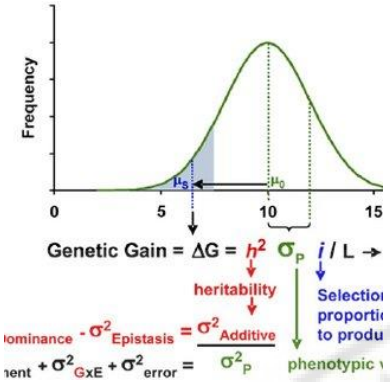
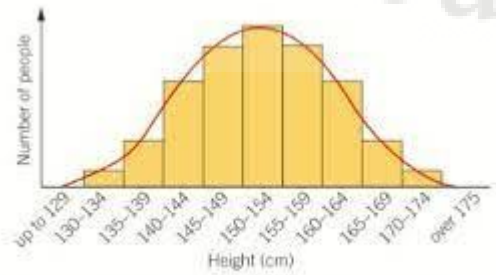


2023

Quantitative Genetics

الوراثة الكمية

د. إسراء البوش



▲ Continuous data is always plotted on a histogram.

المحتويات

الأساس الوراثي 1

مقدّمة..... 1

توراث الصفات البسيطة (مندل)..... 2

مفهوم الأثر المتعدد للمورثة..... 3

مفهوم النفوذية..... 4

مفهوم التعبيرية..... 4

مفهوم المورثات المعدّلة (أو المحوّرة)..... 4

مفهوم صفات العتبة..... 4

مفهوم التباين المستمر 5

الإحصاء الحيوي الوراثي..... 6

الصفات الكميّة والصفات الوصفية 7

الصفة الكمية..... 7

الصفات الوصفية..... 7

خصائص الوراثة الكمية..... 7

التداخل الوراثي..... 8

تحليل التباين المستمر 9

القيم البسيطة المستخدمة في وصف التباين..... 9

1. معامل التباين المظهري، الوراثي، والبيئي..... 9
2. درجة السيادة..... 11
3. درجة الجنوح 13
4. تحليل المتروجِلف 13
5. قيمة D^2 الإحصائية 14

انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة 17

تحليل معامل الارتباط 17

الارتباط البسيط 17

أنواع الارتباط البسيط: 17

تطبيقات الارتباط في تربية النبات: 19

مدلولات الارتباط في تربية النبات: 19

تفسير علاقات الارتباط: 20

تحليل معامل المسار 20

أهم سمات معامل المسار 21

تفسير نتائج معامل المسار 23

تحليل معامل الانحدار 23

أهم استعمالات معامل الانحدار في تربية النبات 25

مفهوم الانتخاب 25

1. شدة الانتخاب 25
2. الفارق الانتخابي 25
3. الاستجابة للانتخاب 26

معامل التوريث، التقدّم الوراثي، قيمة التربية 27

1- درجة التوريث على النطاق العريض 27

2- درجة التوريث على النطاق الضيق 27

3- تقدير درجة التوريث المدركة أو الواقعة 28

4- تقدير درجة التوريث المشتركة 29

5- التقدّم الوراثي 29

6- قيمة التربية 30
7- أفضل تنبؤ خطي غير منحاز..... 31
8- تطبيقات عملية في الإحصاء الحيوي الوراثي 32
مسائل عامة..... 33
مبادئ الإحصاء الحيوي في الوراثة الكمية..... 33
متوسط التوزيع 33
مقاييس التشتت..... 34
إحصائيات عالية المستوى 35
تحليل التباين والتباين المشترك..... 37
الارتباط البسيط..... 48
تحليل معامل المسار 50
درجة السيادة، درجة التوريث، التقدّم الوراثي المتوقع تحقيقه عبر الانتخاب، وقوة الهجين..... 52
وراثة العشائر..... 56
قانون هاري–واينبرغ..... **57**
ثبات التكرار الوراثي في العشيرة..... 59
تحديد التكرار الوراثي 61
الاتزان في العشائر الكبيرة المتزاوجة عشوائياً..... 63
أولاً: حالة الاتزان مستمرة تحت التزاوج العشوائي 64
ثانياً: حالة الاتزان يمكن الوصول إليها بعد جيل واحد إذا كان التزاوج عشوائياً..... 65
التكرار الوراثي في حالة الأليلات المتعددة..... 67
التوازن الوراثي في العشائر في حالة وجود أكثر من موقع وراثي واحد..... 70
أولاً: عندما تكون المواقع مستقلة عن بعضها 70

ثانياً: عندما تكون المواقع مرتبطة مع بعضها..... 73
التكرار الوراثي في حالة الصفات المتأثرة بالجنس 75
التكرار الوراثي في حالات الارتباط بالجنس..... 75
العوامل المخلّة بشروط قانون هاردي–واينبرغ..... 78
أولاً: الهجرة..... 78
ثانياً: الطفرات..... 79
ثالثاً: الانتخاب..... 81
طرق الانتخاب للصفات الكمية..... 82
رابعاً: الانجراف الوراثي..... 84
الحجم التربوي للعشيرة..... 84
تطبيقات عملية لوراثة العشائر في تربية النبات..... 85
اختبار الأليلية..... 85
الانعزالات الوراثية..... 85
السلالة النقية..... 86
السلالة المرباة داخلياً..... 86
الأصناف البلدية غير المحسّنة..... 87
الأصناف البلدية المحسّنة..... 87
الهجن..... 87

الأساس الوراثي The Genetical Foundation

مقدّمة Introduction:

هناك متطلبان أساسيان لتربية النبات Plant breeding: التباين والانتخاب.

وجود التباين في صفة ما ضرورة لتحسينها، فلو كانت كل النباتات في العشيرة متطابقة في صفة ما فإنّه لا يمكن تحقيق أي تقدّم بالنسبة لتلك الصفة. وفي تلك الحالة لا بدّ من إحداث تباين من خلال التهجين أو الطفرات أو التضاعف الصبغي ...إلخ.

الانتخاب هو الخطوة الثانية في تحسين المحاصيل، يتضمن الانتخاب التحديد والعزل للنباتات المرغوبة، ومنه يمكن اعتماد وتوزيع نسل النباتات المنتخبة إذا كانت ملائمة، ومتوفقة على الأصناف الموجودة.

انتخاب النباتات ضمن العشيرة بناء على الشكل المظهري Phenotype (المكوّن الموروث Heritable وغير الموروث Non-heritable). المكوّن الموروث يعود لمورثات النبات (التركيب الوراثي Genotype)، فيما يعود المكون غير الموروث لتأثير البيئة Environment.

تعتمد القيمة المشاهدة في نسل النباتات المنتخبة على الجزء الموروث وغير الموروث في تركيبها المظهري أي:

Phenotype = Genotype + Environment

الشكل المظهري = التركيب الوراثي + البيئة

يتعلّق تحسين صفة ما بمورثة واحدة أو مجموعة من المورثات وإنّ هذه المورثات لا تنتج الصفة مباشرةً إنّما تنتج بروتينات مختلفة والتي غالياً ما تكون أنزيمات. هذه الأنزيمات تتوسط تفاعلات كيمياحيوية معينة، وعليه يمكن القول أنّ الوظيفة الأولية للمورثة هي إنتاج أنزيم معين يتوسط تفاعل كيميائي حيوي محدد. حيث تقود هذه التفاعلات الكيمياحيوية في نهاية المطاف إلى ظهور صفة معينة في النبات (الشكل المظهري Phenotype).

لا تزال العلاقة بين تشكيل الأنزيمات والشكل المظهري غير معروفة لمعظم المورثات، حيث تتباين المورثات والصفات التي تنتجها بتأثير مؤثرات كيمياحيوية وفيزيائية. ولذلك يتأثر تحسين الصفة بالتداخل مع المورثات الأخرى المؤثرة في الشكل المظهري للنبات والعوامل البيئية. وبكل الأحوال فإنّ درجة تأثير عمل المورثة بهذه العوامل يختلف من صفة لأخرى.

توراث الصفات البسيطة (مندل) Inheritance of Qualitative Characters:

قدّم مندل قوانين الوراثة بناء على دراسته للصفات الوصفية، حيث تتحدد الصفات بواسطة المورثات، وهذه المورثات عادة نجدها في الصبغيات الموجودة في نواة الخلية، وفي سيتوبلازم النباتات الراقية. يملك كل صبغي زوج متطابق نسميه Homologous. تتجمع الصبغيات الأخوية Homologous وتتحرك نحو القطب المعاكس خلال الانقسام المنصف Meiosis في الدور الأول تحديداً First anaphase. تحتوي الأمشاج المتشكلة (الجاميطات Gametes) واحدة من الزوج الصبغي. وتعود الصبغيات الأخوية لتتجمع خلال الإخصاب في الخلية المخصبة Zygote، حيث يحتوي الزيغوت عوامل من الأب والأم.

تمتلك كل مورثة نسختين في الصبغيين الأخوين وهاتين النسختين قد تكونان متشابهتين أو مختلفتين، وسلوك المورثات خلال الانقسام والإخصاب متطابق. قد تملك الصفة الواحدة أحياناً نسخ متعددة Alternative forms من المورثة الواحدة فتسمى الصفة Contrasting character، وتسمى هذه النسخ المتعددة بالأليلات Alleles.

بالعموم عندما يجتمع أليلين خلال تهجين معين، يعبّر أحد الأليلين عن نفسه أي يكون سائد Dominant. فيما يعجز الأليل الآخر المقابل عن ذلك ويسمى متنحي Recessive.

مثال: الأليل المسؤول عن الشكل الدائري للبذور W سائد والبذور المجعّدة w متنحي.

Parents	Round (WW)	x	Wrinkled (ww)
Gametes	W		w
F_1		Ww (Round)	
Selfing of F_1s	F_1 (Ww)	x	F_1 (Ww)
Gametes	W w		Ww
F_2			

	W	w
W	WW (Round)	Ww (Round)
w	Ww (Round)	ww (wrinkled)

ينفصل الأليلين (F_1(Ww إلى جاميطتين مختلفتين وهو ما يُعرف بالانعزال Segregation، ينتج من انعزال أليلي المورثة نوعين من الجاميطات W و w وبتكرار متساوٍ، وينتج من الاتحاد العشوائي لهذه الجاميطات ثلاثة

طرز مختلفة (WW, Ww, ww)، والتي بدورها تنتج طرازين مظهريين (الدائري والمجعّد) بنسبة 1:3. وفي حال انعزال مورثتين فغالباً ما تنعزل بشكل مستقل عن بعضها البعض، وينتج عن ذلك أربع جاميطات بتكرار متساوي وينتج من الاتحاد العشوائي لها تسعة طرز وراثية وأربعة أشكال مظهرية بنسبة 9:3:3:1.

Parents: Round, Yellow (WWGG) X Wrinkled, Green (ww gg)

F_1: Round, Yellow (WwGg)

F_2:

Round Yellow	WW GG, WWGg, WwGG, Ww Gg	9
Round Green	WW gg, Wwgg	3
Wrinkled Yellow	wwGG, wwGg	3
Wrinkled Green	wwgg	1

عندما تظهر نسختين متطابقتين من المورثة (أليلين) في الفرد WW أو ww فنسميه Homozygote متماثل اللواقح. وعندما تكون مختلفتين Heterozygote Ww متخالف اللواقح. ينتج عن كل من المتماثلة اللواقح أو متخالفة اللواقح ذات الشكل المظهري في حال السيادة التامة، لذلك قد يعود الشكل المظهري لطرز وراثية مختلفة. ولكن يمكن التمييز بين الطرازين الوراثيين Ww وWW من خلال سلوكهما التربوي. ويمكن ذلك من خلال اختبار النسل Progeny test. اختبار النسل أساسي في جميع برامج تربية النبات الحديثة Breeding programes.

مفهوم الأثر المتعدد للمورثة Pleiotropy:

بشكل عام من المفترض أن تتحكم كل مورثة Oligogene في صفة واحدة، ولكن هناك العديد من الحالات التي يُعرف فيها أنّ مورثة رئيسة واحدة تؤثر في أكثر من صفة. تُعرف ظاهرة المورثة الواحدة الرئيسة Single major gene التي تؤثر على أكثر من صفة واحدة باسم Pleiotropy، ويُعرف هذا الفعل الوراثي باسم الأثر المتعدد للمورثة Pleiotropic gene action. كمثال عن تلك الظاهرة وجد في القمح أنّه عند إجراء تهجين رجعي بين أصناف ذات سفا (حاملة للمورثة المسؤولة عن وجود السفا) وأصناف عديمة السفا، أدى ذلك إلى زيادة في الغلّة وحجم البذور.

ينتج مظهر المورثة متعددة الأثر عن مورثة واحدة أو قد يكون السبب الارتباط الوثيق بين مجموعة من المورثات. في تحسين المحاصيل لا فرق كبير فيما إذا كان الأثر الجانبي المرافق المفضل للمورثة ناتجاً عن الأثر المتعدد أو بسبب الارتباط. ولكن عندما تكون الآثار الجانبية غير مرغوبة، فإنّ ظاهرة المورثة متعددة الأثر لا

توفر أي فرصة لازالتها، ولكن في حالة الارتباط الوثيق يمكن إزالة الآثار الجانبية عن طريق زيادة حجم العشيرة لاستعادة التوافيق المفضلة بين المورثات.

مفهوم النفوذية Penetrance:

تُعبِّر المورثات Oligogene بشكل عام عن نفسها في جميع الأفراد الذين يحملونها ويكون تعبيرها موحداً إلى حد ما. لكن تفشل بعض المورثات في التعبير عن نفسها في بعض الأفراد الذين يحملونها، ويقال عن مثل هذه المورثات بأنّ نفوذيتها غير كاملة Incomplete penetrance. وبالتالي فإنّ النفوذية هي قدرة المورثة على التعبير عن نفسها في الأفراد الحاملين لها في أنماطهم الوراثية. فبالنسبة للأليل السائد يكون النمط الوراثي المناسب هو الزيجوت المتماثل السائد وكذلك الزيجوت المتخالف اللواقح، بينما بالنسبة للأليل المتنحي سيكون الزيجوت المتماثل المتنحي.

مفهوم التعبيرية Expressivity:

تُظهر بعض المورثات درجات متفاوتة من التعبير لدى أفراد مختلفين لديهم النمط الوراثي المناسب لهذه المورثة. ويُقال أنّ هذه المورثة لديها تعبير متغيرVariable expressivity. لذلك نقول أنّ التعبير الوراثي Expressivity يُشير إلى قدرة المورثة على التعبير عن نفسها بشكل موَّحد في جميع الأفراد الذين يحملون النمط الوراثي المناسب.

النفوذية غير الكاملة والتعبيرية المتغيرة هي نتائج تأثيرات العوامل البيئية على التعبير المورثي، لذلك فإنّ مثل هذه المورثات تشكل صعوبة في اختيار الأنواع أو الأفراد المرغوبة، وفي مثل هذه الحالات تكون هناك حاجة لاختبار النسل لأكثر من جيل واحد لتحديد التراكيب الوراثية للنباتات المنتخبة بما لا يدع مجالاً للشك.

مفهوم المورثات المعدّلة (أو المحوّرة) Modifying genes:

يُوجد العديد من المورثات التي لا يبدو لها أي تأثير خاص بها لكنها تزيد أو تقلل من التعبير الوراثي لمورثات أخرى. والمورثات المعدّلة الفردية لها تأثير ضئيل وهي تركمية في طبيعتها. وعليه فإنّ أثرها ذات طبيعة كمية لأنّها تولّد تبايناً كمياً في صفات قليلة التباين Oligogene traits ولذلك تتم دراستها بنفس طريقة دراسة الصفات الكمية.

مفهوم صفات العتبة Threshold characters:

تتطلب بعض المورثات بيئة معينة للتعبير عن نفسها مثل درجة حرارة معينة ...إلخ. وتُعرف الصفات التي يعتمد تطوّرها على بيئة معينة باسم صفات العتبة. مثال ذلك مورثة متحورة تظهر الشتلات بيضاء اللون (ألبينو)

عند درجة حرارة أقل من 8 درجات مئوية، ولكن عندما تُزرع الشتلات التي تحمل هذه المورثة في درجة حرارة 19 مئوية أو أعلى فإنها تتطور إلى شتلات خضراء عادية طبيعية، أيضاً لا يمكن التمييز بين النباتات المقاومة للأمراض مالم تتعرض لأمراض معينة.

مفهوم التباين المستمر Continuous Variation:

وضع مندل أسس علم الوراثة وقسّم نباتاته إلى فئات حسب الشكل الظاهري، ولو كان هناك دراسات لاحقة لقسّمت إلى عدد أكبر من التراكيب الوراثية، فإنّ النباتات والحيوانات تتباين في الشكل ليس فقط بالمورثات التي تملكها بل أيضاً بالبيئات التي تعيش فيها (Mather و Jinkes، 1977).

وضع جوهانسن Johannsen ثلاثة مبادئ لعلم الوراثة:

المبدأ الأول: هو أنّ الشكل المظهري للصفة هو المحصّلة النهائية للتركيب الوراثي والبيئة، وبناءً على ذلك فالتباين المشاهد في صفة ما قد يكون نتيجة لتباين إمّا في التركيب الوراثي أو في البيئة. وإنّ نوعي التباين في الصفة (الموروث وغير الموروث) لا يمكن تمييزها من مجرد النظر، فمثلاً نبات ما أو حيوان ما قد يكون صغير الحجم بسبب قلّة التغذية أو بسبب مورثاته التي اكتسبها من أسلافه، ولا يمكن تمييز أي من السببين من بعضهما إلّا بواسطة "الاختبارات التربوية Breeding test".

المبدأ الثاني: هو أنّ التباين الوراثي Heritable variation قد يظهر نتيجة للتغير في أي عدد من المورثات Genes، وأنّ هذه المورثات المسببة للتباين في الصفة يمكن أن تتداخل مع بعضها بعدة طرائق مختلفة:

a. إمّا أن تكون هذه المورثات عناصر في نظام متعدد المورثات (أو نظام المورثات المتعددة Polygenic system).
b. أو قد تكون تغيرات في مورثات رئيسة Major genes (هذه تتبع في توارثها وسلوكها الوراثة المندلية)، وممكن أن تكون التباينات الظاهرة جزء من نظام المورثات المتعددة بشكل مستقل أو مشتركة مع المورثات الرئيسة وهي الحالة الغالبة، ومثال ذلك محتوى حبوب الذرة الصفراء Maize grains من حمض النيكوتين Nicotinic acid.

وعلاوة على ذلك فكما أنّ فردين أو سلالتين قد يختلفان فيما بينهما لأي عدد من المورثات، فإنّ أي فردين أو سلالتين قد تتشابهان في المظهر نتيجة لمورثات مختلفة، مثال على ذلك القطن الأمريكي G. hirsutum والقطن المصري G. barbadense كلاهما يحتوي على بقع ملونة كبيرة على بتلات الأزهار متشابهة تماماً،

لكن الاختبارات التربوية قد بينت أنّ التنظيم الهندسي الوراثي لهذه الصفة يختلف في الحالتين (Harland، 1936)، وقد توجد اختلافات متماثلة داخل النوع الواحد.

وعليه فإنّ الأساس الوراثي لعدة أشكال مظهرية لصفة ما يمكن اكتشافه فقط بالاختبارات التربوية، ففي بعض الأحيان نكتفي بإجراء اختبار واحد فقط لكشف الأساس الوراثي وذلك عندما يكون الاختلاف في التراكيب الوراثي مرده مورثة واحدة فقط، وبالتالي فإنّ التركيب الوراثي يمكن إدراكه من الشكل المظهري، لكن هذا الوضع لا يمكن إطلاقاً الوصول إليه عندما يكون التباين معتمداً على نظام المورثات المتعددة، وذلك نتيجة التبادل والتداخل في التأثير لكل من العناصر الوراثية في النظام الوراثي مع بعضها البعض أو مع عوامل أخرى غير وراثية.

المبدأ الثالث: وهو متعلّق بالمورثة Gene والصفة Character، فكما أنّ صفة واحدة يمكن أن تتأثر بأكثر من مورثة واحدة، فإنّ مورثة واحدة يمكنها أنّ تؤثر في أكثر من صفة، وهو ما يُعرف كما ذكرنا سابقاً بالأثر المتعدد للمورثة Pleiotropic effect أو Manifold effect، لذلك يبدو واضحاً أنّه يمكن أن يُنسَب بشكل مظهري معين إلى تركيب وراثي بصورة شاملة ولكنه لا يمكن أن تُنسَب أجزاء من الشكل المظهري لأجزاء من التركيب الوراثي فالمورثات في النواة يجب أن يُنسَب بعضها لبعض في التكوين Development.

الإحصاء الحيوي الوراثي Biometrical Genetic:

هو العلم الذي يهتم بتطبيق المفاهيم والطرق الإحصائية على الدراسات الحيوية، ويوجد له فرعان:

1. **الوراثة الكمية Quantitative Genetics:** وهي العلم الذي يهتم بدراسة الصفات الكمية أو بمعنى آخر الصفات التي يتحكم فيها عدد كبير من المورثات.
2. **وراثة العشائر Population Genetics:** وهي العلم الذي يهتم بدراسة توزع وانتشار المورثات في العشيرة.

الصفات الكميّة والصفات الوصفية

Quantitative and Qualitative Characters

الصفة الكمية:

هي صفات يتحكم فيها العديد من المورثات، مستمرة التباين ويصعب وضع حد فاصل واضح بين فئاتها، تتأثر بالبيئة، مقيسة Metric كالطول والوزن تقبل واحدات قياس، تختص بعشائر يكون فيها جميع طرق التزاوج ممكنة، وتُستخدم معايير الإحصاء الحيوي الوراثي لقياسها، وهي الأهم زراعياً والتي تهم مربي النبات (كالغلّة الحبّيّة ومكوناتها وصفات الجودة وقوة النمو وموعد النضج .... إلخ).

الصفات الوصفية:

هي صفات يتحكم فيها مورثة واحدة أو عدد قليل فردي من المورثات، تقع في فئات مظهرية محددة يمكن عزلها بسهولة (وجود السفا أو عديم السفا، الورقة مزغبة أم لا ....)، لا تتأثر بالبيئة، نوعية كاللون والشكل ولا تأخذ واحدات قياس، تختص بتلقيحات فردية محددة ودراسة نسل كل منها على حدة، تحلل بالعدد والنسب Ratios، لا تهم مربي النبات (غير اقتصادية) كشكل الأوراق ووجود الزغب ... إلخ.

خصائص الوراثة الكمية:

1) يتحكم فيها عدّة عوامل وراثية، ذات تأثير كبير واضح نسميها Major genes، وعوامل وراثية أخرى ذات تأثير بسيط نسميها Minor genes (أو Polygenes).
2) تُعد المورثات الثانوية Minor genes أكثر تأثيراً بالعوامل البيئية من المورثات الرئيسة Major genes، ولكن لا يمكن قياس تأثير البيئة على كل عامل منها على حدة.
3) تأثير المورثات Major genes كبير في الشكل المظهري للفرد، فيما يكون تأثير المورثات Polygenes صغير لا يظهر إلّا بعد تجمع عدد كبير منها في التركيب الوراثي Genotype، وهي الأساس في التطور وعميلة الانتخاب الطبيعي.
4) تنعزل المورثات الثانوية بكثرة وتتوزع على أعداد كبيرة من التراكيب الوراثية، وإنّ الشكل المظهري لا يتأثر كثيراً بإحلال مورثة محل أخرى، ولذلك نجد تراكيب وراثية كثيرة تُعطي نفس الشكل المظهري، كما تكون معظم العشائر الخلطية التلقيح خليطة إلى حد كبير في هذه العوامل.
5) قد تكون المورثات الثانوية Polygenes ذات تأثير متعدد على الشكل المظهري، وقد تكون محوّرة لفعل مورثات أخرى Modifiers أو مثبطة Suppressors.

6) يُعدّ الانعزال فائق الحدود Transgressive segregation الذي يظهر في الجيل الثاني F_2 لبعض التلقيحات أفراداً تزيد عن الأب الأعلى أو تقل عن الأب الأقل في الصفة المدروسة من الخصائص المهمة في الوراثة الكمية.

