علم الوراثة

Genetics

مقدمة :

يهتم علم الوراثة بدراسة أسباب التشابه والاختلاف بين أفراد النوع الواحد كما يهتم بمعرفة ميكانيكية انتقال الصفات الوراثية من الآباء إلى النسل وكذلك معرفة طبيعة المادة الوراثية من الناحية الطبيعية والكيميائية ، كما تمتد مجالات هذا العلم لمعرفة مصادر الاختلافات الوراثية بين افراد النوع الواحد وكيفية توزيعها في افراد العشيرة الواحدة ، فضلاً عن مراعاة الاختلافات الي ترجع الى الظروف البيئية من قبل علماء الوراثة ايضاً .

مما لاشك فيه ان الفضل الكبير في وضع أسس توارث الجينات يعود الى العالم Gregor Mendel (١٨٢٢ – ١٨٨٦) ، وبعد إعادة اكتشاف قوانين مندل عام ١٩٠٠ تمكن العلماء من معرفة ميكانيكية توارث الجينات التي تحدث في الانسجة المسؤولة عن تكوين الكاميتات المذكرة والمؤنثة (الانقسام الميوزي) كما اكتشف العلماء ايضاً وجود تلازم بين سبوك الكروموسومات (الحاملة للجينات) وسلوك الجينات وعلى ذلك تعتبر الخلية أساس معظم العمليات الخلوية في الكائن الحي .

اليوم نرى ان النباتات والحيوانات الرئيسة المستعملة في الزراعة قد مرت بتغيرات وراثية واسعة لغرض زيادة انتاجها بشكل كبير والحصول على عدة صفات مرغوبة مثل مقاومة الامراض والآفات وزيادة الإنتاج وتسريع النمو وتحمل الظروف البيئة الصعبة كالجفاف ، كما تلعب الوراثة دوراً مهما في مجالات العلوم المختلفة كالطب ، الصيدلة وغيرها من العلوم .

وبتواصل جهد العلماء اصبح معروفاً ان الجينات تعبر عن نفسها من خلال البروتينات المختلفة التي تنتجها وكذلك معرفة خصائص جزيئة التوارث DNA التي منه الكروموسومات وايضاً معرفة الطبيعة الجزيئية للتعبير الجيني وتنظيمه فب الكائن الحي ، وباستخدام التقنيات الحديثة التي احدثتها الثورة التكنولوجية اصبح هناك مجالات تطبيقية متنوعة لعلوم الوراثة والتي تعرف حاليا بالهندسة الوراثية Genetic Engineering والتي تعتبر حاليا امل علماء الوراثة في تحسين حياة الانسان على الأرض ، ويمكن تعريف علم الوراثة بانه العلم الذي يدرس أوجه التشابه والاختلاف بين صفات الكائنات الحية التي تربطها صلة قربى وكذلك دراسة كل ما يتعلق بالمادة الحية التي تنتقل بين الأجيال أي من الإباء الى الأبناء وتتمثل المادة الحية بوحدات تسمى وحدات التوريث (الجينات) .

أسس توارث الصفات

قبل الحديث عن هذا الموضوع يجب ان نلفت النظر الى ان الراهب مندل يعتبر بحق اول من وضع القواعد الأساسية لتوارث الصفات (الجينات) من انعزال الأليلات وتوزيع الجينات عند توارث الصفات وانتقالها من الإباء الى الأبناء حيث اعتمد الأسلوب العلمي في تحليل نتائج تجاربه وابحاثه التي اجراها على نبات البازلاء *Pisum sativum* وقام بنشر نتائج تجاربه وابحاثه في عام ١٨٦٦م ، ومن الجدير بالذكر ان مندل لم يكن اول من اجرى تهجينات في النبات لكنه كان من أوائل من قام بتحليل نتائجهم على التهجينات على أساس سلوك الصفات الفردية بينما كان من سبقوه من العلماء ينظرون الى الكائن كوحدة واحدة لذلك استطاعوا فقط ملاحظة أوجه التشابه والاختلاف بين الأبناء والنسل ولم يدركوا مغزى الاختلافات الفردية ، لكن مندل استفاد من أخطاء سابقيه ونهج الأسلوب العلمي الصحيح في تصميم وتنفيذ تجاربه وتفسير نتائجه بطريقة علمية غير مسبوقة . وعلى الرغم من انه وضع قواعد واساسيات توارث الصفات الوراثية البسيطة الا انه لم يكن لديه أي معلومات عن الميكانيكية البيولوجية التي يتم بواسطتها توارث الصفات الوراثية ، ومع ذلك ظلت أبحاث مندل في طي النسيان ما يقرب ٣٤ عاماً حتى عثر عليها بالصدفة بواسطة ثلاثة من العلماء ، وفي عام ١٩٠٥ وضع العالم Bateson اصطلاح وراثة Genetics حيث صاغ هذا المصطلح من الكلمة اليونانية to generate بمعنى "يولد" كما اقترح كلمة اليل allele للتعبير عن الصور المختلفة لنفس الجين وذلك بالتعبير عن الجين وراثياً بأليلين 2 allells (a , A) .

بعض المصطلحات الوراثية العلمية :

١) الجين Gene : قطعة او أجزاء او تسلسل من المادة الوراثية مسؤول عن صفة ما ويحتل مكان معين يدعى مكان الجين او يقصد بالجين ايضاً ذلك الموقع المحدد من الكروموسوم الذي يشغله ذلك الجين وهذا يعني ان لكل جين مكان ثابت على الكروموسوم يدعى مكان الجين وان لكل جين صورتين او اكثر مختلفتين جرى العرف على تسميتها بالاليلات ، وعادة ما تستخدم الاحرف الإنكليزية للتعبير عن الاليلات لنفس الجين (A , a) .

٢) التركيب الجيني Genotype : يقصد بالتركيب الجيني او التركيب الوراثي ما يحمله الكائن من اليلات بالنسبة لموقع جيني ما فاذا حمل الاليلين المتماثلين سواء AA او aa فانه يعرف بالتركيب الجيني النقي او الأصيل homozygous (متماثل الزيجة) بينما اذا حمل الاليلين Aa فانه يعرف بالتركيب الوراثي الخليط heterozygous (متباين الزيجة) .

٣) السيادة Dominance : هي ظهور التعبير الجيني لاحد اليلي نفس الجين في الفرد الخليط Aa وعدم ظهور التعبير الجيني للاليل الاخر .

٤) المتنحي Recessiveness : هي عدم ظهور تأثير احد اليلي نفس الجين في الفرد الخليط Aa وعلى ذلك فان الاليل الذي يظهر تعبيره يعرف باسم الاليل السائد بينما الاليل الذي لم يظهر تعبيره يعرف بالاليل المتنحي .

٥) الشكل المظهري Phenotype : عبارة عن الصفات التي تظهر على الكائن والتي اما ان تكون نتيجة للتركيب الجيني او نتيجة الظروف البيئية ولذلك تعرف الصفات الناتجة عن التركيب الجيني بالصفات الوراثية بينما التي تظهر نتيجة لتأثير الظروف البيئية فانها تعرف بالصفات غير الوراثية.

٦) الارتباط الوراثي Genetic linkage : تنتقل العوامل المحمولة على كروموسوم واحد بشكل مجموعة واحدة .

٧) العبور الوراثي Crossing over : حدوث تبادل في قطع من الكروماتيدات غير الشقيقة المحمولة على الكروموسومات المتقابلة .

٨) الطرز الجينية : هي الصفات الوراثية المحمولة على الكروموسومات على شكل جينات ويعتبر عنها بالرموز (RR) .

٩) الطرز الشكلية : هي الصفات التركيبية والمظهرية والوظيفية للافراد الناتجة من ترجمة الطرز الجينية .

