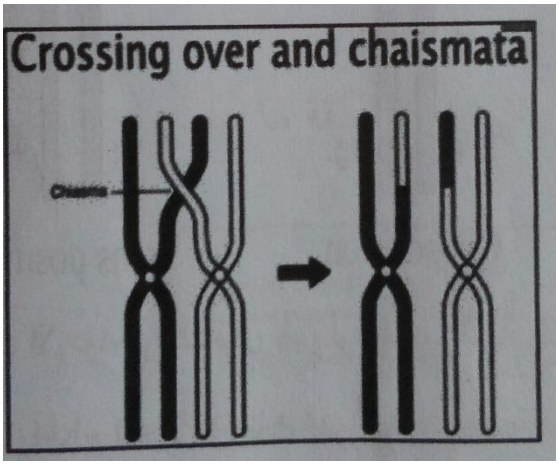
العبور الوراثيCrossing over

يلعب العبور دوراً بالغ الأهمية في التطور ويعد العبور والتوزيع الحر من اكثر الاليات أهمية لانتاج اتحادات جديدة من الجينات ويعمل الانتخاب الطبيعي على حفظ تلك الجينات التي تنتج كائنات تمتاز باعلى درجات الموائمة والتي تمنح الكائن الحي أعلى فرص البقاء والاستمرار ويمكن تلخيص اهم خصائص مفهوم العبور اللوراثي بالتالي :

1-يطلق على مكان وجود الجين على كروموسوم معين اسم Locus والجمع Loci وتترتب مواقع الجينات على كروموسومات في تتابع طولي

2- يشغل اليلي الجين في التركيب الوراثي الخليط اماكن متطابقة على الكروموسومين النظيرين أي ان الاليل A يشغل نفس المكان على كروموسوم _(1) والذي يشغله الاليل a على الكروموسوم النظير (2)

3- يتضمن العبور كسر لكل من الكروموسومين النظيرين وتبادل الأجزاء فيما بينهما .



4- يحدث العبور اثناء تلاصق الكروموسومات المتناظرة في الدور التمهيدي الأول prophase 1 من الانقسام الاختزالي في مرحلة الدور الازدواجي .

5- يزداد احتمال حدوث العبور بين الموقعين بزيادة المسافة بينهما على الكروموسوم .

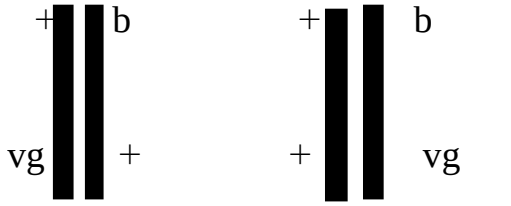
6- تتكون الكروموسومات ذات الاتحادات الوراثية الجديدة بالنسبة للجينات المرتبطة كنتيجة لحدوث العبور في المناطق بين موقعين

*نسبة العبور = عدد الافراد التي تظهر بها اتحادات جديدة / المجموع الكلي للافراد

* ويطلق على الافراد الناتجة عن الاتحادات الجديدة فئات عبوريه بينما يطلق على الافراد التي تظهر بهم الاتحادات الابوية فئات غير عبوريه او ارتباطية

* وقد اثبتت الدراسات الوراثية ان نسبة العبور بين أي جينين مرتبطين هي نسبة ثابتة سواء كان التركيب الوراثي لها في وضع التجاذبي او الازدواجي Couplingاو Cis arrangement

او في الوضع التنافري Repulsion اوTrans arrangementوقد وصف موركان الحالات التي تحمل فيها الكاميتة جينين سائدين او جينين متنحيين على نفس الكروموسوم بالوضع الازدواجي بينما الحالات التي تحمل فيها الكاميته جيناً سائداً او اخر متنحياً بالوضع التنافري



Trans position Cis position

الترتيب الازدواجي والتنافري لجين لون الجسم الرمادي والجناح الطبيعي والجسم الأسود والجناح المختزل في اناث الدروسوفيلا خليطة التركيب الوراثي .