التداخل الوراثي Gene Interaction:

يتحدد العديد من الصفات الكمية بواسطة مورثتين أو أكثر وتُظهر هذه المورثات علاقات مختلفة مع بعضها لإظهار الصفة. تُدعى هذه التداخلات أو العلاقات بالتداخل الوراثي:

I. **الفعل الوراثي المكمّل Complementary Gene Action (9:7):** تعمل مورثتان معاً لإظهار الصفة، مثالها في أصناف الرز الياباني مورثتين سائدتين Rc وRd لظهور اللون الأحمر، في حين مورثة واحدة أو اثنتين متنحيتين Recessive state تؤدي إلى ظهور اللون الأبيض بنسبة (9:7) في الجيل الثاني F_2.

II. **الفعل الوراثي المساعد Supplementary Gene Action (9:3:4):** وجود الأليل السائد لأحد المورثتين المتحكمتين بالصفة يُظهر الشكل المظهري. في الذرة الصفراء المورثة Pr لوحدها لا تملك أي تأثير، لكن بوجود -R يظهر اللون الأحمر، وبوجود -R وPr معاً يتحول اللون الأحمر لبنفسجي.

III. **الفعل الوراثي المثبط Inhibitory Gene Action (13:3):** يثبط تعبير الأليل النشط الموجود في موقع مختلف. مثالها: يثبط اللون الأحمر في الذرة الصفراء بواسطة المورثة I السائدة (أما الشكل المتنحي من الأليل i لا يثبط).

IV. **الفعل الوراثي التفوقي Epistatic Gene Action (12:3:1):** عندما يتداخل موقعان معاً أو أكثر لإبراز شكل مظهري، في الشعير Barley المورثة السائدة Y لا تنتج اللون الأصفر للغلاف، فيما تنتج المورثة B اللون الأسود للغلاف، ولكن عندما يجتمع B وy معاً فإنّ B تحجب عمل Y.

V. **الفعل الوراثي المزدوج Duplicate Gene Action (15:1):** يتحكم في بعض الصفات مورثتين تنتجان تأثير متطابق معاً أو كلاً على حدة ويظهر الشكل البديل للصفة فقط عند وجود كلا المورثتين متنحيتين معاً.

VI. **الفعل الوراثي البوليمتري Polymerc Gene Action (9:6:1):** تنتج مورثتين تأثير متطابق بمفردها ولكن مجتمعتين يتعاظم تأثير الموثتين. في الشعير المورثتين A وB تعطي طول متوسط للسفا Awn ولكن معاً تنتج سفا أطول، والشكل المتنحي aabb يُنتج سنابل عديمة السفا Awnless lemma.

تحليل التباين المستمر Analysis of Continuous Variation

تختلف طريقة تحليل الصفات الكمية عن طريق تحليل الصفات الوصفية في بعض الجوانب كما يلي:

a) يتطلب تحليل الصفات متعددة المورثات Polygenic characters قياسات مترية Metric measurments للصفات مثل الوزن والطول والعرض والمدة زما إلى ذلك، بدلاً من تصنيف الأفراد إلى مجموعات بناءً على اللون والشكل.

b) يتم تسجيل المشاهدات (أو القراءات) على العديد من الأفراد ويتم استخدام القيم المتوسطة للدراسات الوراثية، ولا يتم الفصل بين الفئات المتميزة في الجيل الثاني F_2 في وراثة الصفات الكمية، حيث يظهر الفصل نطاقاً مستمراً من التباين منخفضاً Low من طرف ومرتفع High من الطرف الآخر للصفة المدروسة.

c) يُدرس توريث الصفات بمساعدة المتوسطات والتباينات والتباينات المشتركة، حيث يمكن تحديد هذه التقديرات من التباينات المسجلة في تجارب متكررة.

d) كان Fisher 1918 الرائد في وصف وتفسير الصفات الكمية عن الوراثة المندلية. وفي الوقت الحاضر تتوفر العديد من التقنيات الإحصائية الحيوية (البيومترية) للتحليل الوراثي للصفات الكمية Biometrical genetics.

القيم البسيطة المستخدمة في وصف التباين Simple Measures of Variability:

1- معامل التباين المظهري، الوراثي، والبيئي The Phenotypic, Genotypic and Environmental Coefficients of Variation:

يُعد وجود التباين الوراثي أمر أساسي لتحقيق أي تقدّم في برامج تربية وتحسين المحاصيل الهادفة إلى تطوير أصناف مرتفعة الغلّة الحبية. يتطلب تحسين أيّة صفة المعرفة بوجود تباينات وراثية بين الأصناف المزروعة، حيث يمكن تحقيق ذلك من خلال تقدير بعض المؤشرات الوراثية كمعاملي التباين الوراثي والمظهري، ودرجة التوريث، والتقّدم الوراثي (Singh وNarayaman، 1993). لأنّ التّباين الملحوظ ما هو إلّا محصلّة تقدير الأسباب الوراثية والبيئية معاً، وتحديداً تلك القابلة للتوريث. تُشير الصفات التي تمتلك معامل تباين وراثي مرتفع إلى إمكانية الانتخاب الفعّال لهذه الصفات (Abdurakhmonov وAbdukarimov، 2008). حيث يوضّح التباين المظهري التباين الكلي بين الأنماط المظهرية التي يتم اختبارها في بيئاتٍ مختلفة ووفقاً للصفات التي تهم مربي النبات، فيما يوضّح التباين الوراثي الجزء من التباين الكلي العائد للاختلافات الوراثية بين الأفراد في بيئات مختلفة (Sujiprihati وزملاؤه، 2003).

يُوفّر تحليل التباين تقديرات لكل من معاملات تباين الشكل المظهري، والتباين الوراثي، والتباين البيئي، وهي التي تُستخدم بدورها في تقدير معامل التباين Coefficients of variation (C.V) لكل منها كما يلي (Burton، 1952):

$$P.C.V = \frac{\sqrt{V_P}}{\bar{X}} \times 100$$

$$G.C.V = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}} \times 100$$

$$E.C.V = \frac{\sqrt{V_E}}{\bar{X}} \times 100$$

وتصنف قيم معاملات التباين وفقاً ل Sivasubramanian و Madhavamenon (1973) بثلاث مستويات:

منخفضة	Low	أقل من 10%
متوسطة	Moderate	10–20%
مرتفعة	High	أكثر 20%

حيث أنّ P.C.V و G.C.V و E.C.V هي معاملات تباين الشكل المظهري، والتركيب الوراثي، والبيئي على التوالي.

V_P و V_G و V_E هي تباينات الشكل المظهري والتركيب الوراثي والبيئي على التوالي. و $\bar{X}$ المتوسط.

تعطي القيم النسبية لتلك المعاملات فكرة عن مستوى التباين والاختلافات الموجودة في العشيرة وتُفسّر كما يلي:

1. إذا كانت قيمة G.C.V أعلى من P.C.V كان ذلك دليلاً على قلة تأثير الصفة بالعوامل البيئية، ويكون الانتخاب لتلك الصفة مجدياً.
2. إذا كانت قيمة P.C.V أعلى من G.C.V دلّ ذلك على تأثير الصفة بالعوامل البيئية بالإضافة إلى التركيب الوراثي، وقد يكون الانتخاب لتلك الصفة مضللاً.
3. أمّا إذا كانت قيمة E.C.V أعلى من كل من G.C.V و P.C.V، كان ذلك دليلاً على أنّ البيئة تلعب دوراً معنوياً في ظهور الصفة، ولا يكون الانتخاب في مثل تلك الصفات فعالاً.

2- درجة السيادة Degree of Dominance:

تُعتبر درجة السيادة مقياساً لمتوسط سيادة كل المورثات المتحكمة في الصفة في أحد الآباء على المورثات التي توجد في الأب الآخر، وتحسب درجة السيادة بمقارنة المتوسطات المشاهدة لعشائر كل من الجيلين الأول F_1 والثاني F_2 والتلقيحات الرجعية إلى الأب الأول BC_1 والثاني BC_2 بالقيم المحسوبة التالية (Powers، 1950):

المتوسط المشاهد الذي تنسب إليه درجة السيادة	القيمة المحسوبة التي يقارن بها المتوسط المشاهد
$\overline{F_1}$	$\frac{(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}{2}$
$\overline{F_2}$	$\frac{(\bar{P}_1 + 2\bar{F}_1 + \bar{P}_2)}{4}$
$\overline{BC_1}$	$\frac{(\bar{P}_1 + \bar{F}_1)}{2}$
$\overline{BC_2}$	$\frac{(\bar{P}_2 + \bar{F}_1)}{2}$

ويلي ذلك تقدير معنوية الاختلافات بين المتوسطات الحسابية للعشائر (القيم المشاهدة) بالقيم التي تقارن بها (القيم المحسوبة)، باختبار "t" على النحو التالي:

$$t = \frac{\text{المتوسط المشاهد} - \text{المتوسط المحسوب}}{\text{الانحراف القياسي للمتوسط المشاهد}}$$

يَدُّل عدم وجود فرق معنوي بين المتوسط المشاهد والمحسوب على غياب السيادة. أمّا إذا وجد فرق معنوي بين المتوسطين يكون لدينا ثلاث حالات للسيادة:

a. سيادة جزئية إذا كان المتوسط المشاهد للعشيرة بين متوسطها المحسوب، والمتوسط المشاهد لأحد الآباء.
b. سيادة تامة عندما لا يختلف المتوسط المشاهد للجيل الأول معنوياً عن المتوسط المشاهد لأحد الآباء.
c. سيادة فائقة عندما يزيد المتوسط المشاهد للجيل الأول على الأب الأعلى في الصفة أو يقل عن الأب الأدنى.

دليل السيادة Dominance Index:

اقتُرِح استعمال مصطلح دليل السيادة كبديل لمصطلحات السيادة والتنحي والإضافة وتبعاً لهذا الاقتراح فإنّ دليل السيادة D يُقدّر كما يلي:

$$D = \frac{W - H}{W - M}$$

حيث أنّ W قيم الشكل المظهري للطراز العادي.

H قيم الشكل المظهري للطراز الهجين.

M قيم الشكل المظهري للطراز الطافر (للطفرة).

وعندما تكون قيمة D مساوية ل 0.5 فإنّ ذلك يعني وجود تأثير إضافي (Rhodes وزملاؤه، 1992).

القوّة النسبية للمورثات Potence Ratio:

تقدّر القوة النسبية P لمجموعة من المورثات (وهي مسمّى آخر لدرجة السيادة) بالمعادلة التالية:

$$P = \frac{\bar{F}_1 - MP}{0.5\ (\overline{P_2} - \overline{P_1})}$$

MP متوسط الأبوين.

ويستفاد من تقدير القوة النسبية للمورثات P في تحديد طبيعة السيادة واتجاهها كالآتي:

قيمة P	حالة السيادة
صفر	غياب السيادة
+1 و −1	سيادة تامة
-1 > P > +1	سيادة جزئية
P<-1 ، P > +1	سيادة فائقة

وفي غياب السيادة يُقال أنّ المورثات ذات تأثير إضافي (Mather و Jinks، 1977).

3- درجة الجنوح Skewenss:

يُعتبر الجنوح عن التوزيع الطبيعي في عشائر الجيل الثاني F_2 دليلاً على الانحراف عن التأثير الإضافي للمورثات المتحكمة في الصفات الكمية، وتقدر درجة الجنوح على النحو التالي:

$$Skewenss = \frac{3(\bar{F}_2 - Median)}{SDF_2}$$

$\bar{F}_2$ متوسط الجيل الثاني.

$Median$ القيمة الوسطى.

SDF_2 الانحراف القياسي للجيل الثاني.

ويُستعمل اختبار "t" لتحديد مدى جوهرية (معنوية) الجنوح المحسوبة (Snedecor، 1956):

$$t = \frac{Skewenss}{\sqrt{6N(N-1)/(N-2)(N+1)(N+3)}}$$

حيث أنّ N عدد أفراد الجيل الثاني.

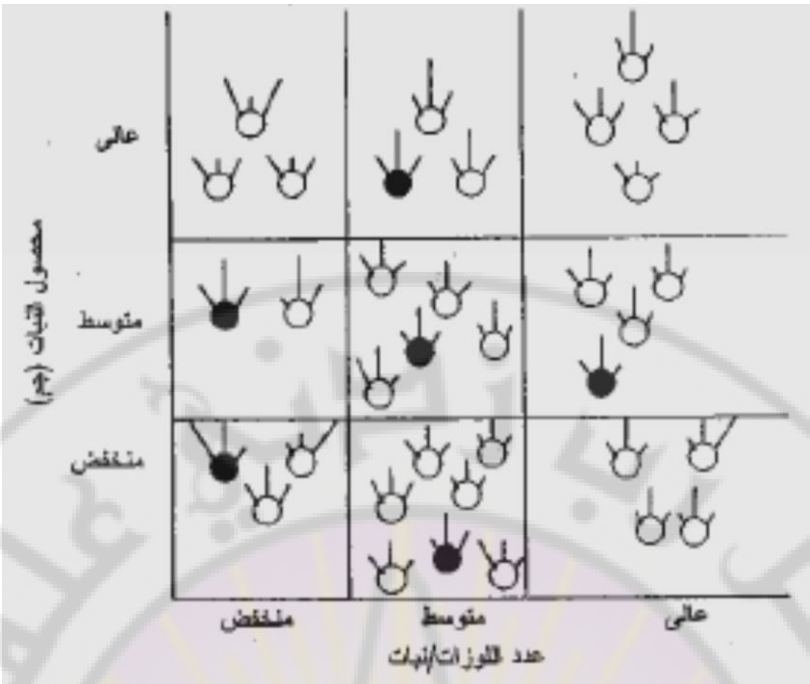
تدّل القيم الموجبة لدرجة الجنوح على زيادة عدد الأفراد ذوي القيم الأقل من المتوسط، فيما تدُّل القيم السالبة على زيادة عدد الأفراد ذات القيم الأعلى من المتوسط.

4- تحليل المتروجِلف Metroglyph Analysis:

يُعدّ تحليل المتروجِلف طريقة نصف بيانية لتقييم اتجاه الاختلافات الشكلية في عدد كبير من السلالات المسحوبة عشوائياً في وقت واحد للدراسة (الشكل 1)، وقد طوِّرت هذه الطريقة بواسطة Anderson عام 1957.

من أهم خصائص تحليل المتروجِلف:

i. يعتمد التحليل على القيم الإحصائية الأولية (المباشرة)، بما يعني الثقة في النتائج بدرجة أكبر.
ii. التحليل بسيط جداً، ويمكن تطبيقة على عدد كبير جداً من التركيب الوراثية في آن واحد.
iii. يمكن إجراء التحليل من دراسات أُجريت بمكررات أو بدون مكررات.
iv. يتم تصور أو وصف اتجاه الاختلاف بواسطة صورة رمزية Glyph على الرسم البياني.



الشكل (1) رسم لمتروجِلف حُللت فيه خمس صفات كمية في خمسة وثلاثين طرازاً وراثياً من القطن، منها ستة طرز مستوردة (بالأسود)، تبين الأشعة الرأسية وزن الجوزة (اللوزة)، والمتجة إلى اليمين طول التيلة، والمتجهة إلى اليسار نسبة الحليج (Singh وNaryanan، 1993).

5- قيمة D^2 الإحصائية D^2-Statistics:

طُوّرت قيمة D^2 الإحصائية بواسطة P.C.Mahalanobis في عام 1928، ثمّ استعملت في تقييم التباينات الوراثية في دراسات تربية النبات بواسطة RAO (1952). حيث تقسّم الطرز الوراثية بناءً على قاعدة البيانات إلى مجموعاتٍ متجانسة. تمثل قيمة D^2 مجموع مربعات الاختلافات بين عشيرتين للمتغيرات غير المرتبطة (التي تمّ الحصول عليها عن طريق تحويل المتغيرات المرتبطة من خلال طريقة التكثيف المحورية Pivotal condensation method). وهي أحد طرائق التصنيف غير الهرمي Non-hierarchical classification (Rao، 1952). تُعدّ هذه القيمة غاية في الأهمية عند الرغبة في التعرف على مدى التباين والاختلاف بين السلالات التي يُرغب في اختيارها كآباء للهجن، حيث تزداد قوة الهجين الناتجة كلما ازداد التباعد بين الآباء (الشكل 2).

$$D_x^2 = \sum_i^p \sum_j^p (\lambda^{ij}) di\ dj$$

x: عدد الصفات المقاسة في النقطة.

p: عدد العشائر (الطرز الوراثية).

λ^{ij}: المصفوفة العكسية لمصفوفة التشتت.

di dj: الاختلافات بين متوسطات عشيرتين (طرازين وراثيين) للصفتين i و j .

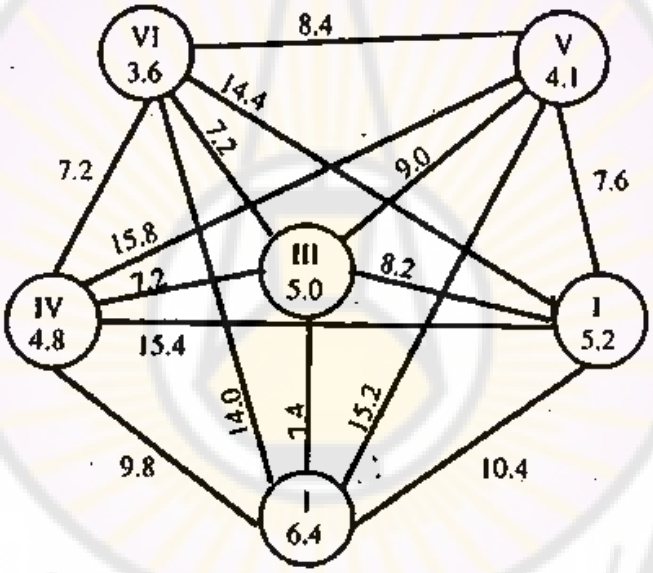
ويمكن التعبير عن ذلك بصيغة أبسط (Rao، 1952):

$$\mathbf{D}_x^2 = \sum_i^x d_i^2 = \sum_i^x (y_i^j - y_j^k) \quad (j \neq k)$$

Y: عدد الصفات غير المرتبطة التي تتراوح من i=1 إلى x.

X: عدد الصفات المدروسة.

j و k: يعبران عن أي زوج من العشائر (الطرز الوراثية).



الشكل (2) رسم عنقودي Cluster diagram (Singh وNaryanan، 1993).

أهم خصائص تحليل D^2:

1. تمثل تلك القيمة اتجاهاً رقمياً في تحديد مدى التباعد الوراثي في المجموعة الوراثية المختبرة.
2. يعتمد تقدير D^2 على قيم إحصائية من المستوى الثاني (غير مباشرة)، وبذا فإنّ الاعتماد عليها لا يكون بنفس قوة الاعتماد على تحليل Metroglyph.
3. يعتبر التحليل أصعب في إجرائه مما في تحليل المتروجِلف.
4. لا يمكن إجراء التحليل إلا إذا نُفذّ التقييم في تجربة بمكررات.
5. يتم تصور التباعد والتباين الوراثي بواسطة ما يُعرف بالرسم العنقودي Cluster diagram.

مزايا تحليل D^2:

1. يساعد في اختبار الآباء المتباينة وراثياً لأجل استخدامها في برامج التربية بالتهجين مع الانتخاب في النسل.
2. يقيس درجة التباين الوراثي بين التركيب الوراثية، ويحدد نسبة مشاركة كل صفة مقيسة في التباين الكلي.
3. يقيس قوى التباين على مستويين داخل العناقيد، ومابينها.
4. يوفر تقديرات يمكن الثقة بها بخصوص الاختلافات الوراثية، ويسمح بتقييم عدد كبير من السلالات في وقت واحد.

الاختلافات الرئيسة بين تحليلي المتروجِلف و D^2:

Metroglyph	D^2-Statistics
تعتمد التقديرات على قيم إحصائية من المستوى الأول	تعتمد التقديرات على قيم إحصائية من المستوى الثاني
التحليل بسيط	التحليل معقد
التحليل لا يتطلب بالضرورة توفر مكررات	يتطلب توفر مكررات
شبه بياني	رقمي
توصف التباينات من glyph على الرسم	توصف التباينات من الدایاغرام العنقودي Cluster diagram

انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة Selection of Distinct Genotypes

يسعى مربي النبات دائماً إلى التعرف على التراكيب الوراثية المتميزة لأجل انتخابها، وعندما تكون الصفة كمية، فإنّ ذلك الأمر يُعدّ من أكبر التحديات التي تواجه المربي، نظراً لصعوبة التعرّف على التراكيب الوراثية التي يرغب في انتخابها، الأمر الذي يجعل من الطرق الكمية التي تساعد المربي في انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة أمراً ذا أهمية خاصة.

تحليل معامل الارتباط Correlation Coefficient:

يُعتبر معامل الارتباط r من القيم المهمة لمربي النبات، فهو يُبيّن قوّة واتجاه العلاقة بين متغيرين أو أكثر، حيث تدّل القيم الموجبة على أنّ المتغيرين المرتبطين يتغيران في اتجاه واحد، والعكس بالعكس.

أهم خصائص معامل الارتباط:

1. يعتبر مستقلاً عن وحدة القياس.
2. يقع بين 1- و 1+.
3. يقيس شدة العلاقة بين متغيرين أو أكثر واتجاهها.

وله ثلاثة أنواع: بسيط Simple، جزئي Partial، متعدد Multiple.

الارتباط البسيط Simple Correlation: ومن أهم خصائصه:

a. يتضمن متغيرين فقط.
b. يأخذ الرمز r12.
c. تُهمل تأثيرات المتغيرات المستقلة الأخرى.
d. تقدر قيمته من التباينات والتباينات المشتركة.
e. تقل قيمته دائماً عن قيمة معامل الارتباط المتعدد.

أنواع الارتباط البسيط:

1- الارتباط البسيط المظهري Phenotypic Correlation:

يحدد العلاقة المباشرة التي تشاهد بين متغيرين (صفتين)، وهو يتضمن تأثيرات الوراثة والبيئة ولذلك فإنّه يتغير بتغير الظروف البيئية.

يُحسب معامل الارتباط المظهري وفق ما ورد في معادلة Snedecor و Cochran (1981):

$$r_p = \sigma^2_{p_i p_j} / \sqrt{\sigma^2_{p_i} \times \sigma^2_{p_j}}$$

r_p: معامل الارتباط المظهري.

$\sigma^2_{p_i p_j}$: التباين المشترك المظهري بين الصفة i والصفة j.

$\sigma^2_{p_i}$ and $\sigma^2_{p_j}$: التباين المظهري لكلٍّ من الصفة i والصفة j.

حيث أنّ التباين المظهري يُحسب من خلال المعادلات الآتية بعد إجراء تحليل التباين المشترك (ANCOVA):

$$\sigma^2_{p_i p_j} = \sigma^2_{g_i g_j} + \sigma^2_{e_i e_j}$$

$$E(MSP_e) = \sigma^2_{e_i e_j}$$

$$\sigma^2_{g_i g_j} = \frac{MSP_r - MSP_e}{r}$$

2- الارتباط البسيط الوراثي Genotypic Correlation:

هو العلاقة الموروثة بين متغيرين (صفتين)، ويُردّ هذا الارتباط إما لتأثير المورثة المتعدد Pleiotropy أو لوجود ارتباط بين المورثات Linkage، أو للتأثيرين معاً وهو الأمر الغالب. ويمكن الاستدلال على وجود تأثير متعدد للمورثة إذا ما استمر تواجد العلاقة بين الصفات في الآباء كم في الأجيال الانعزالية. أمّا إذا تغيّرت في الأجيال الانعزالية فإنّ ذلك يكون دليل على وجود ارتباط تم كسره بالعبور. تُظهر المورثات غالباً ميلاً لتتوارث معاً وتنتقل إلى الجاميطة نفسها خلال الانعزال ولاتُظهر انعزالاً مستقلاً، تُعرف هذه الظاهرة بالارتباط Linkage.

المورثات التي تبدي ارتباط توجد على صبغي واحد، ينتقل كل صبغي كوحدة كاملة خلال الانقسام المنصف (Meiosis)، وبناءً على ذلك فإنّ المورثات الواقعة على صبغي واحد تنتقل معاً (تتوارث معاً) ولكن خلال الانقسام المنصف يحدث تبادل في الكروماتين بين الصبغيات المتجانسة Homologues، وهو ما يُعرف بظاهرة العبور Crossing over. يؤدي العبور إلى إعادة تركيب علاقات الارتباط بين المورثات، حيث يعتمد تكرار إعادة تشكيل علاقات الارتباط بين مورثتين مرتبطتين على البعد (المسافة) بينهما. قد يكون الارتباط بين مورثتين سائدتين (VP/vp)، أو واحدة سائدة والأخرى متنحية (Vp/vP). يقوم الاقتران أو التنافر بتغيير

جذري لتكرار الأشكال المظهرية المتنوعة المختلفة في الجيل الثاني F_2 والأجيال الانعزالية الأخرى ولكنها لا تمتلك تأثيراً على تكرارات الارتباطات.

