويزداد ميل الجينات إلى إنتاج تراكيب جديدة new recombinations كلما تباعدت عن بعضها، أي كلما زادت المسافة الوراثية أو الكروموسومية بينها، مما يؤدي إلى اضعاف قوة الارتباط (ظاهرة التنافر)، وليس لهاتين الظاهرتين علاقة بالسيادة أو التنحي الجيني عكس ما توقع باتيسون وبونيت.

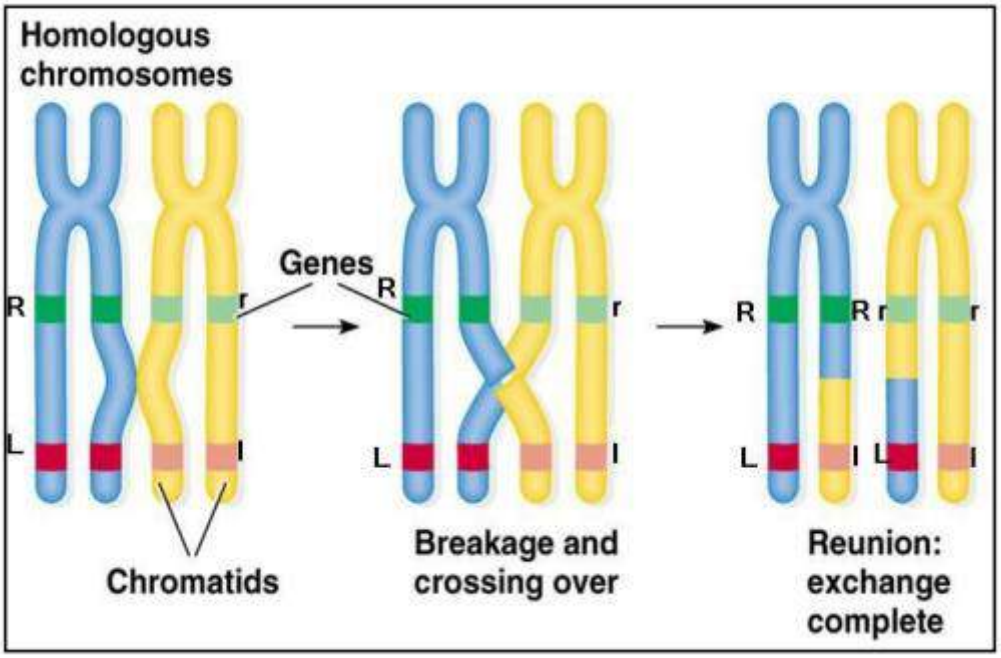
المجموعة الارتباطية Linkage Group

تمت تسمية مجموعة الجينات الواقعة والمرتبطة في كروموسوم واحد المجموعة أو الزمرة الارتباطية. وعدد المجاميع الارتباطية في الكائن الحي يساوي - معظم الأحيان- العدد الكروموسومي، فعدد مجاميع الارتباط في ذبابة الفاكهة 4 وفي البازلاء 7 وفي الإنسان 23 وهكذا، ولكن عدد مجاميع الارتباط في الفار والأرنب 16 و 12 على التوالي، بينما يبلغ عدد كروماسوماتها 20 و 22 زوجاً كروموسومياً على التوالي، مما يعني أن جينات عدد من الكروموسومات ترتبط ارتباطاً تاماً مع بعضها بحيث لا تكون مجموعة ارتباطية، أو أن الأبحاث لم تتوصل بعد إلى اكتشاف مجموعات ارتباطية أخرى فيها، ولكن لا يتوقع أن تزداد مجموعات الارتباط عن العدد الزوجي للكروموسومات، وإن كانت هناك حالات نادرة تم فيها ايجاد مجموعة ارتباطية مؤلفة من عدد من الجينات الواقعة على كروموسومين مختلفين أو أكثر.

الارتباط Linkage

يتم انقسام كل كروموسوم في أثناء الانقسام الاختزالي للخلية - إلى كروماتيدين متماثلين، وتتكون الكيازما Chiasma عادة بين كروماتيدين متقابلين غير متماثلين، ويحدث العبور Crossing over في منطقة الكيازما، حيث يتم كسر أجزاء من الكروماتيدات المتماثلة غير المتصلة وتبادلها ثم يتم التحام أجزاء منها مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى تكون كروموسومات هجينة ثم إلى تكوين اتحادات جديدة، وقد أثبت مورجان ورفاقه صحة نظرية جانس Janssen ، عام 1909 التي افترض فيها أن الكيازمات هي نقاط عبور بين الكروموسومات المتماثلة، وأكد أن عملية العبور هي عملية عشوائية تعتمد بالدرجة الأولى على مدى قوة الارتباط بين مواقع الجينات المختلفة على الكروموسوم نفسه، والتي تزداد سهولة كلما تباعدت هذه المواقع عن بعضها، وكلما سهل تكون اتحادات جديدة، وبالعكس، فكلما اقتربت

المواقع الجينية من بعضها كلما ازدادت صعوبة العبور، وازدادت صعوبة تكون اتحادات جديدة، فالارتباط والعبور هما عمليتان فيزياويتان حادثتان بين الجينات.