العوامل المؤثرة في العبور الوراثي

1-الجنس : وهو يؤثر على نسبة العبور فمثلاً في ذكور الدروسوفلا تكون نسبة العبور قليلة أو معدومة وكذلك في الأجناس المتباينة الامشاج تكون النسبة اقل مما هو في الأجناس المتماثلة الأمشاج .

2- عمر الام : حيث يقل العبور بتقدم عمر الام

3- الحرارة : زيادة درجة الحرارة تؤثر على نسبة العبور والحرارة الاعلى او اقل من 22 م ^{5} تزيد من نسبة العبور

4- تأثيرات الغذاء والمواد الكيمياوية والاشعاع : مثلاً التركيز العالي للكالسيوم يقلل من نسبة العبور بين الجينات على كروموسوم X بينما يزداد العبور عند التعرض للاشعاع .

5- تأثير النمط الوراثي : تختلف نسبة العبور بين جينين معينين باختلاف النمط الوراثي للسلالات المختلفة .

6- تأثير السنترومير : حيث يقل العبور قرب مناطق السنترومیرات .

التداخل والتوافق interference and coincidence

التداخل يعني ان حصول عبور وراثي في منطقة ما يمنع عبور وراثي في منطقة أخرى مجاورة مثلاً العبور بين A,Bيمنع حدوث عبور في منطقة C,D ومن أسباب التداخل هي

1-كروماتيدي هذا النوع من التداخل يؤدي الى نقص الكروماتيدات التي فيها عبور وراثي بسبب عدم حصول انكسار والتحام الكروماتيدات.

2- تداخل الكيازما : وهو حصول عبور وراثي في منطقة يمنع حصول عبور وراثي في منطقة أخرى بسبب عدم قدرة الكروماتيدة على الالتحام مرة أخرى

3- تداخل بسبب شدة الحلزنة: ان هذا التداخل يحصل نتيجة شدة الحلزنة الموجودة في ال DNA

التوافق ونعني به حصول عبور وراثي في منطقة ما يسمح بحصول عبور وراثي اخر في المنطقة المجاورة

$$\text{معامل التوافق} = \frac{\text{العبور المزدوج المشاهد \%}}{\text{العبور المزدوج المتوقع\%}}$$

ويعتبر التوافق مكملاً للتداخل ←معامل التوافق + التداخل = 1

معامل التوفق = 1- التداخل

اذا كانت قيمة التوافق 1 فانه لا يوجد تداخل بين الكيازمات (التداخل =0) واذا كانت قيمة معامل التوافق (0) فانه لا يحدث عبور مزدوج متوقع لذلك يكون التداخل تام =1

العبور المزدوج المتوقع = $\frac{\text{المسافة العبور في منطقة رقم1}}{100} X \frac{\text{مسافة العبور في منطقة رقم2}}{100}$

عند نقص التداخل يزداد التوافق وعند غياب التداخل معامل التوافق يساوي واحد (1) واذا كان معامل التوافق (0-1) يقال بوجود التداخل موجب Positive interference

اما في كون معامل التوافق اكبر من 1 يعني بوجود تداخل سالب negative interference حيث يكون فيه حدوث تعابر في منطقة ما يزيد من احتمالية حدوث عبور في المنطقة المجاورة وهذا ما يحدث في بعض ملتهمات البكتيريا T4 وبعض الفطريات

مثال / سجلت المسافات الخرائطية لثلاث جينات لنبات الذرة هي

C (اليرون غير ملون colourless)

Sh(ذرة مجعدة Shrunken grain)

WX(اندوسبيرم شمعي Waxy endosperm)

