٥ توفر الوراثة الكمية الطرق والوسائل التى تلزم لدراسة الصفات التى يتحكم فيها عديد من الجينات، الأمر الذى لا يمكن تحقيقه بأساليب الوراثة المندلية

٦ - تعد الوراثة الكمية امتدادا للوراثة المندلية باعتمادها الكامل على قوانين الوراثة المندلية

٧ تساعد الوراثة الكمية فى زيادة فهم القواعد الوراثية، وفى التخطيط لبرامج التربية (عن Singh & Naryanan ١٩٩٣)

ويمكن القول أن الوراثه الكميه تهتم بوراثة الاختلافات بين الأفراد عندما يكون اختلافهم فى الدرجة وليس فى النوع، أى كميّ وليس نوعيًا (Dudley ١٩٩٧)

تعريف بالوراثة الكمية للصفات

تعنى الوراثة الكمية بدارسة الصفات الكمية، وهى الصفات التى يوجد فيها استمرار فى الشكل المظهرى، والتى تتدرج من مستوى الى آخر دون وجود فواصل محددة بين المستويات المختلفة، كما فى صفات الطول، والمحصول، وقوة النمو، وموعد النضج إلخ ونظرا لأن دراستها تستدعى القياس، لذا فإنها تسمى metrical traits أى الصفات المقيسة

وبرغم أن بعض الصفات الكمية يتحكم فى وراثتها جين واحد رئيسى major gene إلا أن غالبيتها يتحكم فيها عدد كبير من العوامل الوراثية multiple factors، وبينما تدرس الفئة الأولى منها كصفات بسيطة، يمكن – غالبا – تمييز مجاميع أفرادها وعدّها فى الأجيال الانعزالية فإن دراسة الفئة الثانية منها يدخل فى نطاق علم الوراثة الكمية Quantitative Genetics وهو موضوع يستمد أهميته من أن الصفات الكميه تشكل أهم الصفات الاقتصادية التى يهتم بها المربى، فى الوقت الذى تحتاج فيه إلى طرق خاصة فى دراستها، وتداولها عند التربية

بداية دراسة الصفات الكمية تاريخياً

يعد كل من نلسون إيلى Nilson-Ehle (١٩٠٨–١٩٠٩) فى السويد، وإيست East (١٩٠٦–١٩٣٦) فى الولايات المتحدة الأمريكية من أوائل العلماء الذين تناولوا الصفات الكمية بالدراسة، وهما اللذان أثبتا أن الصفات الكمية تسلك فى وراثتها سلوك الصفات الوصفية

قام نلسون إيلى بإجراء تلقيح بين سلالتين نقيتين من القمح، إحداهما حمراء الحبوب، والأخرى بيضاء، فكانت حبوب الجيل الأول وسطًا بين صفتى الأبوين، أى كانت السيادة غير تامة، وتدرجت حبوب الجيل الثانى من اللون الأحمر القاتم إلى اللون الأبيض وأمكن تمييزها إلى خمس فئات مظهرية كانت بنسبة ١ : ٤ : ٦ : ٤ : ١ (جدول ١-١)

فسرّ نلسون إيلى هذه النتائج على أساس أن صفة لون الحبوب يتحكم فيها زوجان من الجينات المتفارقة المتماثلة، أى إن كلاً منهما مماثل للآخر فى تأثيره فى إظهار صفة لون الحبوب الحمراء، وأن تأثير هذه الجينات مُجمّع cumulative، بمعنى أنه كلما زاد عدد الجينات السائدة كان اللون الأحمر أكثر تركيزا

جدول (١-١) نسبة التراكيب الوراثية والأشكال المظهرية التى تظهر فى الجيل الثانى لفرد خليط فى عاملين وراثيين ($R_1r_1\ R_2r_2$) يتحكمان فى لون البذرة فى القمح ولهما تأثير متجمع

