

الارتباط والعبور Linkage, Crossing over

الارتباط Linkage :

يطلق على المورثات المحمولة على نفس الكروموسوم بأنها مرتبطة، تبقى هذه المورثات معاً وتنتقل مع بعضها من جيل إلى جيل. ويؤدي ارتباط المورثات إلى تحويل النسب الوراثية حسب قانون مندل الثاني.

وحسب قانون مندل الثاني فإذا أجرينا تلقيح اختباري لزوجين من الجينات A , B متوزعان توزيعاً حراً (مستقلاً)، أي أنهما محمولين على زوجين من الكروموسومات غير النظيرة، فإن النسبة المظهرية للأفراد تكون 1 : 1 : 1 : 1 كما هو موضح فيما يلي :

الأباء: AaBb x aabb

AB	Ab	aB	ab	الجاميتات
AaBb	Aabb	aaBa	aabb	ab
1	:	1	:	1
				النسبة

أما إذا كان المورثين محمولين على نفس الكروموسوم فإنهما يميلان إلى أن يظلا مع بعضهما البعض ويطلق على هذين الزوجين من المورثات بأنهما مرتبطان ارتباطاً تاماً Complete linkage ، وبالتالي فإنهما ينتقلان سوياً إلى الأبناء . ولتوضيح مواقع المورثات على الكروموسومات ، يوضع خط مائل بين المورثات ، وهذا يعنى أن الأليلات المتواجدة على يمين الخط واقعة على أحد الكروموسومات والمورثات الواقعة على الجانب الآخر متواجدة على الكروموسوم النظير كما يلي :

الأباء: AB/ab x ab/ab

الجاميتات: (AB) (ab) (ab)

الجيل الأول: AB/ab 1 : ab/ab 1

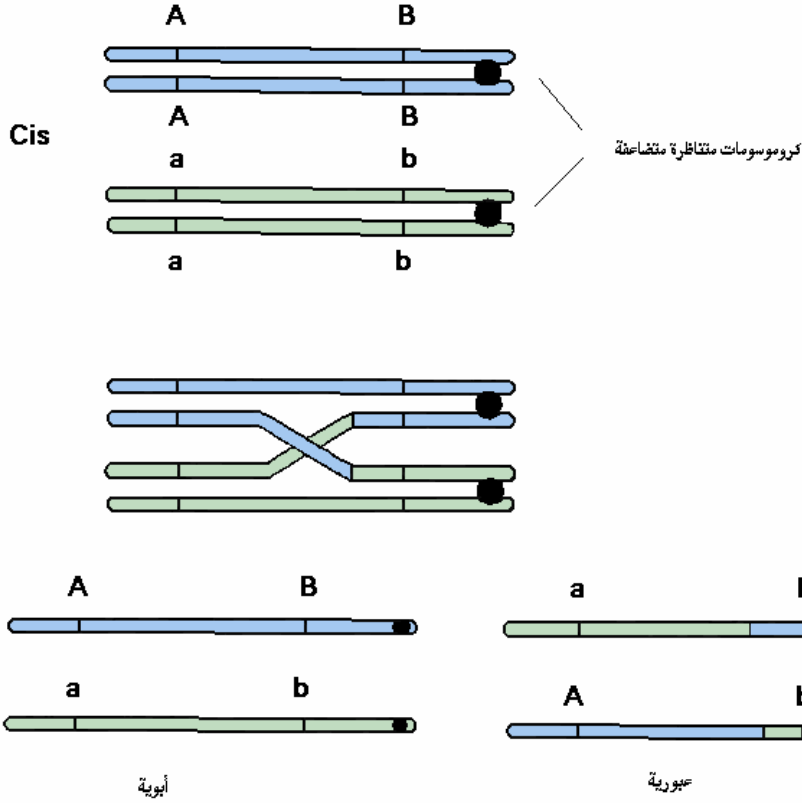
وبالتالي فإن هذا الاختلاف في النسبة المتوقعة للتلقيح الاختباري بدلاً عن النسبة 1 : 1 : 1 : 1 يمكن اعتباره كدليل على وجود الارتباط .

