الفصل السادس

الأساس الوراثى للعشائر النباتية

تعرف العشيرة Population بأنها أية مجموعة من الكائنات تنتمى إلى نوع واحد وتعيش مجتمعة، أو تشترك فيما بينها فى صفة أو أكثر، فتطلق -- مثلا – كلمة عشيرة على جميع الأسماك التى تنتمى إلى نوع واحد، وتوجد مجتمعة فى بحيرة. وعلى جميع النباتات التى تنتمى إلى نوع معين، وتنمو بريًّا فى منطقة جغرافية معينة، وقد كانت تلك أمثلة للعشائر الطبيعية natural populations. كما تطلق كلمة عشيرة على أفراد الجيل الأول، أو الأجيال التالية له فى تهجين ما، فيقال عشيرة الجيل الأول F_1 population (ترمز F إلى كلمة filal التى تعنى تتابعًا بعد جيل الآباء)، وعشيرة الجيل الثانى F_2 population .. إلخ. وقد تكون العشائر لنباتات ذاتية التلقيح، أو خلطية التلقيح، أو خضرية التكاثر، كما قد تكون لجيرمبلازم محسن بوسائل التربية مثل العشائر التركيبية (المخلقة) synthetic populations .. إلخ.

يهتم المربى – بطبيعة الحال – بوصف العشيرة مظهريًّا، أو موفولوجيًّا، كما يتعين عليه أن يكون ملمًا بالأساس الوراثى للتباينات المظهرية المشاهدة، وهو ما يقودنا إلى دراسة طبيعة الاختلافات، أو التباينات فى النباتات، ولكن يتعين علينا – أولاً – التعرف على النوعيات الرئيسية من الأصناف المتداولة فى الزراعات التجارية.

الأصناف وأنواعها

كان الصنف يعرف فى الماضى باسم variety، ثم تغير إلى cultivar على اعتبار أن الـ cultivar هو الصنف المستخدم فى الزراعة cultived variety، إلاّ أن بعض المؤلفين (مثل: Fehr ١٩٨٧) يستخدمون الكلمتان: variety، و cultivar بذات المعنى دونما تمييز بينهما

ويعرف الصنف بأنه مجموعة من النباتات المتجانسة تكون صفاتها مميزة وثابتة

ويعنى بالتمييز أن نباتات الصنف يمكن تمييزها عن غيرها بصفة واحدة على الأقل – أو أكثر من الصفات المورفولوجية والفسيولوجية، أو غيرها من الصفات الأخرى التى يمكن التعرف عليها ويعنى بالتجانس أن الاختلافات بين نباتات الصنف الواحد فى الصفات المحددة يمكن وصفها ويعنى بالثبات أن الصنف يبقى دائما دونما تغيير، إلى درجه يمكن الوثوق بها فيما يتعلق بصفاته المميزة حال إكثاره أو إعادة تكوينه

ومن أهم مجموعات الأصناف، ما يلى:

١ - أصناف السلالات الخضرية clonal cultivars

وهى التى تنتج عن طريق الإكثار الخضرى لتركيب وراثى متميز

٢ – أصناف السلالات line cultivars

وهى التى تتكون من مجموعة من النباتات – الذاتية أو الخليطة التلقيح – يكون لها خلفية وراثية متماثلة إلى حد كبير (تحدد نظريًا بمعامل اشتراك فى الآباء والأجداد coefficient of parentage لايقل عن ٨٧ ٠) وتكثر تلك الأصناف بالتلقيح الذاتى، أو بالتلقيح بين بعضها البعض، حسب طبيعة التلقيح السائدة فى النوع النباتى المعنى

٣ الأصناف المفوحة التلقيح من المحاصيل الخلطية التلقيح

وهى أصناف تتميز عن أصناف سلالات المحاصيل الخلطية التلقيح بأن فيها قدرا مسموحا به من التباينات الوراثية، ولكن تلك التباينات لا تؤثر على خاصية تجانس الصنف، وثباته، وتميزه عن الأصناف الأخرى فى صفة واحدة على الأقل

٤ – الأصناف التركيبية synthetic cultivars

تقسم تلك الأصناف بدورها إلى فئتين، هما

أ أصناف تركيبية جيل أول first-generation synthetic cultivars (أو Syn1)

ب - أصناف تركيبية بعد الجيل الأول advanced generation synthetic cultivars

٥ الأصناف الهجين hybrid cultivars (هجين الجيل الأول والهجن الثلاثية والزوجية)

٦ – أصناف الجيل الثانى F_2 cultivars:

يُتحصل على أصناف الجيل الثانى بالتلقيح الذاتى لهجن الجيل الأول، ولكن تلك الأصناف لا يمكن إكثارها لأجيال أخرى، ومن أمثلتها: صنف الطماطم Foremost F_2، والقاوون Market Pride، والبيتونيا Violet Blue، والبنفسج Seven-Eleven.

٧ – عشائر الهجن المركبة composite-cross populations:

يتم تكوين عشائر الهجن المركبة بتهجين أكثر من صنفين أو سلالتين من محصول ذاتى التلقيح، وإكثار الأجيال التالية من العشائر الانعزالية معًا in bulk فى ظروف بيئية تسمح بحدوث انتخاب طبيعى فيها. ويعنى ذلك أن تلك العشائر تتعرض للتغير الوراثى بصورة دائمة، ولا يمكن المحافظة على بذور المربى فيها كما أنتجت أول مرة. ومن أمثلة تلك الأصناف الشعير Harland، وفاصوليا الليما Mezcla

٨ – الأصناف المتعددة السلالات multilines.

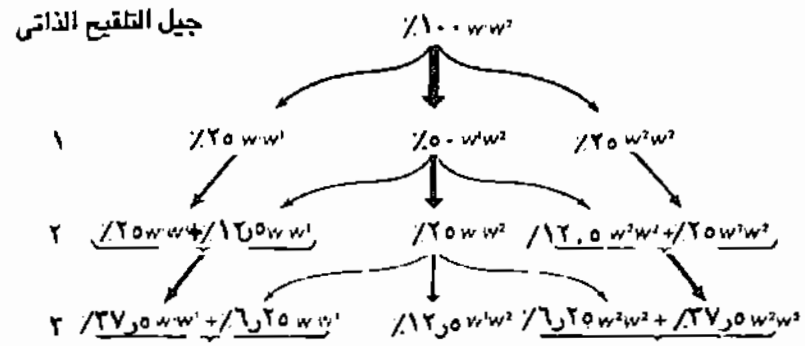
تعرف الأصناف المتعددة السلالات بأنها مخلوط من الأصناف أو السلالات تزيد فيها نسبة كل مكون منها عن ٥٪ ويتم إكثار تلك الأصناف بإكثار كل مكون منها منفردًا ثم خلط بذورها معًا بالنسب المحددة للصنف، ومن أمثلتها صنف القمح Miramar-63 (عن Fehr ١٩٨٧).

عشائر النباتات الذاتية التلقيح

يؤدى التلقيح الذاتى المستمر – فى النباتات الذاتية التلقيح – إلى أن تصبح جميع النباتات أصيلة تمامًا Homozygous 100% فى جميع عواملها الوراثية، وتقل درجة الأصالة الوراثية عن ١٠٠٪ إذا حدثت بالعشيرة نسبة من التلقيح الخلطى، وكان التلقيح بين نباتات تختلف وراثيًا عن بعضها، ويتوقف مدى الانخفاض فى الأصالة الوراثية – عن ١٠٠٪ على نسبة التلقيح الخلطى التى تحدث فى الطبيعه ويبين شكل (٦–١) تأثير التلقيح الذاتى المستمر على نسبة النباتات الخليطة فى جين واحد. يلاحظ من الشكل أن نسبة النباتات الخليطة تقل بمقدار النصف بعد كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى. ويمكن حساب نسبة النباتات الخليطة فى الصفة بعد عدد قدره (ن) من أجيال التلقيح الذاتى من المعادلة التالية:

نسبة النباتات الخليطة فى الصفة = $(١/٢)^{ن} \times ١٠٠$

أما بقية النباتات فتكون أصيلة في الصفة، ويحصل على نسبتها بطرح نسبة النباتات الخليطه من مئة ويعنى ذلك أن نسبة النباتات الخليطة في أى عامل وراثى تصبح على سبيل المثال ٥٦٢٥ ١٪ بعد ٦ أجيال من التلقيح الذاتى، و ٣٩ ٠٪ بعد ٨ أجيال، و ٠٩٨ ٠٪ بعد ١٠ أجيال، و ٠٠٠٠٣ ٠٪ بعد ١٥ جيلا وهكذا فلو ظهرت طفرة أدت إلى تغير التركيب الوراثى الأصيل W^1W^1 إلى W^1W^2 كما فى شكل (٦ ١) فإن التلقيح الذاتى المستمر يؤدى إلى اختفاء النباتات الخليطة فى هذه الطفرة و نعزل مجموعتين من النباتات، تكون إحداهما أصيلة فى الجين الأصلى W^1W^1 والأخرى أصيلة فى الطفرة W^2W^2 وإذا حدث تلقيح خلطى طبيعى بين نباتين من هاتين المجموعتين فإن مصير النبات الخليط الناتج W^1W^2 يكون هو نفس مصير النبات الذى ظهرت فيه الطفرة الأصيلة، حيث يؤدى التلقيح الذاتى المستمر إلى نقص نسبة النباتات الخليطة فى النسل بمقدار النصف بعد كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى كما سبق بيانه ويعنى ذلك أن الأصالة الوراثية تكون هى السمة المميزة لعشائر النباتات الذاتية التلقيح