الارتباط قيمة مهمة في تربية النبات، عندما تكون مورثتان مرتبطتان فإنّهما يميلان للتوارث معاً والظهور في النسل. وفي حال الارتباط الوثيق (العبور أقل من 1%) الانتخاب لصفة واحدة كافي، لكنّ الارتباط بين مورثة مرغوبة وأخرى غير مرغوبة يسبب بطء في تطوير وتحسين المحاصيل. وإذا ما كانت جميع المورثات التي يوجد بينها ارتباط وراثي مرغوباً فيها فإنّ ذلك يساعد المربي كثيراً في إنجاز مهمته.

$$r_g = \sigma^2_{g_i g_j} / \sqrt{\sigma^2_{g_i} \times \sigma^2_{g_j}}$$

r_g: معامل الارتباط الوراثي.

$\sigma^2_{g_i g_j}$: التباين المشترك الوراثي بين الصفة i والصفة j.

$\sigma^2_{g_i}$ and $\sigma^2_{g_j}$: التباين الوراثي لكلٍّ من الصفة i والصفة j.

3- الارتباط البسيط البيئي Environmental correlation:

وهو يعتمد على العوامل البيئية وبمعنى آخر فإنّ مرده يكون إلى تباين الخطأ التجريبي، وهو قليل الأهمية بالنسبة لمربي النبات نظراً لأنّه لا يورث.

$$r_e = \sigma^2_{e_i e_j} / \sqrt{\sigma^2_{e_i} \times \sigma^2_{e_j}}$$

تطبيقات الارتباط في تربية النبات:

توفر دراسات الارتباط فهماً أفضل لمكونات المحصول، بما يسهل مهمة المربي في تحسين المحصول، وخاصة عند التربية بالانتخاب الإجمالي، وذلك بالانتخاب غير المباشر للصفات ذات درجات التوريث العالية التي ترتبط بصفة الغلّة.

مدلولات الارتباط في تربية النبات:

1. يكون الارتباط الموجب بين الصفات المرغوب فيها مناسباً للمربي؛ لأنه يساعده في تحسين كلتا الصفتين في آن واحد، وبالمقابل فإن الارتباط السلبي بين الصفات المرغوب فيها يعيق فرصة ظهور

جميع الصفات المرتبطة بالقدر المرغوب فيه، الأمر الذي يعني حتمية التوصل إلى الاختيار الوسط؛ الذي يكون الأنسب اقتصادياً.

2. يمكن تحقيق التحسين الوراثي في صفة غير مستقلة بممارسة الانتخاب على الصفة المرتبطة بها وراثياً، ويعرف ذلك باسم الاستجابة المرتبطة Correlated response.
3. يكون الانتخاب للصفات ذات درجات التوريث المنخفضة ممكناً عندما تكون تلك الصفات مرتبطة جيداً بصفات أخرى ذات درجات توريث مرتفعة، أي يجري الانتخاب في تلك الحالات بصورة غير مباشرة.

تفسير علاقات الارتباط:

I. إذا كانت قيمة معامل الارتباط تساوي صفراً، أو غير معنوية؛ دل ذلك على استقلال الصفتين، كما تدل عدم معنوية كل من معاملي الارتباط المظهري والوراثي على الطبيعة المستقلة للصفتين.
II. إذا كانت قيمة معامل الارتباط البيئي أكبر من معامل الارتباط الوراثي، ومعامل الارتباط المظهري؛ دلَّ ذلك على تلازم الصفتين بقوة تحت تأثير ظرف بيئي معين، وهذا يعني إمكانية تغير العلاقة مع تغير الظروف البيئية.
III. إذا تجاوزت قيمة معامل الارتباط المظهري قيمة معامل الارتباط الوراثي؛ دل ذلك على أن العلاقة الظاهرة بين الصفتين لا تعود للمورثات فقط، بل لتأثير بيئة معينة أيضاً.
IV. إذا تجاوزت قيمة معامل الارتباط الوراثي قيمة معامل الارتباط المظهري؛ دل ذلك على أن العلاقة الظاهرة بين الصفتين علاقة وراثية قوية، إلا أن قيمة الشكل المظهري تنخفض بالتفاعل المعنوي مع البيئة.
V. إذا كانت قيمة معامل الارتباط سالبة؛ دل ذلك على أن الزيادة في إحدى الصفات تؤدي إلى نقص في الصفة الأخرى، والعكس صحيح. بينما تدل قيمة معامل الارتباط الموجبة على أن الزيادة في إحدى الصفات تؤدي إلى زيادة في الصفة الأخرى، والعكس صحيح.
VI. إذا كانت قيمة معامل الارتباط معنوية؛ دل ذلك على وجود علاقة قوية بين الصفتين.

تحليل معامل المسار Path Coefficient Analysis:

يسعى مربي النبات إلى التعرف على التراكيب الوراثية المتميزة بهدف انتخابها، ويكون المربي أمام تحدٍّ كبير عندما تكون الصفة الهدف كمية؛ نظراً لصعوبة التعرف على التراكيب الوراثية المرغوب فيها، الأمر الذي يزيد من أهمية الطرق الكمية التي تساعد المربي في انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة.

يقيس تحليل معامل المسار Path coefficient analysis التأثيرات المباشرة، وغير المباشرة للصفات المستقلة المرتبطة بصفة غير مستقلة على تلك الصفة المستقلة. أي تحديد ما إذا كانت تأثيرات الصفات المستقلة تحدث بصورة مباشرة، أم من خلال تأثيرها على صفات أخرى.

لمعامل المسار ثلاثة أنواع، هي:

1) معامل مسار الشكل المظهري.

2) معامل مسار التركيب الوراثي.

3) معامل مسار التأثير البيئي.

أهم سمات معامل المسار:

A. يقيس سبب العلاقة بين صفتين.

B. يعتمد التحليل على كل الارتباطات البسيطة الممكنة بين مجموعة من الصفات.

C. يُوضّح الرؤية بشأن ما إذا كانت تأثيرات العوامل المستقلة مباشرة، أم غير مباشرة.

D. يعتمد التحليل على افتراض وجود علاقات خطية وتأثيرات إضافية دون تفاعل بين المتغيرات.

E. يقيس التأثيرات المتبقية Residual effects.

F. يُفيد في تحديد الصفات المؤثرة في غلّة النبات، وبذا فإنّه يفيد في الانتخاب غير المباشر والتعرّف على الصفات التي قد يكون لها تأثيرات مباشرة إيجابية على الغلّة، بينما قد تكون لها تأثيرات سالبة غير مباشرة من خلال صفات أخرى.

يتمّ تقدير معامل المسار وفق معادلة العالمين (Dewey و Lu، 1959):

$$\mathbf{1 = P_{y_0}^2 + P_{y_1}^2 + P_{y_3}^2 + (2P_{y_1}r_{12}P_{y_2}) + (2P_{y_1}r_{13}P_{y_3}) + (2P_{y_2}r_{23}P_{y_3})}$$

P: معامل المسار الذي يقيس التأثير المباشر.

Y: الغلّة الحبّيّة.

R: الارتباط المظهري.

P^2_{y1}: التأثير المباشر للعامل الأول X_1

P^2_{y2}: التأثير المباشر للعامل الثاني X_2

P^2_{y3}: التأثير المباشر للعامل الثالث X_3

$2P_{y1r12}P_{y2}$: تأثير العامل الأول بشكل غير مباشر بواسطة X_2

$2P_{y1r12}P_{y3}$: تأثير العامل الأول بشكل غير مباشر بواسطة X_3

$2P_{y2r23}P_{y3}$: تأثير العامل الثاني بشكل غير مباشر بواسطة X_3

كما يتمّ تحديد الأهمية النسبية Relative Importance وفق المعادلة:

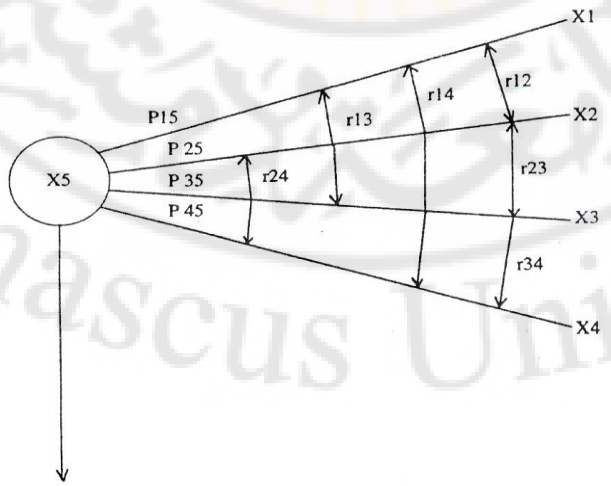
$$\boldsymbol{RI = |CD_i| / \sum_i |CD_i| \times 100}$$

$\boldsymbol{CD_i}$: معامل التحديد للصفة i.

$\boldsymbol{RI}$: الأهميّة النسبيّة لمساهمة الصفة في الإنتاجيّة.

وتُحدد التأثيرات المباشرة وغير المباشرة حسب المستويات التي قدّمها Lenka و Mishra (1973) كالتالي: (0.09−0.00) غير جديرة بالاهتمام Negligible، (0.19−0.10) منخفضة Low، (0.29−0.20) معتدلة Moderate، (1.00−0.30) مرتفعة High، أكبر من 1.00 Very high.

تعد قيمة التأثير المتبقي مقياساً لدور العوامل المستقلة التي لم تتضمنها الدراسة على العامل غير المستقل. ويمكن رسم المسار على شكل مخطط يوضح الإسهامات المباشرة وغير المباشرة لشتى المتغيرات المستقلة على المتغير غير المستقل (الشكل 3).



الشكل (3) مخطط يوضح المسار بالاستعانة بمعاملات الارتباط بين الغلة X_5 وأربعة من مكونات الغلّة.

وتفسر نتائج معامل المسار كالتالي:

1- إذا كان الارتباط بين المحصول وإحدى الصفات يرجع إلى التأثير المباشر للصفة، فإن تلك العلاقة تكون حقيقية، ويمكن تحسين المحصول بالانتخاب المباشر لتلك الصفة.

2- إذا كان مرد الارتباط إلى تأثيرات غير مباشرة بصورة رئيسية لصفات أخرى؛ فإن الانتخاب غير المباشر لتلك الصفات يكون فعالاً في زيادة المحصول.

3- إذا كان التأثير المباشر موجباً وعالياً، إلا أن الارتباط سالباً، فإنه يلزم في هذه الحالة الانتخاب المباشر للصفة المرتبطة لتقليل التأثير غير المباشر غير المرغوب فيه.

4- إذا كانت قيمة التأثير المتبقي متوسطة أو عالية؛ فإن ذلك يكون دليلاً على أنه إلى جانب الصفات؛ التي تمت دراستها، توجد صفات أخرى تسهم في التأثير على المحصول.

مقارنة بين معامل الارتباط ومعامل المسار

الارتباط	المسار
يقيس العلاقة بين متغيرين أو أكثر.	يقيس سبب العلاقة بين متغيرين
يعتمد التحليل على التباينات والتباينات المشتركة.	يعتمد التحليل على الارتباطات البسيطة
لا يوفر معلومات عن التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للمتغيرات المستقلة على المتغير المستقل.	يوفر معلومات عن التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للمتغيرات المستقلة على المتغير المستقل
لا يعطي تقديرا للأثر المتبقي.	يعطي تقديرا للأثر المتبقي
يفترض أن العلاقات خطية والتأثيرات إضافية.	يفترض أن العلاقات خطية والتأثيرات إضافية

تحليل معامل الانحدار Regression Coefficient Analysis:

يعتبر معامل الانحدار مقياساً إحصائياً لمتوسط العلاقة القائمة بين متغيرين أو أكثر أحدهما غير مستقل والثاني مستقل، وبذا فهو يقيس درجة اعتماد أحد المتغيرات على متغير آخر أو على متغيرين آخرين. ويحسب معامل الانحدار من نتائج الدراسات التي تكون بغير مكررات بالمعادلة:

$$b_{yx} = \frac{\sum xy - (\sum x \cdot \sum y)}{\sum y^2 - (\sum y)^2}$$

$$b_{xy} = \frac{\sum xy - (\sum x \cdot \sum y)}{\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

كما يُحسب معامل الانحدار من نتائج الدراسات التي تكون بمكررات بالمعادلة:

$$b_{yx} = \frac{cov\ (xy)}{v_x}$$

$$b_{xy} = \frac{cov\ (xy)}{v_y}$$

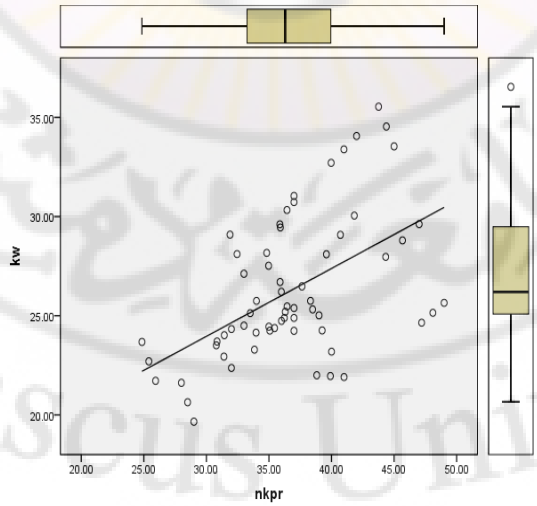
حيث أنّ cov (xy) هو التباين المشترك بين x و y.

v_x و v_y تباينات x و y على التوالي.

وتُختبر معنوية معامل الانحدار باختبار t، ويتطلب الأمر تقدير قيمة t، كما يلي:

$$t = \frac{b_{xy}}{SE_{(b)}}$$

وتقارن قيمة t المحسوبة مع القيمة الجدولية عند المستوى المرغوب فيه من المعنوية ودرجات الحرية المناسبة وتكون قيمة t المحسوبة معنوية إن كانت أعلى من قيمتها الجدوّلية (الشكل 3).



الشكل (3) خط الانحدار بين عدد الحبوب في الصف ووزن المئة حبة.

أهم استعمالات معامل الانحدار في تربية النبات:

i. يفيد في تحديد العلاقة بين المسبب والتأثير لصفتين أو أكثر.

ii. يفيد في تحديد العوامل المؤثرة في الغلّة.

iii. يفيد في انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة بالانتخاب غير المباشر للمحصول (الغلّة) من خلال الصفات المستقلة.

iv. يفيد في التنبؤ بسلوك النباتات المنتخبة في الجيل التالي.

مفهوم الانتخاب Concept of Selection

يستطيع مربي النبات تحسين العشيرة من خلال القيام بأمرين:

I. أن يقرر اختيار الأفراد التي تسمح له بإنتاج الجيل التالي، وهذا الانتخاب متحيز لا يتم عشوائياً ويسمى الاختيار التفضيلي.

II. أن يقرر أسلوب تزاوج الأفراد المنتخبة مع بعضها البعض للحصول على تباين وراثي آخر.

يؤثر الانتخاب عموماً في تغيير تكرار المورثة في العشيرة، وعليه توجد ثلاثة أنماط مظهرية تستجيب للانتخاب هي:

a. تغيير نسبة الطرز الوراثية الموجودة سابقاً (تكرار الطراز الوراثي) المرافق للتغيير في متوسط المجتمع.

b. ظهور طرز وراثية جديدة.

c. التغيير في تباين الصفة في المجتمع.

❖ **شدة الانتخاب Selection Intensity:**

وهي نسبة الأفراد المنتخبة من المجتمع الأصلي (العشيرة الأم) Original population لتصبح آباء الجيل التالي.

❖ **الفارق الانتخابي Selection Differential:**

هو الفرق بين متوسط الأفراد المنتخبة (القيم المظهرية Phenotypic value) ومتوسط العشيرة الأولي قبل الانتخاب.

$$S = \mu_1 - \mu_0$$

متوسط العشيرة الأولي	متوسط الأفراد المنتخبة كآباء	الفارق الانتخابي

وتأتي أهمية الفارق الانتخابي في تحكمه بوجود التباين في العشيرة الأولية وبنسبة الأفراد المنتخبة التي ستصبح آباء في الجيل التالي.

❖ **الاستجابة للانتخاب Selection Response:**

يُحدث الانتخاب تغيير في تكرار المورثات المختلفة، وكذلك تغير في تكوين التراكيب الوراثية، وبالنتيجة فإنّه يعمل على توجيه تكرار الطرز الوراثية، وبالتالي الخصائص الوراثية المشاهدة للعشيرة. وإنّ تغيير متوسط العشيرة ناتج عن عملية الانتخاب، والتي تُعرف بالاستجابة للانتخاب، وتُحسب من الفرق بين متوسط نسل الآباء المنتخبة ومتوسط العشيرة الأولى قبل الانتخاب.

$$R = \mu_2 - \mu_0$$

متوسط العشيرة الأولي	متوسط نسل الآباء المنتخبة	الاستجابة للانتخاب

معامل التوريث، التقدّم الوراثي، قيمة التربية

Heritability, Genetic Advance and Breeding Value

تُعد المتوسطات والتباينات الوراثية والمظهرية ودرجة التوريث ومعاملي الارتباط المظهري والمسار من المعايير المهمة التي تُحدد كفاءة برنامج التربية. حيث تقيس درجة التوريث فعّالية الانتخاب Selection efficiency لصفة معينة في طرز وراثية مختلفة (Lule وزملاؤه، 2012). وهي تُعبّر عن التباينات المظهرية العائدة للفعل الوراثي، ويمكن من خلال تقديرها التنبؤ بالتقدّم الوراثي المتوقع في برامج التربية (Bello وزملاؤه، 2012). إلّا أنّ قيمة درجة التوريث وحدها غير كافية إذا لم تكن مترافقة مع تقدّم وراثي حقيقي ملحوظ (Li وYang، 1985).

يُعنى بدرجة التوريث مدى تطابق ظهور الصفة في الأنسال مع ظهورها في آبائها من النباتات المنتخبة، أو هي القدرة على توريث صفة ما من نبات منتخب إلى نسله.

1) درجة التوريث على النطاق العريض Broad Sense Heritability (B_{SH}):

تُمثل التباين الوراثي إلى التباين المظهري الكلي.

$$B_{SH} = \frac{V_G}{V_P}$$

حيث: V_G التباين الوراثي. V_P التباين الكلي (تباين الشكل المظهري).

وتعود أهمية درجة التوريث إلى أنّ الانتخاب لصفة ما تقل فاعلية كلما انخفضت قيمة درجة التوريث، لأنّ النباتات المنتخبة ربما لا تعكس حقيقة التراكيب الوراثية المرغوب فيها. ولذلك فإنّ التعامل مع الصفات ذات درجات التوريث المنخفضة يتطلب أمرين هما:

1. انتخاب عدد كبير من النباتات التي تظهر بها الصفة، لأن جزءاً كبيراً منها لا يكون ممثلاً للتركيب الوراثي المرغوب فيه.
2. اختبار نسل النباتات المنتخبة قبل الاستمرار في الاعتماد عليها في برامج التربية، ويفضل أن يختبر النسل في مكررات عندما تكون الصفة المعنية كمية، وذات درجة توريث شديدة الانخفاض.

2) درجة التوريث على النطاق الضيق Narrow Sense Heritability (N_{SH}):

إنّ أهم مكونات التباين الوراثي المؤثرة على فاعلية عملية الانتخاب هي التباين الإضافي V_A، فمع افتراض أنّ الصفة يتحكم فيها مورثة واحدة، ولا تتأثر بالعوامل البيئية نجد أنّ أي نبات منتخب –عند غياب السيادة– يكون

ممثلاً للتركيب الوراثي المرغوب فيه، بينما تكون النباتات المنتخبة الحاملة للصفة السائدة –في حالة السيادة– من أحد تركيبين وراثيين هما: السائد الأصيل، أو السائد الخليط. وتزداد الحالة تعقيداً كلما انخفضت درجة التوريث، كما أنّ التداخل بين المورثات غير الأليلية، والتداخلات بين التأثيرات المختلفة للمورثات وبعضها البعض، وبين المورثات وتأثير البيئة يقلل بدرجة أكبر من جدوى الانتخاب، لأنّ النباتات المنتخبة لا تكون ممثلة للتراكيب الوراثية المرغوب فيها، الأمر الذي لا يتحقق إلّا حينما تكون المورثات التي تتحكم في الصفة ذات تأثير إضافي، وبناءً على ما تقدّم فإنّ درجة التوريث الأهم للمربي هي تلك التي تأخذ في الاعتبار نسبة التباين الإضافي V_A إلى التباين الكلي V_P وتُدعى درجة التوريث على النطاق الضيق N_{SH}.

$$N_{SH} = \frac{V_A}{V_P}$$

3) تقدير درجة التوريث المدركة أو الواقعة Realized Heritability (h^2):

وهي تُعبّر عن مقدار التحسن الوراثي الذي يتحقق فعلاً بالانتخاب في العشيرة، وتستخدم المعادلة التالية في تقديرها:

$$h^2 = \frac{R}{S}$$

حيث: R الاستجابة الفعلية للانتخاب.

S معامل الانتخاب التفاضلي Selection differential. وهو الفرق بين متوسط أداء الأفراد المنتخبة من العشيرة ومتوسط أداء تلك العشيرة التي يُجرى عليها الانتخاب.

نأخذ مثال لتوضيح ذلك يُجرى فيه الانتخاب على نباتات الجيل الثاني لإنتاج الجيل الثالث.

$$h^2 = \frac{(\bar{X}_{S.F3} - \bar{X}_{F3})}{(\bar{X}_{S.F2} - \bar{X}_{F2})}$$

$\bar{X}_{F2}$ متوسط عشيرة الجيل الثاني.

$\bar{X}_{S.F2}$ متوسط الأفراد المنتخبة من عشيرة الجيل الثاني.

$\bar{X}_{F3}$ متوسط عشيرة الجيل الثالث.

$\bar{X}_{S.F3}$ متوسط عشيرة الجيل الثالث للأفراد المنتخبة من الجيل الثاني.

كانت لدينا القيم التالية في هجين القطن (رقة 5 × C6040):

$\bar{X}_{F2}$ =4.50، $\bar{X}s_{F2}$ =6.10، $\bar{X}_{F3}$ =5.18، $\bar{X}s_{F3}$ =6.48.

$$h^2 = \frac{(6.48 - 5.18)}{(6.10 - 4.50)} = 0.81$$

وتجدر الإشارة إلى أنّ تقديرات درجة التوريث المدركة قد لا تمثل الحقيقة وتكون متحيزة إذا أثرت عوامل أخرى غير الانتخاب على أداء الأفراد، كما يحدث عادة بفعل اختلافات العوامل البيئية في موسمي التقييم، والتربية الداخلية وكذلك احتمالات وجود تأثير منتظم للبيئة في التراكيب الوراثية في العشيرة أو حدوث تدهور في قوة النمو مع التربية الداخلية.

4) تقدير درجة التوريث المشتركة Coheritability ($Co.h^2$):

تُعبر عن النسبة بين التباين الوراثي المشترك Genetic coveriance وتباين الشكل المظهري المشترك Phenotypic coveriance، فهي تتعامل مع وراثة صفتين منفصلتين في آن واحد، وبالتالي في التحسين الوراثي لكلا الصفتين في آن واحد.

$$Co.h^2 = \frac{Gcov_{x1x2}}{Pcov_{x1x2}} \times 100$$

$Gcov_{x1x2}$ التباين الوراثي المشترك.

$Pcov_{x1x2}$ التباين المظهري المشترك.

5) التقدّم الوراثي Genetic Advance (G.A):

يُعبّر عن الربح الوراثي Genetic gain الناتج عن الانتخاب، ويُعرّف بأنّه الاختلاف بين متوسط قيمة الطراز الوراثي للنباتات المنتخبة ومتوسط قيمة الطراز الوراثي للعشيرة الأبوية (الأولية) أو بمعنى العشيرة الأصلية قبل الانتخاب (Johnson، 1955):

$$G.A = \frac{V_G}{\sqrt{V_P}} \times K$$

V_G التباين الوراثي.