ولوحظ تكرار العبور بين الجينات كما في الجدول التالي

المنطقة	الجينات	نسبة العبور %	مسافة خرائطية
1	C-Sh	3.4	0.1+3.4=3.5
2	Sh-WX	18.3	18.3+0.1=18.4
عبور مزدوج	C-Sh-WX	0.1	

اذا كان العبور مستقلاً في المنطقة 1,2 فان العبور المتوقع يحسب كالاتي

العبور المزدوج المتوقع = $\frac{\text{مسافة العبور في منطقة رقم1}}{100} X \frac{\text{مسافة العبور في منطقة رقم2}}{100}$

$= \frac{18 \cdot 43 \cdot 5}{100\ 100} X = 0.6$

معامل التوافق = $\frac{0 \cdot 1}{0 \cdot 6} = 0.167$

التداخل =1– معامل التوافق 0.833 = 0.167 -1

الخرائط الوراثية Genetic maps

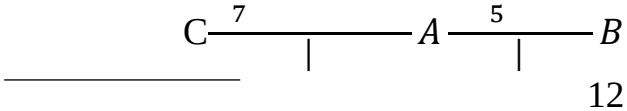
يطلق عليها بالخرائط الكروموسومية وهي تمثل "تخطيطاً للمواقع النسبية والمسافات بين الجينات في كل زمرة ارتباطية " وتستعمل الخرائط الوراثية في

1-تحديد التتابع الخطي الذي تترتب به العوامل الوراثية بالنسبة لبعضها البعض

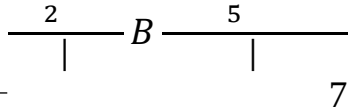
2- تحديد المسافات الوراثية بين العوامل الوراثية الواقعة في زمرة ارتباطية واحدة

نسبة العبور بين أي زوج من الجينات تكون ثابتة ومحددة تختلف هذه النسبة بين الازواج المختلفة من الجينات ويعود ذلك الى ان كل حين له موقع جيني ثابت ومحدد على الكروموسوم وباستعمال نسب العبور بين ازواج الجينات يمكن معرفة ترتيبها على الكروموسومات الحاملة لها

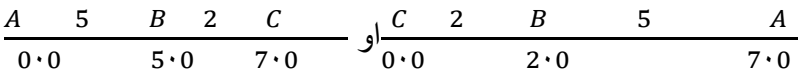
- أشار موركان1911م الى ان قوة الارتباط بين ازواج الجينات توقف على المسافة الكروموسومية التي تفصل هذا الزوج عن بعضه وان احتمال حدوث العبور يزداد بازدياد المسافة بين الجينيين لذا يكون الارتباط قوياً بين الجينات القريبة جداً من بعضها حيث يندر حدوث العبور بينها
- تقاس المسافة بين الجينات بةحدة قياس تدعى (وحدة المسافة الوراثية) او الوحدة الخرائطية Map unit وكذلك تدعى بسنتيموركانCentimorgan تكريماً لعالم وراثة الدروسفلا المشهور توماس هنت موركان وهي المسافة بين الجينات المرتبطة
- الوحدة الخرائطية تمثل المسافة الطولية على الكروموسوم التي يحدث على مداها عبور واحد في كل 100 كميت وتستعمل لتقدير المسافة بين موقعين جينيين
- اذا افترضنا وجود ثلاث عوامل وراثية A,B,C واردنا ترتيب هذه الجينات طوليا فهناك عدة ترتيبات ممكنه على أساس العامل الوراثي الموجود في الوسط ونسبة العبور بين كل زوج هي التي تحدد الترتيب الصحيح بين هذه الجينات اذا كانت نسبة العبور بين A-B هي 0.05 أي ان المسافة بينهما هي 5 وحدات عبوريه ونسبة العبور بين B-C هي 0.12 أي 12 وحدة عبوريه ومع ذلك نستنتج الترتيب الطولي لهذه الجينات الثلاثة ويمكننا رسم الخريطة الوراثية لها كما يلي