شكل (٦–١): تأثير التلقيح الذاتى على النسبة المئوية للنباتات الخليطة يلاحظ أن نسبة النباتات الخليطة تقل بمقدار النصف مع كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى (عن Brewbaker ١٩٦٤)

السلالات النقية

تعّرف السلالة النقية Pure Line بأنها النسل الناتج من الإكثار الجنسى لأى نبات ذاتى التلقيح، كما يعد النسل الناتج من الإكثار الجنسى لأفرادها من نفس السلالة

النقية مادام لا يحدث بها أى تغير وراثى بطريق الطفرات، أو نتيجة التلقيح الخلطى مع نباتات من خارج السلالة، ويتضح من التعريف السابق أنه يشترط – لإطلاق اسم سلالة نقية على نباتات محصول ما – أن يكون إكثاره جنسيًّا، وتلقيحه ذاتيًّا، وأن تبدأ السلالة بنسل نبات واحد فقط ولكنها يمكن أن تتسع لتشمل أنسال هذه النباتات أيضًا

كان يوهانسن Johannsen هو الذى توصل إلى ما عرف بنظرية السلالة النقية Pure line theory وذلك فى عام ١٩٠٣ بعد دراسات مستفيضة أجراها على الفاصوليا التى تعد من المحاصيل الذاتية التلقيح، والتى يندر أن يحدث فيها تلقيح خلطى. وقد لاحظ يوهانسن وجود اختلافات كبيرة فى وزن البذور الجافة فى الصنف الواحد، وفى نسل النبات الواحد، وبدأ دراسته بأن سجل وزن ٥٤٩٤ بذرة – كل على حدة - من صنف الفاصوليا Princess، فوجد أن أوزانها قد توزعت توزيعا طبيعيًّا، وكان المتوسط العام لوزن البذرة الواحدة ٤٩٥ مجم. قام يوهانسن باختيار عدد من البذور، تمثل المدى العام لوزن البذرة، وزرعها فى الموسم التالى، ثم اعتنى بتسعة عشر نباتا منها حتى النضج، حيث حصد بذور كل نبات على حدة، ثم قدر متوسط وزن البذرة فى كل نسل منها، فوجد أنها تراوحت من ٣٥٠ إلى ٦٤٠ مجم/بذرة. كما وجد أن متوسط وزن البذرة كان عاليًا فى النباتات التى نتجت عن زراعة بذور كبيرة، ومنخفضًا فى النباتات التى نتجت من زراعة بذور صغيرة، وهو ما يدل على أن الانتخاب - فى تلك المرحلة - كان فعالا حافظ يوهانسن بعد ذلك على السلالات التسع عشرة، بزراعتها لمدة ستة أجيال، ووجد أن متوسط وزن البذرة ظل ثابتًا فى كل سلالة، طوال فترة التجربة حيث تراوح من ٦٤٠ مجم/بذرة فى السلالة رقم ١ إلى ٣٥٠ مجم/بذرة فى السلالة رقم ١٩

وبالإضافة إلى ما تقدم قام يوهانسن بزراعة أكبر، وأصغر البذور من كل من السلالات التسع عشرة، ووجد أن متوسط وزن البذرة مساو دائمًا – فى نسل النباتات التى نتجت من زراعة بذور كبيرة – لمتوسط الوزن فى نسل النباتات التى نتجت من زراعة بذور صغيرة، وذلك فى كل من السلالات التسع عشرة (جدول ٦–١)، ولم تتغير تلك الحقيقة رغم استمراره فى انتخاب أكبر البذور وأصغرها لستة أجيال متتالية

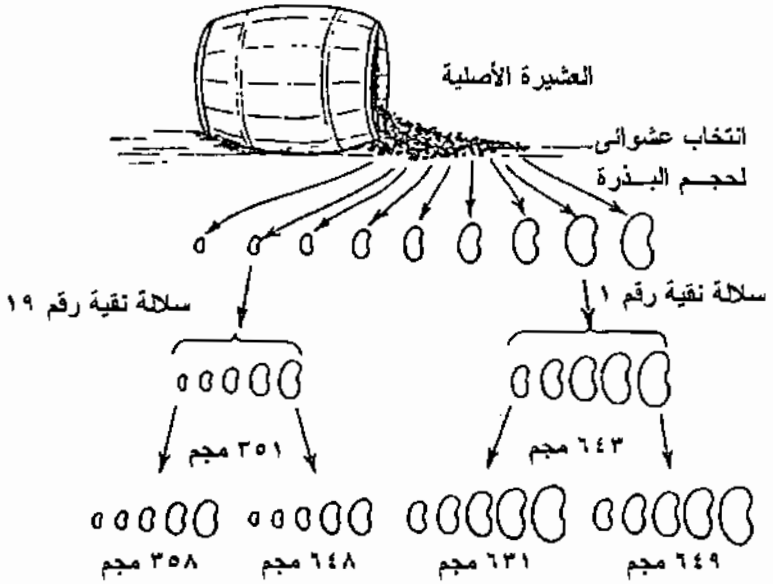
(جدول ٦–٢) . إلا أنه كانت تظهر فى كل جيل اختلافات قليلة فى أوزان البذور، داخل كل نسل (شكل ٦–٢)

جدول (٦–١): تباين السلالات النقية لصنف الفاصوليا **Princess** فى متوسط وزن البذرة، وتأثير الانتخاب داخل كل سلالة لجيل واحد على متوسط وزن البذرة (عن Merrell ١٩٧٥).

السلالة	متوسط وزن البذرة (بالسنتيجرام)	عدد البذور المثلة للسلالة	وزن البذور المنتخبة كأمهات					
			٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠
			متوسط وزن بذرة النسل (بذكر عدد البذور الموزونة بين الأقواس)					
١	٦٤,٢	(١٤٥)					٦٣,١ (٥٤)	٦٤,٩ (٩١)
٢	٥٥,٨	(٤٧٥)			٥٧,٢ (٨٦)	٥٤,٩ (١٩٥)	٥٦,٥ (١٢٠)	٥٥,٥ (٧٤)
٣	٥٥,٤	(٢٨٢)				٥٦,٤ (١٤٤)	٥٦,٦ (٤٠)	٥٤,٤ (٩٨)
٤	٥٤,٨	(٣٠٧)				٥٤,٢ (٣٢)	٥٣,٦ (١٦٣)	٥٦,٦ (١١٢)
٥	٥١,٢	(٢٥٥)			٥٢,٨ (١٠٧)	٤٩,٢ (٢٩)		٥٠,٢ (١١٩)
٦	٥٠,٦	(١٤١)		٥٣,٥ (٢٠)	٥٠,٨ (١١١)		٤٢,٥ (١٠)	
٧	٤٩,٢	(٣٠٥)	٤٥,٩ (١٦)		٤٩,٥ (٢٦٣)		٤٨,٢ (٢٧)	
٨	٤٨,٩	(١٥٩)		٤٩,٠ (٢٠)	٤٩,١ (١١٩)	٤٧,٥ (٢٠)		
٩	٤٨,٢	(٢٤١)		٤٨,٥ (١١٧)		٤٧,٩ (١٢٤)		
١٠	٤٦,٥	(٥٣٣)		٤٢,١ (٢٨)	٤٦,٧ (٤١٢)	٤٦,٩ (٩٣)		
١١	٤٥,٥	(٤١٨)		٤٥,٢ (١١٤)	٤٥,٤ (٢١٧)	٤٦,٢ (٨٧)		
١٢	٤٥,٥	(٨٣)	٤٩,٦ (١٤)			٤٥,١ (٤٢)	٤٤,٠ (٢٧)	
١٣	٤٥,٤	(٧١٢)		٤٧,٥ (٩٣)	٤٥,٠ (٢١٩)	٤٥,١ (٢٠٥)	٤٥,٨ (٩٥)	
١٤	٤٥,٣	(١٠٦)		٤٥,٤ (٢١)	٤٦,٩ (٥١)		٤٢,٨ (٣٤)	
١٥	٤٥,٠	(١٨٨)	٤٦,٩ (١٨)			٤٤,٦ (١٣١)	٤٥,٠ (٣٩)	
١٦	٤٤,٦	(٢٧٣)		٤٥,٩ (١٤٧)	٤٤,١ (٩٠)	٤١,٠ (٣٦)		
١٧	٤٢,٨	(٢٩٥)	٤٤,٠ (٧٨)		٤٢,٤ (٢١٧)			
١٨	٤٠,٨	(٣٥٧)	٤١,٠ (٥٤)	٤٠,٧ (٢٠٣)	٤٠,٨ (١٠٠)			
١٩	٣٥,١	(٢١٩)		٣٥,٨ (٧٢)	٣٤,٨ (١٤٧)			

جدول (٦-٢): تأثير انتخاب البذور الخفيفة والثقيلة لستة أجيال فى السلالة رقم ١ من صنف الفاصوليا Princess