تجارب مندل : اطلع مندل على تجارب تهجين النباتات التي قام بها الباحثون الذين سبقوه في تربية النباتات واستفاد من نتائجهم حيث لجأ من البداية الى تثبيت الصفة الوراثية المدروسة ، وذلك بالتأكيد على نقاوة الصفة من خلال السماح للنباتات ان تلقح نفسها بنفسها لعدة أجيال (جميع الافراد متشابهة للأبوين) وبذلك يمكن الحصول على سلالة نقية .

ولقد اختار مندل نبات البزاليا *Pisum sativum* وكان لاختياره هذا النبات عدة أسباب منها :

١- تعدد الصفات المظهرية لهذا النبات

٢- سهولة اجراء عملية زراعته

٣- قصر دورة الحياة ، البزاليا نبات حولي يكمل دورة حياته او نموه في اقل من عام

٤- نظام الزهرة يضمن التلقيح الذاتي حيث تحتوي على أعضاء التذكير والتأنيث .

٥- سهولة اجراء عملية التلقيح الاصطناعي عند التهجين حيث يمكن بسهولة إزالة الاسدية من الزهرة قبل نضوج حبيبات اللقاح وتلقيحها بحبيبات لقاح اخر .

٦- هجن هذا النبات ذات خصوبة تامة .

قانون مندل الأول Mendeloon First Law

اختار مندل سبعة ازواج من نبات البزاليا واستعمل عدد كبير من الوحدات التجريبية ، وحصل على اعداد كبيرة من افراد النسل خلافاً لمن سبقه الذين استعملوا اعداد قليلة من العينات ، وركز في كل تجربة على على صفة واحدة فقط كما استعمل معلوماته الرياضية لتفسير نتائجه .

وضع مندل القاعدة الأولى والاساسية لطريقة التوريث للصفات الوراثية من الإباء الى الأبناء او من جيل لاخر والتي تعرف بقانون الانعزال Law of segregation والذي ينص على انه عند تكوين الكميتات يحدث انعزال لأليلي كل جين عن بعضهما وتتوزع عشوائيا على الكميتات مما يترتب عليه مساهمة كلا الابوين بالتساوي في توريث الصفات (الجينات) الى النسل الناتج .

ولقد قام مندل بصياغة هذا القانون بعد تحليله لنتائج التجارب التي اجراها لمعرفة طبيعة توارث بعض الصفات المظهرية في نبات البازلاء (للأكل) ، حيث قام بدراسة سبعة صفات مختلفة كما هو مبين في الجدول الاتي :

ت	الصفة	التهجين	الجيل الأول	الجيل الثاني
١	طول الساق	طويل * قصير	طويل	١:٢.٨٢
٢	لون القرون	صفراء * خضراء	صفراء	١:٢.٨٢
٣	لون البذور	صفراء * خضراء	صفراء	١:٣.٠١
٤	شكل البذور	مستديره * مجعدة	مستديرة	١:٢.٩٦
٥	لون الازهار	بنفسجي* ابيض	بنفسجي : ابيض	١:٣.١٥
٦	وضع الازهار	إبطيه * قميه	إبطيه	١:٣.١٤
٧	شكل القرون	منتظمة * محززة	منتظمة	١:٢.٩٥

وقد وجد مندل ان هذه الصفات السبعة تسلك نفس السلوك في كل من الجيل الأول F1 والجيل الثاني F2 فعلى سبيل المثال عند اجراء التهجين بين نباتات طويلة نقية مع نباتات قصيرة نقية فكانت جميع نباتات الجيل الأول طويلة وعند اجراء التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأول للحصول على نسل الجيل الثاني وجد ان النسل يحتوي على نباتات طويلة وأخرى قصيرة بنسبة مظهرية ٣ نباتات طويلة و ١ نبات قصير ومن هذه النتائج للصفات المدروسة السبعة وضع مندل قانون الانعزال لأليلات نفس الجين .

ولتفسير هذه النتائج افترض مندل ان كل صفة يتحكم في توارثها عاملين (أليلين) فعلى سبيل المثال صفة شكل البذور يحكم توارثها أليلين حيث يعطي الاليل R شكل البذور المستديرة بينما الاليل r

يعطي شكل البذور المجعدة وعلى ذلك فان البذور المستديرة النقية يكون تركيبها الجيني RR بينما البذور المجعدة النقية يكون تركيبها الجيني rr ، ومن ثم فانه عند تكوين الكميتات ينعزل كلا الاليلين سواء RR او rr عن بعضهما ويتوزعا اعتباطيا على الكميتات وبذلك تحتوي الكميتات على أليل واحد من اب وعند حدوث الاخصاب يتكون النسل الذي يحتوي مرة ثانية على اليلي الجين او الصفة وتكون جميع نباتات لجيل الأول خلطية وراثياً (هجينة) .

ونظراً لان جميع نباتات الجيل الأول كانت مستديرة البذور ، استنتج مندل ان أليل شكل البذور المستديرة R سائد في تأثيره على اليل شكل البذور المجعدة r وبذلك اطلق مندل كلمة سيادة Dominance على شكل الصفة الذي يظهر في افراد الجيل الأول ، بينما شكل الصفة الذي لايظهر يسمى بالصفة المتنحية وعلى ذلك فان شكل البذور المستديرة يعتبر صفة سائدة بينما شكل البذور المجعدة يعتبر صفة متنحية .

	بذور مستديرة نقية	×	بذور مجعدة نقية
P1	RR		rr
G1	R	↓	r
F1	Rr		
	مستديرة		

ولكي يتأكد مندل من حدوث انعزال أليلي كل جين عن بعضهما عند تكوين الكميتات قام بأجراء التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأول للحصول على نسل الجيل الثاني F2 .

P1	Rr	↓	Rr
G1	R r		R r

F1	RR	Rr	Rr	rr
	مستديرة	مستديرة	مستديرة	مجعدة

ومرة أخرى لولا حدوث انعزال الاليل R عن الاليل الاخر r في الافراد الخليطة لما كان من الممكن الحصول على النسبة المظهرية ٣ مستديرة : ١ مجعدة .

ولم يكتفي مندل بتحليل بيانات الجيل الثاني لكنه ترك نباتات الجيل الثاني للتلقيح الذاتي للحصول على نسل الجيل الثالث F3 وبفحص هذا النسل وجد ان البذور المجعدة أعطت بذور مجعدة فقط ، كما وجد ان بذور الجيل الثاني المستديرة أعطت نسلاً في الجيل الثالث يحتوي على بذور مستديرة ومجعدة بنسبة مظهرية ٣ : ١ على التوالي . هذه النتائج تؤكد ايضاً على حدوث انعزال اليلي الصفة (الجين) عن بعضهما عند تكوين الكميتات .

بالإضافة الى ذلك قام مندل بأجراء التلقيح الاختباري Test-Cross وذلك بتلقيح نباتات الجيل الأول الخليطة مع نباتات تحمل الصفة المتنحية (مجعدة) وبفحص النسل الناتج وجد انه يحتوي على بذور مستديرة وبذور مجعدة بنسبة مظهرية ١ : ١ على التوالي .

كما وجد مندل ان هذا السلوك لانعزال الأليلات كان منطبقاً تماماً على باقي الصفات الستة الأخرى التي درسها في نبات البازلاء ، كما وجد ان السيادة التامة هي الظاهرة الأساسية التي تتسم بها طبيعة توارث مثل هذه الصفات البسيطة التي درسها في نبات البازلاء .