$\sqrt{V_P}$ انحراف النمط المظهري القياسي للعشيرة الأصلية.

K الفارق الانتخابي لمستوى شدة انتخاب محددة، أو من خلال المعادلة بوجود F_2 (Allard، 1960):

$$G.A = H_{NS} \times \sqrt{V_{F2}} \times K$$

ويُعبّر عنه كنسبة مئوية:

$$\mathrm{G.A\%} = \frac{G.A}{Mean} \times 100$$

$$\mathrm{G.A\%} = \frac{G.A}{\overline{F_2}} \times 100$$

F_2: متوسط الجيل الثاني.

قُسّمت قيم $\Delta G\%$ إلى ثلاثة مستويات وفق Johnson وزملاؤه (1955)، حيث 0–10% منخفض Low، 10–20% متوسط Moderate، أكبر من 20% مرتفع High.

معامل التوريث والتقدّم الوراثي من المعايير المهمة التي تستند إليها عملية الانتخاب. ولدى مقارنة قيم معامل التوريث مع قيم التقدّم الوراثي تستنتج الملاحظات التالية:

1. عندما تكون قيمتي كلا معاملي التوريث والتقدّم الوراثي مرتفعة، يدّل ذلك أنّ معظم معامل التوريث ناتج عن التأثير الإضافي للمورثات، ويصبح الانتخاب فعالاً عند ذلك.
2. عندما تترافق قيمة معامل التوريث المرتفعة مع قيمة منخفضة للتقدم الوراثي، يعد ذلك مؤشراً على التأثير الوراثي غير الإضافي، والانتخاب في هذه الحالة غير مجدي.
3. عندما يترافق معامل التوريث ذو القيمة المنخفضة مع قيمة التقدم الوراثي المرتفعة، فهو دليل على سيطرة التأثير الإضافي للمورثات على الصفة، أما حالة القيمة المنخفضة لمعامل التوريث فهي ناتجة عن تأثر الصفة الشديد بالبيئة، وفي مثل هذه الحالة يمكن للانتخاب أن يكون فعالاً.
4. عندما تكون قيمتي معامل التوريث والتقدّم الوراثي منخفضتين فيدل ذلك على تأثر الصفة الشديد بالبيئة، ويكون الانتخاب في مثل هذه الحالة عديم الفائدة.

6) قيمة التربية Breeding Value:

إنّ قيمة التربية لفرد ما هي الجزء من قيمته الوراثية Genotypic value الذي يُحدد متوسط أداء نسله. وتتحدد قيمة التربية للفرد بجمع متوسط تأثير مورثاته المتحكمة في الصفة وهي تُعبّر عن التأثير الإضافي للمورثات.

في حالة القيمة الوراثية لموقع وراثي واحد:

$$G = A + D$$

G القيمة الوراثية، A الفعل الوراثي الإضافي، D الانحراف الذي يرجع إلى السيادة.

وتكون القيمة الوراثية لجميع المورثات معاً:

$$G = A + D + I$$

القيمة الوراثية

مجموع قيم التربية للمورثات المختلفة

مجموع الانحرافات العائدة إلى السيادة

مجموع الانحرافات العائدة إلى التداخل بين المورثات غير الأليلية

7) أفضل تنبؤ خطي غير منحاز Best Linear Unbiased Prediction (BLUP):

يتطلب كل من تطوير أصناف جديدة والتوصية بأصناف استنبطت حديثاً عملية انتخاب يتم إجراؤها بين مجموعة من الطرز الوراثية المرشحة Candidate genotypes، لذا فإنّ تقدير القيم الوراثية Genotypic values هو في صميم أي جهد تربية.

كانت طريقة أفضل تنبؤ خطي غير منحاز Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) طريقة الانتخاب النموذجية في تربية الحيوانات على مدى عقود (Henderson، 1950)، حيث يتم تقدير قيم التربية للآباء Breeding values of sires بناءً على أداء النسل لاختيار الطرز الوراثية المتفوقة وتربية العائلات المتفوقة (Robinson، 1991). وتمّ استعمال هذه الطريقة في تربية المحاصيل في الآونة الأخيرة (Piepho وزملاؤه، 2008). يَعتبِر نموذج أفضل تنبؤ خطي غير منحاز (BLUP) الطرز الوراثية متغيراتٍ عشوائية. تُشير كلمة تنبؤ Prediction إلى التأثيرات العشوائية، فيما تُشير كلمة Best إلى احتوائها على أقل اختلاف، و Linear تحليل خطي للبيانات، وكلمة غير منحاز Unbiased أنّ النسبة المتوقعة لجميع الأفراد تساوي القيمة المتوقعة لكل التأثيرات الحقيقية. يتم في أفضل تنبؤ خطي غير منحاز تقليص متوسطات الأفراد الواقعة فوق المتوسط العام نزولاً إلى المتوسط العام، ويتم تقليص متوسطات الأفراد أسفل المتوسط العام صعوداً نحو المتوسط العام، حيث يعتمد ذلك التقلص Shrunken على التباين البيئي (Hill وRosenberger، 1985). أظهرت العديد من الدراسات فعّالية BLUP في التنبؤ بأداء الهجن الفردية في محصول الذّرة الصفراء وقيمة التربية في الانتخاب المتكرر وتطوير السلالات النقية والمرباه داخلياً Pure and inbred lines (Bauer وزملاؤه، 2006؛ Oakey

وزملاؤه، 2007؛ Viana وزملاؤه، 2011). وكان Bernardo (1996) أوّل من وضّح تحليل أفضل تنبؤ خطي غير منحاز BLUP كأداةٍ مفيدة في تربية محصول الذّرة الصفراء.

يمكن أن يستند تحليل البيانات المقاسة في تجارب تربية النباتات والتنوع الحيوي إلى نموذج خطي مختلط بالشكل الآتي (Piepho وزملاؤه، 2008):

$$\mathbf{Y = X\beta + Zu + e}$$

حيث: Y يمثل موجّه المشاهدات (أي البيانات المظهرية المقاسة phenotypic data).

β و u يمثلان عاملا التأثيرات الثابتة والعشوائية على التتالي.

Z و X يمثلان مصفوفة التصميم المرافقة.

e الخطأ المتبقي العشوائي.

8) تطبيقات عملية في الإحصاء الحيوي الوراثي Practical Applications in Biometrical Genetics:

i. التلقيح الدرائري Dialle ← Full Dialle / Partial Dialle

ii. التلقيحات الاختبارية Line × Tester crosses

iii. تحاليل Triallel analysis و Quadriallel analysis

iv. تحليل متوسط الأجيال Generation mean analysis

v. تحاليل التلقيحات ثنائية الآباء North carolina

vi. تحليل الثباتية Stability analysis

vii. تحليل البيئات المتعددة AMMI analysis

مسائل عامة

مبادئ الإحصاء الحيوي في الوراثة الكمية

Principles of Biostatistics in Quantitative Genetics

يهدف هذا الفصل إلى تزويد الطالب ببعض الأساسيات المهمة؛ للتعرف عليها وفهمها، ومن هذه الأساسيات:

- متوسط التوزيع Mean of Distribution
- مقاييس التشتت Measures of Dispersion
- إحصائيات عالية المستوى Higher Order Degree Statistics

متوسط التوزيع:

أولاً) الوسط الحسابي Arithmetic mean:

موضع مركز التوزيع (مجموع القياسات على عددها).

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} = \frac{\sum X_i}{n}$$

مثال: البيانات التالية تمثل أطوال بادرات أربعة أصناف من الذرة البيضاء (ازرع 3، ازرع 5، ازرع 7، رزينية) 14.03، 5.20، 9.60، 13.52. المطلوب: أوجد المتوسط الحسابي لهذه الصفة المدروسة.

ثانياً) الوسيط Median:

يمكن تعريف الوسيط لمجموعة من الأعداد المرتبة ترتيباً تصاعدياً، أو ترتيباً تنازلياً؛ بأنه العدد الأوسط منها إذا كان فردياً، أو المتوسط الحسابي للعددين الأوسطين إذا كان زوجياً.

مثال 1: أوجد الوسيط لقيم القراءات الآتية: 63 ,80 ,40 ,71 ,60 كغ.

مثال 2: أوجد الوسيط لقيم القراءات الآتية: 63 ,80 ,40 ,71 ,60 ,85 كغ.

ثالثاً) المنوال Mode:

يعرف المنوال بأنه القيمة الأكثر تكراراً في العينة، أو نتائج التجربة.

مثال: أوجد المنوال للقراءات الآتية: 2 ,6 ,9 ,4 ,6 ,10 ,6 سم.

الحل: المنوال =6 سم لأن هذه القيمة أكثر تكراراً من أي قيمة أخرى.

مقاييس التشتت:

أولاً) المدى Range:

يعرف المدى بأنه الفرق بين أعلى قيمة وأقل قيمة في البيانات محل الدراسة.

مثال: احسب المدى للبيانات الآتية: 75 ,86 ,24 ,90 ,25 سم.

الحل: أكبر قراءة = 90 سم، أصغر قراءة = 24 سم، ومنه: المدى = 90-24=66 سم.

ثانياً) التباين Variance:

يعرف التباين (V) بأنه مجموع مربع الفروق بين كل قراءة والمتوسط الحسابي للعينة مقسوماً على القيمة (n-1) ويمكن حساب التباين بأي من المعادلتين التاليتين: $V = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}$

أو

$$V = \frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}$$

حيث: n عدد القراءات للعينة.

n-1 درجات الحرية التي تبين عدد الفروق المستقلة الممكن إجراؤها.

مثال: احسب التباين للأعداد التالية: 12 ,6 ,15 ,3 ,12 ,6 ,21 ,15 ,18 ,12.

ثالثاً) الانحراف القياسي Standard deviation:

يُعرف بأنه الجذر التربيعي الموجب للتباين، أي:

$$SD = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

ويعد الانحراف المعياري (SD) من أهم مقاييس التشتت، وأدقها؛ لأنه يأخذ في الحسبان كل القيم. وبالإضافة إلى ذلك فإن وحداته هي وحدات البيانات الأصلية نفسها.

مثال: احسب الانحراف المعياري للقراءات المأخوذة من المثال السابق (مثال التباين).

الحل: V= 30.78

$SD = \sqrt{V} = \sqrt{30.78} = 5.55$

رابعاً) الخطأ القياسي Standard Error:

يُرمز له (SE) ويمكن حسابه باستخدام المعادلة الآتية:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

حيث إن: n = عدد القراءات (المشاهدات) في العينة.

مثال: احسب الخطأ المعياري (SE) للأعداد في المثال السابق.

الحل: $SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{5.55}{\sqrt{10}} = 1.76$

خامساً) معامل الاختلاف Coefficient of Variation:

يُرمز له بالرمز (C.V) يتم من خلاله تقدير الاختلاف بصورة مستقلة عن وحدات القياس، حيث يتم ذلك من خلال تقدير الانحراف القياسي معبراً عنه بالنسبة المئوية قياساً للمتوسط:

$$C.V = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100$$

إن أهم استخدامات معامل الاختلاف هو للمقارنة بين التغير في عدة مجموعات، أو توزيعات تكرارية.

إحصائيات عالية المستوى:

مثل دراسة متوسط الجنوح Skewness (الانحراف) للأجيال الانعزالية F2, F3. حيثُ يُعَد الجنوح عن التوزيع الطبيعي في عشائر الجيل الثاني دليلاً على الانحراف عن التأثير الإضافي للمورثات المتحكمة في الصفات الكمية، وتقدر على النحو الآتي:

$$Skewenss = \frac{3(\overline{F_2} - Median)}{S_{F2}}$$

حيث $\overline{F_2}$: متوسط الجيل الثاني، Median القيمة الوسطى، S_{F2}: الانحراف المعياري للجيل الثاني.

وتدل قيمة الجنوح الموجبة على زيادة عدد الأفراد ذوي القيم الأقل من المتوسط، بينما تدل القيمة السالبة على زيادة عدد الأفراد ذوي القيم الأعلى من المتوسط.

مثال: سُجلّت أطوال خمسة أصناف من الشعير في مرحلة النضج الكامل، وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD) وبثلاثة مكررات، المطلوب: حساب (المدى، المتوسط الحسابي، التباين، الانحراف القياسي، الخطأ القياسي، معامل الاختلاف).

	المكرر الأول	المكرر الثاني	المكرر الثالث
فرات 1	120	125	126
فرات 2	140	145	143
فرات 3	133	135	137
فرات 4	139	141	142
فرات 5	155	157	153

الحل:

1- المدى: أكبر قراءة = 157 سم، أصغر قراءة = 120 سم، المدى = 157-120=37

2- المتوسط الحسابي $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{120+125+\cdots+153}{15} = \frac{2091}{15} = 139.4\ cm$

3- التباين

$$V = \frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1} = \frac{(120)^2+(125)^2+\cdots+(153)^2+\frac{(2091)^2}{15}}{15-1} = \frac{293107-291485}{14} = 115.829$$

4- الانحراف القياسي $SD = \sqrt{V} = \sqrt{115.829} = 10.762$

5- الخطأ االقياسي $SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{10.762}{\sqrt{15}} = 2.778$

6- معامل التباين، أو الاختلاف $C.V = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 = \frac{10.76}{139.4} \times 100 = 7.718\%$

ويمكن تبويب النتائج السابقة في جدول كالآتي:

$\bar{X}$	SE	SD	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المدى	C.V
139.4	2.77	10.76	157	120	37	7.71%

تحليل التباين والتباين المشترك

Variance and Covariance Analysis

يوجد هدفان رئيسان لتحليل التباين: أولهما تجزئة التباين إلى مكوناته المختلفة، فعند الأخذ بعين الاعتبار أداء بعض الأصناف في تجربة ما، يتم تجزئة التباين الكلي الملحوظ إلى جزأين، التباين بين الأصناف وداخل الأصناف. الهدف الثاني لتحليل التباين اختبار المعنوية Test of significance (Singh وChaudhary، 1977).

تحليل التباين بتصميم القطاعات كاملة العشوائية (RCBD) في بيئة واحدة كنموذج:

تبوب مصادر التباين في جدول تحليل التباين كالآتي:

مصادر التباين	درجات الحرية	مجموع المربعات	متوسطات المربعات	متوسطات المربعات المتوقعة
المكررات	r-1	SSr	MSr	—
الأصناف	t-1	SSt	MSt	$\sigma_e^2 + r\sigma_g^2$
الخطأ التجريبي	(r-1)(t-1)	SSe	MSe	σ_e^2
المجموع	(rt -1)	—	—	—

حساب التباين البيئي $\boldsymbol{\sigma_e^2}$: $\sigma_e^2 = MS_e$

حساب التباين الوراثي $\boldsymbol{\sigma_g^2}$: $\sigma_g^2 = \frac{MS_t - MS_e}{r}$

حساب التباين الظاهري أو الكلي $\boldsymbol{\sigma_P^2}$: $\sigma_P^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$

مثال: نفذّت تجربة على ثمانية أصناف من الشعير وفق تصميم القطاعات كاملة العشوائية، وبأربعة مكررات، وسُجّلت القراءات التالية: عدد السنابل للنبات، طول السنبلة، وزن المئة حبة، والغلّة الحبية للنبات. المطلوب: أوجد مكونات التباين لكل صفة (Singh وChaudhary، 1977).

الجدول (1) صفة عدد السنابل للنبات

Parents	R—I	R—II	R—III	R—IV	Total
1.	50.2	41.4	36.2	39.8	167.6
2,	41.8	47.2	39.6	46.6	175.2
3.	39.2	37.6	38.8	33.6	149.2
4.	37.8	49.6	35.4	41.8	164.6
5.	35.6	31.4	33.2	29.8	130.0
6.	53.4	50.2	49.6	57.8	211.0
7.	43.8	46.8	41.4	43.6	175.6
8.	50.6	47.8	41.8	46.8	187.0
Total	352.4	352.0	316.0	339.8	1360.2

الجدول (2) صفة طول السنبلة

Parents	R—I	R—II	R—III	R—IV	Total
1.	20.5	20.6	20.5	19.6	81.2
2.	19.5	20.1	19.3	20.1	79.0
3.	19.0	18.5	18.1	19.3	74.9
4.	20.0	20.3	20.6	20.3	81.2
5.	20.0	20.8	20.3	19.9	81.0
6.	19.2	19.5	20.3	19.9	78.9
7.	19.5	20.4	20.7	20.3	80.9
8.	19.7	19.8	20.1	20.5	80.1
Total	157.4	160.0	159.9	159.9	637.2

الجدول (3) صفة وزن المئة حبة

Parents	R—I	R—II	R—III	R—IV	Total
1.	3.9	4.0	3.8	3.9	15.6
2.	3.7	3.6	3.6	3.7	14.6
3.	4.5	4.6	4.6	4.7	18.4
4.	4.3	4.4	4.2	4.3	17.2
5.	4.1	4.0	4.2	4.1	16.4
6.	4.2	4.5	4.3	4.5	17.5
7.	4.3	4.3	4.2	4.3	17.1
8.	4.2	4.0	4.3	4.1	16.6
Total	33.2	33.4	33.2	33.6	133.4

الجدول (4) صفة الغلّة الحبيّة

Parents	R—I	R—II	R—III	R—IV	Total
1.	104.9	84.3	77.0	76.5	342.7
2.	88.0	106.5	89.8	108.7	393.0
3.	80.0	71.3	77.5	69.5	298.3
4.	80.8	106.5	83.3	95.9	366.5
5.	60.0	52.5	53.0	51.0	216.5
6.	96.4	98.8	99.1	107.2	401.5
7.	91.4	99.7	83.3	89.5	363.9
8.	91.8	84.8	70.0	81.5	328.1
Total	693.3	704.4	633.0	679.8	2710.5

♦ تحليل التباين لصفة عدد السنابل للنبات (الجدول 1):

$$C.F. = (\text{Grand Total})^2/\text{Total number of observations.}$$
$$= (1360.2)^2/32 = 57817.001$$

$$\text{Total } S.S. = \text{Sum of squares of individual observations} - C.F.$$
$$= (50.2)^2 + (41.8)^2 + (39.2)^2 + \ldots\ldots + (43.6)^2 + (46.8)^2 - C.F.$$
$$= 1422.959$$

$$\text{Treatment } S.S. = (\text{Sum of squares of treatment totals/number of replications}) - C.F.$$
$$= (1/4)[(167.6)^2 + (175.2)^2 \ldots\ldots + (187.0)^2] - C.F.$$
$$= 1023.989$$

$$\text{Replication } S.S. = (\text{Sum of squares of replication totals/Number of varieties}) - C.F.$$
$$= (1/8)[(352.4)^2 + (352.0)^2 + \ldots + (339.8)^2] - C.F.$$
$$= 109.224$$

$$\text{Error } S.S. = \text{Total } S.S. - \text{Replication } S.S. - \text{Treatment } S.S.$$
$$= 289.746$$

وبشكل مماثل يتم حساب باقي الصفات المدروسة.

الجدول (5) تحليل التباين لعدد السنابل Anova Table

Source	*d.f.*	*S.S.*	*M.S.*	*F*
Replications	3	109.224	36.408	2.639
Treatments	7	1023.989	146.284	10.602
Error	21	289.746	13.797	
Total	31	1422.959		

الجدول (6) تحليل التباين لطول السنابل Anova Table

Source	d. f.	S.S.	M.S.	F
Replications	3	0.603	0.201	1.069
Treatments	7	7.985	1.141	6.069
Error	21	3.947	0.188	
Total	31	12.535		

الجدول (7) تحليل التباين لوزن المئة حبة Anova Table

Source	d. f.	S.S.	M.S.	F
Replications	3	0.014	0.005	0.500
Treatments	7	2.414	0.345	34.500
Error	21	0.201	0.010	
Total	31	2.629		

الجدول (8) تحليل التباين للغلّة الحبيّة Anova Table

Source	d. f.	S.S.	M.S.	F
Replications	3	369.841	123.280	1.708
Treatments	7	6248.368	892.624	12.369
Error	21	1515.501	72.167	
Total	31	8133.710		

- الاختلاف الجوهري أو الاختلاف المعنوي Critical Difference (C.D) أو أقل فرق معنوي L.S.D لمقارنة متوسطات مختلف المدخلات (المعاملات) نستخدم C.D

$$C.D = S.E \times t$$

$$S.E = \sqrt{\frac{2MSe}{r}}$$

فيكون C.D للصفة الأولى عدد السنابل

$$C.D = \sqrt{\frac{2 \times 13.797}{4}} \times 2.08 = 5.4631$$

في حال كان الفرق بين متوسطي صنفين أكبر من 5.4631 فإنّه معنوي.

في حالات أخرى إذا أردنا المقارنة بين متوسط $\overline{X_i}$ صنف معين بالمتوسط العام $(\overline{X})$ لكل الأصناف في التجربة فيكون:

$$S.E = \sqrt{\frac{n-1}{n} \times \frac{Mse}{r}} \times t$$

$$\overline{X} = \frac{\overline{X_1} + \overline{X_2} + \cdots + \overline{X_n}}{n}$$

$\overline{X} = 42.506$ للصفة الأولى

$$C.D = S.E \times t$$

$$C.D = \sqrt{\frac{7(13.797)}{8(4)}} \times 2.08 = 3.614$$

إذا كان الفارق بين متوسط صنف ما والمتوسط العام أكبر من القيمة المحسوبة فإنّ الفرق معنوي.

$$C.V = \frac{S.D}{\overline{X}} \times 100$$

$$C.V = \frac{\sqrt{13.797}}{42.506} \times 100 = 3.7386$$

♦ مكونات التباين:

1- التباين البيئي $\boldsymbol{\sigma_e^2}$: $\sigma_e^2 = MS_e$

في صفة عدد السنابل MSe = 13.797

2- حساب التباين الوراثي $\boldsymbol{\sigma_g^2}$: $\sigma_g^2 = \frac{MS_t - MS_e}{r}$

$$\sigma_g^2 = \frac{146.284 - 13.797}{4} = 33.12$$

3- حساب التباين الظاهري أو الكلي $\boldsymbol{\sigma_P^2}$: $\sigma_P^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$

$$\sigma_P^2 = 33.12 + 13.797 = 46.919$$

فيكون التباين الوراثي σ_g^2، البيئي σ_e^2، والمظهري σ_P^2 للصفات الأربعة المذكورة سابقاً في (الجدول 9).

الجدول (9) مكونات التباين

Components	*Ears per plant*	*Ear length (cm)*	*100-grain weight (g)*	*Grain yield (g)*
σ^2_g	33.122	0.238	0.084	205.114
σ^2_e	13.797	0.188	0.010	72.167
σ^2_p	46.919	0.426	0.094	277.281

a. معامل التباين المظهري: $P.C.V\% = \frac{\sqrt{\sigma_P^2}}{\bar{X}} \times 100$

فيكون معامل التباين المظهري للصفة الأولى:

$$P.C.V\% = \frac{\sqrt{46.919}}{42.506} \times 100 = 16.1147\%$$

b. معامل التباين الوراثي: $G.C.V\% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$

فيكون معامل التباين الوراثي للصفة الأولى:

$$P.C.V\% = \frac{\sqrt{33.122}}{42.506} \times 100 = 13.5397\%$$

c. درجة التوريث بالمعنى الواسع: $h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_P^2}$

فتكون درجة التوريث للصفة الأولى:

$$h^2 = \frac{33.122}{46.919} = 0.7059$$

وبشكل مماثل يتم حساب باقي الصفات المدروسة.