العبور Crossing over

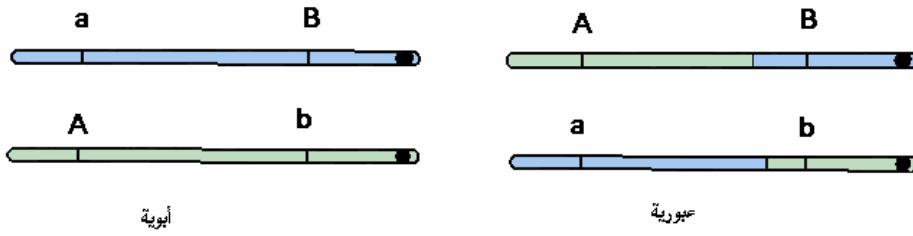
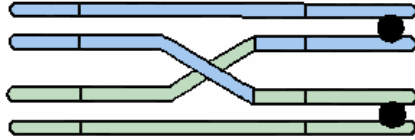
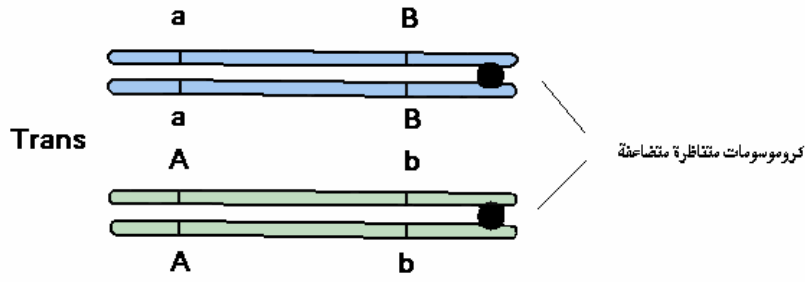
لا يمثل الارتباط التام الحالة الطبيعية لجميع الجينات. وفي أثناء الطور التمهيدي الأول للعبور يتم تبادل بين مقاطع أو أجزاء من الكروماتيدات غير الشقيقتين ونتيجة لذلك ينعدم الارتباط التام بين بعض الجينات في الكروموسومات في الجاميتات الناتجة من عملية الانقسام الاختزالي .

ويتكون نتيجة لعملية العبور أربعة أنواع من الجاميتات. يحتوى اثنان منهما على الكروموسومات الأبوية الحاملة لجينات مرتبطة ارتباطاً تاماً. أما الجاميتان الآخران فإنهما يحتويان على كروموسومات خليطة أي أنها تحتوي على ترتيب جديد يخالف ترتيب الجينات في الكروموسومات الأصلية نتيجة لعملية العبور. ويطلق على النوعين الأولين الذين لم يتم فيهما العبور بأنها جاميتات غير متعابرة أو أبوية. أما النوع الثاني فيطلق عليها بأنها أنواع عبورية أو مجاميع جديدة.

عندما يوجد زوجان من الجينات على نفس الزوج الكروموسومي المتناظر فإنهما يترتبان بإحدى الاحتمالين التاليين :
1 - يوجد الأليلان السائدان على أحد الكروموسومين والأليلين المتنحيين لنفس المورثات على الكروموسوم الآخر ، ويعرف هذا الترتيب باسم النظام الأزواجي (Cis) ..
ويظهر في الشكل التالي:



2 - يوجد الأليل السائدة والأليل المتنحي على نفس الكروموسوم ويعرف هذا الترتيب باسم النظام التنافري (Trans). ويظهر في الشكل التالي:



1

وعليه تتحدد نوعية الجاميتات الناتجة والتراكيب الجديدة تبعاً لنوع ترتيب الجينات على الكروموسومات.

نسبة العبور :

يحدث العبور بين أي كروماتيدين غير شقيقين من بين الكروماتيدات الأربع لكل زوج من الكروموسومات. ويتحدد موقع العبور بواسطة ظهور الكيازما. ويختلف عدد الكيازمات تبعاً للمسافة التي تفصل بين أي مورثين مرتبطين. ويشير معدل نواتج عملية العبور الى نسبة وجود الكيازمات ، بحيث تتضمن كل كيازما واحدة كروماتيدين عبورية فقط من الأربع كروماتيدات .