كما ان قانون الانعزال للأليلات لا ينطبق على صفات نبات البازلاء فقط ولكنه ينطبق على توريث الصفات في كل الكائنات الحية المختلفة سواء كانت نباتية او حيوانية وان هذا الانعزال للاليلات بمثل القاعدة الأساسية في توريث الجينات من الإباء الى الأبناء في كل الكائنات الحية وخاصة الكائنات حقيقية النواة ثنائية العدد الكروموسومي diploid (2n)

قانون مندل الثاني : قانون التوزيع المستقل (الحر) للجينات :

توصل مندل الى القاعدة الثانية من قواعد توارث الصفات والتي تعرف بقانون التوزيع المستقل للجينات ويقصد بذلك ان الجينات المختلفة التي تتحكم في توارث صفات مختلفة تكون مستقلة في توارثها من الإباء الى الأبناء . ومما هو جدير بالذكر ان هذا القانون ينطبق فقط على الصفات او الجينات غير المرتبطة ولا ينطبق على الجينات المرتبطة التي سوف نتناولها بالشرح فيما بعد .

فعندما قام مندل بأجراء التهجين بين نباتات نقية ذات بذور مستديرة صفراء ونباتات نقية ذات بذور مجعدة خضراء وجد ان نباتات الجيل الأول تحمل جميعها بذور مستديرة صفراء . وبفحص نسل

الجيل الثاني الناتج من التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأول وجد ان هذا النسل يتكون من أربعة مجاميع مظهرية على النحو التالي :

الفئة المظهرية	النسبة المظهرية
بذور مستديرة صفراء	٩
بذور مستديرة خضراء	٣
بذور مجعدة صفراء	٣
بذور مجعدة خضراء	١

ولقد استنتج مندل من هذه النتائج ان كل صفة من صفات شكل البذور (مستديرة او مجعدة) ولون البذور (صفراء او خضراء) كانت مستقلة في توارثها عن الصفة الأخرى ومن ثم حدوث التوزيع المستقل للجينات فاذا تناولنا كل صفة على حده نجد ان صفة شكل البذور تتوزع في الجيل الثاني بنسبة ١٢ مستديرة : ٤ مجعدة (أي نسبة ٣ : ١) وكذلك بتجميع نسب صفة لون البذور نجد ان نسبة البذور الصفراء (٩+٣=١٢) الى نسبة البذور الخضراء (٣+١=٤) تساوي ١٢ : ٤ = ٣ : ١ على التوالي ، ومن ثم فان كل صفة تكون مستقلة في توارثها من الإباء الى النسل ولكن توزيع الصفتين معاً في النسل الجيل الثاني يكون بنسبة مظهرية ٩ : ٣ : ٣ : ١ .

فاذا رمزنا لأليلي صفة شكل البذور بألأليلين R , r حيث يسبب الاليل R شكل البذور المستديرة بينما يسبب الاليل r شكل البذور المجعدة ، وكذلك اذا رمزنا لأليلي صفة لون البذور بأليلين Y , y حسث يسبب الاليل Y لون البذور الصفراء بينما يسبب الاليل y لون البذور الخضراء فان التركيب الوراثي لجيل الإباء مستديرة صفراء نقية يكون RRYY والمجعدة خضراء يكون rryy وعلى ذلك فان التركيب الجيني والاشكال المظهرية لنباتات الجيل الأول والثاني تكون على النحو التالي:

	مستديرة صفراء	×	مجعدة خضراء
P1	RRYY		rryy
G1	RY		ry
F1		RrYy	

P2	RrYy	*	RrYy
G2	RY Ry rY ry		RY Ry rY ry

F2

	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY مستديرة صفراء	RRYy مستديرة صفراء	RrYY مستديرة صفراء	RrYy مستديرة صفراء
Ry	RRYy مستديرة صفراء	RRyy مستديرة خضراء	RrYy مستديرة صفراء	Rryy مستديرة خضراء
rY	RrYY مستديرة صفراء	RrYy مستديرة صفراء	rrYY مجعدة صفراء	rrYy مجعدة صفراء
ry	RrYy مستديرة صفراء	Rryy مستديرة خضراء	rrYy مجعدة صفراء	rryy مجعدة خضراء

ومن نسل الجيل الثاني من الجدول السابق يمكن الحصول على الفئات المظهرية الأربعة على النحو التالي :

الفئة المظهرية	النسبة المظهرية	التركيب الجيني
مستديرة صفراء	٩	R-Y-
مستديرة خضراء	٣	R-yy
مجعدة صفراء	٣	rrY-
مجعدة خضراء	١	rryy

وتعرف النسبة المتحصل عليها في الجيل الثاني بالنسبة المظهرية Phenotypic ratio والتي يمكن تقسيمها الى النسبة الوراثية Genotypic ratio (١ : ٢ : ٢ : ٤ : ١ : ٢ : ١ : ٢ : ١) على النحو التالي :

١) الفئة المظهرية مستديرة صفراء وتضم تسعة افراد بنسبة وراثية ١ : ٢ : ٢ : ٤ كما يلي

RRYY , RRYy , RrYY , RrYy

٢) الفئة المظهرية مستديرة خضراء وتضم ثلاثة افراد بنسبة ٢ : ١ كما يلي :

RRyy , Rryy

٣) الفئة المظهرية مستديرة خضراء وتضم ثلاثة افراد بنسبة ١ : ٢ وكما يلي :

rrYY , rrYy

٤) الفئة المظهرية مجعدة خضراء rryy ويمثلها فرد واحد كما هو مبين في الجدول السابق .

وعلى ذلك يمكن تقسيم النسبة المظهرية (٩ : ٣ : ٣ : ١) في الجيل الثاني الى النسبة الوراثية (١ : ٢ : ٢ : ٤ : ١ : ٢ : ١ : ٢ : ١) بالإضافة الى ذلك اجرى مندل التلقيح الاختباري وذلك بتلقيح نباتات الجيل الأول الخليطة RrYy مع نباتات متنحية في الصفتين (مجعدة خضراء) rryy للتأكد من استقلال توارث الصفتين عن بعضهما ، ووجد ان نسل التلقيح الاختباري يتكون من أربعة فئات مظهرية هي مستديرة صفراء ، مستديرة خضراء ، مجعدة صفراء و مجعدة خضراء بنسبة مظهرية ووراثية ١ : ١ : ١ : ١ وباستخدام نفس الرموز السابقة يمكن توضيح التلقيح الاختباري كما يلي :

الاب التنحي	×	F1
rryy	*	RrYy
مجعدة خضراء		مستديرة صفراء

ونظراً لان نباتات الجيل الأول سوف تنتج أربعة أنواع من الكميتات بنسب متساوية (RY او Ry او rY او ry) بينما تنتج نباتات الاب المتنحي rryy نوع واحد من الكميتات ry فان النسل الناتج سوف يتكون من الفئات التالية بنسب متساوية كما يلي :

الشكل المظهري	النسبة المظهرية	التركيب الجيني
مستديرة صفراء	١	RrYy
مستديرة خضراء	1	Rryy

مجعدة صفراء	1	rrYy
مجعدة خضراء	١	rryy

مما لا شك فيه ان حدوث التوزيع الحر الجينات يؤدي الى تنوع الاختلافات الوراثية في النسل وخاصة في الأنواع التي تتكاثر خلطياً وهذا النوع من الاختلافات الوراثية يمثل المادة الخام التي تساعد مربي النبات من الحصول على افضل التراكيب الوراثية عن طريق انتخاب التراكيب الوراثية التي تحمل الصفات المرغوبة بالنسبة لمربي النبات ، كذلك يعتبر هذا التنوع في الاختلافات الوراثية نتيجة لحدوث التوزيع الحر بمثابة المادة الخام ايضاً التي يعمل عليها الانتخاب الطبيعي حيث يعمل على استمرارية التراكيب الوراثية الأخرى غير الملائمة للظروف البيئية .