تحليل التباين المشترك Covariance Analysis

هو التباين الذي يحدث في نفس الوقت بين متغيرين مختلفين. يمكن كتابة مجموع المربعات $\sum(X_i - \bar{X})^2$ أو بالشكل $\sum(X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})$، وباستخدام متغيرين X_1 وX_2 يصبح مجموع المربعات $\sum(X_1 - \overline{X_1})(X_2 - \overline{X_2})$. ويصبح معامل التصحيح (ونجد بالعودة إلى المثال السابق لصفتي عدد السنابل وطول السنبلة) كالتالي:

$$\text{Correction Factor} = \frac{(\text{Grand total for } X_1)(\text{Grand total for } X_2)}{\text{Total number of observations}}$$

$$= \frac{(1360.2)(637.2)}{8 \times 4}$$

$$= 27084.983.$$

$$T.S.P = (50.2)(20.5) + (41.8)(19.5) + \ldots\ldots + (46.8)(20.5) - C.F.$$

$$= 27087.80 - 27084.983$$

$$= 2.817$$

Similarly,

Treatment sum of products :

$$= \frac{(167.6)(81.2) + (175.2)(79.0) + \ldots + (187.0)(80.1)}{4} - C.F.$$

$$= 27088.290 - 27084.983$$

$$= 3.307$$

Replication sum of products :

$$= \frac{(352.4)(157.4) + (352.0)(160.0) + (316.0)(159.9) + (339.8)(159.9)}{8} - C.F.$$

$$= 27081.273 - 27084.983 = -3.710$$

Error sum of products

$$= \text{Total } S.P. - \text{Treatment } S.P. - \text{Replication } S.P.$$

$$= 2.817 - 3.307 - (-3.710)$$

$$= 3.220$$

تحليل التباين المشترك Analysis of Covariance (AnCova):

مصادر التباين	درجات الحرية	مجموع المربعات	متوسطات المربعات	متوسط المربعات المتوقعة
المكررات	r-1	SPr	MSPr	—
الأصناف	t-1	SPt	MSPt	$\sigma_{e1e2} + r\sigma_{g1g2}$
الخطأ التجريبي	(r-1)(t-1)	SPe	MSPe	σ_{e1e2}
المجموع	(rt -1)	T.S.P	—	—

حساب التباين البيئي: $\sigma_{e1e2} = MSP_e$

حساب التباين الوراثي: $\sigma_{g1g2} = \frac{MSP_t - MSP_e}{r}$

حساب التباين الظاهري أو الكلي: $\sigma_{P1P2} = \sigma_{g1g2} + \sigma_{e1e2}$

وبالعودة إلى المثال السابق أصناف الشعير يكون لدينا جداول AnCova التالية:

الجدول (9) تحليل التباين المشترك لصفتي عدد السنابل وطول السنبلة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replication	3	—3.710	—1.237	8.085
Treatments	7	3.307	0.472	3.085
Error	21	3.220	0.153	
Total	31	2.817		

الجدول (10) تحليل التباين المشترك لصفتي عدد السنابل ووزن المئة حبة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replications	3	0 286	0.095	1.501
Treatments	7	—0.249	—0.036	0.553
Error	21	1.329	0.063	
Total	31	1.366		

الجدول (11) تحليل التباين المشترك لصفتي عدد السنابل والغلّة الحبيّة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replications	3	198.279	66.093	2.307
Treatments	7	2096.664	299.523	10.456
Error	21	601.586	28.647	
Total	31	2896.529		

الجدول (12) تحليل التباين المشترك لصفتي طول السنبلة ووزن المئة حبة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replications	3	0.047	0.016	4.000
Treatments	7	−2.048	−0.293	73.250
Error	21	−0.077	−0.004	
Total	31	−2.078		

الجدول (13) تحليل التباين المشترك لصفتي طول السنبلة والغلّة الحبيّة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replications	3	−4.564	−1.521	−1.783
Treatments	7	5.139	0.734	0.860
Error	21	17.914	0.853	
Total	31	18.489		

الجدول (14) تحليل التباين المشترك لصفتي وزن المئة حبة والغلّة الحبيّة.

Source	d.f.	S.P.	M.P.	F
Replications	3	0.778	0.259	3.018
Treatments	7	−18.787	−2.684	31.209
Error	21	1.802	0.086	
Total	31	−16.207		

♦ مكونات التباين:

1- حساب التباين البيئي: $\sigma_{e1e2} = MSP_e$

من الجدول ريقم (9) التباين المشترك لصفتي عدد السنابل وطول السنبلة MSPe = 0.153

2- حساب التباين الوراثي: $\sigma_{g1g2} = \frac{MSP_t - MSP_e}{r}$

$$\sigma_{g1g2} = \frac{0.472 - 0.153}{4} = 0.080$$

3- حساب التباين الظاهري أو الكلي: $\sigma_{P1P2} = \sigma_{g1g2} + \sigma_{e1e2}$

$$\sigma_{P1P2} = 0.080 + 0.153 = 0.233$$

وبالطريقة ذاتها نكمل باقي الصفات للحصول على الجدول رقم (15).

الجدول (15) مكونات التباين المشترك

Components	Ears per Plant vs. ear length	Ears per plant vs. 100-grain weight	Ears per plant vs. grain yield	Ear length vs. 100-grain weight	Ear length vs. grain yield	100-grain weight vs. grain yield
$\sigma g_i g_j$	0.080	—0.025	67.719	—0.073	—0.029	—0.693
$\sigma e_i e_j$	0.153	0.063	28.647	—0.004	0.853	0.086
$\sigma p_i p_j$	0.233	0.038	96.366	—0.077	0.824	—0.607

ومن الجدول السابق يمكن حساب درجة التوريث المشتركة لكل صفتين معاً:

$$Coheritability = \frac{Genotypic\ covariance}{Phenotypic\ covariance}$$

$$Coheritability\ (1,2) = \frac{0.080}{0.233} = 0.3433$$

لعدد السنابل وطول السنبلة

الارتباط البسيط Simple Correlation

يُحسب الارتباط البسيط باستخدام المعادلة:

$$r\,(x_1x_2) = \mathrm{Cov}\, x_1x_2/\sqrt{V(x_1) \times V(x_2)}$$

حيث $r\,(x_1x_2)$: الارتباط بين المتغيرين x_1 و x_2.

$\mathrm{Cov}\, x_1x_2$ التباين المشترك بين المتغيرين x_1 و x_2.

$V(x_1)$ تباين المتغير الأول x_1.

$V(x_2)$ تباين المتغير الثاني x_2.

وبالعودة إلى مثالنا ذاته ومن الجدولين (9، 15) يمكن الحصول على التباينات والتباينات المشتركة للصفات المدروسة، ومنها يمكن حساب قيم علاقات الارتباط الوراثي والمظهري والبيئي.

$$r_{12} = \frac{0.080}{\sqrt{(33.122)\,(0.238)}} = 0.028$$

$$r_{13} = \frac{-0.025}{\sqrt{(33.122)\,(0.084)}} = -0.015$$

$$r_{14} = \frac{67.719}{\sqrt{(33.122)(205.114)}} = 0.822$$

$$r_{23} = \frac{-0.073}{\sqrt{(0.238)\,(0.084)}} = -0.516$$

$$r_{24} = \frac{-0.029}{\sqrt{(0.238)(205.114)}} = -0.004$$

$$r_{34} = \frac{-0.693}{\sqrt{(0.084)(205.114)}} = -0.167$$

فتكون مصفوفة الارتباط الوراثي:

1.000	0.028	−0.015	0.822
	1.000	−0.516	−0.004
		1.000	−0.167
			1.000

ومصفوفة الارتباط المظهري:

1.000	0.052	0.018	0.845
	1.000	−0.385	0.076
		1.000	−0.119
			1.000

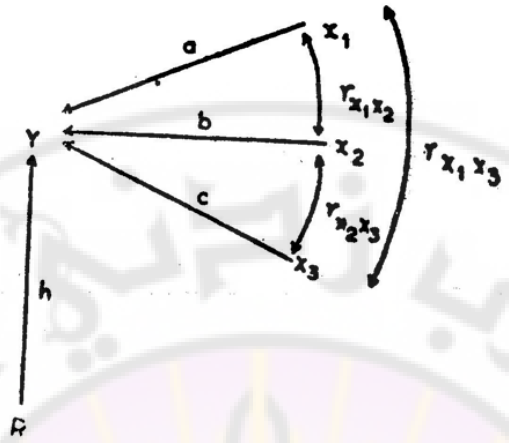
ومصفوفة الارتباط البيئي:

1.000	0.095	0.170	0.908
	1.000	−0 092	0.232
		1.000	0.101
			1.000

يُلاحظ أنّ صفة عدد السنابل هي الصفة الوحيدة التي ارتبطت ارتباطاً موجباً ومرتفع المعنوية بصفة الغلّة الحبيّة للنبات وأنّ الارتباط الوراثي تقريباً يساوي الارتباط المظهري. وعليه من المفيد الانتخاب لعدد سنابل أكبر للنبات في الأصناف المدروسة لتحسين صفة الغلّة الحبيّة للنبات.

تحليل معامل المسار Path Coefficient Analysis

يقيس تحليل المسار التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات المستقلة على تلك الصفة غير المستقلة.



الشكل (4) Path diagram

مثال: تحليل معامل المسار المظهري لسبع صفات في محصول عباد الشمس.

Genotype	Replication	P.H	H.D	V.W	HUW	YLD/PL	OC	oyld/pl
1	1	143.4	18.2	38.6	6.3	73	45.55	33.1
1	2	144.5	16.8	40.7	6.2	72	52.32	37.84
2	1	121.5	16.2	37.2	5.2	63	46.34	29.19
2	2	90.2	15.7	40.2	5.3	60	46	27.45
3	1	138.5	16.9	43.7	5.8	57	49.35	27.97
3	2	128.3	14.1	46.3	5.7	51	51.84	26.27
4	1	109.4	15.3	40.7	6.1	55	43.83	23.96
4	2	116.3	15.9	38.7	6	45	43	19.35
5	1	117.4	14.9	40.2	4.7	57	43.58	24.7
5	2	125.1	15.9	37.6	4.6	41	45.18	18.37
6	1	125.6	15.2	43.9	5.9	78	50.27	39.38
6	2	126.3	15.5	48.6	5.8	54	50.18	27.1
7	1	122.9	15	36.3	5.2	44	37.28	16.4
7	2	123.7	16.1	36.6	5.3	43	37	16.03
8	1	137.1	14.1	37.1	3.9	38	44.3	16.69
8	2	133.1	14.3	38	3.8	29	44	12.61
9	1	124.4	12.9	34.9	4.6	48	39.02	18.6
9	2	127.4	13.1	37.9	4.7	31	47.28	14.81
10	1	110.8	14.2	28.8	4.1	39	41.9	16.48
10	2	114.9	13.7	31.7	4.2	32	49.36	15.96
11	1	148.9	14.7	39.8	4.5	31	39.73	12.32
11	2	140.7	14.4	35.7	4.6	21	48.14	10.11
12	1	113.3	14.3	32.5	6.5	53	34.67	18.38
12	2	125.2	14.8	37.6	6.6	60	54.56	32.74
13	1	90.2	15.7	40.2	5.3	60	46	27.45
13	2	138.5	16.9	43.7	5.8	57	49.35	27.97

CORRELATION TABLE

1	1.0000						
2	0.1651	1.0000					
3	0.1984	0.3907	1.0000				
4	-0.0268	0.5437	0.4231	1.0000			
5	-0.1335	0.6088	0.4446	0.7255	1.0000		
6	0.1872	0.1969	0.5131	0.2481	0.3146	1.0000	
7	-0.0301	0.5800	0.5420	0.6946	0.9519	0.5832	1.0000

Phenotypic path analysis with dependent variable

1	**0.0310**	-0.0021	-0.0005	0.0002	-0.1164	0.0577	**-0.0301**
2	0.0051	**-0.0125**	-0.0011	-0.0031	0.5309	0.0607	**0.5800**
3	0.0062	-0.0049	**-0.0027**	-0.0024	0.3877	0.1582	**0.5420**
4	-0.0008	-0.0068	-0.0011	**-0.0058**	0.6327	0.0765	**0.6946**
5	-0.0041	-0.0076	-0.0012	-0.0042	**0.8720**	0.0970	**0.9519**
6	0.0058	-0.0025	-0.0014	-0.0014	0.2743	**0.3084**	**0.5832**

RESIDUE= 0.0613

Damascus University

1- درجة السيادة Potence Ratio (P): Smith (1952)

$$P = \frac{\overline{F_1} - \overline{MP}}{0.5 \times (\overline{P_2} - \overline{P_1})}$$

$\overline{F_1}$: متوسط الجيل الأوّل.

$\overline{P_1}$: متوسّط الأب الأدنى.

$\overline{P_2}$: متوسّط الأب الأعلى.

$\overline{MP}$: متوسط الأبوين.

حيث:

$P = 0$: يُشير ذلك إلى غياب السيادة.

$P = +1$، $P = -1$: يُشير ذلك إلى السيادة التامّة (Complete dominance).

$-1 < P < +1$: يُشير ذلك إلى السيادة الجزئيّة (Partial dominance).

$-1 > P > +1$: يُشير ذلك إلى السيادة الفائقة (Over dominance).

2- درجة الجنوح Skewenss:

$$Skewenss = \frac{3(\overline{F_2} - Median)}{S_{F2}}$$

حيث $\overline{F_2}$: متوسط الجيل الثاني، Median القيمة الوسطى، S_{F2}: الانحراف المعياري للجيل الثاني.

ولحساب معنوية قيمة الجنوح تُقارن T مع قيمة $T_{(TABLET)}$ وفق معادلة Snedecor (1956):

$$t = \frac{skewenss}{\sqrt{6n(n-1)/(n-2)(n+1)(n+3)}}$$

حيث n تمثل عدد أفراد الجيل الثاني.

وتدل قيمة الجنوح الموجبة على زيادة عدد الأفراد ذوي القيم الأقل من المتوسط، بينما تدل القيمة السالبة على زيادة عدد الأفراد ذوي القيم الأعلى من المتوسط.

3- تقدير درجة التوريث بالاعتماد على تباين الأجيال الانعزالية Heritability:

Burton (1951)؛ و Warner (1952) $\boldsymbol{H_{BS}} = \frac{V_G}{V_P}$

V_P: يمثّل التباين المظهري الذي يُحسب بالمعادلة $V_P = V_{F2}$

V_G: يمثّل التباين الوراثي الذي يُحسب بالمعادلة $V_G = V_{F2} - V_E$

V_E: التباين البيئي الذي يُحسب بالمعادلة التالية $V_E = \frac{V_{P1}+V_{P2}+V_{F1}}{3}$

$$\boldsymbol{H_{NS}} = \frac{V_A}{V_P}$$

V_A: التباين الوراثي الإضافي الذي يُعطى بالمعادلة $V_A = 2V_{F2} - (V_{BC1} + V_{BC2})$

قُسّمت قيم درجة التوريث وفق Robinson وزملاؤه (1949) إلى ثلاثة مستويات هي 0-30% منخفض، 30-60% متوسط، أكبر من 60% عالٍ.

4- التقدّم الوراثي Genetic Advance (ΔG): على شدة انتخاب 5%

Allard (1960) $\boldsymbol{\Delta G} = \mathbf{2.0627} \times \boldsymbol{H_{NS}} \times \sqrt{V_{F2}}$

$$\boldsymbol{\Delta G\%} = \frac{\boldsymbol{\Delta G}}{\overline{\boldsymbol{F_2}}} \times \mathbf{100}$$

قُسّمت قيم ΔG% إلى ثلاثة مستويات وفق Johnson وزملاؤه (1955)، حيث 0-10% منخفض، 10-20% متوسط، أكبر من 20% عالٍ.

5- قوّة الهجين Heterosis: $\boldsymbol{H_{MP}} = \frac{\overline{F_1}-\overline{MP}}{\overline{MP}} \times \mathbf{100}$

$\boldsymbol{H_{MP}}$: قوّة الهجين قياساً لمتوسط الأبوين.

$\overline{\boldsymbol{F_1}}$: متوسط الجيل الأول.

$\overline{\boldsymbol{MP}}$: متوسط الأبوين، والذي يحسب من المعادلة $\frac{\overline{P_1}+\overline{P_2}}{2}$

$$H_{BP} = \frac{\overline{F_1} - \overline{BP}}{\overline{BP}} \times 100$$

H_{BP}: قوّة الهجين قياساً للأب الأفضل.

$\overline{F_1}$: متوسط الجيل الأول.

$\overline{BP}$: متوسط الأب الأفضل.

تُقدّر معنوية قوّة الهجين قياساً لمتوسط الأبوين والأب الأفضل باستخدام اختبار T-test (Wynne وزملاؤه، 1970).

6- التدهور الوراثي Inbreeding Depression: Singh و Chaudhary (1977)

$$Inbreedin\ Depression = \frac{\overline{F_1} - \overline{F_2}}{\overline{F_1}} \times 100$$

تُحسبت معنوية درجة التدهور الناتجة عن التربية الداخلية من خلال مقارنة القيمة $(\overline{F_1} - \overline{F_2})$ مع ناتج المعادلة:

$$T = T_{(TABLET)} * \sqrt{(VF_2 + VF_1)/2}$$

مثال 1: لديك القيم التالية لعشائر هجين من الذرة الصفراء لصفة ارتفاع النبات، المطلوب احسب درجة السيادة، درجة التوريث بمفهوميها الواسع والضيق، التقدّم الوراثي المتوقع تحقيقه عبر الانتخاب (حيث ثابت شدة الانتخاب K=2.0627)، وقوة الهجين قياساً لمتوسط الأبوين فقط.

العشيرة	P_1	P_2	F_1	F_2	Bc_1	Bc_2
المتوسط	155.43	156.55	172.13	159.00	157.40	167.14
التباين	28.32	32.38	10.60	113.42	93.82	103.39

الحل:

درجة السيادة Potence Ratio (P):

$$P = \frac{\overline{F_1} - \overline{MP}}{0.5 \times (\overline{P_2} - \overline{P_1})} = 28.82$$

درجة التوريث بمفهوميها الواسع Broad Sense Heritability (H_{BS}) والضيّق Narrow Sense Heritability (H_{NS}):

$$H_{BS} = \frac{V_G}{V_P} = 0.79$$

V_P: يمثّل التباين المظهري الذي يُحسب بالمعادلة $V_P = V_{F2}$

V_G: يمثّل التباين الوراثي الذي يُحسب بالمعادلة $V_G = V_{F2} - V_E$

V_E: التباين البيئي الذي يُحسب بالمعادلة التالية $V_E = \frac{V_{P1}+V_{P2}+V_{F1}}{3}$

$$H_{NS} = \frac{V_A}{V_P} = 0.26$$

V_A: التباين الوراثي الإضافي الذي يُعطى بالمعادلة $V_A = 2V_{F2} - (V_{BC1} + V_{BC2})$

التقدّم الوراثي Genetic Advance (ΔG):

$$\Delta G = 2.0627 \times H_{NS} \times \sqrt{V_{F2}} = 5.74$$

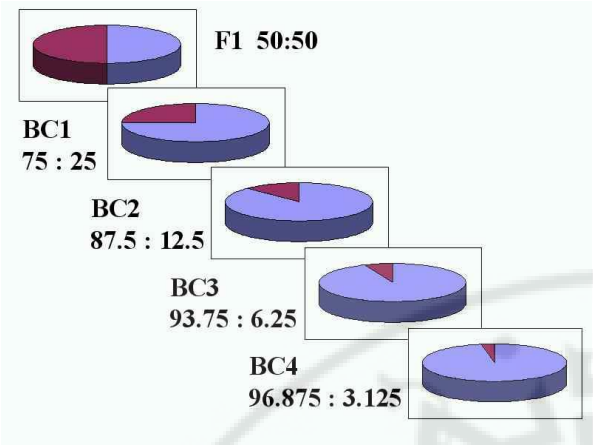
$$\Delta G\% = \frac{\Delta G}{\overline{F_2}} \times 100 = 3.61$$

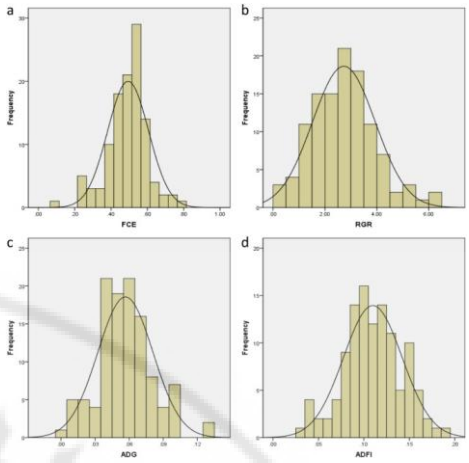
قوّة الهجين Heterosis:

$$H_{MP} = \frac{\overline{F_1} - \overline{MP}}{\overline{MP}} \times 100 = 10.35$$

مثال 2: لديك القيم التالية لعشائر هجين من الذرة الصفراء لصفة موعد الإزهار المؤنث، المطلوب احسب درجة السيادة، درجة الجنوح، درجة التوريث بمفهوميها الواسع والضيق، التقدّم الوراثي المتوقع تحقيقه عبر الانتخاب (حيث ثابت شدة الانتخاب K=2.0627)، وقوة الهجين قياساً لمتوسط الأبوين والأب الأفضل في الصفة، التدهور الوراثي.

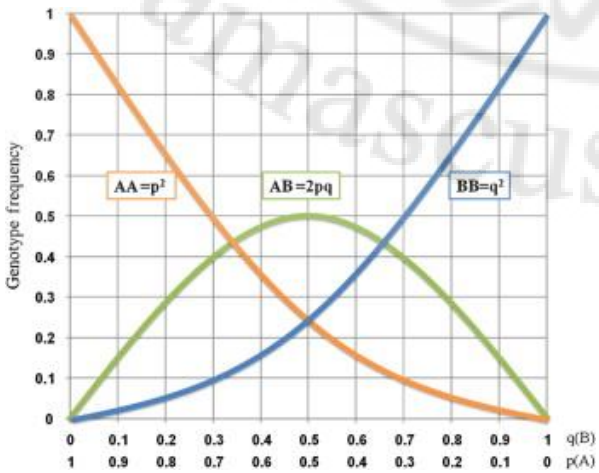
العشيرة	P_1	P_2	F_1	F_2	Bc_1	Bc_2
المتوسط	72.15	74.40	67.05	68.60	66.68	70.14
التباين	1.51	2.34	1.15	4.64	4.27	4.19
الوسيط				68.50		
العدد	60	60	60	180	120	120





Population Genetics

وراثة العشائر



مقدمة Introduction:

يقصد بالعشيرة Population أي تجمع لكائنات حية، مثال على ذلك مجموعة الأشجار التي تنمو معاً في غابة ما، أو مجموعة الأسماك التي تنمو في البحيرة، أو مجموعة من ذباب الدروسوفلا التي تعيش في منطقة معينة .... إلخ. ويهتم علم وراثة العشائر بدراسة المورثات في مختلف عشائر الكائنات الحية.

العشيرة المندلية Mendelian population هي العشيرة التي تتكون من أفراد تتزاوج فيما بينها تزاوجاً جنسياً عشوائياً، أي أنّ فرصة التزاوج بين أي فرد وآخر تكون متساوية بالنسبة لبقية أفراد العشيرة. وطالما أنّ القوانين المندلية تنطبق على انتقال المورثات بين أفراد هذه العشيرة فقد أطلق S.Wright لفظ "عشيرة مندلية" على مثل هذه المجموعة من الأفراد وبناءً على ذلك يعتبر النوع Species هو أكبر العشائر المندلية، بمعنى آخر أنّ الحد الأقصى للتزاوج الخلطي هو نوع واحد. ونستنتج من ذلك أنّ الكائنات التي تتكاثر لا جنسياً وتلك التي تتزاوج ذاتياً [القمح والشعير والبازلاء] لا تعتبر عشائر مندلية لعدم حدوث تزاوج عشوائي بين أفرادها.

نظراً لصعوبة إجراء التحاليل الإحصائية والوراثية على جميع أفراد العشيرة فإنّه يتم أخذ عينات عشوائية للتوصل إلى الاستدلالات عن خواص العشيرة. ويقصد بالعينة العشوائية أنّ كل فرد في العشيرة له نفس الفرصة كأي فرد آخر أن ينتخب كممثل للمجموع. ويختلف حجم العينة المختارة تبعاً لعدة ظروف مثل:

- نوع الكائن
- التكاليف
- الدقة المطلوبة
- حجم الكائن
- عددأفراد العينة حيث أنّه كلما زاد عدد أفراد العينة كانت النتائج أقرب الى الواقع.