التركيب الوراثى	النسبة	عدد الآليلات السائدة	الشكل المظهرى	النسبة
$R_1R_1\ R_2R_2$	١	٤	أحمر قاتم	١
$R_1r_1\ R_2R_2$	٢	٣	أحمر متوسط الدكنة	٤
$R_1R_1\ R_2r_2$	٢	٣	أحمر متوسط الدكنة	
$R_1r_1\ R_2r_2$	٤	٢	أحمر متوسط	٦
$R_1R_1\ r_2r_2$	١	٢	أحمر متوسط	
$r_1r_1\ R_2R_2$	١	٢	أحمر متوسط	
$R_1r_1\ r_2r_2$	٢	١	أحمر فاتح	٤
$r_1r_1\ R_2r_2$	٢	١	أحمر فاتح	
$r_1r_1\ r_2r_2$	١	صفر	أبيض	١

إما إيست .. فقد درس وراثة طول الزهرة (طول التويج) فى التبغ، وهى صفة قليلة التأثر بالعوامل البيئية، وأجرى إيست تلقيحًا بين سلالتين نقيتين من التبغ البرى *Nicotiana longiflora* تختلفان اختلافًا واضحًا فى طول الزهرة، وحصل على النتائج المبينة فى جدول (١-٢)، ثم درس الاختلافات بين الآباء وأفراد الأجيال الأول والثانى والثالث، وتوصل منها (وكذلك من دراسات أخرى أجراها على طول الكوز فى الذرة) إلى ما يلى

١ – تتشابه الاختلافات التى تظهر بين نباتات الجيل الأول – والناتجة من التلقيح بين أفراد نقية - مع الاختلافات التى تظهر بين نباتات الآباء، وتكون جميعها اختلافات راجعة إلى الظروف البيئية فقط

٢ – تظهر اختلافات أكبر فى الجيل الثانى، نتيجة لحدوث الانعزالات الوراثية، ويمكن الحصول على التراكيب الوراثيه للأبوين إذا زرع عدد كاف من النباتات فى هذا الجيل

٣ تعطى النباتات المختلفة مظهريًا – فى الجيل الثانى أنسالاً ذات متوسطات مختلفة فى الجيل الثالث

وقد نجح إيست فى تطبيق قوانين مندل على الصفات الكمية التى درسها

خصائص الوراثة الكمية

يمكن تلخيص أهم خصائص وراثة الصفات الكمية فى أنه يتحكم فيها عدة عوامل وراثية، ذات تأثير كبير واضح، يطلق عليها عادة اسم major genes، وعوامل وراثيه أخرى كثيرة ذات تأثير بسيط، يطلق عليها اسم polygenes (وتسمى أحيانا الجينات الثانوية minor genes) وتعد الجينات الثانوية أكثر تأثرا بالعوامل البيئية من الجينات الرئيسية، ولكن لا يمكن قياس تأثير البيئة على كل عامل منها على حدة وبينما يكون تأثير الجينات الرئيسية فى الشكل المظهرى كبيرا فإن تأثير الجينات الثانوية لا يظهر إلا بعد تجمع عدد كبير منها فى التركيب الوراثى، وتعد هى الأساس فى التطور وعملية الانتخاب الطبيعى

تتميز الجينات الثانوية – أيضًا – بأنها تنعزل بكثرة، وتتوزع على أعداد كبيرة من التراكيب الوراثية (=٣ن حيث ن هى عدد أزواج الجينات التى يختلف فيها الأبوان)، ونميز كذلك بأن الشكل المظهرى لا يتأثر كثيرا بإحلال جين محل آخر لذا فإن تراكيب وراثية كثيرة يمكن أن تعطى نفس الشكل المظهرى، كما تكون معظم العشائر الخلطية التلقيح خليطة إلى حد كبير فى هذه العوامل وأخيرًا .. فإن هذه الجينات الثانوية (أو الـ polygenes) قد تكون ذات تأثير متعدد على الشكل المظهرى، وقد تكون محورة لفعل جينات أخرى modifiers، أو مثبطة لها suppressors

جدول (١–٢): التوزيع التكرارى لطول تويج الزهرة فى نباتات الآباء (P_1، و P_2)، والجيل الأول (F_1)، والجيل الثانى (F_2) للتلقيح بين سلالتين نقيتين من *Nicotiana longiflora*