واستخلص مندل النتائج الاتية من تجاربه :

١) يتحكم عاملان في كل صفة وراثية ، احدهما سائد والأخر متنح

٢) يمكن للنبات وراثة عاملين سائدين او متنحيين او عامل سائد واخر متنح

٣) توزيع العوامل السائدة او المتنحية يخضع للصدفة فقط

٤) تظهر العوامل السائدة فقط في الجيل الأول مما يجعل النبات شبيهاً بأحد الابوين

٥) تظهر العوامل السائدة والعوامل المتنحية بنسبة ٣ : ١ في الجيل الثاني لصالح العوامل السائدة ، وتكون نسبة النباتات النقية الى النباتات الهجينة السائدة ١ : ٢

وبعد استخلاص هذه النتائج وضع مندل نظرياته في الوراثة والتي يمكن تلخيصها فيما يأتي :

١) يتحكم بكل صفة وراثية زوجان من العوامل

٢) يحتوي كل كميت عاملاً مفرداً واحداً (سائداً او متنحياً) وعند اتحاد كميتين لتكوين بيضة مخصبة فان كل عامل يتحد مع العامل المماثل له الحامل للصفة نفسها فيصبح عاملان في البيضة المخصبة.

٣) ينتقل كل عامل من جيل الإباء الى الأبناء كوحدة مستقلة غير متغيرة

٤) كل خلية جسمية تحتوي على زوجين من العوامل .

واصبح لعلم الوراثة تطبيقات مهمة في مجالات الزراعة كإنتاج سلالات عالية الإنتاج في الكم والنوع من النباتات والحيوانات ، فضلاً عن انتاج حشرات نافعة ذات إنتاجية اكبر كما استخدمت الوراثة في مكافحة الحشرات الضارة ايضاً وتثبيت النتروجين وكذلك استخدام الوراثة في مجال الطب لدراسة المسببات الوراثية لبعض الامراض ، كما استخدمت قوانين الوراثة في دراسة علم

الاجتماع والتاريخ وارتبطت علوم الوراثة ارتباطاً وثيقاً بعلوم الخلية والبيئة والتصنيف والفسلجة والاحياء المجهرية وغيرها . علماً ان قوانين الوراثة تسير على الأسس نفسها في جميع الكائنات الحية وبدون استثناء .

وهنالك ستة أمور مهمة يجب اخذها بنظر الاعتبار لاختيار أي كائن حي لإجراء تجارب وراثية عليه وهي :

١) التغاير Variations : وتعني وجود صفات وفروقات واضحة في افراد الكائن الحي المخصص للدراسة ، كالطول او القصر او وجود عدد من الألوان للبشرة .

٢) التركيب الجديد : ويعني قدرة الكائن الحي على تجميع صفات معينة يتم وراثة قسم منها من الاب والقسم الاخر من الام .

٣) التزاوج الموجه : وتعني إمكانية الباحث على التحكم في تزاوجات الكائن الحي المخصص للتجارب الوراثية .

٤) دورة الحياة قصيرة : كلما قصرت دورة الحياة ازدادت إمكانية توارث الصفات الوراثية بصورة افضل ولهذا يتم تفضيل البكتريا مثلاً لان دورة حياتها لا تزيد عن عدة ساعات .

٥) عدد النسل : كلما ازداد عدد النسل ، زاد تفضيل الكائن الحي .

٦) سهولة الاستعمال : كلما صغر حجم الكائن الحي ورخص سعره وتيسر الحصول عليه اصبح اكثر ملائمة للدراسات الوراثية .

المصادر :

الصيحي ، محمد عبد الباعث (٢٠١٢) . " أساسيات علم الوراثة " . قسم الوراثة ، كلية الزراعة ، جامعة الإسكندرية .

شكارة ، مكرم ضياء (٢٠١٢) . "علم الوراثة "عمان دار المسيرة للنشر والتوزيع

Hopkins; W. G. (2006) . " Plant Genetics"

George; A. (2012) " Principles of Plant Genetics and Breeding "

التحورات عن النسب المندلية :

بعد ان وضع مندل أسس توارث الصفات الوراثية من الإباء الى الأبناء اكتشف العلماء حالات أخرى لطبيعة التوارث لبعض الصفات ينطبق عليها قانون الانعزال ولكنها تختلف في توارثها تبعاً لعلاقة التفاعلية لاليلي نفس الجين في الفرد الخليط وراثياً مما يترتب عليه تحوير النسبة المظهرية المندلية في الجيل الثاني من نسبة ٣ : ١ الى نسبة ١ : ٢ : ١ ومن هذه الحالات ما يلي :

١- السيادة غير التامة Incomplete Dominance :

في حالة السيادة غير التامة فانه يحدث تفاعل بين تأثير اليلي نفس الصفة في الافراد الخليطة وبذلك تحمل هذه الافراد صفة جديدة لم تكن موجودة في الابوين . ومن اشهر الأمثلة على ذلك وراثة لون الازهار في نبات حلق السبع . فعند اجراء تلقيح بين نباتات حمراء الازهار نقية ونباتات بيضاء الازهار نقية وجد ان نسل الجيل الأول F1 يحمل ازهار جميعها قرنفلية اللون (ارجوانية) ، وعند اجراء التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأول للحصول على نسل الجيل الثاني F2 وجد ان هذا النسل بعضة يحمل ازهار حمراء فقط والبعض الاخر يحمل ازهار ارجوانية فقط وأخيرا نباتات تحمل ازهار بيضاء فقط بنسبة مظهرية Phenotypic ratio ١ : ٢ : ١ على التوالي .

	نباتات حمراء الازهار نقية	×	نباتات بيضاء الازهار
P1	RR		rr
G1	R		r
F1	Rr		

نباتات قرنفلية الازهار

تلقيح ذاتي

P2	Rr		Rr	
G2	R	r	R	r
F2	RR	Rr	Rr	rr
	حمراء نقية	قرنفلي	قرنفلي	بيضاء
	١	: ٢	:	١

وعلى ذلك فانه في الافراد الخليطة وراثياً Rr تفاعل تأثير كلا الاليلين معاً واشتركا في تكوين صفة جديدة لم تكن موجودة في الابوين .

مما سبق يتضح انه في حالة السيادة غير التامة يدل الشكل المظهري على التركيب الجيني وبذلك يمكن التعرف على التركيب الجيني للأفراد من شكلها المظهري بعكس الحال في حالة السيادة التامة حيث يستحيل التمييز بين التراكيب الجينية النقية AA والخليطة Aa من شكلها المظهري ، لذلك يستخدم التلقيح الاختباري للتمييز بين هذه الافراد لمعرفة تركيبها الجيني .

٢- السيادة العامة او انعدام السيادة Codominance :

في حالة السيادة العامة او انعدام السيادة فان اليلي نفس الجين يظهر كلاً منهما تأثيره بشكل مستقل عن الاخر في الافراد الخليطة وراثيا ومن امثلة ذلك ما يلي :

أ) وراثة لون الشعر في ماشية الشورت هورن :

عند اجراء تلقيح بين ذكر احمر الشعر نقي مع انثى ذات شعر ابيض نقية وجد ان النسل الناتج يحمل كل من الشعر الحمر والشعر الأبيض ، وباجراء تلقيح بين ذكور واناث من الجيل الأول ، وجد ان الجيل الثاني يتكون من ماشية بعضها احمر الشعر فقط والبعض الاخر منها يحمل شعر ابيض واحمر معاً ومجموعة ثالثة من الماشية تحمل شعر ابيض فقط ، وكانت النسبة المظهرية والوراثية هي ١ : ٢ : ١ على التوالي وهذا يدل على ان الافراد الخليطة وراثياً ظهر بها تأثير كلا الاليلين بشكل مستقل الواحد عن الاخر .