يمكن تقسيم الارتباط إلى نوعين

(1) الارتباط التام Complete linkage

يعد الارتباط تاماً عندما تكون الجينات متقاربة جداً وتنتقل معاً على الدوام من جيل إلى آخر، ولا يحدث أي عبور جيني فيها إلا نادراً، مما يؤدي إلى عدم تكون اتحادات جديدة أي تكون نسبة حدوثها صفراً. ففي ذبابة الفاكهة، ترتبط جينات الكروموسوم الرابع ارتباطاً تاماً تقريباً - مع بعضها ، فعند تضريب ذبابة ذات أجنحة منحنية bent wings وشعيرات محلوقة Shaven hair، وهما صفتان محمولتان على الكروموسوم الرابع، مع ذبابة طبيعية إن الجيل الأول سيكون ذا مظهر طبيعي هجين الصفتين، وعند تضريب أفراد الجيل الأول ختبارياً مع سلالة متنحية الصفتين، فإن الجيل الثاني سيتكون من ذباب طبيعي وذباب تنحي الصفتين، ولا تظهر أية ذبابة تحمل صفة سائدة وصفة متنحية على الإطلاق مما يدل ى قوة ارتباط الجينات الأبوية مع بعضها.

أثبتت التجارب أن الارتباط يكون تاماً تقريباً - في ذكور ذبابة الفاكهة، بينما يكون غير تام في إناثها، فعند تضريب ذكر أحمر العين طويل الجناح هجين الصفتين سائد اختبارياً مع أنثى ارجوانية العين purple eye أثرية الجناح vestigral wing وتقع كلتا الصفتين على الكروموسوم الثاني، فإن الجيل الناتج سيكون طبيعي الصفات (50%) ومتنحي الصفات

50%)، ولكن عند تضريب أنثى سائدة هجينة مع ذكر متنحي الصفتين، فإن الجيل الناتج سيكون طبيعياً (25%) ومتنحياً (25%) من الصفتين، أو يحمل صفة سائدة وأخرى متنحية (50%)

(2) الارتباط غير التام Incomplete linkage

يعد الارتباط غير تام عندما تستطيع جينات كروموسوم معين الانتقال إلى كروموسوم آخر نتيجة العبور، ومن خلال تكون الكيازمات، مما يؤدي إلى انعزال الجينات انعزالاً حراً وتكون اتحادات جديدة.

يحدث العبور بين كروماتيدين من مجموع أربعة كروماتيدات، ولهذا لن تزيد نسبة الاتحادات المتكونة عن 50% مما يعني أن 50% من الكروموسومات تحمل صفات أبوية و 50% تحمل صفات جديدة هجينة وخليطاً من صفات الأبوين، بينما لن تقل النسبة عن صفر في حالة حدوث ارتباط تام، ولكن بصورة عامة، فإن نسبة تكون الاتحادات الجديدة يقل عن 50% - عادة، وقد لاحظ مورجان ظاهرة الارتباط غير التام عند قيامه بتضريب سلالة من ذكور ذباب الفاكهة ذات عيون بيض white eye ، وأجنحة مصفرة miniature wing أن كلتا الصفتين واقعتان على الكروموسوم الأول، ومع سلالة من الإناث طبيعية نقية سائدة، فكان الجيل الأول نقياً هجيناً سائداً.

وعندما تم تضريبها مع بعضها البعض، كانت نسبة الذكور ذات الصفات الأبوية 62.4% مقارنة بنسبة الذكور ذات الصفات الجديدة (37.0%) بدلاً من أن تكون النسبة 1:1مما يدل على أن الجينين المسؤولين عن توارث هاتين الصفتين مرتبطان ارتباطاً غير تام مع بعضهما.

الكشف عن الارتباط والعبور

توجد طريقتان لتعيين الارتباط والعبور في الكائنات الحية وهي: -

(1) طريقة التضريب الاختياري

عند تضريب سلالة هجينة الصفتين اختبارياً مع سلالة متنحية الصفتين فإن ذلك سيؤدي إلى إنتاج أفراد ذات صفات سائدة ومتنحية وأفراد تحمل صفة سائدة وصفة متنحية بنسبة 1:1:1:1، وهي النسبة المندلية المتوقعة عند انعزال الجينات انعزالاً حراً، ولكن حدوث أي انحراف مهم إحصائياً في هذه النسبة، كأن تصبح 2:1:1:9، فإن ذلك يعني ارتباط الجينات بصورة تامة أو غير تامة.

(2) طريقة دراسة الجيل الثاني: -

تنتج النسبة المندلية 1:3 أو 1:3:3:9 عند تضريب أفراد هجينة تحمل صفة واحدة أو صفتين على التوالي وأي اختلال جوهري إحصائي في هذه النسب المندلية يدل على وجود الارتباط بين المواقع الجينية المختلفة.

جدول (18) النسب المندلية وعلاقتها بعدد الجينات الوراثية

الحاملة للصفة	النسبة المندلية
1	1:3
2	1:3:3:9
3	1:3:3:9:3:9:9:27
4	1:3:3:9:9:9:9:27:3:9:9:27:9:27:27:81
5	1:3:3:9:9:27:3:9:9:7:9:27 :27:81:3:9:9:27:9:27:27:81:9:27:27:81:27:81:81:243