سنة الحصاد	متوسط وزن بذور الأمهات المنتخبة			متوسط وزن بذور النسل		
	الوزن الخفيف	الوزن الثقيل	الفرق	الوزن الخفيف	الوزن الثقيل	الفرق
١٩٠٢	٦٠	٧٠	١٠	٦٣,١٥	٦٤,٨٥	+ ١,٧٠
١٩٠٣	٥٥	٨٠	٢٥	٧٥,١٩	٧٠,٨٨	- ٤,٣١
١٩٠٤	٥٠	٨٧	٣٧	٥٤,٥٩	٥٦,٦٨	+ ٢,٠٩
١٩٠٥	٤٣	٧٣	٤٠	٦٣,٥٥	٦٣,٦٤	+ ٠,٠٩
١٩٠٦	٤٦	٨٤	٣٨	٧٤,٣٨	٧٣,٠٠	- ١,٣٨
١٩٠٧	٥٦	٨١	٢٥	٦٩,٠٧	٦٧,٦٦	- ١,٤١



شكل (٦-٢): رسم تخطيطى لدراسات يوهانسن على متوسط وزن البذرة فى صف السلالة Princess، والتى توصل منها إلى نظرية السلالة النقية pure line theory يلاحظ من الشكل أن العشيرة الأصلية كانت متباينة فى متوسط وزن البذرة، وعندما زرعت تلك البذور أعطت كلا منها سلالاً تباين فى أوزان بذوره إلا أن متوسط وزن بذور كل نسل كان قريبًا من وزن البذرة التى أنتجته، واستمر ذلك الأمر حتى مع تكرار الانتخاب فى وزن بذور كل نسل لجيل ثان (عن Pochlman & Sleper ١٩٩٥).

وقد توصل يوهانسن – من هذه الدراسة – إلى أن نسل أى نبات ذاتى التلقيح يكون عباره عن سلالة نقية لا يجدى فيها الانتخاب، ورغم أنه قد يظهر بين نباتاتها بعض الاختلافات، إلا أنها تكون بيئية ولا تورث ويفسر ذلك – وراثيًا على أساس أن التلقيح الذاتى المستمر فى النباتات الذاتية التلقيح يجعل كل نبات فى العشيرة أصيلاً وراثيًا ونظرا لأن أية طفرة حدثت فى الماضى تكون قد انعزلت إلى فئتين من النباتات أصيلة سائدة، وأصيلة متنحية فإن نباتات العشائر الطبيعية قد تختلف عن بعضها وراثيًا ويودى التلقيح الذاتى لأى نبات منها إلى إنتاج سلالة نقية لا تظهر بها أية انعزالات وراثية، لأنها تنتج من التقيح الذاتى لنبات أصيل وراثيًا. وتتحدد لاختلافات بين هذه السلالات بمدى الاختلافات الوراثية بين النباتات التى انحدرت منها وإذا ظهرت اختلافات بين نباتات كل سلالة فإن مردها يكون إلى البيئة ولا تورث ويفسر ذلك الاختلافات التى حصل عليها يوهانسن بين السلالات التسع عشرة، ثم ثبات صفاتها بعد ذلك رغم استمرار انتخابه لأكبر البذور وأصغرها فى كل سلالة منها لستة أجيال

يمكن – استنادًا إلى ما تقدم – وصف السلالة النقية بأن جميع أفرادها تكون أصيلة وراثيًا، ومتماثلة تمامًا مع بعضها فى تركيبها الوراثى، أى إنها تكون 100% homozygous، و 100% homogenous، وغنى عن البيان . أن أفرادها لا تكون أصيلة سائدة فقط أو أصيلة متنحية فقط فى جميع العوامل الوراثية، بل إن العكس هو الصحيح، حيث تكون بعض المواقع الجينية أصيلة سائدة، وبعضها الآخر أصيلة متنحية

الأصناف البلدية (غير المحسنة)

تعد الأصناف البلدية غير المحسنة land varietes عشائر طبيعية، أدخلت فى الزراعة فى المناطق التى تنتشر فيها زراعة هذه الأصناف، وهى تتميز بتأقلمها على الظروف البيئية السائدة، وتحملها للآفات المنتشرة فى هذه المناطق، لذا فإنها تعد مصدرا جيدا لهذه الصفات على الرغم من أنها قليلة التجانس. وأقل محصولا وجودة من الأصناف المحسنة

تتميز عشائر الأصناف البلدية من المحاصيل الذاتية التلقيح بأنها قليلة التجانس، حيث تظهر اختلافات مظهرية واضحة بين أفرادها ويكون لها أساس وراثي، كما أن كل فرد منها يكون أصيلا وراثيًا بدرجة عالية، ولكن أصالتها الوراثية تظل - غالبا - أقل من ١٠٠٪، ويفسر ذلك على أساس أن ظهور أية طفرة يتبعه انعزال فئتين أصيلتين من النباتات، تحتوى إحداهما على الجين الطبيعي وتحتوى الأخرى على الطفرة ومن الطبيعي أن الطفرات تحدث فى نباتات مختلفة، ثم تتأصل فى نسلها فقط، بينما تظل بقية النباتات فى العشيرة خالية منها ورغم ضآلة معدل ظهور الطفرات الطبيعية إلا أنها تظهر على مر السنين، وفى عديد من المواقع الجينية، وهو ما يؤدى إلى عدم تجانس أفراد العشيرة الواحدة فى تركيبها الوراثي ويساعد حدوث نسبة بسيطة من التلقيح الخلطى إلى ظهور عديد من الانعزالات الوراثية، التى تتأصل مرة أخرى مع معاودة التلقيح الذاتي، فتبقى النباتات أصيلة، ولكن تزيد بالعشيرة حالة عدم التجانس الوراثي. وبرغم أن التلقيح الذاتي يؤدى إلى الأصالة الوراثية التامة إلا أنها تظل أقل من ١٠٠٪، بسبب التلقيحات الخلطية القليلة التى قد تحدث - أحيانا - بين النباتات التى تختلف عن بعضها وراثيًا.

الأصناف المحسنة الثابتة وراثياً

تعرف الأصناف المحسنة improved varieties غير الهجين من المحاصيل الذاتية التلقيح بأنها ثابتة وراثيًا stable، وذاتية الإكثار self-reproducing، وصادقة التربية true-breeding، وذلك لأن هذه الأصناف تكثر بواسطة نسلها الناتج من التلقيح الذاتي الطبيعي، ولا تتغير صفاتها من جيل إلى آخر. هذا .. ولا يجوز - كما يحلو للبعض وصف تلك الأصناف بأنها مفتوحة التلقيح، لأنها ليست كذلك؛ فالتلقيح المفتوح هو التلقيح الخلطى العشوائى

تتميز هذه الأصناف بأنها تكون على درجة عالية من التجانس الوراثي highly homogenous لأنها تكثر - منذ بداية إنتاجها - من نباتات متجانسة مظهريًا ووراثيًا فى جميع الصفات الاقتصادية المهمة، كما تتم المحافظة عليها من أى خلط وراثي باستئصال النباتات المخالفة للصنف التى تظهر كطفرات - أولاً بأول - من حقول

إنتاج البذور، التي تعزل بدورها عن حقول الأصناف الأخرى بمسافة مناسبة. تمنع حدوث أي خلط ميكانيكي أو وراثي. ويكون كل نبات في العشيرة أصيلا وراثيًا، بدرجة تصل إلى ١٠٠ في جميع الصفات الاقتصادية المهمة، ولكن تبقى دائما حالات قليلة من الخلط الوراثي heterozygosity في بعض المواقع التي لا يكون لها تأثير مظهري واضح وبينما يرجع الأصله إلى التلقيح الذاتي المستمر فإن الخلط الوراثي يحدث عند التلقيحات الخلطيه التي تحدث بنسبة منخفضة بين أفراد تكون حاملة لاليلات مختلفه من عدد الجينات

الأصناف الهجين

تستخدم الأصناف المحسنه المنتجه وراثيًا، أو السلالات النقية كآباء لإنتاج الأصناف الهجين من المحاصيل الذاتية التلقيح. ونظرا لأن أيًا من الآباء المستخدمة يكون أصيلا وراثيًا، ولا ينتج سوى نوع واحد من الجاميطات. لذا فإن اتحاد جاميطات الأبوين ينتج عنه تركيب وراثي واحد هو الصنف الهجين، أي إن الصنف الهجين يكون متجانسا بنسبة ١٠٠٪ أو قريبا من ذلك. هذا وتختلف الآباء المستخدمة في إنتاج الصنف الهجين عن بعضها وراثيًا - إلى حد كبير - (تزيد عادة قوة الهجين كلما بعدت القرابة بين الأبوين) وهو ما يعني أن النباتات الهجين تكون على درجة عالية من الخلط الوراثي highly heterozygous

عشائر النباتات الخلطية التلقيح

تتميز عشائر النباتات الخلطية التلقيح – التي تكثر بالتلقيح الخلطي الطبيعي بين أفرادها بأنها تكون غير متجانسة وراثيًا heterogenous، كما تكون أفرادها خليطه وراثيًا heterozygous، ولكن تتفاوت النوعيات المختلفة من عشائر هذه النباتات في درجتي عدم التجانس والخلط الوراثي، ويعد التلقيح الخلطي - الذي تكثر به هذه العشائر في الطبيعة - المسئول الأول عن حالتي عدم التجانس والخلط الوراثي فيها لأنه يؤدي إلى تكوين وانعزال تراكيب وراثية جديدة بصفة دائمة، بينما لا تتوفر الفرصة لحدوث تلقيح ذاتي، بمعنى أن يؤدي إلى تأصيل الصفات