	شعر احمر	×	شعر ابيض
P1	RR		rr
G1	R		r
F1	Rr		

ماشية تحمل كل من الشعر الأحمر والأبيض (غباري)

تلقيح ذاتي

P2	Rr		Rr	
G2	R	r	R	r
F2	RR	Rr	Rr	rr
	احمر الشعر	تحمل كل من الشعر الأحمر والأبيض		ابيض الشعر

ب) وراثة لون الريش في الدجاج الاندلسي :

تمثل ايضاً وراثة لون الريش في الدجاج الاندلسي مثالاً للسيدة العامة او انعدام السيادة حيث يظهر تأثير كلا الاليلين في الافراد الخليطة وراثيا بشكل مستقل .

	ريش ابيض نقية	×	ريش احمر نقية
P1	bb		BB
G1	b		B
F1	Bb		

دجاج تحمل كل من الريش الأحمر والأبيض (غباري)

تلقيح ذاتي

P2	Bb		Bb	
G2	B	b	B	b
F2	BB	Bb	Bb	bb
	احمر الريش	تحمل كل من الريش الأحمر والأبيض		ابيض الريش

ج) وراثة مجاميع الدم في الانسان :

يتكون الدم من كريات الدم الحمراء والبيضاء والصفيحات الدموية وسائل البلازما ويطلق على البلازما بعد إزالة الليفين منه بمصطلح مصل الدم .

في المحاولات الأولى التي أجريت فيها عملية نقل الدم لوحظ ان بعض المستلمين يموتون دون سبب واضح ، وقد لاحظ العالم لاندشتاينر ان كريات الدم الحمراء لبعض الأشخاص تتجمع معاً في كتل كبيرة وواضحة عند خلطها مع مصل دم لأشخاص اخرين . ان أساس هذا التجمع هو التفاعل الناتج بين ما تحمله كريات الدم الحمراء على سطحها من مستضدات وما يحويه مصل الدم من اجسام مضادة ، اذ ان الفرد قد ينتج نوعاً واحداً من المستضدات او نوعين سويةً او لا ينتج أي منهما ، وبأمثل قد ينتج أياً من الجسمين المضادين اوكليهما او لا ينتج أياً منهما .

بالنسبة لنظام التسمية المستخدم لمجاميع الدم يكون بالرموز ، اذ ان الافراد التي تحمل مجموعة الدم A في الانسان تحمل الاليل I^A بصورة نقية I^AI^A او خليطة I^Ai والافراد التي تنتمي الى مجموعة الدم B تحمل الاليل I^B بصورة نقية I^BI^B او خليطة I^Bi بينما الافراد الخليطة وراثياً I^AI^B تنتمي لمجموعة الدم

AB مما يدل على ان تأثير كل من الاليل I^A والاليل I^B في الافراد الخليطة وراثياً كان مستقلاً كل منهما عن الاخر ، اما الافراد التي تنتمي الى مجموعة الدم O تحمل الاليل i ، كما يرمز للمستضدات بالرموز ايضاً A , B وللأجسام المضادة a , b وفيما يلي جدول يمثل الطراز المظهري والوراثي والمستضدات والاجسام المضادة لمجاميع الدم .

الجسم المضاد في مصل الدم	المستضد على سطح الكرية الحمراء	الطراز الوراثي	الطراز المظهري
جسم مضاد b للمستضد B	A	I^AI^A , I^Ai	A
جسم مضاد a للمستضد A	B	I^BI^B , I^Bi	B
لا تحتوي جسم مضاد	A , B	I^AI^B	AB
جسم مضاد a للمستضد A جسم مضاد b للمستضد B	لا تحتوي مستضد	ii	O

الجينات المميتة Lethal Gene :

بالإضافة الى ان الجينات تحدد بصفة أساسية الشكل المظهري Phenotype للكائن ، الا انه هنالك بعض الجينات تؤثر على حيوية الكائن وشكله المظهري معاً ، ويتمثل ذلك في اضعاف او خفض الوظائف الحيوية والفسيولوجية للكائن الحي وبالتالي الموت ، فالجينات المميتة هي التي تسبب موت الكائن الحي الذي يحملها مما يؤدي الى اختلاف النسب المظهرية عن النسب المندلية حيث تكون النسبة المظهرية في الجيل الأول F1 ٢ : ١ . وتوجد بشكلين جينات مميتة سائدة Dominant lethal gene وجينات مميتة متنحية Recessive lethal gene .

فمثلاً صفة لون الفراء الأصفر هي صفة سائدة على صفة لون الفراء البني للفأر ، وعند اجراء تضريب بين فأرين اصفرين فيكون النسل الناتج متكون من ٣/٢ اصفر و ٣/١ بني وعند تضريب اللون الأصفر مع البني لم ينتج عن ذلك فئران صفراء متماثلة الزيجة حيث كانت جميع الفئران الناتجة متباينة الزيجة ، وعند تشريح اناث الفئران الصفراء الحوامل لوحظ ان ربع الاجنة قد ماتت خلال مراحل التطور الجيني ، لذا يمكن القول ان أي فرد يكون متماثل الزيجة يموت بينما تعيش الافراد المتباينة الزيجة .

ومن الأمثلة الاخرى على ذلك ايضاً عند اجراء التهجين بين الدجاج الزاحف Cc حيث يظهر هذا النوع في حالة وجود اليل مميت C مع اليل عادي c أي في حالة تباين الزيجة Cc وتكون ارجلة

قصيرة ولا يستطيع المشي بشكل اعتيادي وعند حدوث تزاوج بين فردين زاحفين يكون ربع الجيل الثاني ميتاً .

P1 Cc * Cc

G1 C c C c

F1 CC Cc Cc cc

ميت ٢٥% ٢ دجاج زاحف حي ٥٠% دجاج عادي ٢٥%

النفاذية والتعبيرية Penetrance and Expressivity :

النفاذية Penetrance :

هي نسبة افراد ذات طراز وراثي معين تظهر الطراز المظهري المتوقع او المرافق لذلك التركيب الوراثي تحت مجموعة من ظروف بيئية معروفة ، واذا كانت جميع هذه الافراد حاملة لجين طافر سائد فإنها جميعاً سيكون لها طراز مظهري طافر ويسمى الجين عند ذلك جين كامل النفاذية Complete Penetrance gene .

التعبيرية Expressivity :

تعني قوة تعبير جين من الجينات في اظهار طراز مظهري معين في الفرد وبمعنى اخر قوة تأثير ذلك الجين وسيادته على جينات أخرى فمثلاً الجين المسؤول على الطول في نبات البازلاء يسود على جين القصر ، لذا نرى ان جميع النباتات الهجينة تكون طويلة ، مما يعني ان جين الطول كامل النفاذية ولهذا يعتبر جين معبر Expressivity Gene .

الاليلات المتعددة Multiple Alleles :

يتكون الجين من تسلسل معين من النيوكليوتايدات ويكون مسؤولا عن توارث صفة سائدة معينة ويتغير هذا التسلسل عند حدوث أي طفرة وراثية مما يؤدي الى جعل الجين نفسه مسؤولاً عن توارث الصفة لكن بصورة متنحية . فيما سبق توارث الصفات كما يعتمد على اليلين لكل جين ويسود احدهما على الاخر وفي حالات معينة لا تحصل السيادة فتنعدم كلياً وفي حالات أخرى يستقل كل اليل في تأثيره عن الاليل الاخر ، غير ان التوسع في دراسة الوراثة اظهر إمكانية وجود عدد غير محدود من الاليلات لكل جين بسبب حصول طفرة معينة على منطقة من الـ DNA فيحصل تغير للمعلومات الوراثية المخزونة وبذلك تنتج اليلات جديدة للموروثة الاصلية ، ومن الأمثلة الشائعة على ذلك الجينات التي

تتحكم بلون الفراء للأرنب حيث يوجد الفراء الملون وتكون فيه الشعرة مرقطة ويرمز لموروثته بـ C^+ وتسود هذه الصفة سيادة تامة على صفة انعدام الصبغة في الشعر وهي اللون الابهق (Albinos) ويرمز لموروثته c ،

هنالك نوع ثالث من اليلات توارث الشعر يفتقر الى اللون الأصفر اذ يكون لون الفراء فضياً (Chinchilla) ويرمز لموروثته C^{ch} اذا كان سائد و c^{ch} اذا كان متنحي وهو اليل متنحي بالنسبة للملون ، ومازال هنالك اليل رابع يورث الفراء الأبيض الشعر ما عدا نهايات الأطراف والانف والاذنين والذنب فتكون سوداء وهذا يدعى بالهملايا C^h سائد او c^h متنحي وهو سائد بالنسبة للون الابهق ومتنح بالنسبة للون الفضي .