ويمكن حساب نسبة العبور عن طريق حساب العدد الكلي لنواتج العبور بين أفراد النسل الناتج في التلقيح الاختباري ، كما يلي :

$$\text{نسبة العبور} = \frac{\text{عدد نواتج العبور}}{\text{العدد الكلي للنسل}} \times 100$$

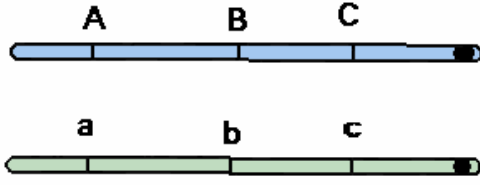
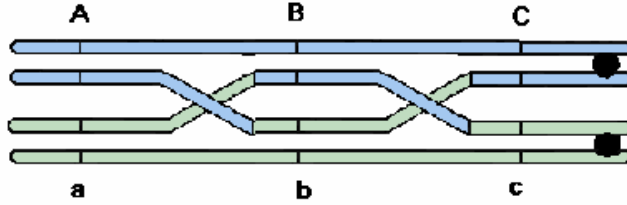
و يجب ملاحظة أن نواتج العبور عادة أقل من 50 % ونسبة الأنواع الأبوية أعلى من 50% ويعود ذلك الى مايلي:

- ليس بالضرورة أن يحدث العبور وقد لا يحدث بين المورثين المرتبطين أو قد يحدث العبور خارج منطقة المورثين .

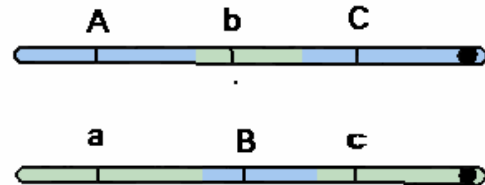
- قد يحدث عبور مزدوج أو عبور متعدد بين المورثين المرتبطين وخاصة إذا كانت المسافة بينهما كبيرة مما يؤدي الى إلغاء أثر العبور المفرد حيث تكون الأنماط المظهرية مشابهة للأباء كما لم يحدث عبور .

العبور المزدوج:

يمكن التعرف على حدوث عبور مزدوج ويلزم لذلك وجود مورث ثالث يقع في الوسط بين المورثتين المرتبطتين على نفس الكروموسوم.



أبوية



عبورية

و يجب ملاحظة أن نسبة نواتج العبور المزدوج عادة أقل من نسبة نواتج العبور المفرد .

وحدة المسافة بين المورثات:

يمكن اعتبار نسبة العبور مقياساً لوصف المسافة بين المورثات ؛ وتعرف باسم " سنتيمورجمان " Centimorgan وتعادل واحداً في المائة للعبور .

فعلى سبيل المثال ، إذا أنتج النمط الجيني Ab/aB جاميتات ، نتيجة لعملية العبور ، بالتراكيب الوراثية AB , ab ونسبة كل منهما هي 8% ، فإن هذا يعني أن المسافة بين المورثتين تساوي 8 وحدات على الخريطة .

التوافق والتداخل:

عندما يحدث عبور مزدوج بين الجينين A , C ، فإن احتمال حدوث العبور المزدوج هو حاصل ضرب احتمال حدوث كل عبور منفرد على حدة ، أي بين الجينين A , B ، وبين B , C .

فإذا كانت نسبة العبور المفرد بين A , B هي 15 % وبين المورثين B , C 10% ، فإن نسبة العبور المزدوج أو الجاميئات المتكونة نتيجة حدوث العبور المزدوج هي 1.5 % ، ويساوي $0.1 \times 0.15 = 1.5\%$.

وفي معظم الكائنات تؤثر الكيازمات الفردية وتتداخل مما يؤدي إلى تقليل فرصة حدوث كيازمات متجاوزة وبالتالي حدوث العبور المزدوج . ويعبر عن ذلك بمعامل التوافق:

$$\text{التوافق} = \frac{\text{نسبة العبور المزدوج المشاهدة}}{\text{نسبة العبور المزدوج المتوقعة}}$$

ويعني ذلك أن التوافق + للتداخل = 1 .