وتشترك جميع الجينات الموجودة فى العشيرة الواحدة، التى تدخل فى شتى التراكيب الوراثية التى تمثل أفرادها العشيرة فيما يسمى بمجمع الجينات gene pool، الذى يعطى – فى المتوسط نفس التأثير فى الشكل المظهرى من جيل إلى آخر مادام أنه لا يحدث تغيير فى نسبة الآليلات المختلفة لكل جين فى العشيرة ولكن يتحدد مصير الجين فى العشائر الطبيعية بمدى تأثيره فى الشكل المظهرى؛ فإن كان تأثيره ضارا فإن نسبته تقل تدريجيًا، والعكس صحيح، وإذا كان الجين ذو التأثير الضار مرتبطا بجين آخر ذى تأثير مفيد فإن نسبة الجين الضار تبقى مرتفعة - إلى حد ما بسبب الانتخاب الذى يحدث لصالح الجين المفيد المرتبط معه ولكن يتوقف التوازن النهائى على مدى الضرر الذى يحدثه الجين الضار، ومدى الفائدة التى تعود من الجين المفيد وعندما تصل العشيرة إلى حالة التوازن فإن نسبة آليلات الجينات المختلفة تظل ثابتة من جيل لآخر مادامت الظروف البيئية لم تتغير

وبناء على ما تقدم بيانه فليس هدف مربى المحاصيل الخلطية التلقيح هو البحث عن نبات، أو مجموعة نباتات ذات تركيب وراثى جيد، بل هو البحث عن مجمع للجينات تعطى أفرادها - معا - أشكالا مظهرية مرغوبًا فيها ومتقاربة (رغم أنها تكون خليطة وتختلف وراثيًا عن بعضها) مع دوام نفس التأثير جيلا بعد آخر

ويمكن القول .. إن مصير أى جين فى مجمع الجينات يتوقف على مدى تأثيره فى كل من الحالات التالية:

١ – الحالة الأصيلة

٢ – الحالة الخليطة مع الآليلات الأخرى للجين فى نفس الموقع

٣ حالات الانعزالات التى تؤثر فيها جينات أخرى غير آليلية عليها (حالات التفوق epistasis)

٤ – حالات الارتباط المديد مع الجينات الأخرى الضارة أو المفيدة

يتضح من كل ما تقدم أن فهم الأساس الوراثى للنباتات الخلطية التلقيح يتطلب دراسة الجينات فى العشائر، وبعد قانون هاردى – فينبرج وسيلة لتحقيق هذا الهدف

الأصناف البلدية (غير المحسنة)

تتميز الأصناف البلدية غير المحسنة من المحاصيل الخلطية التلقيح بأنها تكون على درجه عاليه من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous، الذى يكون مصاحبا بقدر كبير من عدم التجانس المورفولوجى، لأن نباتات العشيرة تكون غالبا غير متجانسه فى كل من الصفات الاقتصادية الظاهرة وغير الظاهرة (وهى التى يلزمها التعرض لظروف بيئية معينه، حتى يمكن تمييزها) على حد سواء وبالإضافة إلى ذلك فإن كل نبات فى العشيره يكون خليطا بدرجة عالية highly heterozygous ويكون مرد ذلك كله إلى التلقيح الخلطى، مع حالة الإهمال التى تعامل بها الأصناف البلدية – عادة – حيث لا تجرى محاولات لتحسينها، وجعلها أكثر تجانسا

الأصناف المحسنة المفتوحة التلقيح

نطلق على الأصناف المحسنة التى تكثر بالتلقيح الخلطى الطبيعى العشوائى بين أفرادها اسم الأصناف المفتوحة التلقيح Open-pollinated Varieties لا يجوز إطلاق هذا الوصف على الأصناف غير الهجين من المحاصيل الذاتية التلقيح كما أسلفنا ونظرا لأن هذه الأصناف تعد محسنة، لذا فإنها تكون – عادة – أصيلة فى الصفات الاقتصادية المهمة، خاصة النوعية منها، فإذا كان الصنف المفتوح التلقيح المحسن مقاوم لمرض معين، أو يتميز بلون أو شكل معين للثمار فإن جميع نباتات الصنف تكون أصيله ومتجانسة فى هذه الصفات كما يحاول المربى أيضا – تأصيل الصفات الكميه المهمة، ولكن هذا الهدف ربما لا يتحقق كاملا، وبذا يبقى جزء من الجينات التى تتحكم فى الصفات الكمية الاقتصادية، والجينات الأخرى التى تتحكم فى الصفات غير المنظورة بحالة خليطة، ويتحدد المظهر العام للعشيرة بحالة التوازن التى تصل إليها نسب آليلات كل جين، تبعا لقانون هاردى هينبرج ويساعد التلقيح الخلطى المستمر على بقاء النباتات خليطة heterozygous، والعشيرة غير متجانسة heterogenous فى هذه الصفات وتتوقف درجتا الخلط وعدم التجانس الوراثى على نسبة المواقع الجينية غير الأصيلة، وهى التى تقل كلما أعطى المربى اهتمامًا أكبر لتجانس الصفات فى العشيرة، قبل نشر زراعتها كصنف جديد

السلالات المرباة داخلياً

تستعمل السلالات المرباة داخليًا Inbred lines من المحاصيل الخلطية التلقيح كآباء في الهجن التجارية، وهي تنتج بالتلقيح الذاتي الصناعي المستمر لعدة أجيال، وهو ما يعرف بالتربية الداخلية Inbreeding

تتميز السلالات المرباة – داخليًا – بأنها تكون على درجة عالية من التجانس الوراثي highly homogenous، وأن نباتاتها تكون على درجة عالية من الأصالة الوراثية highly homozgyous، ولكن بدرجة أقل مما في السلالات النقية pure lines التي يكون تجانسها وأصالتها الوراثية تأمين، ويرجع السبب في ذلك إلى أن التلقيح الذاتي الصناعي المتبع في إنتاج السلالات المرباة داخليًا نادرا ما يدوم لأكثر من ستة أجيال، ثم تكثر السلالات – بعد ذلك – بالتلقيح الخلطي بين نباتات كل سلالة (sib pollination) ويسمح هذا العدد من أجيال التلقيح الذاتي بوجود نسبة بسيطة من الأفراد الخليطة في كل موقع جيني، كما يؤدي إكثار السلالة بالتلقيح الخلطي بين نباتاتها إلى حدوث بعض الانعزالات الوراثية، وهو ما يجعلها أقل تجانسا من السلالات النقية

ونظرا لأن بعض الأنواع النباتية تتدهور بشدة مع التربية الداخليه، لذا فإن المربي يلجأ إلى إكثارها بالتلقيح الخلطي بين نباتات النسل الواحد بعد الجيل الثالث – أو الرابع - للتلقيح الذاتي، ويقابل ذلك نقص في كل من درجتي التجانس الوراثي والأصالة الوراثية

الأصناف الهجين

تتشابه هجن المحاصيل الخلطية التلقيح مع هجن المحاصيل الذاتية التلقيح في كونها على درجة عالية من التجانس الوراثي highly homogenous، وأن نباتاتها خليطة وراثيًا بدرجة عالية highly heterozygous ويقال في تفسير ذلك ما سبق ذكره بالنسبه لهجن المحاصيل الذاتية التلقيح، لأن الآباء التي تستخدم في إنتاج الهجن في كليهما عبارة عن سلالات أصيلة لا تنعزل ويشذ عن ذلك هجن بعض المحاصيل

الخلطيه التلقيح، التى تدهور بسدة بالتربية الداخلية، والتى لا يمكن إكتار سلالاتها المربة د حلبًا بالتلقيح الذاتى بعد الجيل الثالث

عشائر النباتات الخضرية التكاثر

يؤدى التراكم المستمر للطفرات فى النباتات الخضرية التكاثر إلى جعلها على درجة عاليه من الخلط الوراثى highly heterozygous، خاصة أنها تتكاثر خضريًا ولا تمر بالتلقيح الذاتى، فإذا حدثت طفرة، وغيرت موقعا جينيًا متلا من AA الى Aa فإنه يبقى على هذه الصورة مع ستمرار الإكثار الخضرى ويؤدى ظهور مزيد من الطفرات على مر السنين فى نسل نفس النبات الذى ظهرت فيه الطفرة إلى أن يصبح النبات خليط بدرجة كبيرة، وهذا هو الطابع العام المميز لجميع عشائر النباتات لخضرية التكاثر، ولكنها تختلف فيما بينها فى درجة التجانس الوراثى homogenity بين أفرادها

العشائر الطبيعية

تتميز العشائر الطبيعية من النباتات الخضرية التكاثر بأنها تكون على درجه عالية من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous، ويرجع ذلك إلى أن الطفرة التى تظهر فى نبات ما تظل محصورة فى نسل هذا النبات فقط ونظرا لأن الطفرات تظهر عشوائيًا فى أى نبات، لذا نجد أن العشيرة الطبيعية تتباين كثيرًا فى صفاتها الوراثية، ويكون ذلك مصاحبا بتباين مماثل فى الشكل المظهرى لنباتاتها وتكون العشائر الطبيعيه على درجة عالية من الخلط الوراثى، مثل بقية عشائر النباتات الخضرية التكاثر

الأصناف البلدية غير المحسنة

تتشابه الأصناف البلدية غير المتجانسة مع العشائر الطبيعية وراثيًا إلى حد كبير، إلا أنها تكون على درجة أعلى من التجانس الوراثى بين أفرادها، بسبب اهتمام المزارعين بإكثار النباتات المميزة فى صفاتها وبرغم أن نباتات البستان الواحد قد

تكون متجانسة إلى حد ما . إلا أن الصنف – عامة – يبقى غير متجانس إلى حد كبير، ويمكن ملاحظة اختلافات كبيرة بين نباتات الصنف الواحد من مزرعة إلى أخرى.