الجيل	سنة الزراعة	مركز مجموعات التوزيع التكرارى (مم) لطول تويج الزهرة																					العدد	المتوسط	الانحراف القياسى	معامل الاختلاف
		٣٤	٣٧	٤٠	٤٣	٥٢	٥٥	٥٨	٦١	٦٤	٧٠	٧٣	٧٦	٧٩	٨٢	٨٥	٨٨	٩١	٩٤	٩٧	١٠٠		الكلى			
P_1	١٩١١		١٣	٨٠	٣٢																		١٢٥	٤٠,٥	١ ٧٥	٤,٣٣
P_1	١٩١٢		٤	٢٨	١٦																		٤٩	٤٠,٦	٢,٠٠	٤,٩٢
P_1	١٩١٣		٤	٣٢	١																		٣٧	٣٩,٨	١,٠٩	٢,٧٤
F_1	١٩١١						٤	١٠	٤١	٧٥	٤٠	٣											١٣٧	٦٣,٥	٢,٩٢	٤,٦٠
P_2	١٩١١																٦	٢٢	٤٩	١١			٨٨	٩٣,٥	٢,٢٩	٢,٤٦
P_2	١٩١١																٢	١٦	٣٢	٦	١		٤٧	٩٣,٤	٢,٢٣	٢,٣٩
P_2	١٩١١																٥	٧	١٠	٢			٢٤	٩٢,١	٢.٧٠	٢.٩٣
F_2 (١)	١٩١٢ (أ)					١	٥	١٦	٢٣	١٨	٦٢	٣٧	٢٥	١٦	٤	٢	٢						٢١١	٩٧,٥	٥,٩١	٨,٧٥
F_2 (٢)	١٩١٢ (أ)					٢	٤	٢	٢٤	٣٧	٣١	٣٨	٣٥	٢٧	٢١	٥	٦	١					٢٣٣	٦٩.٨	٦.٧٩	٩,٧٢

(أ) حصل على نسلى الجيل الثانى من نباتى جيل أول

ومن أهم خصائص الوراثة الكمية - أيضًا - ما يعرف بالانعزال الفائق الحدود transgressive segregation حيث يظهر فى الجيل الثانى لبعض التلقيحات أفرادا تزيد عن الأب الأعلى، أو تقل عن الأب الأقل فى الصفة المدروسة ويحدث ذلك عندما يختلف الأبوان فى الجينات المسئولة عن الصفة، أو فى بعضها، مما يؤدى إلى انعزال أفراد فى الجيل الثانى، تحتوى على آليلات من تلك التى تزيد من الصفه، تزيد عن تلك الموجودة فى الأب الأعلى أو تتركز فيها الآليلات التى تخفض من الصفة

تحديد فئات ونسب الانعزالات الوراثية والمظهرية فى الجيل الثانى

لا يمكن تحديد فئات ونسب الانعزالات الوراثية والمظهرية فى الجيل الثانى للصفات الكمية إلا إذا كان عدد العوامل الوراثية المتحكمة فى الصفة المعنيه محدودا، وبغير ذلك فإن دراسة وراثة الصفة الكمية ينحى طريقا آخر . هو جل موضوع هذا الكتاب

ويتبين من دراستنا لخصائص الوراثة الكمية أن عدة تراكيب وراثية يمكن أن تعطى نفس الشكل المظهرى؛ فعلى سبيل المثال لو أن صفة كمية يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية هى Aa، و Bb، و Cc، وكانت الآليلات السائدة هى التى تزيد من الصفة فإن الشكل المظهرى -- الذى يكون مرده إلى وجود خمسة آليلات سائده - يمكن أن يظهر فى أى من التراكيب الوراثية التالية Aa BB CC، أو AA Bb CC، أو AABBCc

ونظرًا لأن أيًا من هذه التراكيب الوراثية يظهر فى الجيل الثانى بنسبة $\frac{\text{س}_{2}}{\text{ن}_{4}}$ (حيث س، ن هى عدد المواقع الجينية الخليطة فى كل من التركيب الوراثى المراد معرفة نسبته، وفى الجيل الأول، على التوالى) $= \frac{2}{4^{3}} = \frac{2}{64}$ ، لذا فإن نسبة ظهور هذه التراكيب الوراثية مجتمعة $= 3 \times \frac{2}{64} = \frac{6}{64}$

وتوجد طريقتان رئيسيتان لتحديد فئات ونسب الانعزالات الوارثية والمظهرية فى الجيل الثانى للصفات الكمية – التى يتساوى فيها تأثير الجينات المختلفة على الصفة،

عندما يتحكم فى الصفة عددًا محدودًا من العوامل الوراثيـة – هما. باستخدام المعادلة ذات الحدين، وباستخدام مثلث باسكال.

المعادلة ذات الحدين

يمكن معرفة نسب الانعزالات فى الجيل الثانى من مفكوك المعادلة ذات الحدين (س+ص)^{ن}، حيث تمثل (س) الآليلات التى تؤثر على الصفة فى أحد الاتجاهات (كأن تزيد من الصفة مثلاً)، وتمثل (ص) الآليلات التى تؤثر على الصفة فى الاتجاه الآخر (كأن تنقص من الصفة مثلاً)، وتمثل (ن) عدد الآليلات الموجودة (تلك التى تزيد والتى تنقص من الصفة)، فمثلا إذا تحكم فى الصفة خمسة أزواج من الجينات (أى عشرة آليلات) فإن المعادلة تصبح (س+ص)^{١٠}، ويكون مفكوكها كما يأتى

س^{١٠} + ١٠س^{٩}ص + ٤٥س^{٨}ص^{٢} + ١٢٠س^{٧}ص^{٣} + ٢١٠س^{٦}ص^{٤} + ٢٥٢ س^{٥}ص^{٥} + ٢١٠ س^{٤}ص^{٦} + ١٢٠ س^{٣}ص^{٧} + ٤٥ س^{٢}ص^{٨} + ١٠ س ص^{٩} + ص^{١٠}

وبذا تكون نسب الانعزالات هى: ١ : ١٠ : ٤٥ : ١٢٠ : ٢١٠ : ٢٥٢ : ٢١٠ : ١٢٠ : ٤٥ : ١٠ : ١.

ويمكن الحصول على المعامل العددى لكل حد من مفكوك المعادلة ذات الحدين بالطريقة التالية:

١ – يكون المعامل العددى لكل من الحدين: الأول والأخير دائمًا عبارة عن الواحد الصحيح

٢ – يؤخذ أس (س) للحد الأول أى (ن)، ويمثل هذا الرقم المعامل العددى للحد الثانى.

٣ – يضرب المعامل العددى للحد الثانى فى أس (س) لهذا الحد، أى (ن–١) ويقسم على ٢ ليعطى المعامل العددى للحد الثالث.

٤ – يضرب المعامل العددى للحد الثالث فى أس (س) لهذا الحد، أى (ن–٢)، ويقسم على ٣ ليعطى المعامل العددى للحد الرابع . . وهكذا.

هذا .. ويعنى مفكوك هذه المعادلة أنه يوجد تركيب وراثى واحد، يحتوى على

الاليلات العشرة التى تزيد من الصفة، وعشرة تراكيب وراثية. يحتوى كل منها على تسعة آليلات من تلك التى تزيد من الصفة، وآليل واحد من تلك التى تنقص من الصفة، و ٤٥ تركيبا وراثيًا، يحتوى كل منها على ثمانية آليلات، من تلك التى تزيد من الصفه، وآليين من تلك التى تنقص من الصفة وهكذا ويكون المجموع الكلى لنسب التراكيب الوراثية هو ١٠٢٤، وهو الذى يمكن الحصول عليه – أيضا – من المعادلة ٤ن حيث تمثل (ن) عدد أزواج العوامل الوراثية الخليطة فى الجيل الأول؛ وبذا يكون مجموع النسب فى هذا المثال ٤ن – ١٠٢٤