فإذا كانت نسبة العبور المزدوج المشاهد هي 1.1% ، فإن:

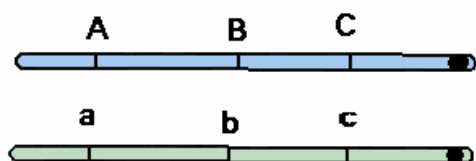
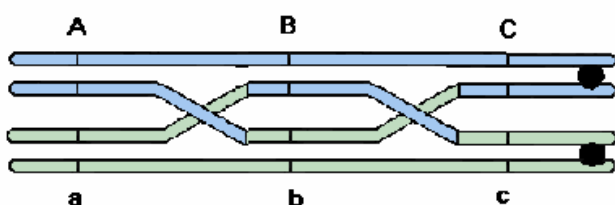
$$0.73 = \frac{1.1}{1.5} = \frac{\text{قيمة المشاهد}}{\text{قيمة المتوقع}} = \text{التوافق}$$

أي أننا نشاهد 73 % فقط من العبور المزدوج في حين تختفي نسبة الـ 27% الباقية نتيجة للتداخل (التداخل = 1 - 0.73 = 0.27) .

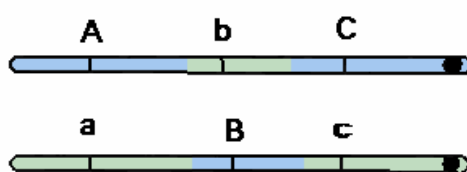
: الخرائط الكروموسومية Chromosome Maps

يمكن تحديد نسبة نواتج عملية العبور بإجراء تلقيح اختياري بين الفرد ذي التركيب الوراثي الخليط heterozygote لثلاث مورثات وبين التركيب الوراثي المتنحي المتجانس لنفس المورثات.

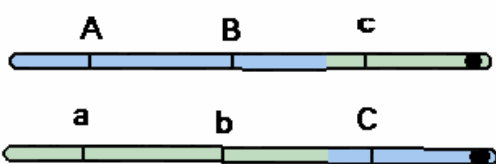
فإذا حدث عبور بين هذه المورثات ، فإن النسبة 1 : 1 : 1 : 1 تتحول تبعاً لنسبة العبور . وهو ما يشير الى وجود ارتباط بين هذه المورثات. وقد يحدث أثناء تكوين الجاميئات عبور مفرد بين A و B أو B و C أو عبور مزدوج كالتالي :



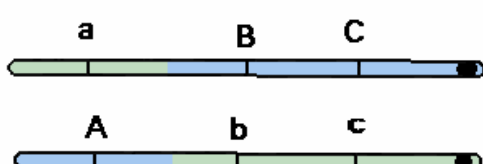
أبوية



عبورية مزدوج



عبورية مفرد بين B-C



عبورية مفرد بين A-B

ويمكن حساب نسبة العبور المفرد والمزدوج التي تحدث بين المورثات كما هو موضح بالجدول التالي :

النمط الوراثي	النسبة	المجموعة	نسبة العبور
---------------	--------	----------	-------------

		43	ABC
% 86	أبوية (لم يحدث عبور)	43	Abc
% 6.4	عبور مفرد بين A , B	3.2	Abc
		3.2	aBC
% 6	عبور مفرد بين B , C	3	ABc
		3	abC
% 1.6	عبور مزدوج بين A , B B , C	0.2	AbC
		0.2	aBc

يمكن ملاحظة أن نسبة الأفراد الأبوية تمثل أعلى نسبة أما نسبة الأفراد التي تظهر نتيجة العبور المفرد فهي أقل أما الأفراد التي تظهر نتيجة العبور المزدوج فإنها تمثل أقل نسبة . ويعتبر العبور المزدوج دليلاً على موقع المورث الوسطي ولهذا فإن المورث B هو الذي يقع في وسط الترتيب .
وعليه يكون ترتيب المورثات ABC . ويمكن توضيح ترتيب هذه المورثات كالتالي:

