

الوراثة الكمية

Quantitative Genetics

كانت الصفات المندلية الكلاسيكية صفات نوعية Qualitative traits سهلة التصنيف الى مجاميع متميزة من الأنماط الظاهرية ونتاجت هذه الصفات من تأثير جين أو جينين بالإضافة الى الصفات النوعية يوجد الكثير من الصفات المهمة في النباتات والحيوانات والإنسان لا يمكن تصنيفها الى مجاميع متميزة. ولكن يمكن قياسها والتعبير عنها بوحدات قياس المسافة أو الوزن أو الحجم وبذا تشكل إختلافات مستمرة. وتكون هذه الصفات كمية Quantitative traits في طبيعتها وتنتج من فعل وتفاعل عدة جينات تتراوح من 10 – 100 جين أو أكثر من ذلك، وكذلك تتأثر هذه الصفات بعوامل البيئة المختلفة. ومن الأمثلة على الصفات الكمية هي الصفات المهمة زراعياً واقتصادياً في الكثير من النباتات والحيوانات : كأنتاج الحبوب وإرتفاع النبات إنتاج الحليب والبيض. ومن الصفات الكمية في الإنسان هي القامة ووزن الجسم.

التوزيع الطبيعي للصفات الكمية Normal Distribution of Quantitative Traits

تظهر دراسة صفة كمية في عشيرة كبيرة بأن عدد قليل من الأفراد يحملون الأنماط الظاهرية القصوى، بينما أكثر الأفراد يكونون بالقرب من قيمة المعدل لتلك العشيرة. أن هذا النمط من التوزيع المتناظر يتصف بشكل الجرس ويطلق على هذا التوزيع بالتوزيع الطبيعي Normal distribution .

لاحظ علماء الوراثة بين عام 1900-1910م بأن الإختلافات المستمرة تعكس آلية وراثية تختلف عن تلك الأختلافات غير المستمرة، ووضعت فرضية الجينات المتعددة -Multiple- Gene Hypothesis لتفسير الإختلافات المستمرة.

لون بذرة الحنطة Seed Color of Wheat

تضمنت الدراسة تزاوج بين صنف من الحنطة ذي بذور حمراء وآخر ذي بذور بيضاء. كانت بذور الجيل الأول ذات لون متوسط بين الأبوين، حيث كانت أفتح من البذور الحمراء

للسنف الأبوي الأول ولكن أغرق من البذور البيضاء للسنف الأبوي الثاني. وعند ترتيب بذور الجيل الثاني حسب كثافة اللون، لوحظ تدرج مستمر من الأحمر الى الأبيض وكانت من بذور الجيل الثاني النسب: بحوالي 16\1 حمراء مثل الأب الأحمر البذور وبحوالي 16\1 بيضاء وبحوالي 16\14 متوسط اللون أي تتراوح بين لوني الأبوين. وعندما صنفت بذور الجيل الثاني ذات اللون المتوسط بصورة أدق على أساس كثافة اللون، شوهدت النسب: بحوالي 16\4 ذات لون أعمق من لون بذور الجيل الأول وبحوالي 16\6 ذات لون متوسط مثل لون بذور الجيل الأول وبحوالي 16\4 ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول. تدل هذه النتائج على إنعزال مستقل لزوجين من الجينات أو الجينات المضاعفة Duplicate Genes التي تؤثر على نفس الصفة وذات تأثير متجمع. كذلك أجرى نلسن تزاوج أخرى بين صنفين آخرين من الحنطة: الأول ذو حبوب حمراء والثاني ذو حبوب بيضاء. كانت بذور الجيل الأول ذات لون متوسط.

ولكن بذور الجيل الثاني كانت نسبها حوالي 64\1 ذات بذور حمراء وحوالي 64\1 ذات بذور بيضاء، وحوالي 64\62 ذات بذور متدرجة في اللون بين لوني الأبوين، وعندما صنفت هذه البذور بصورة أدق شوهدت النسب حوالي 64\6 ذات لون أحمر أفتح قليلاً من الأب الأحمر البذور، وحوالي 64\15 ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول، وحوالي 64\20 ذات لون متوسط مثل لون بذور الجيل الأول وحوالي 64\15 ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول وحوالي 64\6 ذات لون أعمق قليلاً من بذور الأب الأبيض.

ونتائج هذا التزاوج تشابه نتائج التزاوج المنديلي الثلاثي الهجين من حيث الأساس، ولذا فرض نلسن وجود ثلاثة أزواج من الجينات المستقلة لتفسير هذه النتائج بدلاً من زوجين في التزاوج الأول، ومن الواضح بأن زوج واحد الذي أنعزل في التزاوج الثاني كان متماثل الزيجة في كل من الأبوين في التزاوج الأول.