التلقيح الأول :

P1 CC * $C^{ch}C^{ch}$

G1 C C^{ch}

F1 CC^{ch}

تلقيح ذاتي

P2 CC^{ch} * CC^{ch}

G2 C C^{ch} C C^{ch}

F2 CC CC^{ch} CC^{ch} $C^{ch}C^{ch}$

التلقيح الثاني : ----------

P1 CC * C^hC^h

G1 C C^h

F1 CC^h

تلقيح ذاتي

P2 CC^h * CC^h

G2 C C^h C C^h

F2 CC CC^h CC^h C^hC^h

التلقيح الثالث : ----------

P1 CC * cc

G1 C c

F1 Cc

تلقيح ذاتي

P2 Cc * Cc

G2 C c C c

F2 CC Cc Cc cc

وهكذا بالنسبة لباقي التلقيحات الأخرى للسلالات المختلفة

هذه الاليلات المتعلقة بلون الفراء في الارانب تمثل مجموعة من الاليلات المتعددة عند نفس الموقع الجيني Gene locus للجين الذي يتحكم في وراثة لون الفراء في الارانب ، حيث ان كل اليل طفري (نتيجة لحدوث طفرة تؤثر في هذه الوظيفة بطريقة مختلفة) مسؤول عن لون معين من الوان الفراء .

مما سبق يمكن تحديد التراكيب الجينية المختلفة Genotype والاشكال المظهرية المختلفة Phenotype المتعلقة بلون الفراء في الارانب تبعاً لعلاقة السيادة التامة بين هذه الاليلات المتعددة على النحو التالي :

الشكل المظهري	التركيب الجيني
السلالة البرية (لون الفراء الملون /أجوتي)	CC , CC^{ch} , CC^h , Cc

سلالة الشنشلا (لون الفراء فضي)	$C^{ch}C^{ch}$, $C^{ch}C^{h}$, $C^{ch}c$
سلالة الهيمالايا (لون الفراء ابيض ما عدا طرف الذيل والارجل والانف والاذن)	$C^{h}C^{h}$, $C^{h}c$
سلالة الالبينو	cc

وبذلك يتضح ان الموقع الجيني ان الموقع الجيني الذي يتحكم في وراثة لون الفراء في الارانب المستأنسة يشغله مجموعة من الاليلات المتعددة .

بعض المصطلحات الوراثية :

١) التضريب العكسي او الرجعي Backcross :

تضريب بين احد افراد الجيل الأول مع احد الابوين او كليهما ، فان هذا النوع من التضريب يدعى تضريباً رجعياً ويستعمل للتأكد من صفات الجيل الابوي السائد فعند تضريب نبات طويل القامة مجهول درجة النقاوة بجيل ابوي سائد مجهول درجة النقاوة وكانت جميع افراد النباتات الناتجة طويلة القامة ، فان افراد الجيل الأول والجيل الابوي قد تكون سائدة نقية او سائدة هجينة .

٢) التضريب الاختباري Test-cross Mattings :

يستعمل التضريب الاختباري للتأكد من صفة نبات معين مجهول صفة السيادة من خلال تضريبة بنبات متنحية الصفة ، فاذا كانت نباتات الجيل الأول ذات صفة او صفات سائدة فيعني ذلك ان النبات المجهول يحمل صفة سائدة نقية واذا كان نصف النباتات الناتجة ذات صفات سائدة ونصفها ذات صفات متنحية فيعني ذلك ان النبات يحمل صفة سائدة هجينة .

المصادر :

الصيحي ، محمد عبد الباعث (٢٠١٢) . " أساسيات علم الوراثة " . قسم الوراثة ، كلية الزراعة ، جامعة الإسكندرية .

شكارة ، مكرم ضياء (٢٠١٢) . "علم الوراثة "عمان دار المسيرة للنشر والتوزيع

Hopkins; W. G. (2006) . " Plant Genetics"

George; A. (2012) " Principles of Plant Genetics and Breeding "

الوراثة المرتبطة بالجنس

من المحاضرات السابقة يتضح وجود نوعين من الكروموسومات اما كروموسومات جسمية وهي التي تحمل الجينات المسؤولة عن توارث الصفات الجسمية وتوجد في جميع الافراد ، اما النوع الثاني من الكرموسومات فيعرف بالكرموسومات الجنسية وهي التي تميز جنس عن اخر وتحمل الجينات المسؤولة عن الصفات الجنسية ، ومنذ بداية القرن العشرين اتضح وجود علاقة ثابتة بين تحديد جنس الفرد وبين وجود كرموسومات معينة ، ومن الدراسات المتعددة اتضح وجود عوامل وراثية مرتبطة بجنس دون الاخر ومن اشهر واقدم الأمثلة مرض سيولة الدم او كما يعرف بمرض نزف الدم الوراثي ففي الانسان يعتبر هذا المرض خطير فعند الإصابة بجرح معين ولو بسيط يؤدي الى حصول نزف حاد لعدم تجلط الدم مما قد يؤدي الى الموت ، ويظهر هذا المرض في الذكور بينما الاناث تكون حاملة فقط للمرض . اذ ان الجين المسبب لهذا المرض محمول على الكروموسوم الجنسي X وبذلك فهو يظهر مباشرةً في الذكور لان تركيبها يكون XY بينما الانثى يكون تركيبها XX وبالتالي يكون الجين المتنحي بها مختفي لوجود جين سائد وتصبح الاناث هي حاملة للمرض فقط وتنقل جين المرض الى أبنائها الذكور دون الاناث وهذا يعرف بالصفة المرتبطة بالجنس ، ويمكن توضيح الصفات المرتبطة بالجنس بأنها الصفات الوراثية التي تظهر بكثرة في جنس الذكور دون الاناث وان الذكور قد ورثت هذه الصفة من امهاتها وليس من ابائها لان الكروموسوم X يأتي الى الذكر من الام كما ان هذه الذكور تورثه الى بناتها وليس الى أبنائها .

وعلى ذلك فسوف نناقش الجينات او العوامل الوراثية التي تؤثر على صفة ما بحيث تظهر في جنس اكثر من الجنس الاخر ، سواء كانت هذه الجينات محمولة على كروموسومات جنسية (تسمى جينات مرتبطة بالجنس) او جينات محمولة على الكروموسومات جسمية (تسمى جينات متأثرة بالجنس) .

ومن المهم ان نشير الى ان الصفة المرتبطة بالجنس تحدث في كلا الجنسين بالرغم من اختلاف نسبة ظهورها في الذكور عنه في الاناث ، بينما الصفات المتأثرة بالجنس تظهر فقط في جنس واحد دون الاخر وان ظهور الصفة يعتمد كلياً على التفاعل بين التركيب الوراثي للفرد وما يفرزه من هرمونات جنسية تعد المسؤولة عن اظهار الصفات الجنسية الثانوية في الفرد .