مثلث باسكال

يمكن الاستعانة بمثلث باسكال Pascal's Triangle المبين أدناه فى تحديد نسب الانعزالات فى الجيل الثانى. حيث يكون كل معامل عددى عبارة عن مجموع المعاملين العددين الموجودين أعلاه على اليمين واليسار كما يلى

عدد الآليلات	المعاملات العددية للفئات المظهرية
١	١ ١
٢	١ ٢ ١
٣	١ ٣ ٣ ١
٤	١ ٤ ٦ ٤ ١
٥	١ ٥ ١٠ ١٠ ٥ ١
٦	١ ٦ ١٥ ٢٠ ١٥ ٦ ١
٧	١ ٧ ٢١ ٣٥ ٣٥ ٢١ ٧ ١
٨	١ ٨ ٢٨ ٥٦ ٧٠ ٥٦ ٢٨ ٨ ١

ومن الطبيعى أنه لا يستعمل من المعاملات العددية بالمثلث، إلا ما يقابل العدد الزوجى من الآليلات، وهو الذى يمثل عدد أزواج العوامل الوراثية التى تتحكم فى الصفة. فلو أن الصفة يتحكم فيها مثلاً – ٣ أزواج من العوامل الوراثية نبحث فى المثلث مقابل ٦ آليلات، لنجد أن نسب المعاملات العددية للفئات المظهرية هى ١ ٦ ١٥ ٢٠ ١٥ ٦ ١

توزيع الانعزالات المظهرية فى الجيل الثانى

تتأثر طريقة توزيع الانعزالات المظهرية للصفات الكمية – فى الجيل الثانى بعوامل كثيرة، نذكر منها ما يلى

١ – عدد الجينات التى تتحكم فى الصفة

٢ – كون هذه الجينات ذات سيادة غير تامة، أم سائدة

٣ – كون الجينات مرتبطة، أم تتوزع توزيعًا حرًّا

٤ – كون الجينات متساوية فى تأثيرها فى الصفة، أم غير متساوية

٥ - وجود علاقة تفوق بين الجينات المتحكمة فى الصفة، والجينات الأخرى فى النبات أو عدم وجودها.

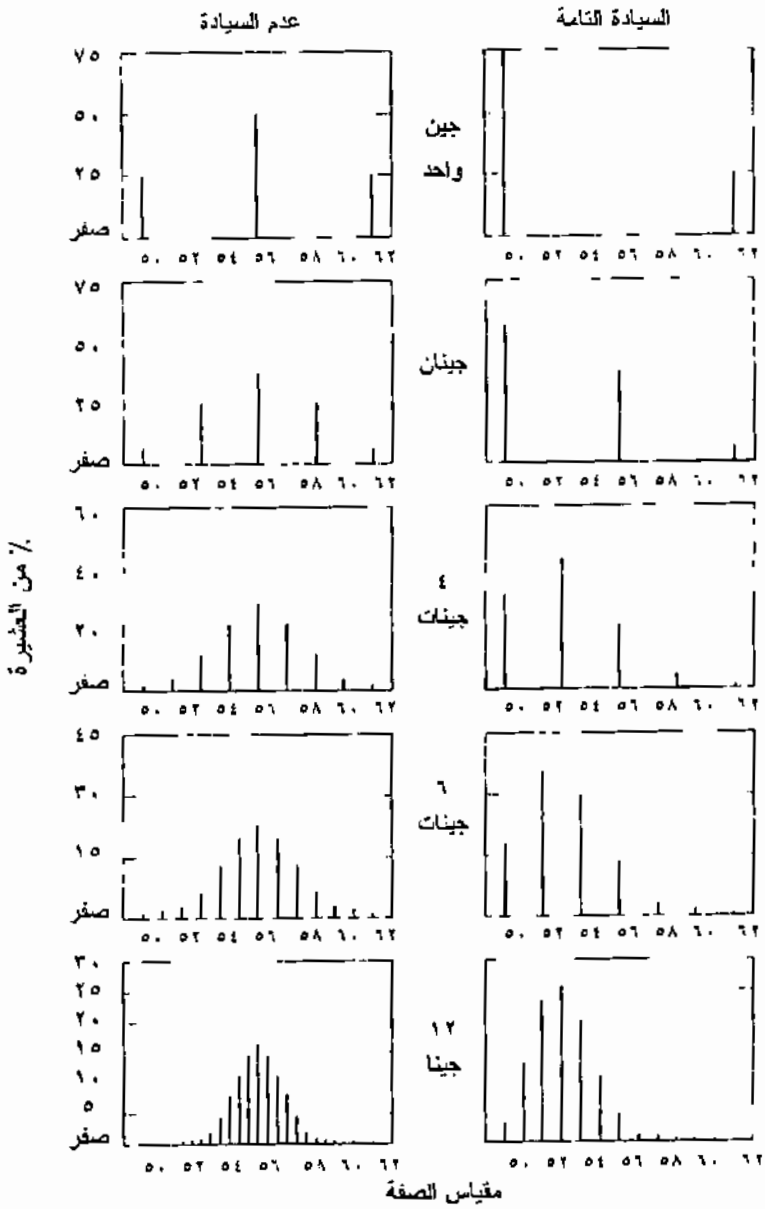
٦ – كون الجينات المتحكمة فى الصفة تتأثر بجينات أخرى محورة، أم لا تتأثر