- من جهة أخرى اذا كانت نسبة العبوريه بين B-Cهي 0.02 بدلاً من 0.12 أي ان المسافة بينهما هي وحدتان عبوريتان فان الخريطة الوراثية ستكون بالشكل الاتي AC



ان الجين الأقرب الى احد طرفي الكروموسوم في الخريطة يخصص لموقعه نقطة البداية (صفر) وتعطي أماكن الجينات الأخرى بالنسبة له وبذلك تكون الخارطة الوراثية



التضريب الاختباري لثلاث نقط Three point cross

اكثر الوسائل استخداماً في رسم الخرائط الوراثية للكروموسومات هي التهجين الاختبارية لثلاث نقط او ما يسمى الهجن الثلاثية trihybrid

مثال/ عند تضريب حشرة دروسوفيلا عديمة العرق العرضي cv مع ذكر ذو جناح مقطوع c وعين خشنةec ولقحت اناث الجيل الأول مع ذكر اختباري حيث ظهرت النتائج التالية

ذكر ذو جناح مقطوع وعين خشنة $\frac{+\quad cv \quad +ec \quad + \quad c}{+ \quad cv \quad + ec \quad + \quad c}$ xانثى عديمةالعرق

ذكر $\frac{+\quad cv \quad ++ \quad cv \quad +}{ec \quad + \quad cec \quad + \quad c}$ x انثى

وعندما تلقح اناث الجيل الأول تلقح اختباري مع ذكور متنحية فنحصل على النتائج التالية

ذكر $\frac{c}{c}$ $\frac{ec \quad cv}{ec \quad cv}$ x $\frac{+ \quad cv \quad +}{ec \quad + \quad c}$ انثى

ت	الفئة المظهرية	عدد الافراد	النسل الناتج		
1	عديم العرق العرضي	2207	+	*cv*	+
2	خشن العين مقطوع الجناح	2125	c	+	ec
3	مقطوع الجناح	*265*	c	+	+
4	خشن العين عديم العرق	*273*	+	cv	ec
5	عديم العرق مقطوع الجناح	*223*	**c**	**cv**	**+**
6	خشن العين	*217*	+	+	ec
7	عادي	*5*	+	+	+
8	خشن العين عديم التعرق مقطوع الجناح	*3*	c	cv	ec
		5318			

معدل العبور بين *cv* و *ec* = $\frac{265+273+5+3}{5318}$x100% = 10.26%

معدل العبور بين cv وc= $\frac{223+217+5+3}{5318}$x100% =8.42%

معدل العبور بين ec وc = $\frac{223+217+273+265}{5318}$ x 100% = 18.39%

تدل هذه المعدلات على ان الجينات تقع على نفس الكروموسوم بحيث يكون الجين cv في الوسط كما يلاحظ ان المسافة بين ec وc تبلغ 18.395 % ولكنها لا تساوي مجموع المسافتين بين ec وc أي عبور بين ec وcv وعبور اخر في نفس الوقت بين cv وc وكانت نتيجة حدوث العبور المزدوج هو ظهور الحشرات + + + وحشرات c cv ec .

الوراثة الكمية Quantitative Genetics

كانت الصفات المندلية الكلاسيكية صفات نوعية Qualitative trails سهلة التصنيف الى مجاميع متميزة من الأنماط الظاهرية ونتجت هذه الصفات من تأثير جين او جينين بالإضافة الى الصفات النوعية يوجد الكثير من الصفات المهمة في النباتات والحيوانات والانسان لا يمكن تصنيفها الى مجاميع متميزة ولكن يمكن قياسها والتعبير عنها بوحدات قياس المسافة او الوزن او الحجم وبذا تشكل اختلافات مستمرة وتكون هذه الصفات كمية Quantitative trails في طبيعتها وتنتج من فعل وتفاعل عدة جينات وكذلك تتأثر هذه الصفات بعوامل البيئة المختلفة .