طول كوز الذرة الصفراء Ear Length in Maize

درس ايست East عام 1913م وراثة طول كوز الذرة الصفراء بتهجين الصنف توم ثمب Tom Thumb قصير الكوز ذا مدى 5-8 سم ومعدل 6.6 سم بالصنف بلاك مكسيكان Black Mexican طويل الكوز ذا مدى 13-21 سم ومعدل 16.8 سم. كان طول كيزان الجيل الأول (F1) متوسط بين الأبوين وذا مدى 9-15 سم ومعدل 12.1 سم. أما طول كيزان الجيل الثاني (F2) فإنها بلغت مدى واسع (7-21 سم)، وكان عدد قليل منها بقدر طول كيزان الصنف القصير الكوز، وعدد قليل آخر منها بقدر طول كيزان الصنف الطويل الكوز، وعدد كبير منها متوسطة الطول بقدر طول كيزان الجيل الأول بمعدل 12.9 سم. إن هذه النتائج من حيث الأساس مشابهة الى نتائج لون بذر الحنطة، لكن في هذه الحالة لا يمكن تصنيف الكيزان الى مجاميع متميز من حيث الطول. الا إن الزيادة في الاختلاف في الجيل الثاني مقارنة بالجيل الأول يمكن تفسيرها على أساس انعزال عدد من الجينات التي تؤثر على طول الكوز بصورة تجميعية. وبذا يكون سبب الاختلاف بين كيزان كل من الأبوين والجيل الأول بيئي، أما سبب الاختلاف بين كيزان الجيل الثاني بيئياً ووراثياً (بسبب إنعزال عدد من الجينات التي قدرت بأربعة أزواج وكل زوج ينتج تأثير متساوي بمقدار 2.55 سم الى الطول الأساسي من الكوز).

وتوجد أمثلة أخرى شائعة كلون البشرة في الإنسان وطول أوراق التوبج في التبغ وحجم الأرنب التي توضح فرضية الجينات المتعددة. ويعتبر الآن مفهوم الجينات المتعددة للصفات الكمية أحد الأساسيات المهمة في علم الوراثة، وترتكز وراثة الصفات الكمية على جينات كثيرة (متعددة) المنعزلة باستقلال عادةً، ولكنها تؤثر على نفس النمط الظاهري وبطريقة تجميعية، وكل جين ينتج جزء من التأثير الكلي ولا توجد سيادة كاملة بين الأليلات وتؤثر عوامل البيئة على الناتج النهائي للصفات الكمية ويمكن التعبير عن النمط الظاهري للصفة الكمية بالمعادلة التالية :

النمط الظاهري = النمط الجيني + البيئة + (النمط الجيني × البيئة)

ويمكن قياس تأثير كل جزء من المعادلة إحصائياً بواسطة الاختلاف Variance وتصبح المعادلة :

الاختلاف بالنمط الظاهري = الاختلاف بالنمط الجيني + الاختلاف بالبيئة + الاختلاف (النمط الجيني × البيئة)، وبتعبير آخر:

$$\sigma^2_p = \sigma^2_G + \sigma^2_E + \sigma^2_{GE}$$

وعند دراسة هذه الصفات يجب فصل التأثير الوراثي عن التأثير البيئي بإستعمال طرق إحصائية خاصة.

تقرير عدد الجينات للصفات الكمية

Estimating the Number of Genes for Quantitative Traits

تساعد معرفة عدد الجينات التي تعين الصفات الكمية في تطوير طرق جديدة وكفاءة للبحث عنها، وكذلك يمكن الاستفادة من هذه المعلومات مباشرة في تربية النبات والحيوان. ولكن يصعب تعيين عدد الجينات بالضبط المشمولة في تهجين ما بسبب وجود الاختلافات البيئية والاختلافات الوراثية بنفس القياس. ولبعض الصفات يمكن إجراء تقدير تقريبي بواسطة تعيين تردد حدوث كلاً من الطرفين في الجيل الثاني اللذين يشبهان النمط الظاهري للأبوين. وتعتبر هذه الطريقة طريقة تقريبية لعدد الجينات الفعالة ولكنها مفيدة للتحليل الوراثي الأولي.