٧ – مدى نفاذية الصفة penetrance، ودرجة التعبير عنها expersstvity فى التراكيب الوراثية المختلفة

٨ – مدى تأثر الصفة بالعوامل البيئية

وأغلب الظن أن كثيرًا من هذه العوامل تتداخل فى التأثير على الصفات الكمية، بل أن السلوك الوراثى للجينات المتحكمة فى الصفة الواحدة قد يختلف من جين إلى آخر، وهو ما يعد أقصى درجات التعقيد

وتعد أبسط الحالات .. تلك التى تكون فيه الجينات المتحكمة فى الصفة غير مرتبطة ببعضها، ومتساوية فى تأثيرها، ولا تتفاعل مع الجينات الأخرى فى النبات أو تتأثر بها، وذات نفاذية تامة، وتعبر عن نفسها بوضوح وبدرجة واحدة، ولا تتأثر بالعوامل البيئية. وإذا توافرت كل هذه الشروط – وهو أمر نادر الحدوث – فإن الانعزالات التى تحدث فى الجيل الثانى تكون مماثلة لتلك التى فى شكل (١–١) الذى تظهر به التوزيعات فى حالتى غياب السيادة (التوزيعات التى على الجانب الأيسر من الشكل)، والسيادة التامة (التوزيعات التى على الجانب الأيمن من الشكل)، وعندما تكون الصفة بسيطة – أى يتحكم فيها جين واحد – وعندما تكون الصفة كمية ويتحكم فيها ٢، أو ٤، أو ٦، أو ١٢ جينًا (التوزيعات من أعلى إلى أسفل فى الشكل).



شكل (١–١) التوزيعات المتوقعة فى الجيل الثانى لصفة يتحكم فيها (من أعلى لأسفل فى التشكل) ١، و ٢، و ٤، و ٦، و ١٢ جينًا فى حالتى السيادة التامة (العمود الأعن)، وغياب السيادة (العمود الأيسر) علمًا بأن درجة توريث الصفة ١٠٠٪ (عن Allard ١٩٦٤)

ويتضح من هذه التوزيعات، ما يلى:

١ – عندما تكون الصفة ذات سيادة غير تامة فإن التوزيعات تكون متساوقة، أى متماثلة ومنتظمة حول الشكل المظهرى، الذى يأخذ القيمة الوسطية، والذى يكون توزيعه أعلى التوزيعات، ويكون كل شكل مظهرى معبِّرا عن تركيب وراثى، أو مجموعة من التراكيب الوراثية التى تتساوى فى عدد الآليلات التى تؤثر فى الصفة ويمكن الحصول على هذه التوزيعات من مفكوك المعادلة ذات الحدين، أو باستخدام مثلث باسكال

وبينما يمكن تمييز فئات التوزيعات المختلفة فى الصفات البسيطة، والصفات التى تتحكم فيها جينان أو ثلاثة جينات فإن فئات التوزيعات تقترب من بعضها مظهريًا – بشدة – كلما ازداد عدد الجينات المتحكمة فى الصفة بحيث يصعب تمييزها عن بعضها، كما تأخذ شكل منحنى التوزيع الطبيعى.