ومن الأمثلة على الصفات الكمية هي الصفات المهمة زراعياً واقتصادياً في الكثير من النباتات والحيوانات كإنتاج الحبوب وارتفاع النبات وإنتاج الحليب والبيض ومن الصفات الكمية في الانسان هي طول القامة ووزن الجسم وقد تمت متابعة سلوك هذه الصفات باستخدام قوانين مندل الا ان الحال يختلف فبالنسبة لصفة الإنتاجية تختلف نباتات المحصول الواحد عن بعضها في الإنتاج ان صفات مثل الطول والوزن ذات تباين متصل ولا يظهر عادةً في فئات واضحة منفصلة وتتأثر الصفات الكمية بالبيئة الى حد كبير ومن المؤكد انها نتيجة تفاعل بين التركيب الوراثي للكائن او الظروف البيئة التي تحيط به

ويمكن ان تعزى الاختلافات في الصفات الكمية الى عدد كبير من الجينات التي يطلق عليها polygenes اذ ان كل جين يسهم بمقدار ضئيل في الشكل الظاهري لصفة معينة , ولذا تكون الصفة تراكمية .

-مثال لون الحبة في القمح Seed colour of Wheat

يلاحظ ان الجينات السائدة R1,R2 تزيد من شدة اللون الأحمر كلما زاد عددها من 1 الى 4

احمر داكن جدا	R1R1R2R2	4اليلات سائدة
احمر داكن	R1R1R2r2	3اليلات سائدة
احمر	R1R1r2r2	2اليلان سائدان
احمر باهت	R1r1r2r2	1 اليل سائد
ابيض	r1r1r2r2	0 اليل سائد

وهذا الانعزال بنسبة 1:16 يدل على ان هناك زوجين من الجينات يتحكمان في صفة لون الحبة في القمح .

نظرية العوامل المتعددة Multiple –factor hypothesis

ان نظرية العوامل المتعدد ةتنص على ان الصفة الكمية تتأثر بفعل عدد من الجينات ذات التاثير الصغير والتي تحتل مواقع كروموسومية متعددة وهذه الجينات متشابهة ولها تاثير تراكمي أي ان تأثيرات الجينات المفردة تضاف لبعضها

مثال لون الحبة في القمح seed colour of wheat

اجري تهجين بين صنف من القمح ذي بذور حمراء داكنة جداً واخر ذي بذور بيضاء كانت بذور الجيل الأول ذات لون متوسط بين الابوين وعند ترتيب بذور الجيل الثاني حسب كثافة اللون لوحظ تدرج مستمر من الأحمر الى الأبيض كالتالي

16/1 حمراء مثل الاب الأحمر البذور

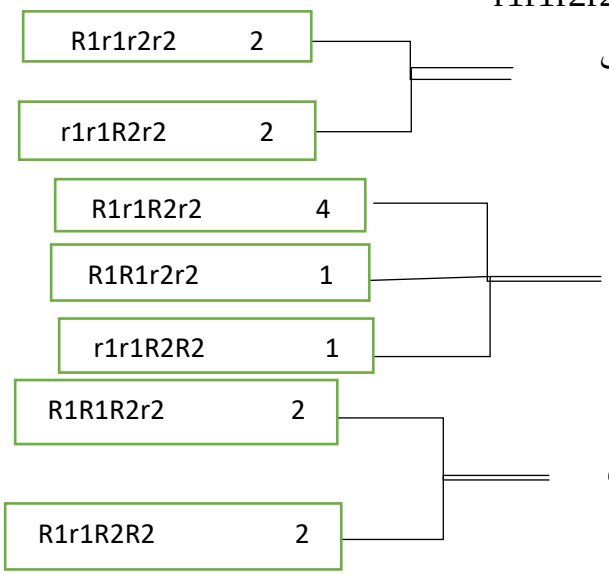
16/1 بيضاء

16/14 لون متوسط بين الابوين

مثال لون الحبة في القمح

وعندما صنفت بذور الجيل الثاني ذات اللون المتوسط بصورة ادق على أساس كثافة اللون شوهدت النسب التالية