وسوف نستعرض كل حالة من هذه الحالات :

اولاً : الصفات المرتبطة بالجنس Sex linked characters :

أ) صفات تتوارث بجينات مرتبطة كلياً بالجنس وتوجد على الكروموسوم الجنسي X فقط

١ـ صفة لون العين البيضاء في ذبابة الدروسفيلا

اول الصفات المرتبطة بالجنس صفة لون العين البيضاء والتي ظهرت في السلالات البرية لحشرة الدروسفيلا ميلانوجستر Drosophila melanogaster فقد شاهدها العالم مورجان في عام ١٩١٠ وادى ظهورها الى دراسة السلوك الجيني للصفات المرتبطة بالجنس ، فجين العين البيضاء يوجد على الكروموسوم الجنسي X فقط . **فعند تزاوج ذكر ابيض العينين مع انثى حمراء العينين** ظهرت افراد الجيل الأول ذكوراً واناثاً حمراء العيون ، أي ان صفة احمر العين سائد على صفة ابيض العين . وعندما تركت افراد الجيل الأول تتزاوج مع بعضها ظهرت افراد الجيل الثاني وبها مجموعتان مظهريتان احداهما حمر العيون والأخرى بيض العيون ، ولكن يلاحظ في الجيل الثاني مشاهدات لم يسبق ملاحظتها عند دراسة السلوك الوراثي للصفات ، اذ يشاهد ان جميع الاناث للجيل الثاني كانت حمر العيون وان نصف الذكر حمر العيون والنصف الاخر بيض العيون ، ومن ذلك نلاحظ ان نسبة افراد حمر العيون في الجيل الثاني (ذكور+ اناث) الى الافراد بيض العيون (ذكور فقط) كانت ٣ : ١ ، اذ ان هذه النسبة تدل على ان هذه الصفة تتأثر بزوج واحد من العوامل الوراثية . لكن اذ اجري التلقيح العكسي للتلقيح السابق فان النتائج تصبح مختلفة كما في التجربة التالية :

	ذكر ابيض العين	×	انثى حمراء العين
P1	X^rY	*	X^RX^R
G1	X^r Y		X^R
F1	X^RX^r		X^RY
	٥٠% اناث حمر العيون		٥٠% ذكور حمر العيون

تلقيح ذاتي

P2	X^RY		*	X^RX^r	
G2	X^R	Y		X^R	X^r
F2	X^RX^R	X^RX^r	X^RY	X^rY	
	٧٥% حمر العيون		٢٥% بيض العيون		

تزاوج ذكر احمر العين مع انثى بيضاء العينين (طفرة)

هذا التزاوج هو تزاوج عكسي للتجربة السابقة فيلاحظ ان افراد الجيل الأول بها ذكور بيض العيون والاناث حمر العيون . أي ان صفة الاب انتقلت الى الاناث وصفة الام انتقلت الى الأبناء الذكور ، ويسمى هذا النوع من التوارث العكسي للصفات في جيل الإباء مع الجنس العكسي في الجيل الأول باسم الوراثة التصالبية . والافراد تتوزع في مجموعتين مظهريتين احداهما حمر العيون وكانت جميع افرادها من الاناث اما الأخرى فكانت بيض العيون وكان جميع افرادها من الذكور ويلاحظ ان عدد الذكور يساوي عدد الاناث أي ان النسبة الجنسية تقريباً هي ١ : ١ ، وكان نصف كل جنس احمر العيون والنصف الاخر ابيض العيون .

انثى بيضاء العين × ذكر احمر العيون

P1 X^rX^r * X^RY

G1 X^r X^R Y

F1 X^RX^r X^rY

٥٠% اناث حمر العيون ٥٠% ذكور بيض العيون

تلقيح ذاتي

P2 X^RX^r * X^rY

G2 X^R X^r X^r Y

F2 X^RX^r X^rX^r X^RY X^rY

حمر العيون بيض العيون حمر العيون بيض العيون

وقد تمكن موركان من وضع التفسير الصحيح لتوارث هذه الصفة على أساس الفرضيتين التاليتين :

١- الجين الخاص بلون العين البيضاء يوجد على الكروموسوم الجنسي X وهذا الكروموسوم اما يحمل اليل العين الحمراء او اليل العين البيضاء ، وحيث ان الانثى بها XX كروموسومين ، فاذا فرضنا ان كلا الكروموسومين يحملان الاليلين لصفة العين البيضاء (تماثل) فتصبح الاناث بيضاء العيون ، اما

اذا فرضنا ان احدهما يحمل الاليل السائد والكروموسوم الاخر يحمل الاليل المتنحي او ان كلاهما يحمل

الاليل السائد فان الاناث تصبح حمراء العيون ، وعلى ذلك فان اليل لون العين البيضاء (طفرة) يكون متنحي امام اليل لون العين الحمراء .

٢- مع فرض ان كروموسوم Y لايحمل أي من الاليلان الاحر (السائد) او الأبيض (المتنحي ، الطفر) ، فعند وجود أي من الاليلان على الكروموسوم X الموجود في الذكر يلاحظ الأثر الوراثي لهذا الاليل في الذكور .

وعلى هذا الأساس يمكن تفسير النتائج وراثياً كالاتي : الذكر يورث صفاته المرتبطة بالجنس (جيناته على الكروموسوم X) الى بناته في الجيل الأول ثم الى احفاده الذكور في الجيل الثاني من خلال بناته فقط وليس عن طريق ابناءه ، وذلك تبعاً لسلوك كرموسوم X وانتقاله من جيل لأخر . يتبين من هذه التحليلات الكروموسومية ان اليلي صفة لون العين البيضاء والحمراء في ذبابة الدروسوفيلا يتبعان في انتقالهما من جيل لاخر سلوك وانتقال كروموسوم X مما يثبت ان هذان الاليلان موجودان على الكروموسوم الجنسي X .

٢- الصفات المرتبطة بالجنس في الانسان

كما ذكرنا ان اول صفة شوهدت مرتبطة بالجنس كانت صفة سيولة الدم في الانسان وصفة عمى الألوان

١- صفة عمى الألوان :

يسبب مرض عمى الألوان في الانسان عدم القدرة على التمييز بين اللون الأحمر الخفيف والاخضر الخفيف وهنالك بعض الأشخاص الذين يصابون به لا يستطيعون التمييز بين اللون الأحمر والاخضر ، نسبة ظهوره بالذكور اعلى من نسبة ظهوره في الاناث ولا يوجد تأثير للسن على ظهور هذا المرض فهو يظهر في الأطفال ويظهر في الكبار والدراسات اثبتت ان نسبة الإصابة بالنسبة للذكور ٨ % بينما في الاناث فتصاب بنسبة ٠.٥ % والسبب في ذلك هو ارتباط هذا المرض بالجنس ، فالذكر لا يورث كروموسوم X الى أبنائه الذكور ولكن يورثه الى بناته فقط . ولوحظ عند تزاوج ذكر مصاب مع انثى سليمة فان جميع اطفالهما تكون سليمة ولا تظهر عليهم اعراض المرض اما في حالة التزاوج العكسي

(ذكر سليم مع انثى مصابة) فتظهر الوراثة التصالبية حيث يشاهد كل الذكور مصابة في حين ان كل الاناث تكون سليمة ويجب العلم بان كل الاناث في نسل التزاوج الأول ثم العكسي تكون سليمة لكنها حاملة للمرض وبذلك تورث هذه الصفة الى ابنائهن الذكور .

وبذلك يمكن استنتاج الاتي :

أ) جين هذا المرض متنحي رمزه (c) محمولاً على الكرموسوم الجنسي X .

ب) صفة مرض عمى الألوان متنحية امام صفة رؤية الألوان ، وان الكروموسوم Y ليس له أي دور في السلوك الوراثي لهذا المرض .