قانون هاري–واينبرغ Hardy-Weinberg Law:

قامت وراثة العشائر (المجتمعات) أساساً على ظاهرة هامة اكتشفها كل من العالمين Hardy في إنكلترا عام 1908 و Weinberg في ألمانيا عام 1909 تتعلق بتكرار العوامل الوراثية Gene frequencies وتكرار التراكيب الوراثية Genotypic frequencies، تعرف باسم قانون أوتوازن هاردي–واينبرغ الذي ينص:

<< في مجتمع نباتي كبير يتلاقح عشوائياً Random mating (فرصة متساوية لكل نبات لأن يتلاقح مع أي نبات أخر في العشيرة) فإنّ كلاً من تكرار العوامل الوراثية والتكرارات الوراثية يكون ثابتاً من جيل لآخر، وذلك في غياب القوى التي تؤثر في تكرار العوامل الوراثية وهي الانتخاب Selection والهجرة Migration والطفرات Mutation وعدم حدوث التلاقح العشوائي Non-random mating، كما أنّ التكرارات الوراثية تتحدد بواسطة تكرار العوامل الوراثية >>

يفترض هذا القانون:

1. وجود قرينين فقط على موقع معين على الصبغي A و a.
2. التلاقح عشوائي.
3. لايوجد هجرة من وإلى العشيرة (المجموع مغلق)
4. الانتخاب متساوي على القرينين نفسهما.
5. معدل الطفرة Mutation من A ← a ومن a ← A متساوٍ.

نستنتج أنّ العشيرة النموذجية لها خاصيتان أساسيتان نادراً ما توجدان في العشائر الطبيعية Natural population:

i. يفترض في العشيرة المندلية أن تتزاوج أفرادها فيما بينها عشوائياً.
ii. يفترض أن تكون العشيرة كلها متوازنة وراثياً.

وبمعنى آخر يتم التزاوج بين أفراد العشيرة دون تحيّز بالنسبة للتركيب الوراثي Genotype أو الشكل المظهري Phenotype. وفي العشيرة المتزنة وراثياً لا تتأثر تكرارات المورثة بواسطة أية ضغوط تطورية وتبقى كما هي، أيّ أنّ المورثة السائدة في العشيرة لم تعد لها الأفضلية التوافقية (أو التواؤمية) للبيئة السائدة عن غيرها، ولا توجد مورثات في العشيرة تدخل في تغيرات طفورية.

تختص قاعدة هاردي–واينبرغ بتكرارات كل من الأليلات التراكيب الوراثية Genotypes الأصيلة Homozygous والخليطة Heterozygous في العشائر المندلية. وليس صحيحاً أنّ الأليلات السائدة Dominant alleles تكون أكثر تكراراً، والمتنحية Recessive alleles تكون نادرة أو أقل تكراراً، أو أنّ الأفراد ذوي المظهر المتنحي لابدّ وأن يظهرو في العشائر بنسبة 25% أو بأي نسبة أخرى.

ثبات التكرار الوراثي في العشيرة Genetic Frequency Persistence in Population:

أثبت كل من هاردي وواينبرغ عام 1908 أنّ التكرارات الوراثية في العشائر المندلية ثابتة من جيل للذي يليه، إذا توفرت في العشائر شروط معينة ويمكن توضيح ذلك من خلال المثال التالي:

لدينا تكرار التراكيب الوراثية للعشيرة الأصيلة (الآباء)

TT	Tt	tt
0.40	0.40	0.20

فماذا سيكون تكرار هذه المورثات (الأليلات T و t) بعد عدة أجيال؟؟

التكرار الوراثي في هذه العشيرة (تكرار المورثات في الآباء)

T =0.40+0.20=0.60

t =0.20+0.20=0.40

ويمكن التنبؤ للتزاوج بين أي تركيبين وراثيين على أساس تكرار تواجد كل منهما في العشيرة. ويمكن أن يحدث تسعة طرز للتزاوج منها ثلاثة عكسية وفي المجموع يوجد ستة تراكيب وراثية هي (الجدول، 16)

جدول (16) توافيق طرز التزاوج العشوائي وتكراراتها النسبية في العشيرة

الأب / الأم	TT 0.40	Tt 0.40	tt 0.20
TT 0.40	0.16 (1)	0.16 (2)	0.08 (3)
Tt 0.40	0.16 (4)	0.16 (5)	0.08 (6)
tt 0.20	0.08 (7)	0.08 (8)	0.04 (9)

TT × TT	(1)	=0.16
TT × Tt	(2)+(4)	=0.32
TT × tt	(3)+(7)	=0.16
Tt × Tt	(5)	=0.16
Tt × tt	(6)+(8)	=0.16
tt × tt	(9)	=0.04
Total		1.00

جدول (17) التكرارات النسبية لطرز النسل الناتج

الآباء		نسب النسل			تكرارات النسل		
طرز التزاوج	تكرار التزاوج	TT	Tt	tt	TT	Tt	tt
TT × TT	0.16	0.16			0.16		
TT × Tt	0.32	(0.32)/2	(0.32)/2		0.16	0.16	
TT × tt	0.16		0.16			0.16	
Tt × Tt	0.16	(0.16)/4	(0.16)/2	(0.16)/4	0.04	0.08	0.04
Tt × tt	0.16		(0.16)/2	(0.16)/2		0.08	0.08
tt × tt	0.04			0.04			0.04
Total	1.00				0.36	0.48	0.16

يُلاحظ أنّ تكرار التراكيب الوراثية قد تغيّر بواسطة التزاوج العشوائي إلّا أنّ التكرارات الوراثية لم تتغير

$$T = 0.36 + \frac{1}{2}(0.48) = 0.60$$

$$t = 0.16 + \frac{1}{2}(0.48) = 0.40$$

يترتب على ذلك استنتاجان هامان:

1) تحت ظروف التزاوج العشوائي في عشيرة كبيرة الحجم حيث تكون جميع التراكيب الوراثية متساوية في حيويتها فإن التكرارات الوراثية في جيل ما تتوقف على التكرارات الوراثية للجيل السابق وليس على تكرارات التراكيب الوراثية لذلك الجيل.

2) تكرارات التراكيب الوراثية التي تنتج تحت ظروف التزاوج العشوائي تتوقف فقط على التكرارات الوراثية.

المورثات هي الوحدات الثابتة في العشيرة وليست التراكيب الوراثية وأنّه بعد الجيل الأول من التزاوج العشوائي فإنّ العشيرة تصل إلى حالة الاتزان.

يمكن وصف العلاقة بين التكرارات الوراثية وتكرارات التراكيب الوراثية بأسلوب جبري كالتالي:

$$p + q = 1$$

تكرار الأليل T **تكرار الأليل t**

ومنه تكرارات التوازن للتراكيب الوراثية $(p + q)^2 = p^2 (TT) + 2pq (Tt) + q^2 (tt)$

جاميطات مؤنثة

		p (T)	q (t)
جاميطات مذكّرة	p (T)	p^2 (TT)	pq (Tt)
	q (t)	pq (Tt)	q^2 (tt)

$$p^2 (TT) + 2pq (Tt) + q^2 (tt) = 1$$

عناصر توازن هاردي–واينبرغ $p (T) + q (t) = 1$

p^2 (TT) تكرار الأفراد الأصيلة السائدة

2pq (Tt) تكرار الأفراد الخليطة

q^2 (tt) تكرار الأفراد الأصيلة المتنحية

وفي جميع الأحوال المجموع الكلي يساوي واحد صحيح.

مثال: لو كان تكرار المورثات t=0.4، T=0.6 عليه:

$$(0.6)^2 TT + 2 (0.6\times 0.4) Tt + (0.4)^2 tt = 0.36 TT + 0.48 Tt + 0.16 tt = 1$$

$$\boxed{(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2}$$

تحديد التكرار الوراثي Gene Frequency:

يمكن القول أنّ تكرار الأليل T بين أفراد المجموعة:

$$p = T = \frac{2D+H}{2N} \quad \text{or} \quad p = \frac{D+0.5H}{N}$$

وبالتالي تكرار الأليل t بين أفراد المجموعة

$$q = t = \frac{2R+H}{2N} \quad \text{or} \quad q = \frac{R+0.5H}{N}$$

$$\boxed{p + q = 1}$$

فإذا كانت لدينا التراكيب الوراثية التالية بالنسب:

AA	Aa	aa
D	H	R
30%	60%	10%=100%

$$p = A = \frac{(30\times2)+(60)}{200} = 0.60$$

$$q = a = \frac{(30\times2)+(20)}{200} = 0.40$$

$$p + q = 0.60 + 0.40 = 1.00$$

مثال: لحساب التكرار الوراثي بطريقة جبرية:

بفرض عشيرة من البشر متزنة والتزاوج فيها عشوائي وجدنا 36% من الأشخاص غير ذوّاقين و64% ذوّاقون لمادة ثيوكربامید (PTC) وهي مادة شديدة المرارة لدى البعض في حين لا يشعر البعض الآخر بها، والقدرة على التذوّق T سائدة على عدم التذوّق t، كيف يتم حساب التكرار الوراثي؟؟

الحل: الأفراد غير الذوّاقين لابدّ من أن يكونوا أصيلين (متماثل اللواقح) (tt) فالتركيب الوراثي tt وتكراره tt=36%=0.36، والأفراد الذوّاقين إما TT أو Tt أو كليهما فتكرار التركيبين TT and Tt= 1-0.36=0.64.

$p^2 + 2pq + q^2 = 1$

$q^2 = tt = 0.36$

$q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0.36} = 0.6$

$p + q = 1$

$p = 1 - 0.6 = 0.4$

$p^2 = TT = 0.4 \times 0.4 = 0.16$ تكرار الأفراد الأصلية

$2pq = Tt$ تكرار الأفراد الخليطة

$2 \times 0.6 \times 0.4 = 0.48$

TT	Tt	tt	
16%	48%	36%	=100% =1

الاتزان في العشائر الكبيرة المتزاوجة عشوائياً Equilibrium in Large Random Mating Population:

بالعودة إلى قانون هاردي بأنّه إذا ما تزاوجت الأفراد عشوائياً فإنّ نسبة التراكيب الوراثية المختلفة في الجيل التالي لابدّ وأن تساوي تماماً النسبة الموجودة في جيل الآباء.

AA	Aa	aa
p^2	2pq	q^2

	AA (P^2)	**Aa(2pq)**	**Aa(q^2)**
AA (P^2)	p^4	$2p^3q$	p^2q^2
Aa(2pq)	$2p^3q$	$4p^2q^2$	$2pq^3$
Aa(q^2)	p^2q^2	$2pq^3$	q^4

مما سبق يلاحظ وجود 6 تراكيب وراثية مختلفة وأنّ نسبة الأفراد الناتجة عن هذا التزاوج يمكن توضيحها كالتالي:

طرز التزاوج	نسبة التزاوج	تكرار توزيع النسل		
		AA	Aa	aa
AA × AA	p^4	p^4		
AA × Aa	$4p^3q$	$2p^3q$	$2p^3q$	
AA × aa	$2p^2q^2$		$2p^2q^2$	
Aa × Aa	$4p^2q^2$	p^2q^2	$2p^2q^2$	p^2q^2
Aa × aa	$4pq^3$		$2pq^3$	$2pq^3$
aa × aa	q^4			q^4
Total	1.00	p^2	2pq	q^2

$$p^2 = p^4 + 2p^3q + p^2q^2$$
$$= p^2 (p^2 + 2pq + q^2)$$
$$= p^2 (1)$$
$$= p^2$$

$$2pq = 2p^3q + 2p^2q^2 + 2p^2q^2 + 2pq^3$$
$$= 2pq^3 + 4p^2q^2 + 2pq^3$$
$$= 2pq (p^2 + 2pq + q^2)$$
$$= 2pq (1)$$
$$= 2pq$$

$$q^2 = p^2q^2 + 2pq^3 + q^4$$
$$= q^2 (p^2 + 2pq + q^2)$$
$$= q^2 (1)$$
$$= q^2$$

مما سبق يمكن ملاحظة نقطتين هامتين:

أولاً: أنّ حالة الاتزان مستمرة تحت التزاوج العشوائي ويستمر هذا الاتزان في الطبيعة في حالة العشائر كبيرة العدد والمتزاوجة عشوائياً وأنّ نسبة التراكيب الوراثية المختلفة في هذه العشيرة تظل ثابتة دون تغيير من جيل لآخر.

لدينا عشيرة تتكون من الأفراد التالية:

	AA p^2 0.04	2Aa 2pq 0.32	aa q^2 0.64
AA (p^2) 0.04	0.0016	0.0128	0.0256
2Aa (2pq) 0.32	0.0128	0.1024	0.2048
aa (q^2) 0.64	0.0256	0.2048	0.4096

يتضح من البيانات السابقة وجود ستة تراكيب وراثية مختلفة بين التسعة تراكيب الموجودة في الجدول وتكون التراكيب الوراثية للأبناء:

طراز التزاوج	نسبة التزاوج	التركيب الوراثي للأبناء		
		AA	Aa	aa
AA × AA	$p^4 = 0.0016$	p^4		
AA × Aa	$4p^3q = 0.0256$	$2p^3q$	$2p^3q$	
AA × aa	$2p^2q^2 = 0.0512$		$2p^2q^2$	
Aa × Aa	$4p^2q^2 = 0.1024$	p^2q^2	$2p^2q^2$	p^2q^2
Aa × aa	$4pq^3 = 0.4096$		$2pq^3$	$2pq^3$
aa × aa	$q^4 = 0.4096$			q^4
Total	1.000	$p^2 = 0.04$	$2pq = 0.32$	$q^2 = 0.064$

طريقة مبسطة لاثبات القانون:

$$\frac{\mathbf{H}}{\sqrt{\mathbf{D} \times \mathbf{R}}} = \mathbf{2}$$

حيث H: نسبة الأفراد الخلطية Aa، D: نسبة الأفراد الأصيلة AA، R: نسبة الأفراد الأصيلة aa.

فلنعوض بالمعادلة:

$$\frac{0.32}{\sqrt{0.64 \times 0.04}} = \frac{0.32}{\sqrt{0.0256}} = \frac{0.32}{0.16} = 2$$

فالعشيرة في حالة توازن.

أو بطريقة أخرى: $\mathbf{H^2 = 4RD}$

أي مربع تكرار الأفراد الخليطة = 4 أضعاف تكرار الأصيلة AA × الأصيلة aa

$$(0.32)^2 = 4\ (0.04)\ (0.64)$$

$$0.1024 = 0.1024$$

ثانياً: القاعدة الثانية في هذه النظرية تقول أنّ حالة الاتزان يمكن الوصول إليها بعد جيل واحد إذا كان التزاوج عشوائياً بغض النظر عن نسبة التراكيب الوراثية في مجموعة الأفراد الأصيلة (الآباء).

مثال للتوضيح:

AA	Aa	aa
0.1	0.2	0.7
p = 0.2	q = 0.8	

ونسب التزاوج كالتالي:

	AA (0.1)	Aa (0.2)	aa (0.7)
AA (0.1)	0.01	0.02	0.07
Aa (0.2)	0.02	0.04	0.14
aa (0.7)	0.07	0.14	0.49

وتكون نسب النسل الناتج في الجيل التالي:

طراز التزاوج	نسبة التزاوج	الأبناء (النسل)		
		AA	Aa	aa
AA × AA	0.01	0.01		
AA × Aa	0.04	0.02	0.02	
AA × aa	0.14		0.14	
Aa × Aa	0.04	0.01	0.02	0.01
Aa × aa	0.28		0.14	0.14
aa × aa	0.48			0.49
Total	1.000	0.04	0.32	0.64

وبذلك يمكن مشاهدة أن أفراد نسل هذه المجموعة في حالة اتزان وهذه تبقى ثابتة في الأجيال التالية.

وبطريقة مبسطة بالاعتماد على تكرار المورثات:

	A 0.2	a 0.8
A 0.2	0.04	0.16
a 0.8	0.16	0.64

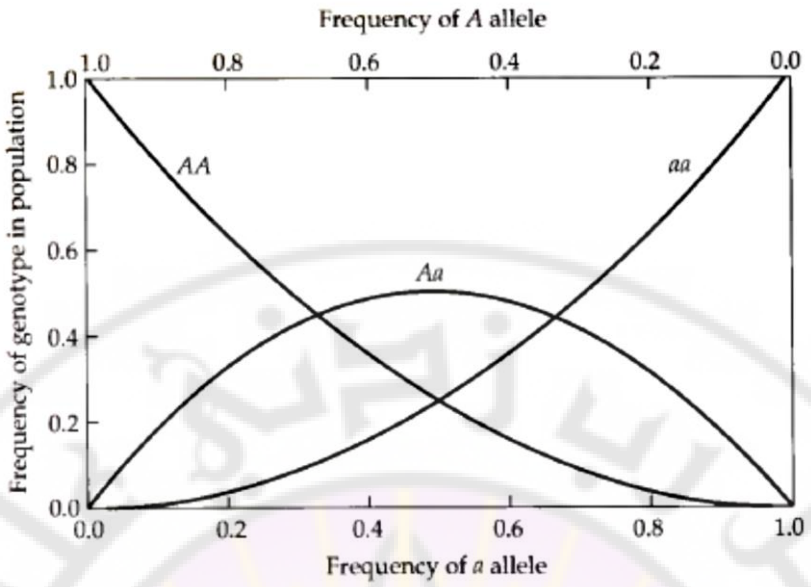
فتكون نسب التراكيب الوراثية في أفراد الجيل التالي:

AA	Aa	aa
0.04	0.32	0.64

- هناك خاصيتان هامتان للعشيرة المتزنة تلاحظ من (الشكل، 5):

I. تكرار الأفراد الخليطين لا يمكن أن يزيد عن 50% (Aa=0.5) وهذه القيمة القصوى تحدث عندما تكون التكرارات الوراثية $p = q = 0.5$

II. عندما يكون التكرار الوراثي لأليل ما منخفضاً فإنّ الأليل النادر يتواجد بدرجة أكبر في الأفراد الخليطين ويكون تكرار الأفراد الأصيلين منخفضاً جداً. وهذه الخاصية لها تأثيرات هامة على مدى فعالية الانتخاب في العشيرة.



الشكل (5) يمثل العلاقة بين تكرار التراكيب الوراثية والتكرار الوراثي لأليلين في عشيرة في حالة اتزان هاردي–واينبرغ.

التكرار الوراثي في حالة الأليلات المتعددة Gene Frequency with Multiple Alleles:

تناولنا سابقاً حالة موقع وراثي واحد بأليلين فقط. لكن في كثير من عشائر الكائنات الحية نجد أنّ بعض المواقع الوراثية تشملها سلسلة أليلية بها أكثر من أليلين (أربع أو خمس ...الخ أليلات لنفس الصفة المتحكمة فيها المورثة)، فكيف يتم حساب التكرارت الوراثية وتكرار التراكيب الوراثية ومعرفة إذا ما كانت العشيرة في حالة اتزان وراثي أم لا؟

هنا لدينا ثلاث حالات:

1) إذا كان المطلوب معرفة تكرارات الطرز أو التراكيب الوراثية المحددة بأليل واحد فقط (A_1 مثلاً) ففي هذه الحالة نفرض أنّ تكرار A_1 هو p ونُجمل تكرارات الأليلات الأخرى في هذا الموقع (مثلاً A_2، A_3 ... A_n) في تكرار واحد وليكن q. في هذه الحالة يكون تكرار التوازن مماثلاً تماماً لحالة أليلين:

$$\mathbf{p^2\ A_1A_1 + 2pq\ A_1A_{2....n} + q^2\ A_{2...n}\ A_{2...n}}$$

يهمنا هنا التراكيب الوراثية الخاصة بالأليل A_1 منسوبة إلى الأليلات الأخرى.

2) إذا كان المطلوب معرفة قيم التوازن للتراكيب الوراثية لأليلين اثنين فقط (مثلاً A_1 وA_2) بتكرارت p_1p_2

$$\boldsymbol{p_1^2}\ \mathbf{A_1A_1 + 2}\ \boldsymbol{p_1\ p_2}\ \mathbf{A_1A_2 +}\ \boldsymbol{p_2^2}\ \mathbf{A_2A_2}$$

☒ ولمّا كانت P_1+P_2 **لا تساوي** واحداً لوجود بقية الأليلات الأخرى فإنّ التكرار الكلي للتراكيب الوراثية الثلاثة لا يساوي الواحد الصحيح

$$\begin{matrix} A_1A_1 \\ A_1A_2 \\ A_2A_2 \end{matrix} \neq 1$$

3) إذا كان المطلوب معرفة قيم التوازن للتراكيب الوراثية لثلاثة أليلات أو أكثر، في هذه الحالة نعتبر التكرار الأليلي لكل أليل على حده كحد من حدود مفكوك المعادلة متعددة الحدود. بفرض وجود ثلاثة أليلات A_1، A_2، A_3 بتكرارات قدرها p, q, r نجد أنّ:

$$\mathbf{P + q + r = 1}$$

ومن ثمّ يكون تكرارات التراكيب الوراثية كالآتي:

$$\mathbf{p^2\ A_1A_1 + 2pq\ A_1A_2 + 2pr\ A_1A_3 + q^2\ A_2A_2 + 2qr\ A_2A_3 + r^2\ A_3A_3 = 1}$$

مثال (1) لا يوجد سيادة تامة:

أجرى العالمان دويزهانسكي وكويل (1938) دراسة على الصبغي الثالث في الدروسوفلا حيث أنّ هذا الصبغي سهل التمييز عن باقي الصبغيات الأخرى، أُخذت عينات عشوائية من هذه الذبابة من إحدى الغابات المنعزلة ووجدوا ثلاثة نماذج مختلفة عرّفاها كالآتي:

ستاندرد	Standard	A
أروهيد	Arrowhead	à
شيريكاوا	Chiricahua	a

وتبعاً لذلك يوجد ستة نماذج

الصبغي رقم 3	عدد الحشرات التي اختبرت	النسبة
AA	12	0.1043
àà	27	0.2348
aa	3	0.0261
Aà	36	0.3130
Aa	10	0.0870
a`a	27	0.2348
	115	1.000

تكرار المورثات

A	ستاندرد	p	0.3043
à	أروهيد	q	0.5087
a	شيريكاوا	r	0.1870
			1.000

النسبة النظرية والمتوقع الحصول عليها للصبغي كالتالي:

التركيب الوراثي	النسبة النظرية	العدد المتوقع
(p^2) AA	0.0926	10.65
(q^2) àà	0.2588	29.76
(r^2) aa	0.0350	4.02
(2pq) Aà	0.3096	35.60
(2pr) Aa	0.1138	13.10
(2qr) a`a	0.1902	28.70

قيمة مربع كاي $x^2_{0.05}$= 2.63 عند درجة حرية ثلاثة (عدد درجات الحرية =عدد الفئات–عدد الأليلات=6−3=3)

وبذلك أثبت العالمان وجود علاقة تامة بين الأعداد التي حصلا عليها فعلاً والأعداد المتوقع الحصول عليها نظرياً، وبذلك أيضاً أثبتا أنّ العشيرة في حالة اتزان والتزاوج عشوائي وبالتالي قانون هاردي ينطبق عليها.

مثال (2) في حالة السيادة التامة:

وجود السيادة التامة يسبب اختفاء كثير من التراكيب الوراثية فقد توجد أفراد ذات شكل مظهري متماثل لكنها تختلف في تركيبها الوراثي. بفرض المورثة (الأليل) A سائد على كل من a وà والأليل à سائد على a ففي هذه الحالة نشاهد ثلاثة أشكال مظهرية (بدلاً من ستة في حالة عدم وجود سيادة). مثال ذلك لون وراثة لون الأرنب:

اللون الكلي	AA	Aa	Aà
هيمالايا	àà	a`a	
ألبينو	aa		

التوازن الوراثي في العشائر في حالة وجود أكثر من موقع وراثي واحد Equilibrium with More Than One Locus:

أولاً: عندما تكون المواقع مستقلة عن بعضها Non-linked Genes:

عندما يكون كل موقع وراثي محمولاً في صبغي مختلف عن الآخر، في هذه الحالة تكوين الجاميطات يكون بنسب متساوية.

A	B	AB ($\frac{1}{4}$)	=0.25
	b	Ab ($\frac{1}{4}$)	=0.25
a	B	aB ($\frac{1}{4}$)	=0.25
	a	ab ($\frac{1}{4}$)	=0.25

فإذا بدأنا بعشيرة بالتراكيب الوراثية الخليطة (AaBb × AaBb) وكانت تكرارات المورثات فيها متساوية (أي p=q=r=s=0.5) فإنّ أنواع الجاميطات الأربع (AB, Ab, aB, ab) تتكون في الحال طبقاً لتكرارات الاتزان وهي 25% لكل منها. وهنا يمكن الوصول إلى الاتزان في التراكيب الوراثية خلال جيل واحد فقط.