16/1 ابيض r1r1r2r2



16/1 احمر داكن جداً R1R1R2R2

مثال عدد الاليلات السائدة على درجة لون البشرة في الانسان حيث هنالك جينان B1,C1 مسؤولين عن هذه الصفة

مثال تزوج رجل زنجي Negro من امرأة بيضاء فما هي التراكيب الوراثية ؟

لنفرض ان صفة اللون تعتمد على جينين هما B,C وكل من هذين الجينين يتكونان من اليلين B1B2,C1C2 ولنفرض ان الاليلين B1C1 يسببان اللون الأسود وان B2C2 يسببان اللون الأبيض لذا فان التركيب الوراثي للشخص الأسود B1B1C1C1 والتركيب الوراثي للشخص الأبيض B2B2C2C2 وعند استخدام هذه الافراد كآباء فان التركيب الوراثي لحميع افراد الجيل الأول سيكون اسمر B1B2C1C2 على افتراض عدم وجود سيادة فان الأبناء تكون ذات الاليلات التي نصفها اسود والنصف الاخر ابيض يكون الناتج الأسمر Mulattoe

P1: B1B1C1C1 رجل زنجي X B2B2C2C2 امرأة بيضاء

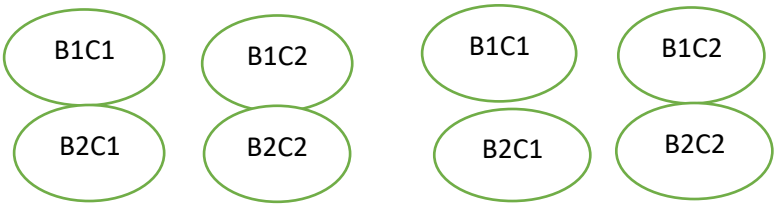
G1: B1C1 ↓B2C2

F1: B1B2C1C2 اسمر

وعند تضريب أفراد الجيل الأول بينهما سيكون الجيل الثاني كالاتي

P2 : B1B2C1C2 امرأة سمراء X B1B2C1C2 رجل اسمر

G2↓



ذكر / انثى	B1C1	B1C2	B2C1	B2C2
B1C1	B1B1C1C1	B1B1C1C2	B1B2C1C1	B1B2C1C2
B1C2	B1B1C1C2	B1B1C1C2	B1B2C1C2	B1B2C2C2
B2C1	B1B2C1C1	B1B2C1C2	B2B2C1C1	B2B2C1C2
B2C2	B1B2C1C2	B1B2C2C2	B2B2C1C2	B2B2C2C2

1→B1B1C1C1	1	اسود
2 →B1B1C1C2 2→ B1B2C1C1	4	اسود فاتح
4 →B1B2C1C2 1→B1B1C2C2 1→B2B2C1C1	6	اسمر
2→B1B2C2C2 2→B2B2C1C2	4	اسمر فاتح
1→B2B2C2C2	1	ابيض

تقدير عدد الجينات للصفات الكمية

استنتج نلسون طريقة حساب عدد الجينات التي تحكم صفة كمية كالتالي

1-اذا كانت نسبة الافراد التي تشابه احد الإباء 4/1 من الجيل الثاني .....وجود زوج واحد من الجينات

2- اذا كانت نسبة الافراد التي تشابه احد الإباء1 /16 من الجيل الثاني .....وجود زوجين من الجينات

3- اذا كانت نسبة الافراد التي تشابه احد الإباء 64/1 من الجيل الثاني .....وجود ثلاث ازواج من الجينات

_يمكن تلخيص العلاقة كالتالي :نسبة الأفراد المشابهة لأحد الآباء $=(1/4)^n$: حيث n عدد أزواج الجينات التي تحكم الصفة الكمية .