السلالات الخضرية

إن السلالة الخضرية Clone هى النسل الناتج من الإكثار الخضرى لنبات واحد، ويمكن أن ينتمى النسل الناتج من الإكثار الخضرى لنباتات السلالة الخضرية إلى نفس السلالة الخضرية أيضًا مادام أنه قد أمكن تتبع النسب، مع التأكد من عدم ظهور طفرات بها.

وبينما تكون نباتات السلالة الخضرية على درجة عالية من الخلط الوراثى (مثل باقى عشائر النباتات الخضرية التكاثر) .. فإنها تكون متجانسة بنسبة ١٠٠٪؛ لأن مرد جميع أفرادها يكون إلى نبات واحد أكثر خضريًا. ويفسر ذلك عدم جدوى الانتخاب فى السلالة الخضرية الواحدة.

وإلى جانب ما تقدم بيانه من خصائص .. فإن السلالة الخضرية تتميز – كذلك – بما يلى:

١ – يتحدد الشكل المظهرى للسلالة الخضرية بتأثيرات كل من التركيب الوراثى G، و العوامل البيئية E، والتفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة GE، أى إن:

$$P = u + G + E + GE$$

حيث إن: P الشكل المظهرى للسلالة الخضرية، و u المتوسط العام للعشيرة

ويعنى ذلك أن الاختلافات المظهرية بين السلالات الخضرية يكون مردها جزئيًا إلى تراكيبها الوراثية، وجزئيًا إلى البيئة والتفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة. وبذا .. فإن كفاءة الانتخاب بين السلالات الخضرية تتحدد – مثلما تتحدد فى السلالات النقية – بمدى دقة تقدير مكونات تأثير البيئة والتفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة على الشكل المظهرى.

٢ – استمرار احتفاظ السلالة الخضرية بجميع صفاتها إلى ما لا نهاية، ما لم تظهر بها طفرات، وتكون فرصة ظهور الطفرات السائدة أكبر كثيرًا من فرصة ظهور الطفرات

لمتنحية، ذلك لأن الطفرات المتنحية لا تظهر إلاّ فـي إحـدى حـالتين نادرتـا الحـدث. هما

أ أن يكون النبات خليط أصلا فى الموقع الجينى الذى حدثت فيه الطفرة

ب أن تحدث الطفرة المتنحيه فى كلا الآليلين السائدين فى آن واحد

٣ تتعرض السلالات الخضرية للتدهور الشديد فى قوة النمو مـع التربيـة الداخليـة نظرا لان أفرادها تكون على درجة عالية من الخلط الوراثى

٤ تتعرض السلالات الخضرية للتدهور سنة بعـد أخـرى دونمـ تربيـة داخليـة وهى ظاهرة التى تعرف باسم clonal degeneration والتى قـد ترجـع إمـا إلى ظـهور الطفرات بها، وإما إلى اصابتها بالفيروسات (عن Singh ١٩٩٣)

الأصناف المحسنة

تكون الأصناف المحسنه على درجة عالية من الخلط الوراثى highly heterozygous. كغيرها من عشائر النباتات الخضرية التكاثر، إلا أنها تكون على درجة عالية جـدًا مـن التجانس الوراثى highly homogenous. ذلك لأنها تنشأ بالإكثار الخضرى لنبات واحد متميز، ولا تحدث اختلافـات وراثيـه بينـها، إلا إذا ظـهرت طفرات فيـها، ولم تنتبـه اليها. وظلت تكثر مع الصنف الأصلى، حيث تتميز - حينئـذ - سـلالات جديـدة مـن كل صنف، قد تكثر منفردة بدورها، وتصبح أصنافا جديدة

الهجن

إن هجن النباتات الخضريه التكاثر ليست سوى أصنـاف محسـنه، نشـأت بالإكثـار الخضرى لنبات هجين جيد الصفات، وبذا فإنها تتشابه مع الأصناف المحسـنة فـى كون نباتاتها على درجه عاليه من الخلط الوراثـى highly heterozygous، بينـما تكـون أفراد العشيرة الواحدة على درجة عالية من التجانس highly homogenous

هذا ويصعب إجراء التحليل الوراثـى للصفـات فـى النبـات الخضريـة التكـاثر، بسبب ضعف ازهارها، وكبرة عقمـها، ولأنـها معمـرة، بالإضافـة إلى مشـاكل لضـعف لكروموسومى فيها

ويلخص جدول (٦ ٣) الخصائص العامه المميزة لمختلف العشائر النباتية

قانون هاردى/فينبرج

يستخدم قانون هاردى/فينبرج Hardy-Weinberg Law فى دراسة العشائر المندلية Mendelian populations، وهى العشائر التى تتكون من أفراد تتزاوج مع بعضها جنسيًا وقد بدأت دراسة العشائر من الوجهة الوراثية منذ عام ١٩٠٨، حينما قدم كل من هاردى فى إنجلترا، وفينبرج من ألمانيا (فى عام ١٩٠٩) قواعد جديدة لدراسة تكرار الجينات gene frequencies فى العشائر المندلية ويُقصد بالتكرار الجينى لجين ما فى العشيرة . توضيح إن كان هذا الجين نادرًا فى العشيرة أو غير نادر بالنسبة لآليلاته الأخرى الموجودة فى نفس العشيرة.

جدول (٦-٣): الخصائص العامة المميزة لمختلف العشائر النباتية (عن Chopra ٢٠٠٠).

العشيرة (أ)	نوع التلقيح	التركيب الوراثى للفرد	التركيب الوراثى للعشيرة	الثبات مع الإكثار	إمكانية إعادة تكون العشيرة مرة أخرى
السلالة النقية	ذاتى	أصيل	متجانسة	ثابتة	غير ممكنة
الهجين	ذاتى وخلطى	خليط	متجانس	غير ثابت	ممكنة
الـ composites	خلطى	أصيل وخليط	غير متجانسة	ثابتة مورفولوجيا	غير ممكنة
التركيبية	خلطى	أصيل وخليط	غير متجانسة	ثابتة مورفولوجيا	ممكنة
متعددة السلالات	ذاتى	أصيل	غير متجانسة	ثابتة	ممكنة
مخاليط الأصناف	ذاتى	أصيل	غير متجانسة	ثابتة	ممكنة

(أ) تعتبر جميع العشائر متجانسة مورفولوجيًا.

وقد أظهر هاردى وفينبرج أن العشائر المندلية تحتوى على أى نسب لكل من الآليلات السائدة والمتنحية لأى جين دونما أية علاقة بالنسب المندلية المعروفة، وأن التكرار النسبى لكل آليل يبقى ثابتا من جيل إلى آخر إذا ما توفرت شروط معينة

افتراضات قانون هاردى/فينبرج

يفترض قانون هاردى/فينبرج توفر الشروط التالية :

١ - ألا يحدث انتخاب طبيعى، أو انتخاب بواسطة الإنسان لصالح أى من التراكيب الوراثية فى العشيرة، أو ضدها

٢ – أن يكون التزاوج بين أفراد العشيرة عشوائيًا random mating ويقصد بذلك أن يكون لكل نبات نفس الفرصة لأن يُلقَّح بحبوب لقاح من أى نبات آخر

٣ – أن تكون العشيرة كبيرة بالقدر الذى يسمح بحدوث كل التزاوجات الممكنة بين أفرادها

٤ – ألا تحدث هجرة migration إلى العشيرة من عشائر مندلية أخرى

٥ – أن يكون معدل حدوث الطفرات الشائعة واحدًا فى كلا الاتجاهين، أى بنفس المعدل من A إلى a مثلاً، كما هو من a إلى A.

٦ - أن تتساوى جميع أفراد العشيرة فى حيويتها وخصوبتها.