ويصاحب كل زيادة فى عدد الجينات المتحكمة فى الصفة نقص كبير فى نسبة الأفراد المشابهة للأبوين، الأمر الذى يستلزم زراعة عدد كبير من نباتات عشيرة الجيل الثانى للحصول على نبات واحد أصيل فى الصفة ومماثل لأحد الأبوين.

٢ – عندما تكون الصفة سائدة سيادة تامة فإن التوزيعات تكون منحرفة أو مائلة skewed نحو الشكل المظهرى للآليلات السائدة. وبينما تزيد عدد فئات التوزيعات المظهرية مع زيادة عدد الجينات المتحكمة فى الصفة .. فإن عدد الفئات يبقى أقل مما فى حالة غياب السيادة عند نفس العدد من الجينات. ويكون من السهل تمييز الفئات المظهرية عن بعضها فى الصفات التى يتحكم فيها من ١–٤ جينات، إلا أن فئات التوزيعات تتقارب مع بعضها، ويصبح من الصعب تمييزها بعد ذلك.

وكلما ازداد عدد الجينات المتحكمة فى الصفة .. بدا التوزيع أقرب إلى التوزيع لطبيعى، أى كلما قل وضوح الجنوح ظاهريًا، ذلك لأن نسب الفئات التى تتجمع فيها لآليلات المتنحية تنخفض بشدة، بحيث لا تمثل شيئًا يذكر إلى جانب بقية العشيرة تى تبدو طبيعية إلى حد ما فى توزيعها برغم أنها تكون منحرفة – بشدة – نحو الصفة اسائدة.

ويلاحظ – أيضا – أن الفئات المظهرية المنعزلة لا تمثل تراكيب وراثية متشابهة. بسبب وجود السيادة

أساليب الإحصاء البيولوجي المستخدمة في مجال تربية النبات

يطلق على الطرق المستخدمة في دراسات الوراثة الإحصائية اسم أساليب الإحصاء البيولوجي biometrical techniques، ويعطى جدول (١-٣) قائمة بأهم الأساليب المستخدمة في مجال تربية النبات، كما نقدم في جدول (١-٤) قائمة بالمراجع الأصلية لأهم طرق التحليل الوراثي الكمي المستخدمة

جدول (١-٣) قائمة بأهم أساليب الإحصاء البيولوجي المستخدمة في مجال تربية النبات (عن Singh & Naryanan ١٩٩٣)

المجال	الأساليب المستعملة
تقييم مدى التباين الكمي	١ – قياسات الانتشار (مثل المدى والانحراف العياسي والتباين ومعامل التباين)
	٢ – مكونات التباين الوراثي
	٣ – تحليل الترو جلف metroglyph analysis
	٤ – القيمة الإحصائية D^2 (D^2 statistics)
انتخاب التراكيب الوراثية المتميزة	١ – تحليل الارتباط correlation analysis
	٢ – تحليل معامل المسار path coefficient analysis
	٣ – discriminat function analysis
اختيار الآباء وطرق التربية	
○ تحليل عدة هجن فرديه	١ – تحليل دايالين diallel cross analysis
	٢ – تحليل دايالين الجزئي partial diallel analysis
	٣ – التحليل الاختباري line × tester analysis
○ تحليل عدة هجن ثلاثية	١ – الـ triallel analysis
○ تحليل عدة هجن روجية	١ – الـ quadriallel analysis
○ تحليل هجن مفردة	١ – الـ general mean analysis
	٢ – الـ biaparental cross analysis
	٣ – الـ triple test cross analysis
تقييم مدى تأقلم الأصناف	١ – الـ stability analysis models