أما في حال بدأنا بعشيرة متساوية بأعداد الأفراد نصفها يحمل التركيب الوراثي (AABB) والنصف الآخر يحمل التركيب الوراثي (aabb)، وحدث بينها التزاوج العشوائي (aabb) × (AABB)، فإننا في جيل البداية سنجد نوعين من الجاميطات هما ab وAB ولايمكن الوصول لحالة التوازن الوراثي في الجيل التالي، حيث أنّ العديد من الطرز الوراثية لن تكون متواجدة (مثل Aabb وaaBb وAabb إلخ). وهنا يبرز سؤالان:

أ- ماهي تكرارات التوازن المتوقعة للجاميطات؟

ب- مامدى سرعة الوصول إلى تكرارات التوازن هذه؟

باستمرار التزاوج العشوائي في هذه العشيرة نجد أنّ التوزيع التكراري للجينات كالآتي:

A —— a = p (A) = q (a) = 0.5

B —— b = r (B) = s (b) = 0.5

مما سبق نجد أنّ التراكيب الوراثية التسعة المحتملة في العشيرة هي:

AABB	AaBB	aaBB
AABb	AaBb	aaBb
AAbb	Aabb	aabb

أنواع الجاميطات المحتمل تواجدها في مستودع العشيرة

AB	Ab	aB	ab
r	s	t	u

Ab, aB $\Longrightarrow$ in repulsion جاميطات تنافرية

AB, ab $\Longrightarrow$ in coupling جاميطات تجاذبية

$$(Ab)\ (aB) = (AB)\ (ab)$$

تكرار المورثات التجاذبية = تكرار المورثات التنافرية

$$ru = st$$

$$ru - st = 0 \text{ (zero)}$$

- في حالة عدم الاتزان Disequilibrium

$$ru - st \neq 0$$

$$(AB)\ (ab) - (Ab)\ (aB) \neq 0$$

$$(AB)\ (ab) - (Ab)\ (aB) = \begin{cases} +d \\ -d \end{cases} \quad |d|$$

- إذا كانت d موجبة: تضاف قيمة d لتكرار كل نوع من أنواع الجاميطات التنافرية وتستبعد هذه القيمة من تكرار كل نوع من الجاميطات التجاذبية.
- إذا كانت d سالبة: تضاف قيمة d لتكرار كل نوع من أنواع الجاميطات التجاذبية وتستبعد هذه القيمة من تكرار كل نوع من الجاميطات التنافرية.
- ويجب ملاحظة أنّ قيمة d تنقص بمقدار النصف عقب كل جيل من أجيال التزاوج العشوائي، فلو فرضنا أنّ:

F_0 جيل البداية $\qquad d = 0.5000 = \frac{1}{2}$

F_1 أول جيل $d = 0.2500 = \frac{1}{4}$

F_2 ثاني جيل $d = 0.1250 = \frac{1}{8}$

F_3 ثالث جيل $d = 0.0625 = \frac{1}{16}$

ملحوظة: كلما زاد عدد المواقع الوراثية تحت الدراسة كلما كانت سرعة التغيير في قيمة d أبطأ.

مثال توضيحي: عشيرة فيها تكرار المورثتين الغير مرتبطتين (A-a وB-b) كان A=B=0.60، a=b=0.40، وتكرار التراكيب الوراثية الأولية (جيل البداية) هي: AABB=AAbb=aaBB=0.30 وتكرار aabb=0.10، احسب قيمة d في جيل البداية ثم عقب عدة أجيال (4، 5...إلخ).

الحل:

		الطراز	التكرار الأولي	تكرار الاتزان
30%	AABB	AB	0.3	0.3 + d
30%	AAbb	Ab	0.3	0.3 - d
30%	aaBB	aB	0.3	0.3 - d
10%	aabb	ab	0.1	0.1 + d
d = (AB) (ab) – (Ab) (aB) = (0.3) (0.1) –(0.3) (0.3) = -0.06				

للوصول إلى حالة الاتزان

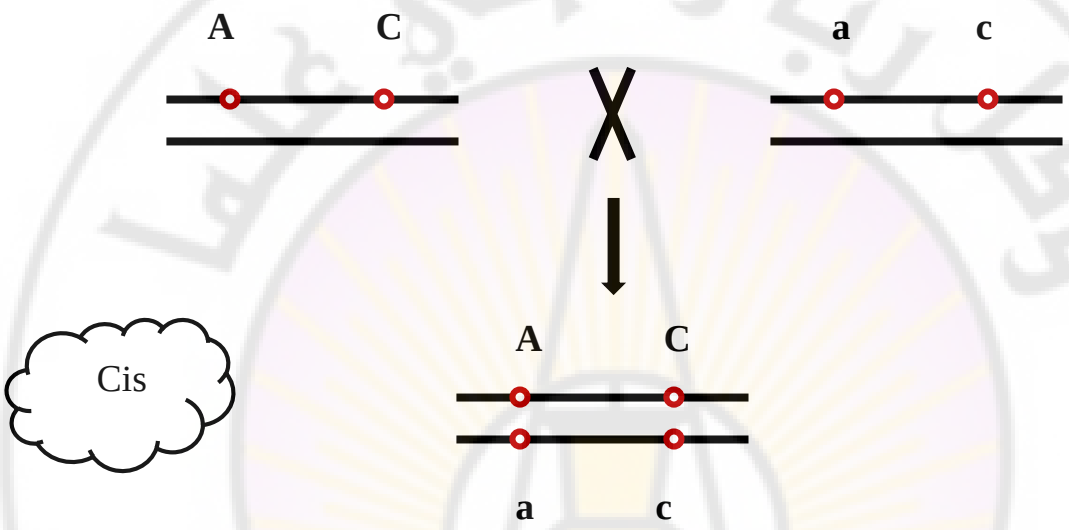
الجيل	القيمة المضافة أو المطروحة		نسبة عدم الاتزان المتبقية		تكرارات الجاميطات في الأجيال			
					AB	Ab	aB	ab
F_0	-		1	d	0.30	0.30	0.30	0.10
F_1	0.5		0.5	d	0.33	0.27	0.27	0.13
F_2	0.75		0.25	d	0.345	0.255	0.255	0.145
F_3	0.875		0.125	d	0.3525	0.2475	0.2475	0.1525
	d		0	d	0.36	0.24	0.24	0.16

أي أنّ العشيرة في حالة توازن (وصلت للتوازن في الجيل الثالث) (0.36) (0.16) – (0.24) (0.24) = 0

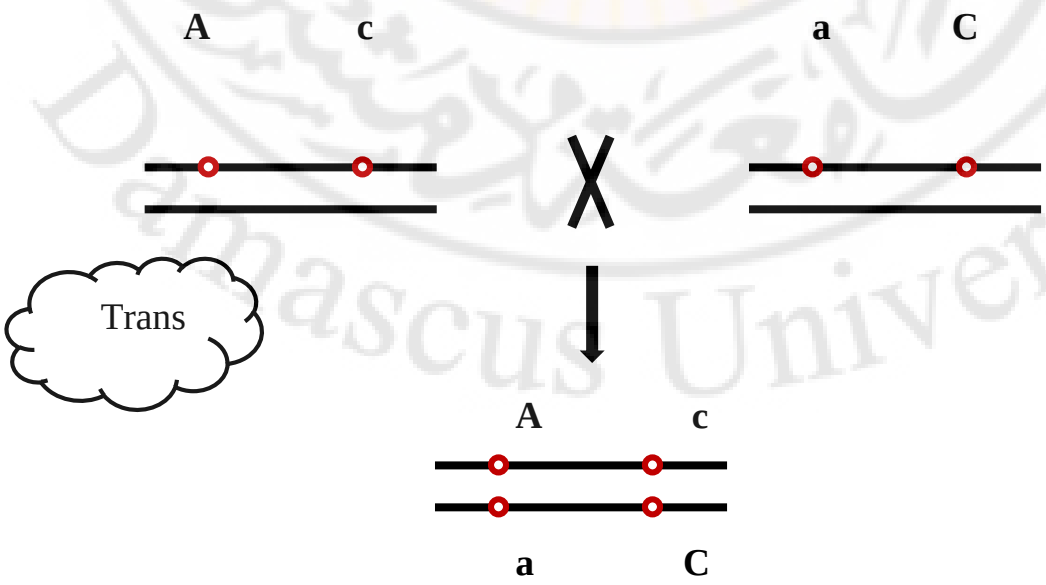
ثانياً: عندما تكون المواقع مرتبطة مع بعضها Linked Genes:

تكون سرعة الوصول إلى حالة التوازن أبطأ في حالة المورثات المرتبطة عما هو الحال في حالة المورثات مستقلة التوزيع.

I. النظام التزاوجي Coupling or Cis: وفيه تدخل الصفتان السائدتان التلقيح عن طريق أحد الأبوين والصفتان المتنحيتان عن طريق الأب الآخر.



II. النظام التنافري Repulsion or Trans: وفيه تدخل صفة سائدة مع أخرى متنحية عن طريق أحد الأبوين، وصفة متنحية مع أخرى سائدة عن طريق الأب الآخر.



تكون العشيرة في حالة توازن عندما تكون حالات النظام التزاوجي Cis = حالات النظام التنافري Trans. وفي هذه الحالة نجد أن تكرارات أنواع الجاميطات تتوقف على التكرار الوراثي وليس على شدة الارتباط بين المورثات.

Cis			=	Tranc		
A	**r**	**C**		**a**	**u**	**c**
A	**s**	**c**		**a**	**t**	**C**

$$ru = st$$

$$ru - st = 0$$

أما في حالة عدم الاتزان $ru - st \neq zero = d$

فإذا فرضنا أنّ نسبة العبور بين الموقعين الوراثيين = x فإنّ قيمة d تقل في كل جيل بمقدار يساوي (1-x) فإذا كانت قيمة الانحراف عن الاتزان في جيل البداية (0) هي d_0:

جيل البداية: $d_0 = d$

الجيل التالي: $d' = d_0 (1-x)$

الجيل الذي يليه: $d'' = d' (1-x)$

$$\boxed{d_t = d_0 (1-x)^t}$$

حيث

d_t قيمة الفرق في أي جيل.

d_0 قيمة الفرق في جيل البداية.

x نسبة العبور بين الموقعين.

t عدد الأجيال.

ويلاحظ أنّه كلما زادت شدة الارتباط بين الموقعين تحت الدراسة كلما زاد عدد الأجيال اللازمة للوصول إلى الاتزان وتبقى حالة عدم الاتزان لزمن أكثر نتيجة الارتباط.

مثال: إذا كانت نسبة العبور بين مورثتين مرتبطتين هي (5%، 10%)، وكانت انحرافات تكرارات الجاميطات التجاذبية والتنافرية عن الاتزان هي 25% في جيل البداية. احسب قيمة عدم الاتزان عقب 5 أجيال من التزاوج العشوائي.

الحل:

$$d_t = d_0 (1-x)^t$$

$$t = 5, \quad d_0 = 0.25, \quad x_1 = 0.1, \quad x_2 = 0.05$$

$$d_t = 0.25 (1 - 0.1)^5 = 0.25 (0.9)^5 = 0.25 (0.5905) = 0.148$$

$$d_t = 0.25 (1 - 0.05)^5 = 0.193$$

التكرار الوراثي في حالة الصفات المتأثرة بالجنس Gene Frequency in Sex-influenced Traits:

قد يتغير تعبير علاقات السيادة Dominance والتنحي Recessiveness لمورثة ما بدرجة كبيرة عندما تتعرض هذه العلاقات لظروف بيئية مختلفة، وأبرز هذه الظروف هو تأثير الهرمونات الجنسية Sex hormone. ففي الصفات المتأثرة بالجنس نجد أنّ الطرز الوراثية الخليطة Heterozygous genotypes سوف تعطي أشكالاً مظهرية مختلفة في الجنسين، حيث تنعكس علاقات السيادة والتنحي بين أليلات المورثة الوراحدة. في حالة الصفات المتأثرة بالجنس التي تكون مورثاتها محمولة فقط على الأتوسومات Autosomes (صبغيات الجسمية) يكون تقدير تكرار الأليل المتأثر بالجنس يحسب بطريقة غير مباشرة في أحد الجنسين:

$$q = \sqrt{q^2}$$

الجذر التربيعي لتكرار الفئة المظهرية في الجنس

تكرار الأليل المتنحي

$$p = \sqrt{p^2}$$

وإثبات تأثير الجنس يمكن الحصول عليه لو كانت مجموع تقديرات كل من p وq التي أجريت في الجنسين المختلفين تقترب من الواحد الصحيح.

التكرار الوراثي في حالات الارتباط بالجنس Gene Frequency with Sex-linked Traits:

بالنسبة للمورثات المرتبطة بالجنس فإنّ الوضع يكون أكثر تعقيداً عن المورثات الجسمية (الأوتوسومية)، وذلك لزيادة عدد التراكيب الوراثية المحتملة لوجود اختلاف في عدد الصبغيات مابين الجنس متماثل الجاميطات Homogamtic والجنس مختلف الجاميطات Heterogamtic، وعليه فإذا كانت الإناث XX والذكور XY،

فإننا نتوقع وجود خمسة تراكيب وراثية في العشيرة لزوج واحد من المورثات (A_1-A_2) ثلاثة في الإناث (A_2A_2، A_1A_2، A_1A_1) واثنان في الذكور (A_1A_2).

العلاقة مابين التكرار الوراثي وتكرارات التراكيب الوراثية Genotypes في الجنس متماثل الجاميطات هي نفس العلاقة بالنسبة للمورثات الجسمية (الأوتوسومية) التي سبق ذكرها. أما بالنسبة للجنس مختلف الجاميطات فيوجد فقط تركيبان وراثيان وكل فرد يحمل أليل واحد بدلاً من اثنين ولهذا السبب نجد أنّ $\frac{2}{3}$ المورثات المرتبطة بالجنس في العشيرة تكون محمولة في الجنس متماثل الجاميطات و$\frac{1}{3}$ المورثات يكون محمولاً في الجنس مختلف الجاميطات.

وفي كلا الحالتين: $\mathbf{A_1 + A_2 = p + q = 1}$

	إناث females			ذكور males	
	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2	A_1	A_2
التكرار	P	H	Q	R	S

تكرار المورثة A_1 في الإناث $P_f = P + \frac{1}{2} H$

تكرار المورثة A_1 في الذكور $P_m = R$

تكرار المورثة A_1 في العشيرة

$$\overline{P} = \frac{2}{3} P_f + \frac{1}{3} P_m$$

$$= \frac{1}{3} (2 P_f + P_m)$$

$$= \frac{1}{3} (2P + H + R)$$

ومنه نستنتج القانون العام لحساب التكرار الوراثي في حالة الارتباط بالجنس كالآتي (في العشيرة ككل):

$$A_1 = p = \frac{1}{3} (2P + H + R)$$

$$A_2 = q = \frac{1}{3} (2Q + H + S)$$

حيث

P نسبة الإناث A_1A_1 — R نسبة الذكور A_1

Q نسبة الإناث A_2A_2 — S نسبة الذكور A_2

H نسبة الإناث A_1A_2

وعند التوازن التكرار الوراثي في الإناث = التكرار الوراثي في الذكور.

❖ إذا قدرنا التكرار الوراثي ووجد أنّه مختلف في الإناث عن الذكور دلّ ذلك على أنّ العشيرة ليست في حالة اتزان. ولا يتغير التكرار الوراثي في العشيرة ككل، لكنه يتذبذب بين الجنسين كلما اقتربنا من حالة الاتزان Equilibrium، والسبب في ذلك:

الذكور تحصل على مورثاتها المرتبطة بالجنس من أمهاتها فقط، لذلك نجد أنّ P_m تكون مساوية ل P_f في الجيل السابق. أما الإناث فإنها تحصل على مورثاتها المرتبطة بالجنس بالتساوي من كلا الأبوين، لذلك تكون P_f مساوية لمتوسط كل من P_m وP_f في الجيل السابق. فإذا رمزنا لتكرار النسل بالرمز $\grave{P}$

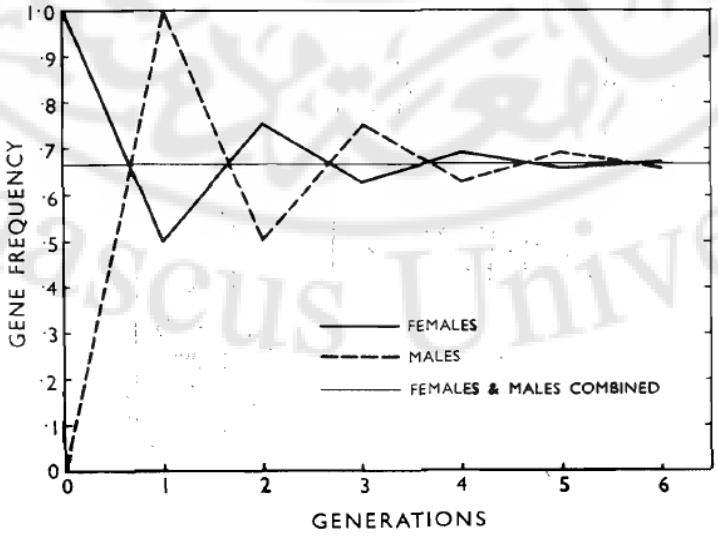
$$P'_m = P_f$$

$$P'_f = \frac{1}{2}(P_m + P_f)$$

ومن ثمّ نجد أنّ الفرق في التكرارات بين الجنسين هو:

$$P'_f - P'_m = \frac{1}{2}(P_m + P_f) - P_f = -\frac{1}{2}(P_f - P_m)$$

أي أنّ هذا الفرق يساوي نصف الفرق في الجيل السابق، لكن في الاتجاه المعاكس. لذلك فإنّ توزيع المورثات بين الجنسين يتذبذب مرة لصالح الذكور ومرة لصالح الإناث لكن هذا الفرق يقل بنسبة 50% عقب كل جيل من التزاوج العشوائي، ومن ثمّ تقترب العشيرة بسرعة من حالة الاتزان حتى تصبح التكرارات متساوية في كلا الجنسين.



العوامل المخلّة بشروط قانون هاردي–واينبرغ

Systematic Processes Which Tend to Change the Gene Frequency

1– الهجرة Migration

2– الطفرة Mutation

3– الانتخاب Selection

4– الانجراف (التباعد) الوراثي العشوائي Random genetic drift

تحدث العوامل الثلاثة الأولى باستمرار وهي تميل إلى تغيير التكرار الوراثي بطريقة يمكن التنبؤ بها سواء من الناحية الكمية Amount أو الاتجاه Direction، أما العامل الرابع (الانجراف الوراثي) فهو عملية عشوائية Dispersive process ويمكن التنبؤ بها في الكم فقط وليس الاتجاه.

أولاً: الهجرة Migration

تفترض شروط الاتزان الوراثي أنّ العشيرة مغلقة. بمعنى أنها ليست عرضة لتأثيرات خارجية بواسطة الهجرة ويمكن للتكرارات الوراثية أن تتغير عندما تتعرض العشيرة لأفراد مهاجرة من عشيرة أخرى.

$$\Delta q = i\,(q_n - q_i)$$

الفرق بين التكرارات الوراثية للعشيرة الأصلية والأفراد المهاجرة

نسبة الأفراد المهاجرة في كل جيل

التغير الوراثي في تكرار المورثة

إذا فرض وكانت العشيرة تستقبل فى كل جيل نسبة من الأفراد التى تحمل تركيب وراثي معين غير موجود أصلا فيها، فإنه بمرور الزمن سوف يتراكم مثل هذا التركيب الجديد وتزيد نسبة تواجده فى العشيرة سنة بعد أخرى، وبالتالي سيزيد التصنيف الوراثي داخل هذه العشيرة، بالإضافة إلى ذلك فإن حدوث تزاوج بين مثل هذا التركيب الوراثي الدخيل والتراكيب الوراثية الموجودة أصلاً فى العشيرة سينتج عنه تراكيب وراثية جديدة في الأجيال التالية لم يكن لها وجود من قبل، وعلى قدر الاختلاف الموجود بين التركيب الوراثي الدخيل والتراكيب الوراثية الموجودة أصلاً فى العشيرة وتتزاوج معه يتوقف مقدار التصنيف الناتج كثيراً والعكس صحيح.

إذا فرضنا أنّ نوعاً ما قد انفصل إلى اثنين أو أكثر من العشائر المنعزلة جغرافياً فإنّ كلاً من العشائر المستقلة سوف تتبع طرقاً تطورية مختلفة للأسباب التالية:

1- ظهور طفرات مختلفة في المجموعات المنفصلة من الكائنات الحية.

2- الطفرات والتوافيق الوراثية التي تظهر في العشائر المنفصلة سوف يكون لها قدرات تأقليمة Adaptive values مختلفة في البيئات الجديدة.

3- الكائنات التي تستوطن منطقة جغرافية معينة وتُكوّن عشيرة منعزلة Isolated population قد لاتكون ممثلة للمجموعة التي اشتقت عنها. ومن ثمّ توجد تكرارات وراثية مختلفة منذ البداية (الأساس).

4- حجم العشيرة الجديدة قد يكون صغيراً خلال فترات معينة، ومن ثمّ قد تتكون اختلافات وراثية تنشأ منها كل الكائنات التي سوف تتكون بعد ذلك. ويترتب على ذلك أنّ التكرارات الوراثية سوف تتذبذب في اتجاهات غير متوقعة خلال فترات العشائر صغيرة الحجم (الانجراف الوراثي Genetic drift).

من المعروف أن المربي يلجأ لعمل التهجينات الصناعية بين التراكيب المختلفة لزيادة التصنيف الوراثي في عشائر المحاصيل التى يقوم بتحسينها، فهو يقوم بإجراء التهجين بين الأصناف التابعة لنفس النوع وقد يلجأ لعمل التهجين بين نوعين تابعين لنفس الجنس وقد يلجأ لعمل التهجينات بين الأجناس التابعة لعائلة واحدة من أجل نقل بعض الصفات الهامة كالمقاومة للأمراض وتحمل ظروف البيئة القاسية من جنس لآخر. ويتضح أن التصنيف الوراثي الناتج فى الجيل الثاني للهجن الصنفية يكون أقل منه فى الجيل الثاني للهجن النوعية، وأن التصنيف الوراثي الناتج فى الأجيال الانعزالية (سواء كان تهجين مستقيم أو رجعي) للهجن الجنسية يكون أكبر بكثير منه فى الهجن النوعية وهكذا. ومما تقدم ذكره يتضح أن الهجرة لأفراد ذات تراكيب وراثية مختلفة واستمرار وجودها وتزاوجها مع باقي أفراد العشيرة الأصلية يزيد من التصنيفات الوراثية بها.

ثانياً: الطفرات Mutations

تعرف الطفرة بأنها التغير المفاجئ في التركيب الوراثي للفرد، بحيث تجعل النسل الناتج منهُ يتغير في حجمه أوشكله أوتركيبه أو لونه... وتبقى الطفرة ثابتة وراثياً من جيل إلى آخر. الطفرات هي أحد مصادر التباينات الوراثية للكائنات الحية إذ أنها المادة الخام للتراكيب الوراثية البديلة، فوجود هذه التباينات ضروري جداً لتحسين أي محصول في أي صفة من الصفات. والطفرات إما أن تظهر طبيعياً في النباتات وعندئذٍ تسمى طفرات طبيعية أو تلقائية Spontanious، أو يمكن إحداثها صناعياً بطريقة من طرائق عدة مختلفة وعندئذ تسمى الطفرات المستحدثة Induced.