نص قانون هاردى/فينبرج

ينص قانون هاردى/فينبرج على أنه إذا كانت نسبة الآليلين A و a فى عشيرة مندلية هى p و q على التوالى (حيث $p + q = 1$) . فإن نسب التراكيب الوراثية المختلفة تكون كما يلى

$$p^2 = AA$$

$$2pq = Aa$$

$$2q = aa$$

حيث $1 = q^2 + 2pq + p^2$

وتصل أية عشيرة إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى، وتظل على حالة التوازن هذه (من حيث نسب التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة، والخليطة، والأصيلة المتنحية لكل موقع جينى) ما دامت شروط القانون قد تحققت ويبين شكل (٦–٣) نسب التراكيب الوراثية المختلفة الأصيلة والخليطة، التى تصل إليها حالة التوازن فى العشيرة عند النسب المختلفة لآليلى الجين

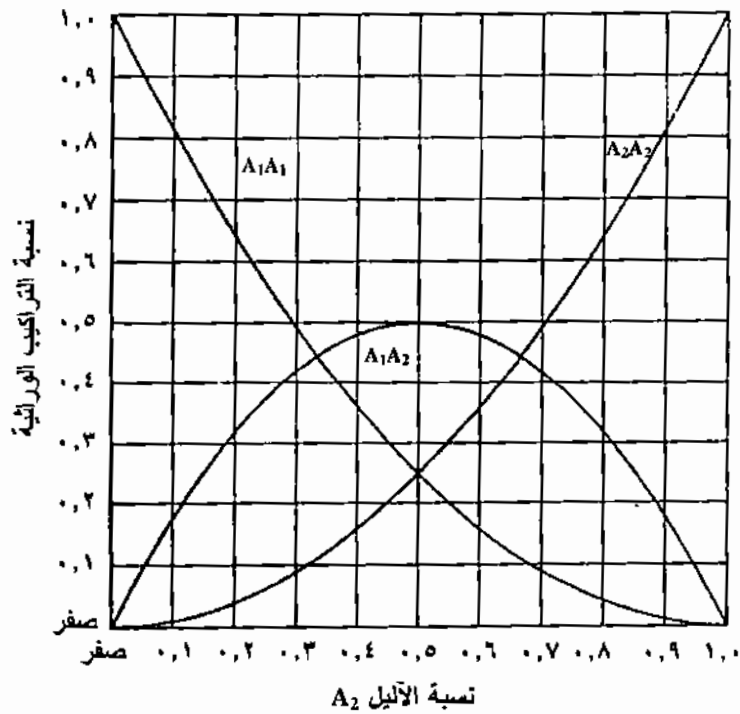
إثبات قانون هاردى/فينبرج

يمكن إثبات قانون هاردى–فينبرج على النحو التالى إذا افترضنا وجود زوج من الآليلات A_1 و A_2 فى أحد المواقع الجينية، ورمزنا لنسب الآليلات والتراكيب الوراثية الأصيلة والسائدة كما يلى

الجينات		التراكيب الوراثية		
A_1	A_2	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
p	q	P	H	Q

فإن ذلك يعنى وجود ٩ تزاوجات عشوائية ممكنة بين التراكيب الوراثية المختلفة يمكن أن تأخذ الرموز التالية:

التراكيب الوراثية ونسبتها فى الأم		التراكيب الوراثية ونسبها فى الأب		
		A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
		P	H	Q
A_1A_1	P	P^2	PH	PQ
A_1A_2	H	PH	H^2	HQ
A_2A_2	Q	PQ	HQ	Q^2



شكل (٦-٣): نسب التراكيب الوراثية المختلفة الأصيلة والخليطة التى تصل إليها حالة التوازن فى العشيرة عند النسب المختلفة لآليلى الجين. يبين المحور الأفقى نسبة الآليل A_2، أما نسبة الآليل A_1 فتكون قيمتها $1-A_2$ عند كل قيمة لنسبة الآليل A2 (Falconer ١٩٨١).

ونظرا لأنه لا يهم مصدر الجاميطات أهى من الأب أم من الأم، لذا فإنه يمكن ضم أنواع ونسب الجاميطات معا، كما يظهر فى العمود الأيمن من جدول (٦ ٤) يلاحظ فى الجدول أن التزاوج $A_1A_1 \times A_1A$ يحدث بنسبة p^2، وينتج عنه تركيب وراثى واحد هو A_1A_1 تكون نسبته p^2 أيضا أما التلقيح $A_1A_2 \times A\ A$ الذى يحدث بنسبه H فإنه ينتج التراكيب الوراثية الثلاثة A_1A_1 بنسبة $\frac{1}{4}H^2$، و $A\ A_2$ بنسبة $\frac{1}{2}H^2$، و A_2A_2 بنسبة $\frac{1}{4}H^2$ وبذا فإنه يمكن الحصول على التراكيب الوراثية التى تنتج من كل تزاوج ونسبتها تظهر محصلة جميع التزاوجات أسفل الجدول، حيث يتبين أن نسبة التراكيب الوراثية المتحصل عليها من جميع التزاوجات هى p^2، و $2pq$، و q^2 للتراكيب الوراثية A_1A، و A_1A_2، و A_2A_2 على التوالى، وهو ما يثبت وصول العشيرة إلى حالة التوازن بعد جيل واحد من التلقيح العشوائى (Falconer ١٩٨١)

جدول (٦ ٤) نسب التراكيب الوراثية المتحصل عليها بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى لعشيرة يوجد فيها ثلاثة تراكيب وراثية هى A_1A_1 بنسبة P، و A_1A_2 بنسبة H، و A_2A_2 بنسبة Q

التزاوج		التراكيب الوراثية التى تنتج من التزاوجات ونسبتها		
نوع التزاوج	نسبته	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
$A_1A_1 \times A_1A_1$	P^2	P^2	----	----
$A_1A_1 \times A_1A_2$	2PH	PH	PH	----
$A_1A_1 \times A_2A_2$	2PQ	----	2PQ	----
$A_1A_2 \times A_1A_2$	H^2	$\frac{1}{4}H^2$	$\frac{1}{2}H^2$	$\frac{1}{4}H^2$
$A_1A_2 \times A_2A_2$	2HQ	----	HQ	HQ
$A_2A_2 \times A_2A_2$	Q^2	----	----	Q^2
المجموع		$(P + \frac{1}{2}H)^2$	$2(P+\frac{1}{2}H)(Q+\frac{1}{2}H)$	$(Q + \frac{1}{2}H)^2$
		p^2	2pq	q^2

مثال افتراضى على إثبات قانون هاردى-فينبرج

كمثال على ما تقدم بيانه نفترض أن المربى كون عشيرة بزراعة ٢٠ نباتا أصيلا متنحيّ (aa) مع ٤٠ نباتا خليطا (Aa)، و ٤٠ نباتًا أصيلا سائدا (AA) فى إحدى

الصفات والمطلوب هو معرفة هل هذه العشيرة فى حالة توازن؟ وإن لم تكن كذلك .. فمتى تصل إلى حالة التوازن؟ وما حالة التوازن التى تصل إليها حينئذ ؟ وتتطلب الإجابة عن هذه الأسئلة أن نفترض حدوث تلقيح عشوائى بين هذه النباتات، لنعرف ما سيكون عليه وضع العشيرة فى الجيل التالى

عندما تكوّن هذه العشيرة جاميطاتها المذكرة والمؤنثة فإنها تكون على النحو التالى.

تنتج الآباء حبوب لقاح تحمل الآليل (A)، وتكون نسبتها p = ٠,٤ (من التراكيب الوراثى AA) + ٠,٢ (من التركيب الوراثى Aa) = ٠,٦ ، كما تنتج حبوب لقاح أخرى تحمل الآليل (a) تكون نسبتها q = ٠,٢ (من التركيب الوراثى Aa) + ٠,٢ (من التراكيب الوراثى Aa) = ٠,٤ وتنتج الأمهات - فى الوقت ذاته – بيضات تحمل الآليل (A) بنسبة p = ٠,٦ ، وبيضات تحمل الآليل (a) بنسبة q = ٠,٤ أيضًا. ويؤدى التزاوج الاعتباطى بينها إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المختلفة فى الجيل الثانى كما يلى

	الأمهات	
الآباء	$A = p = ٠,٦$	$a = q = ٠,٤$
$A = p = ٠,٦$	$AA = p^2 = ٠,٣٦$	$Aa = pq = ٠,٢٤$
$a = q = ٠,٤$	$Aa = pq = ٠,٢٤$	$aa = q^2 = ٠,١٦$

أى إن $AA = p^2 = ٠,٣٦$ ، و $Aa = 2pq = ٠,٤٨$ ، و $aa = q^2 = ٠,١٦$ وتلك هى حالة التوازن التى تصبح عليها العشيرة، وهى التى تصل إليها بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى، تبعًا لقانون هاردى–فينبرج

ولإثبات أن هذا الوضع الجديد هو – فعلاً – حالة التوازن التى تظل عليها العشيرة .. نفترض حدوث تلقيح خلطى مرة أخرى، لنعرف ما سيكون عليه وضع العشيرة بعد جيل آخر من التلقيح العشوائى. نجد أن هذه العشيرة تنتج حبوب لقاح، تحمل الآليل (A) بنسبة q = ٠,٣٦ (من التركيب الوراثى AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٦٠ ، كما تنتج حبوب لقاح أخرى تحمل الآليل (a) تكون نسبتها q = ١٦ ٠ (من التراكيب الوراثى aa) + ٢٤ ٠ (من التركيب الوراثى Aa) = ٠,٤٠ وتنتج الأمهات – فى الوقت ذاته – بيضات تحمل الآليل (A) بنسبة p = ٠,٦ ، وبيضات تحمل الآليل

(a) بنسبة q = ٤ ٠ أيضا ويلاحظ أن نسب الجاميطات المتكونة هى نفس النسب التى كانت عليها الجاميطات فى الجيل السابق؛ لذا فإن التزاوج الاعتباطى بينيا لا يغير من نسب التراكيب الوراثية المختلفة فى العشيرة أى إن العشيرة كانت قد وصلت بالفعل إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى، وتظل على هذا الوضع ما دامت شروط تطبيق القانون قد تحققت.