وتوجد طريقة أخرى لتقدير عدد الجينات للصفة الكمية بالاستفادة من قيمة الاختلاف الوراثي Genotypic variance وتحت شروط معينة. تتألف عشيرة السلالة أو الخط النقي من أفراد متشابهة بالتركيب الوراثي الا انها تظهر الاختلاف بالنمط الظاهري، وعليه يكون كل هذا الاختلاف في الخط النقي إختلافاً بيئياً Environment variance وينتج من التزاوج بين صنفين نقيين هجين في الجيل الأول متناسق وراثياً وعليه يكون الاختلاف

بالنمط الظاهري بين أفراد الجيل الأول اختلافاً بيئياً أيضاً، ويكون الاختلاف بين أفراد الجيل الثاني أكثر من الاختلاف بين أفراد الجيل الأول، بسبب الانعزال وتكون تراكيب جديدة في أفراد الجيل الثاني. وفي الصفة الكمية ذات التوزيع الطبيعي تكون معدلات أفراد الجيل الأول والجيل الثاني متوسط بين معدلي الأبوين. وإذا لم يحدث تبدل في البيئة من جيل لآخر (ويمكن السيطرة على ذلك بالتجربة) فإن إختلاف البيئة بين أفراد الجيل الأول يجب أن يكون مساوياً إلى إختلاف البيئة بين أفراد الجيل الثاني. لذا تعزى الزيادة في الإختلاف للنمط الظاهري بين أفراد الجيل الثاني على الإختلاف للنمط الظاهري بين أفراد الجيل الأول إلى أسباب وراثية. وعليه فإن الإختلاف الوراثي بين أفراد الجيل الثاني (σ^2_{GF2}) يساوي الإختلاف للنمط الظاهري بين أفراد الجيل الثاني (σ^2_{PF2}) ناقصاً الإختلاف للنمط الظاهري بين أفراد الجيل الأول (σ^2_{PF1})، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية :

$$\sigma^2_{GF2} = \sigma^2_{PF2} - \sigma^2_{PF1}$$

ويعبر عن الإختلاف الوراثي بين أفراد الجيل الثاني بالمعادلة التالية:

$$\sigma^2_{GF2} = (a^2N) / 2$$

حيث ترمز a الى مقدار مساهمة كل أليل فعال و N ترمز الى عدد أزواج الجينات المتعلقة في الصفة الكمية.

طبيعة الجينات التي تؤثر على الصفات الكمية

The Nature of the Genes Affecting Quantitative Traits

سبق وإن قدما فرضية الجينات المتعددة Multiple-gene hypothesis لتفسير وراثة الصفات الكمية والتي تضمنت وجود عدة جينات واقعة على الكروموسومات. إن هذه الجينات مشابهة لبقية الجينات التي درسناها سابقاً في كل النواحي. ما عدا إن تأثيرها الفردي على النمط الظاهري قليل وتتأثر بالبيئة. أطلق ماذر Mather على هذه الجينات " بالجينات المتعددة " Polygenes ، وبذا فإنه ميزها عن الجينات الرئيسية Major genes التي يمكن

تشخيصها بوضوح بسبب تأثيراتها الجلية المفردة. ويدل تقديم هذان المصطلحان على وجود التداخل بين المجموعتين الذي يمكن توضيحه بالنقاط التالية :

1. التأثيرات المضاعفة الناتجة من أنظمة الجينات المتعددة والرئيسية:

قد يتضاعف تأثير النمط الظاهري الناتج من الجينات المتعددة بفعل جين رئيسي واحد فمثلاً يرى المدى الطبيعي المستمر لقامة الإنسان بأنها تعتمد على تأثيرات الجينات المتعددة وقد تعزى القامة لشخص قصير جداً إلى تأثيرات الكثير من الجينات المختلفة ، ولكن وجود جين رئيسي واحد لقامة القزم قد تؤدي إلى نفس النتيجة .

2. الدور الممكن للجينات الرئيسية في أنظمة الجينات المتعددة:

يوجد أدلة على أن بعض الجينات تؤثر على كل من الصفات النوعية والكمية بنفس الوقت ، ففي البرسيم الأبيض مثلاً يتفاعل جينان سائدان ومستقلان لإنتاج التبقع Mottling في نصل الورقة الذي يعتبر صفة نوعية. ولكن جرعة هذين الجينين السائدين لها تأثير واضح على عدد الأوراق الذي يعتبر صفة كمية في البرسيم الأبيض .

3. الارتباط بين الجينات المتعددة والجينات الرئيسية:

من الأمثلة على الارتباط بين الجينات الرئيسية والجينات المتعددة هو ارتباط لون الفاصوليا (البذرة) المعين لجين واحد مع وزن الفاصوليا التي هي صفة كمية. وكذلك يرتبط لون ثمرة الطماطم بحجمها. وفي ذبابة الفاكهة تظهر جينات رئيسية في الكروموسومات الأربعة ارتباطاً مع جينات مختلفة لحجم البيضة التي تعتبر صفة كمية. وفي الفأر المنزلي يرتبط جين لون الفرو الأسمر مع عدد من الجينات التي تعين وزن البالغ وطول العظم في الذراع الخلفي.