يختلف تأثير الطفرة على المحتوى الوراثي للعشيرة التي تحدث بها تبعاً لنوع الطفرة، وما إذا كانت تحدث بنسبة مرتفعة أو أن نسبة حدوثها ضئيلة، وكذلك تبعاً لمقدرة هذه الطفرة على البقاء أو تناقص الأفراد الحاملة لها من جيل لآخر واندثارها من العشيرة تماماً وفي حالة الطفرات التي تكون مدة بقاؤها في العشيرة كبير ويحدث بينها وبين باقي الأفراد تزاوج قد تنشأ عنها تراكيب وراثية جديدة فى الأجيال التالية وبالتالي تؤدي إلى زيادة التصنيف الوراثي بالعشيرة، وتعتبر الطفرات بصفة عامة من المصادر الأساسية للتصنيفات الوراثية في العشائر الطبيعية التي لم تمتد لها يد الإنسان بما قد يتراكم بها من الطفرات خلال آلاف السنين، وما نجم عن هذه الطفرات من تغيرات فى المحتوى الوراثي لهذه العشائر سواء كان ذلك نتيجة لبقاء الطفرة ذاتها وتكاثرها داخل العشائر وبالتالي زيادة نسبة توجداها فيها أو نتيجة حدوث الهجين بين الطفرة وباقي أفراد العشيرة الحاملين للتركيب الوراثي الأصلي وما يتبع ذلك من تواجد تراكيب وراثية جديدة فى الأجيال الانعزالية التالية، ومعروف أن مقدرة الطفرة على البقاء يتوقف على تأثيرها على الفرد الحامل لها فإذا كانت طفرة ضارة أو تقلل من حيويته أو خصوبته اندثرت بسرعة.

تنقسم الطفرات الوراثية إلى:

أ- طفرات مورثية Gene Mutations: تشمل كل التغيرات التي تحدث على مستوى المورثة فقط، وتنشأ من تباينات في توالي القواعد النيوكليوتيدية للمادة الوراثية DNA والتي تقود إلى تغيرات في تكوين البروتينات أو الأنزيمات، وأغلب التغيرات الشائعة هي تعويض (استبدال) أحد القواعد النيوكليوتيدية محل قاعدة أخرى أو بإضافة أو حذف القاعدة النيوكليوتيدية في أثناء عملية التكرار وتسمى أيضا بالطفرة النقطية Point mutation عندما يحدث التغيير في نيوكليوتيد واحد أو عدد قليل جدا من النيوكليوتيدات.

ب- طفرات صبغية Chromosome Mutations يُحدث هذا النوع من الطفرات تغييراً في تركيب الصبغي أو في عدد الصبغيات.

إن الطفرات الوراثية في النبات تُحدث صناعياً عند معاملة حبوب اللقاح والأجنة غير الناضجة أو البذور أو العقل بمعاملات مختلفة والتي تضم أشعة اكس وأشعة كاما والأشعة فوق البنفسجية والراديوم والحرارة والكهرباء والمواد الكيماوية.

أهم الصفات التي يمكن تحسينها ببرامج تربية الطفرات فهي:

- المقاومة للإصابة بالمسببات المرضية أو الحشرية، ومقاومة تأثير بعض مبيدات الأعشاب وتحمل الملوحة والجفاف والحرارة.

- تحسين الصفات النوعية والتغذوية للنوع النباتي، وما بعد الحصاد (للأغراض التصنيعية والتسويق).

- زيادة الانتاجية من خلال تحسين صفة أو أكثر من صفات مكونات الغلّة.

- تحسين بعض الصفات المظهرية أو الفيزيولوجية، أو استحداثها، كما في برامج تربية نباتات الزينة.

- استحداث صفات جديدة من خلال ربط التقانات الحيوية الحديثة ببرامج تربية الطفرات والوصول بها إلى تكامل الحزم التقنية لإنتاج نباتات أو صفات لم ولن توفرها الطبيعة.

ثالثاً: الانتخاب Selection

من المعلوم أن التراكيب الوراثية المختلفة داخل العشيرة الواحدة تختلف فيما بينها فى الحيوية والخصوبة، وبالتالي تختلف نسبة الأفراد الحاملة لكل تركيب فى الأجيال المتعاقبة بحسب الأعداد التي يساهم بها كل تركيب وراثي من جيل إلى آخر.

ويطلق على النسب التي يساهم بها تركيب وراثى معين فى تكوين الجيل الجديد اصطلاح درجة الموائمة Degree of Fitness أو قيمة تأقلمه Adaptive Value أو قدرته الانتخابية Selective Value فإذا كان الاختلاف فى درجة الموائمة لفرد ما مرتبط بوجود أو غياب جين معين فى التركيب الوراثي لهذا الفرد فإن الانتخاب يؤدي دوره على تلك المورثة، وعندما تتعرض مورثة معينة لفعل الانتخاب فإن تكرارها فى النسل سوف لا يماثل تكرارها فى الآباء حيث أن الآباء المختلفة فى تراكيبها الوراثي لا تمرر مورثاتها بالتساوى إلى الجيل التالي، وعلى ذلك فإن الانتخاب يسبب تغيراً في التكرار الوراثي من جيل لآخر وبالتالى تتغير نسب التراكيب الوراثية من جيل لآخر. وهكذا فإنه بمرور الأجيال تزيد نسبة وجود تراكيب وراثية معينة على حساب نقص أو انقراض تراكيب وراثية أخرى أقل موائمة للظروف المحيطة بالعشيرة.

يتضح من ذلك أنّ الانتخاب يؤثر على التصنيف الوراثي داخل العشيرة عن طريق اقصاء بعض التراكيب الوراثية الغير ملائمة للظروف الطبيعية وهذا يقلل بالتالي من التصنيف الوراثي داخل العشيرة على عكس العوامل السابق ذكرها (الهجرة، الطفرة) التي تزيد من وجود التصنيف الوراثي بها.

طرق الانتخاب للصفات الكمية Selection Methods for Quantitative Traits

يعمل الانتخاب الاصطناعي Artificial selection عندما يُحدّد المربي أيّ الأفراد في العشيرة سوف يسمح لها بتكوين نسل (وأيضاً عدد هذا النسل) وبالمثل يسمح الانتخاب الطبيعي Natural selection بالتكاثر للأفراد ذوي الصفات المتأقلمة مع البيئة السائدة في العشيرة وهناك عدّة طرائق يجري بها الانتخاب الصناعي.

1- الانتخاب الإجمالي Mass Selection: عندما تكون درجة التوريث Heritability لصفة ما عالية القيمة فإنّ معظم التباين المظهري Phenotypic variability للصفة يُعزى للمكون الوراثي، ومن ثمّ فإنّ المربي يكون قادر على إحداث تحسين في الصفة بواسطة الانتخاب لمجموعة الأفراد المتفوقة مظهرياً وذلك لأنّ الارتباط بين النسل والآباء يكون غالب Offspring-parent correlation وهذا ما يُسمى بالانتخاب الإجمالي. ولكنه مبني في الحقيقة على أساس مظهر الفرد وكلّما تناقصت قيم درجة التوريث h^2 لصفة ما كلّما تناقص التحسن في القيمة الوراثية للسلالة المنتخبة.

وعملياً نادراً مايُجرى الانتخاب على أساس صفة واحدة فقط وعادة يرغب المربون Breeders في ممارسة الانتخاب على أساس عدة خصاص في آن واحد. وبالرغم من ذلك فكلما كان الانتخاب لصفات أكثر كلما كان الضغط الانتخابي Selection pressure والذي يُجرى لكل صفة لوحدها أقل تأثيراً. ويجب أن يحدد الانتخاب لصفتين أو ثلاث صفات يرى المربون أنها أكثر الصفات أهمية من الناحية الاقتصادية. ومن المحتمل أنّ الأفراد المنتخبين لصفة ما (ولتكن A) ذات قيمة عالية، سوف يكونوا متوسطين أو ضعفاء لصفة أخرى (ولتكن B) مالم تكن لصفتان لهما معامل ارتباط وراثي موجب، بمعنى أنّ بعض المورثات التي تزيد عن قيمة الصفة A تكون إيجابية المساهمة في قيمة الصفة B، وبناء على ذلك يجب على المربي أن يوائم بين الصفات المختلفة عند ممارسة الانتخاب.

في حال الانتخاب على أساس قيمة جماعية Total merit يفضّل قصر قيم المظهر على الصفات الهامة والتي يعبّر عنها بقيمة واحدة تسمى دليل الانتخاب Selection index وقيمة الدليل نفسه لا معنى لها، لكنّه مهم في مقارنة عدة أفراد على أساس نسبي والطرق المستعملة في تكوين دليل انتخابي متنوعة لكنها تأخذ في الاعتبار درجة التوريث h^2 والقيمة الاقتصادية لكل صفة، بالإضافة إلى الارتباطات الوراثية والمظهرية بين الصفات.

دليل انتخابي لثلاث صفات I

$$\mathbf{I = a\,A' + b\,B' + c\,C'}$$

حيث a وb وc هي معاملات تصحيح لدرجة التوريث النسبية وللأهمية الاقتصادية النسبية للصفات A وB وC على التوالي وأنّ 'A و'B و'C هي القيم العددية للصفات A وB وC معبراً عنها في صور نموذجية. ويمكن حساب التباين النموذجي لصفة ما (X') Standardized variable من المعادلة التالية:

$$X' = \frac{X - \overline{X}}{\sigma X}$$

X: قيمة الصفة للفرد

$\overline{X}$: متوسط قيمة الصفة على مستوى العشيرة.

σX : الانحراف القياسي للصفة.

2- الانتخاب على مستوى العائلة Family Selection: عندما تكون كلاً من درجتي التوريث بمعناها الواسع والضيق لصفة ما منخفضتين فإن التباين البيئي يكون عالياً مقارنةً بالتباين الوراثي للصفة. ويكون الانتخاب للعائلة مفيد جداً عندما تكون درجة التوريث للصفة منخفضة، ويكون أفراد العائلة مشابهين لبعضهم البعض وذلك بسبب قرابتهم الوراثية وفي هذه الحالة من الأفضل قبل البدء بأي برنامج تربوي تقليل التباين البيئي بتغيير أسلوب المعاملات الزراعية.

ويكون الانتخاب للعائلة أكثر فائدة عندما تكون لأفراد العائلة متوسط قرابة وراثية عالٍ ولكن درجة تشابه منخفضة. فإذا كانت التربية الداخلية Inbreeding تزيد من القرابة الوراثية داخل العائلة أكثر مماتزيد في درجة التشابه الوراثي فإنّ الاستجابة للانتخاب (الربح الانتخابي Selection gain) تكون أعلى نسبياً إذا أعطي بعض الاهتمام لمتوسطات العائلات.

3- الانتخاب بالنّسب Pedigree Selection: يُوجّه الاهتمام في هذه الطريقة إلى صفات الأسلاف Ancestors ونادراً مايُعطى وزن كبير لطريقة الانتخاب بالنسب مثلما يُعطى وزن لصفات الفرد المنتخب إلا إذا كان للصفات المنتخب لها قيم درجات توريث عالية High heritabilities وأنّ صفات

الآباء والأجداد أفضل كثيراً من صفات الفرد المراد انتخابه. وتتوقف قيمة الانتخاب بالنسب على عدة عوامل:

a. شدة قرابة الفرد من النسل لأسلافه.

b. كم عدد الأسلاف (السلالات، الأصناف ...إلخ) وتوابعهم وماهي بيانات الصفة المتحصل عليها.

c. مدى معرفة المربي بصفات هؤلاء الأسلاف.

d. قيمة درجة التوريث للصفات المراد الانتخاب لها.

4- طريقة اختبار النسل Progeny Test: اختبار النسل هي طريقة لتقدير القيمة التربوية Breeding value لفرد وذلك من مظهر النسل. والمعلومات المتحصل عليها من اختبار نسلٍ ما يمكن استعمالها في حساب ما يسمى دليل الآباء المتساوي أو متوسط الأبوين Midparent index

$$\text{متوسط النسل} = \frac{\text{متوسط قيمة الأب}}{2} + \frac{\text{متوسط قيمة الأم}}{2}$$

رابعاً: الانجراف الوراثي Genetic Drift

إنّ أحد الضوابط الهامة لصحة قانون التوازن الوراثي هو افتراض كبر حجم العشيرة ومن ثمّ فالعملية التشتتية العشوائية للانجراف الوراثي تصبح ذات أهمية في تغيير التكرار الوراثي فقط في العشائر الصغيرة كما أنّ التربية الداخلية لا يمكن تجنبها في العشائر الصغيرة وكما هو معروف فإنّ التربية الداخلية تقلل من حالة الخلط الوراثي Heterozygosity وتزيد من نسبة التأصل الوراثي في العشيرة Homozygosity. ومن ثمّ يمكن القول بأن الانجراف الوراثي يمكنه أن يغير التكرارات الوراثية جوهرياً من خلال التربية الداخلية وكما هو معروف من خلال مربع كاي ($X^2 = \frac{(O-E)^2}{E}$) فإنّ الانحرافات الكبيرة عن القيم المتوقعة تظهر عادة في العينات الصغيرة. وكلما زاد حجم العينة Sample كلما قلّ الانجراف عن القيم المتوقعة والتكرارات الوراثية في العشائر الصغيرة تتذبذب عشوائياً من جيل إلى جيل مالم تعترضها أحد العمليات التي تؤدي للتوازن.

الحجم التربوي للعشيرة Breeding Size of the Population:

إنّ الحجم التربوي لعشيرة ماهو عدد الأفراد التي تعطي جاميطات للجيل التالي، والحجم التربوي المؤثر Effective breeding size (N_e) يكون معادلاً للحجم التربوي في العشيرة النموذجية. ويشترط في العشيرة النموذجية توفر الشروط التالية:

a) أن يكون التزاوج عشوائياً داخل كل سلالة ويشمل ذلك الإخصاب الذاتي حيث يكون بكمية عشوائية.

b) كل جيل مميز ولا يتداخل مع جيل آخر.

c) عدد الأفراد المتزاوجة واحد (ذاته) في كل السلالات وفي كل الأجيال.

d) عوامل التطور تكون غائبة والحجم التربوي يشير إلى حجم العشيرة النموذجية ويسلك سلوكها.

تطبيقات عملية لوراثة العشائر في تربية النبات Practical Applications of Population Genetics in Plant Breeding

اختبار الأليلية Allelism Test:

هو اختبار يجرى لتحديد علاقة المورثة بالمورثات الأخرى التي تعطي تأثيراً مشابهاً. فكثيراً ما يجد مربي النبات نفسه أمام أكثر من مصدر لصفة من الصفات التي يرغب في الاستفادة منها في برامج التربية.

مثلاً قد تتوفر مصادر عدة لمقاومة مرض معين وهنا يتعين معرفة إن كانت هذه المصادر (الأصناف أو السلالات ...إلخ) تحتوي على نفس المورثة الخاصة بالمقاومة أم أنها تحتوي أليلات مختلفة لنفس المورثة. أم هل هي حاوية على مورثات مختلفة كليةً. وترجع أهمية ذلك إلى أنّ المربي قد يرغب في زيادة تركيز صفة المقاومة بإدخال أكثر من مورثة لها في برامج التربية. وقد تتحكم الأليلات المختلفة لنفس المورثة في مستويات مختلفة من المقاومة، كما قد يتحكم كل منها في المقاومة لسلالات معينة من المسبب المرضي دون غيرها.

يُجرى اختبار الأليلية بتلقيح كل مصدر للصفة مع صنف آخر لا يحتوي الصفة حيث يمكن وبناءً على الانعزال المشاهد في الجيل الثاني F_2 لكل تلقيح معرفة عدد المورثات المتحكمة في الصفة في كل مصدر منها. وإن لم يحدث انعزال دلّ ذلك على اشتراكها في نفس المورثة أو المورثات المتحكمة في الصفة.

مثلاً إذا حدث انعزال بنسبة 1:15 دلّ ذلك على احتواء كل مصدر على مورثة مختلفة للصفة، فيما يدلّ الانعزال بنسبة 1:63 على احتواء كل مصدر على مورثتين للصفة.

الانعزالات الوراثية Genetic Recombinations:

تحدث عند التزاوج الجنسي ووجود عدة أليلات للصفة وهي المصدر الرئيسي للاختلافات الوراثية التي يستعملها مربي النبات في برامج التربية لأجل تحسين النباتات كما أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بطريقة التلقيح السائدة في المحصول. والعوامل المؤثرة في الانعزالات الوراثية F_2:

1) عدد العوامل الوراثية التي يختلف فيها الأبوان.
2) عدد أليلات كل مورثة.
3) الارتباط بين المورثات.

السلالة النقية Pure Line:

هي النسل الناتج من الإكثار الجنسي لأي نبات ذاتي التلقيح كما يُعدّ النسل الناتج من الإكثار الجنسي لأفرادها من نفس السلالة النقية مادام لا يحدث أي تغير وراثي عن طريق الطفرات أو نتيجة التلقيح الخلطي مع نباتات من خارج السلالة. ويتضح من التعريف السابق أنّه يشترط لإطلاق اسم سلالة نقية على نبات محصول ما أن يكون إكثاره جنسياً وتلقيحه ذاتياً وأن تبدأ السلالة بنسل نبات واحد فقط ولكنها يمكن أن تتسع لتشمل أنسال هذه النباتات أيضاً.

كان جوهانسن Johansen هو الذي توصل إلى ماعرف بنظرية السلالة النقية 1903 بعد دراسات مستفيضة على الفاصولياء التي تعد من المحاصيل ذاتية التلقيح، وقد توصل جوهانسن من خلال هذه الدراسة إلى أنّ نسل أي نبات ذاتي التلقيح يكون عبارة عن سلالة نقية لايحدث فيها الانتخاب ورغم أنّه قد يظهر بين نباتاتها بعض الاختلافات إلّا أنّها تكون بيئية ولاتورث. ويفسّر ذلك وراثياً على أساس أنّ التلقيح الذاتي المستمر في النباتات الذاتية التلقيح يجعل كا نبات في العشيرة أصيلاً وراثياً. ونظراً لأنّ أيّة طفرة حدثت في الماضي تكون قد انعزلت إلى فئتين من النباتات: أصيلة سائدة وأصيلة متنحية فإنّ نباتات العشائر الطبيعية قد تختلف عن بعضها وراثياً. ويؤدي التلقيح الذاتي لأي نبات منها إلى إنتاج سلالة نقية لا تظهر بها أيّة انعزالات وراثية، لأنها تنتج من التلقيح الذاتي لنبات أصيل وراثياً وتتجدد الاختلافات بين هذه السلالات بمدى الاختلافات الوراثية بين النباتات التي انحدرت منها.

بناءً على ما تقدّم تُوصف السلالة النقية بأنّ جميع أفرادها تكون أصيلة وراثياً ومتماثلة تماماً في تركيبها الوراثي.

السلالة المرباة داخلياً Inbred Line:

هي تنتج بالتلقيح الذاتي الصناعي المستمر لعدة أجيال من المحاصيل الخلطية التلقيح، وتتميز أنّها على درجة عالية من التجانس الوراثي وأنّ نباتاتها على درجة عالية Highly homogenous من الأصالة الوراثية Highly homozgyous ولكن بدرجة أقل مما في السلالات النقية التي يكون تجانسها وأصالتها

الوراثية تامين، ويرجع السبب في ذلك إلى أنّ التلقيح الذاتي الصناعي المتبع في إنتاج السلالات المرباة داخلياً نادراً ما يدوم لأكثر من ستة أجيال.

الأصناف البلدية غير المحسّنة

الأصناف البلدية المحسّنة

الهجن

مع تمنياتي بالنجاح والتوفيق

أستاذة المقرر د. إسراء البوش

Damascus University

References المراجع

حسن، أحمد عبد المنعم. (2005). تحسين الصفات الكمية والإحصاء البيولوجي وتطبيقاته في برامج تربية النبات، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر.

حسين، هاشم أحمد السيد. (2002). مقدمة في وراثة العشائر والوراثة الكمية، منشورات جامعة القاهرة، كلية الزراعة، القاهرة.

صبوح، محمود، مها حديد، عدنان قنبر. (2011). الوراثة الكمية، منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة، سورية.

Abdurakhmonov, I. and Abdukarimov, A. (2008). Application of association mapping to understanding the genetic diversity of plant germplasm resources. *International Journal of Plant Genomics*, 2008: 1-18.

Allard, R.W. (1960). *Principles of Plant Breeding*, Chapter 6 through Chapter 9, University of California, Davis: 50-98.

Bauer, A. M., Reetz, T. C. and Léon, J. (2006). Estimation of breeding values of inbred lines using best linear unbiased prediction (BLUP) and genetic similarities. *Crop science*, 46 (6), 2685-2691.

Bello, O.B., Ige, S.A., Azeez, M.A., Afolabi, M.S., Abdulmaliq, S.Y. and Mohamood, J. (2012). Heritability and genetic advance for grain yield and its component characters in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant Research*, 2(5):138-145.

Bernardo, R. (1996). Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. *Crop Science*, 36(1), 50-56.

Burton, G. W. (1951). Quantitative Inheritance in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) 1. *Agronomy Journal*, 43(9), 409-417.

Dewey, D. R. and Lu, K. (1959). A Correlation and Path-Coefficient Analysis of Components of Crested Wheatgrass Seed Production 1. *Agronomy journal*, 51(9), 515-518.

Falconer, D.S. (1989). Introduction to **Quantitative Genetics**. **3rd Edition**, Longman Scientific and Technical, New York.

Harland, S. C. (1936). The genetical conception of the species. *Biological Reviews*, 11(1), 83-112.

Henderson, C. R. (1950). Estimation of genetic parameters. *Biometrics*, 6(2), 186-187.

Hill, R., and Rosenberger, J. (1985). Methods for combining data from germplasm evaluation trials. *Crop Science*, 25(3), 467-470.

Johnson, H. W., Robinson, H. F., and Comstock, R. E. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans 1. *Agronomy journal*, 47 (7), 314-318.

Lenka, D. and Mishra, B. (1973). Path coefficient analysis of yield in rice varieties. *Indian journal of agricultural sciences*, 43 (4), 376-379.

Li, C. M. and Yang, K.C. (1985). Studies on inheritance of quantitative characters for plant type in some inbred lines of maize. *Scientia Agriculture Sinica*, 19: 28-36.

Lule, D., Tesfaye, K., Fetene, M. and De Villiers, S. (2012). Inheritance and association of quantitative traits in finger millet (*Eleusine coracana* Subsp. Coracana) landraces collected from eastern and southeastern Africa. *International journal of genetics*, 2 (2):12-21.

Mather, K. and Jinks, J. L. (1977). Introduction to biometrical genetics (No. QH430. M37 1977.). London: Chapman and Hall. pp5-6.

Oakey, H., Verbyla, A. P., Cullis, B. R., Wei, X. and Pitchford, W. S. (2007). Joint modeling of additive and non-additive (genetic line) effects in multi-environment trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 113(5), 809-819.

Piepho, H. P., Möhring, J., Melchinger, A. E., and Büchse, A. (2008). BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161(1), 209-228.

Powers, L. (1950). *Partitioning method of genetic analysis applied to quantitative characters of tomato crosses* (No. 998). Department of Agriculture.

Rao, C. R. (1952). Advanced statistical methods in biometric research.

Robinson, G. K. (1991). That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. *Statistical Science*, 6, 15-51.

Robinson, H. F., Comstock, R. E., and Harvey, P. H. (1949). Estimates of Heritability and the Degree of Dominance in Corn 1. *Agronomy journal*, 41(8), 353-359.

Singh, P. and Narayanan, S.S. (1993). Biometrical Techniques in Plant Breeding. New Delhi, India Kalyani Publishers.

Singh, R. K., and Chaudhary, B. D. (1977). Biometrical methods in quantitative genetic analysis. 2nd Edn Kalayani publishers. New Delhi, India. P: 325.

Singh, R. K., and Chaudhary, B. D. (1985). Biometrical methods in quantitative genetic analysis. 2nd Edn Kalayani publishers. New Delhi, India. P: 325.

Sivasubramanian, S. and Menon, M. (1973). Heterosis and inbreeding depression in rice. *Madras Agricultural Journal*, 60 (7), 1139-1140.

Smith, H. H. (1952). Fixing transgressive vigor in Nicotianarustica Heterosis, Iowa State College Press, Ames, Iowa, U. S. A

Snedecor, G. W. and W. G. Cochran .(1981). Statistical methods. 6th (Edit), Iowa Stat. Univ., Press. Ames, Iowa, U. S. A.

Snedecor, G.W. (1956). Statistical Methods. Iowa State University Press, Iowa.

Sujiprihati, S., Saleh, G.B. and Ali, E.S. (2003). Heritability, performance and correlation studies on single cross hybrids of tropical maize. *Asian Journal of Plant Science*, 2 (1):51-57.

Viana, J.M. S., Faria, V. R., Silva, F.F. and Resende, M.D.V. (2011). Best linear unbiased prediction and family selection in crop species. *Crop Science*, 51(6), 2371-2381.

Warner, J. N. (1952). A Method for Estimating Heritability 1. *Agronomy journal*, 44 (8), 427-430.

Damascus University