تطبيق القانون عند وجود أكثر من آليلين للجين

يطبق القانون – أيضا - فى حالة وجود ثلاثة آليلات للجين فى العشيرة، وينص القانون – فى هذه الحالة – على أنه إذا كانت نسبة الآليلات A1، و A_2، و A_3 فى عشيرة مندلية هى p، و q، و r على التوالى (حيث $p + q + r = 1$) فإن نسب التركيب الوراثية المختلفة تكون كما يلى

$p2 - A_1A1$

$q2 - A_2A_2$

$r2 = A_3A_3$

$2pq \quad A_1A_2$

$2pr = A_1A_3$

$2qr = A_2A_3$

حيث $1 = 2qr + 2pr + 2pq + r^2 + q^2 + p^2$

وتصل أية عشيرة إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى، وتظل على حالة التوازن هذه ما دامت شروط القانون قد تحققت.

وسواء وجدت ثلاثة آليلات أم أكثر من كل جين فإن اهتمام المربى يكون منصبا على آليل واحد منها وينظر إلى بقية الآليلات مجتمعة كآليل ثانٍ. وبذا يستمر تطبيق القانون بنفس طريقة تطبيقه عند وجود آليلين فقط للجين

استخدامات القانون فى مجال تربية النبات

يستخدم قانون هاردى–فينبرج فى تقدير مدى التقدم الذى يمكن إحرازه فى تنقية

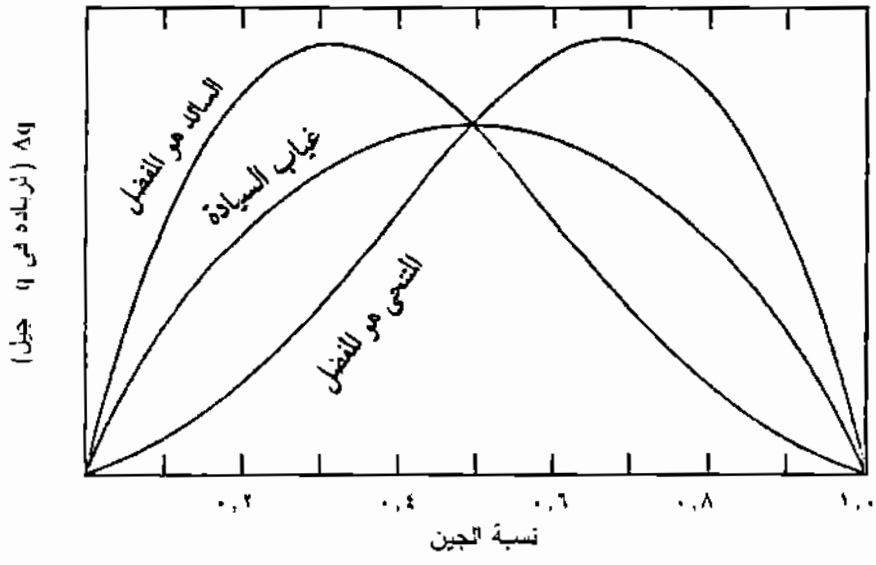
عشيرة ما خلطية التلقيح، من صفة متنحية غير مرغوب فيها، علما بأن الجينات التى تتحكم فى مثل هذه الصفات .. تظل دائمًا مختفية فى الحالة الخليطة. ويؤدى التخلص من النباتات المتنحية الأصلية – التى تظهر بها الصفة قبل الإزهار ـ إلى إحراز تقدم كبير فى خفض نسبة الآليل المتنحى غير المرغوب فيه (أى خفض q) فى الأجيال الأولى من الانتخاب، عندما تكون قيمة q أصلاً كبيرة، ثم يقل التقدم الذى يمكن إحرازه فى كل جيل من الانتخاب، كلما انخفضت قيمة q كما يتبين من جدول (٦–٥). أما إذا أجرى الانتخاب (استبعاد النباتات غير المرغوب فيها) بعد الإزهار .. فإن الانخفاض فى قيمة q يقل معدله بعد كل جيل من الانتخاب إلى نصف ما تكون عليه الحال عند إجراء الانتخاب قبل الإزهار؛ لأن حبوب اللقاح التى تخصب بويضات النباتات المنتخبة تكون من كل من النباتات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها على حد سواء.

جدول (٦–٥): تأثير استبعاد جميع الأفراد الحاملة لصفة متنحية غير مرغوب فيها (q^2) على نسبة الآليل المتنحى (q) فى عشيرة مدلية خلطية التلقيح (عن Burns ١٩٨٣).

عدد الأجيال الانتخابية ضد الصفة	نسبة الآليل المتنحى (q)
صفر (جيل عشيرة الأساس)	٠,٥٠٠
١	٠,٣٣٣
٢	٠,٢٥٠
٣	٠,٢٠٠
٤	٠,١٦٧
٥	٠,١٤٣
٦	٠,١٢٥
٧	٠,١١١
٨	٠,١٠٠
٩	٠,٠٩١
١٠	٠,٠٨٣
٥٠	٠,٠١٩
١٠٠	٠,٠١٠
١٠٠٠	٠,٠٠١

وبدرجه سيادة بالإضافه إلى النسبة الابتدائية للجين في العشيرة أهميه كبيره في تحديد مدى التقدم الذي يمكن تحقيقه بالانتخاب

يوضح شكل (٦ ٤) تأثير نسبة الجين والسيادة على التغير في نسبة الجين (Δq). يلاحظ من الشكل أنه عندما يكون الأليل نادرا في العشيرة، فإن Δq الناتجه عن الانتخاب لصالح هذا الأليل يكون صغيرة ومع زيادة قيمه q بسبب الانتخاب، فإن Δq تزداد حتى تصل إلى حد أقصى عند q = حوالى ٠,٣ في حاله الأليل السائد، وعند q = ٠,٥ عند غياب السيادة، وعند q = ٠,٧ في حاله الأليل المتنحى، وبعد ذلك تنخفض قيمه Δq مره أخرى، نظرا لازدياد نسبة الأليل المرغوب فيه في العشيرة ويتضح من الشكل أن تأثير السيادة هو في تحديد قيمة q التي يحدث عندها أقصى معدل لـ Δq



شكل (٦-٤) التغير في q (أي Δq) لكل جيل في ظل شدة انتخاب ثابته، وتأثير ذلك بالسيادة

ويستفاد مما تقدم أن الانتخاب في عشيرة عشوائية التلقيح يكون شديد الفاعليه في احداث زياده أو نقص في نسب الأليلات، إلا انه لا يكون قادرا على تثبيت الأليلات أو تخليص منها تماما ولكن إذا ما صاحب الانتخاب تربيه داخليه فانه يكون شديد الفاعليه في تثبيت الأليلات أو التخلص منها تماما

مثال افتراضى على تطبيق القانون فى مجال تربية النبات

كمثال على ما تقدم بيانه نفترض أن عشيرة فى حالة توازن كانت فيها نسبة النباتات المتنحية الأصيلة $aa = q^2 = ٠,٣٦$ يعنى ذلك أن نسبة الآليل المتنحى (a) $= q = \sqrt{٠,٣٦} = ٠,٦$، وأن نسبة الآليل السائد (A) $= p = ١ - q = ١ - ٠,٦ = ٠,٤$، وبهذا تكون نسبة التركيب الوراثى السائد الأصيل $AA = p^2 = ٠,٤ \times ٠,٤ = ٠,١٦$، ونسبة التركيب الوراثى السائد الخليط $Aa = 2pq = ٢ \times ٠,٤ \times ٠,٦ = ٠,٤٨$.

فإذا أمكن التخلص من جميع النباتات التى تحمل التركيب الوراثى المتنحى aa قبل الإزهار فإن النباتات المتبقية تكون آباء وأمهات الجيل التالى، وتنتج جاميطاتها على النحو التالى تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل السائد (A) تكون نسبتها P = [٠,١٦ (من التركيب الوراثى AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التركيب الوراثى التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى)] = ٠,٦٢٥، كما تتكون أيضا حبوب لقاح تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها q = ٠,٢٤ (من التركيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التركيب الوراثى التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى) = ٠,٣٧٥ وتتكون فى الوقت ذاته بويضات بالطريقة نفسها، تكون نسبتها p = ٠,٦٢٥ وللبويضات الحاملة للآليل السائد (A)، و q = ٠,٣٧٥ للبويضات الحاملة للآليل المتنحى (a) ويلاحظ أن مجموع p + q = ٠,٦٢٥ + ٠,٣٧٥ = ١,٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات. يؤدى التزاوج الاعتباطى بين هذه الجاميطات، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة فى الجيل التالى كما يلى

	الأمهات	
الآباء	$p = A = ٠,٦٢٥$	$q = a = ٠,٣٧٥$
$p = A = ٠,٦٢٥$	$p^2 = AA = ٠,٣٩١$	$pq = Aa = ٠,٢٣٤$
$q = a = ٠,٣٧٥$	$pq = Aa = ٠,٢٣٤$	$q^2 = aa = ٠,١٤١$

أى إن $p^2 = AA = ٠,٣٩١$، و $2pq = Aa = ٠,٤٦٨$، و $q^2 = aa = ٠,١٤١$ (يلاحظ أن مجموع التراكيب الوراثية = ١,٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات). يتضح مما

تقدم أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة قبل الإزهار - أدى إلى تخفيض نسبة الآليل (a) في العشيرة من ٠,٦ إلى ٠,٣٧٥ [= ١٤١ ٠ (٤٦٨ ٠ - ٢)]، ونسبة النباتات المتنحية الأصيلة من ٠,٣٦ إلى ٠,١٤١ بعد جيل واحد من الانتخاب

أما إذا لم يمكن التخلص من النباتات التي تحمل التركيب الوراثي المتنحي aa إلا بعد الإزهار فإن ذلك يعني أن هذه النباتات سوف تشارك بحبوب اللقاح في مجمع الجينات ولكنها لا تشارك بالبويضات، وبذا . فإن نسب الجاميطات الحاملة للأليلين (A)، و (a) سوف تختلف بين حبوب اللقاح والبويضات على النحو التالي

تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل (A)، تكون نسبتها p = ٠,١٦ (من التركيب الوراثي Aa) + ٠,٢٤ (من التركيب الوراثي Aa) = ٠,٤، كما تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل المتنحي (a) تكون نسبتها q = ٠,٣٦ (من التركيب الوراثي aa) + ٠,٢٤ (من التركيب الوراثي Aa) = ٠,٦ بلاحظ أن مجموع p + q = ٠,٤ + ٠,٦ = ١,٠

تتكون - أيضا - بيضات تحمل الآليل (A)، تكون نسبتها p = [٠,١٦ (من التركيب الوراثي AA) + ٠,٢٤ (من التركيب الوراثي Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التي تشارك في إنتاج الجاميطات المؤنثة)] = ٠,٦٢٥، كما تتكون - أيضا - بيضات تحمل الآليل المتنحي (a) تكون نسبتها q = ٠,٢٤ (من التركيب الوراثي Aa) : ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التي تشارك في إنتاج الجاميطات المؤنثة للجيل التالي) = ٠,٣٧٥ بلاحظ أن مجموع p + q = ٠,٦٢٥ + ٠,٣٧٥ = ١,٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات، يؤدى التزاوج الاعتباطي بين الجاميطات المذكرة والمؤنثة المتكونة، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة في الجيل التالي على النحو التالي

الآباء	الأمهات	
	٠,٦٢٥ = p = A	٠,٣٧٥ = q = a
٠,٤ = p = A	٠,٢٥٠ = p^2 = AA	٠,١٥٠ = pq = Aa
٠,٦ = q = a	٠,٣٧٥ = pq = Aa	٠,٢٢٥ = q^2 = aa

أى إن $AA = p^2 = ٠,٢٥٠$، و $Aa = (2pq) = ٠,٥٢٥$، و $aa = q^2 = ٠,٢٢٥$ (يلاحظ أن مجموع نسب التراكيب الوراثية = ١,٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات). يتبين مما تقدم أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة الأصيلة بعد الإزهار أدى إلى خفض نسبة الآليل (a) فى العشيرة من ٠,٦ إلى ٠,٤٨٧٥ [= ٠,٢٢٥ + (٠,٥٢٥ ÷ ٢)]، ونسبة النباتات المتنحية الأصيلة من ٠,٣٦ إلى ٠,٢٢٥ بعد جيل واحد من الانتخاب

ويتضح – لدى مقارنة الانتخاب قبل الإزهار بالانتخاب بعده أن مقدار الانخفاض فى نسبة الآليل غير المرغوب فيه كان ٠,٦–٠,٣٧٥ = ٠,٢٢٥ عندما أجرى الانتخاب قبل الإزهار، بينما كان ٠,٦–٠,٤٨٧٥ = ٠,١١٢٥ عندما أجرى الانتخاب بعد الإزهار. أى إن فاعلية الانتخاب قبل الإزهار كانت ضعف فاعلية الانتخاب بعد الإزهار.

نظم التزاوج

يمكن للمربى أن يتحكم فى التكوين الوراثى لعشيرة ما بإحدى طريقتين، هما: الانتخاب، ونظام التزاوج بين أفراد العشيرة وبينما لا يخلو أى برنامج للتربية من عملية الانتخاب، فإن نظام التزاوج الذى يقوم به المربى يمكنه من إحداث تغيرات كبيرة فى التركيب الوراثى للعشيرة؛ بما يسمح إما بمزيد من الانتخاب، وإما بالقدرة على تثبيت التراكيب الوراثية المرغوب فيها.

أولاً: التزاوج العشوائى

نجد فى التزاوج العشوائى random mating أن لكل جاميطة مؤنثة فرصة متساوية لأن تتلقح باى جاميطة مذكرة، كما يتساوى معدل تكاثر مختلف التراكيب الوراثية؛ أى لا يوجد أى انتخاب.

ومن أهم سمات التزاوج العشوائى، ما يلى:

١ – تبقى نسبة الجينات ثابتة

٢ -- تبقى تباينات مختلف الصفات ثابتة

٣ لا تتغير الارتباطات بين الأقارب

هذا إلا أن بعض الظروف – مثل اختلاف موعد التزهير بين أفراد العشيرة، ووضع النباتات فى الحقل، وحالات عدم التوافق، واتجاه الرياح السائدة – تجعل من العسير أن يكون التزاوج عشوائيًا تمامًا

ثانيًا: التزاوج المنسق وراثيًا

إن التزاوج المنسق وراثيًا genetic assortive mating هو تزاوج بين أفراد تربطها صلة قرابة أكثر مما فى حالة التزاوج العشوائى ويتبين من هذا التعريف لهذا النوع من التزاوج عدم أهمية التعرف الصحيح على التراكيب الوراثية المنتخبة للتزاوج، فيكفى أن تكون من الأقارب ويعرف هذا النوع من التزاوج باسم التربية الداخلية inbreeding

ومن أهم سمات هذا النوع من التزاوج، ما يلى:

١ - زيادة حالة الأصالة الوراثية homozygosity، مع زيادة فى حالة الخلط الوراثى heterozygosity

٢ تتجه الآليلات – ومن ثم الصفات - نحو الثبات إلاّ ما يظهر بفعل العوامل البيئية ولا يسأثر تثبيت الصفات كثيرًا – بعدد العوامل الوراثية التى تتحكم فيها. وخاصة مع نظم التربية الداخلية الشديدة مثل التلقيح الذاتى.

٣ مع التربية الداخلية الشديدة يزداد سريعًا – عدد العشائر غير المتزاوجة، الأمر الذى يتطلب إجراء الانتخاب للتحكم فى حجم العشائر.

٤ – تزداد التباينات الوراثية فى العشيرة سريعًا، بينما تقل سريعا التباينات الوراثية بين أفراد كل عائلة أو سلالة إلى أن تنمحى تماما

٥ تزدد تدريجيًا قدرة كل فرد على إنتاج نسل متماثل ومتشابه مع الأب الذى أنتجه، وتعرف تلك الخاصية باسم prepotency

ثالثًا: التزاوج غير المنسق وراثيًا

إن التزاوج غير المنسق وراثيًا genetic disassortive mating هو بين أفراد يقل

الارتباط الوراثي بينها في حالة التزاوج العشوائي، أي يتم التزاوج بين أفراد لا توجد بينها صلة قرابة، وقد تنتمي إلى عشائر مختلفة ويؤدي هذا النوع من التزاوج إلى تقليل الأصالة الوراثية، مع زيادة الخلط الوراثي

رابعاً: التزاوج المنسق مظهرياً

إن التزاوج المنسق مظهريًا phenotypic assortive mating يكون بين أفراد أكثر تشابهًا مظهريًا عما يكون متوقعا في حالة التزاوج العشوائي التام.

ويؤدي التزاوج المنسق مظهريًا إلى ما يلي:

١ – تقسيم العشيرة إلى فئتين مظهريتين متباينتين، ولا يحدث تثبيت للفئات الوسطية (مثلما يحدث في حالة التربية الداخلية).

٢ – زيادة الأصالة الوراثية لأفراد العشيرة.

٣ – زيادة التباين الوراثي في العشيرة

هذا وتقل سرعة حدوث تلك التأثيرات بزيادة عدد الجينات المتحكمة في الصفة إلى أن تصبح شديدة البطء في الصفات الكمية، وخاصة في حالات السيادة والتفوق.

خامساً: التزاوج غير المنسق مظهرياً

إن التزاوج غير المنسق مظهريًا phenotypic disassortive mating يكون بين أفراد تختلف مظهريًا وتنتمي إلى نفس العشيرة.

ومن أهم نتائج ذلك النوع من التزاوج، ما يلي:

١ – المحافظة على حالة الخلط الوراثي heterozygosity، وقد يؤدي إلى زيادتها

٢ – التقليل قليلاً من تباين العشيرة نظرًا لإنتاج أشكال مظهرية وسطية

٣ – تقليل الارتباط بين الأقارب (عن Singh ١٩٩٣).