ج) التركيب الوراثي للذكر بالنسبة لهذا المرض يكون نصف متماثل سواء للاليل السائد او المتنحي ، اما الاناث فيوجد منها ثلاث تراكيب جينية : الأول متماثل للعامل السائد (سليمة) والثاني متماثل للاليل المتنحي (مريضة) والثالث خليطة (حاملة للمرض) .

٢- صفة نزف الدم الوراثي (مرض سيولة الدم)

كما ذكرنا سابقاً تعد صفة سيولة الدم من اشهر الصفات المرتبطة بالجنس في الانسان ويعود ذلك الى ان دم المصاب لا يتجلط وبالتالي يؤدي الى نزيف حاد ولو من جرح بسيط ويظهر غالباً في الأطفال الذكور بنسبة واحد لكل عشرة الاف اما في الاناث فتظهر بنسبة منخفضة هي واحد لكل مليون . جين هذا المرض يسلك في توارثه سلوك العوامل المتنحية والمرتبطة بالجنس ويرمز لجين هذا المرض بالرمز h اما الاليل السائد يكون H . فاذا تزوج شخص مصاب بأنثى حاملة للمرض (أي خليطة التركيب الوراثي) نجد ان نصف النسل يكون مصاب (نصفهم ذكور ونصفهم اناث) بينما نصف النسل الاخر يكون سليم (نصفهم ذكور ونصفهم اناث) وذلك بنسبة ١ مصابة : ١ سليمة حاملة للمرض .

كما ان هنالك صفات مرتبطة بالجنس في كل من الطيور والفراشات ويمكن القول انها تتبع في انتقالها من جيل لاخر نظام الوراثة التصالبية ولكن بحالة عكسية لما في ذبابة الدروسوفيلا والانسان أي يكون الانتقال عبر الام نصف المتماثلة الى الأبناء الذكور ، ومن اشهر الأمثلة على الصفات المرتبطة بالجنس صفة الريش المخطط في الدجاج . كما توجد ايضاً صفات مرتبطة بالجنس في الأسماك

الارتباط بكروموسوم Y في الانسان :

يتميز كروموسوم Y في الانسان باحتوائه موروثات معينة لا مثيل لها في كروموسوم X ولها تأثير قوي على ظهور الصفات المذكرة وانها تنتقل من الإباء الى الأبناء الذكور مثل صفة الاذن المشعرة وهي صفة جسمية تسيطر عليها موروثات مرتبطة بكروموسوم Y .

الصفات المحددة بالجنس :

يوجد الكثير من الموروثات لصفات جنسية على كرموسومات ذاتية تتحكم في نمو الأعضاء التناسلية وتوزيع الشعر على الجسم وعمق الصوت ، اذ ان هذه الصفات موجودة في كلا الجنسين غير ان الطرز

المظهرية تختلف في الذكر عن الانثى . لذا فان هذه الصفات محددة بالجنس وليست مرتبطة به لان موروثاتها تتواجد على الكروموسومات الذاتية وليست الجنسية .

الصفات المتأثرة بالجنس :

تتوقف سيادة الاليل في بعض الصفات على الجنس كما يحصل في حالة الصلع عند الانسان ، اذ ان من المعروف ان هذه الصفة تتحكم بها موروثة b^+ موجودة على الكروموسومات الذاتية وتكون سائدة في الذكور وتنتج الصلع في الطرازين الوراثيين b^+b , b^+b غير انها لاتنتج الصلع في الاناث الا في حالة b^+b^+ .

ومن الصفات الأخرى المتأثرة بالجنس صفة لون الشعر في ماشية الايرشير وكذلك صفة وجود او عدم وجود القرون في الأغنام ، فعند اجراء تزاوج بين سلالتان مختلفتان في وجود او عدم وجود القرون نلحظ في حالة تزاوج ذكر ذو قرون HH مع انثى عديمة القرون hh فان الشكل الظاهري لأفراد الجيل الأول يكون كالاتي : الاناث تكون عديمة القرون والذكور يكون لها قرون ، اما افراد الجيل الثاني فيكون ثلاثة منهم ذو قرون (ذكور) وواحد عديم القرون (اناث) ، كما ان في حالة التزاوج العكسي أي تزاوج ذكر عديم القرون مع انثى ذات قرون فان النتائج تكون متشابهة لما تحصل عليه سابقاً .

طبيعة المادة الوراثية

العالم موركان وضع نظرية الكروموسوم التي تنص على ان الكروموسومات هي الحاملة للجينات وان الكروموسومات هي الجهاز المادي للمادة الوراثية وعلى ذلك فانه لمعرفة التركيب الكيميائي للجينات يجب معرفة التركيب الكيميائي للكروموسومات . وقبل ذلك يجب ان نعرف انه مهما كان التركيب الكيميائي للكروموسوم فان المادة الوراثية يجب ان تتميز بما يلي :

١- ان يسمح طبيعة تركيب المادة الوراثية بتخزين المعلومات الوراثية وانتقال وتوارث هذه المعلومات الوراثية بكل دقة من الإباء الى النسل جيلاً بعد جيل ، وهذا يعني قدرتها على التضاعف الذاتي بطريقة دقيقة تسمح لها بذلك .

٢- يجب ان تكون طبيعة تركيب المادة الوراثية قادرة على تنظيم النمو والتشكل الظاهري للكائن الحي سواء كان كائنات دقيقة مثل الفيروس والبكتريا او كائنات راقية ، وهذا يعني انها قادرة على التحكم في نمو وتشكل وتكشف الخلايا للكائن الحي بدءً من الجنين وحيد الخلية الى الكائن الكامل النمو والتشكل .

للوصول الى هذا الهدف فان المادة الوراثية ليس عليها ان تعبر عن نفسها فقط ولكن يجب ان يعمل كل جين وينشط في الوقت والمكان المناسبين بالنسبة للكائن .

في الفترة من ١٩٣٥ حتى عام ١٩٥٠ نشأ خلاف حول ما اذا كانت البروتينات ام الاحماض النووية (DNA , RNA) هي المادة الوراثية ، وخلال هذه الفترة أجريت العديد من الأبحاث والتجارب الهامة والتي اكدت بكل وضوح ان المعلومات الوراثية توجد في الاحماض النووية وليس البروتينات وبالتحديد في الحامض النووي الديؤكسي ريبوز (DNA) باستثناء بعض الفيروسات البسيطة حيث تكون المادة الوراثية بها هي الحامض النووي الريبوزي (RNA) وليس (DNA) .

وسوف نتناول الأدلة غير المباشرة والأدلة المباشرة التي تثبت بان DNA هو المادة الوراثية

أولاً : الأدلة غير المباشرة :

١) اكدت نتائج الدراسات المختلفة بان الـ DNA يوجد في الكروموسومات بالنواة باستثناء الميتوكوندريا والبلاستيدات وان كل من البروتينات و RNA يتواجدان في السيتوبلازم .

٢) وجود علاقة دقيقة بين كمية DNA وعدد الكروموسومات في الخلية حيث وجد ان كمية DNA في معظم خلايا الكائن الحي الجسمية تكون ضعف الكمية الموجودة في كميتات نفس النوع .

٣) تشابه التركيب الكيميائي لجزيئة DNA في كل أنواع خلايا الكائن الحي (فيما عدا استثناءات نادرة جدا) بينما يختلف تركيب كل من RNA والبروتينات كمياً ووصفياً باختلاف طرز خلايا الكائن الحي.

مثل هذه العلاقات السابقة تؤكد بطريقة غير مباشرة على ان DNA هو المادة الوراثية وليس البروتينات و RNA .

ثانياً : الأدلة المباشرة :

اولاً : حدوث التحول البكتيري Bacterial transformation :

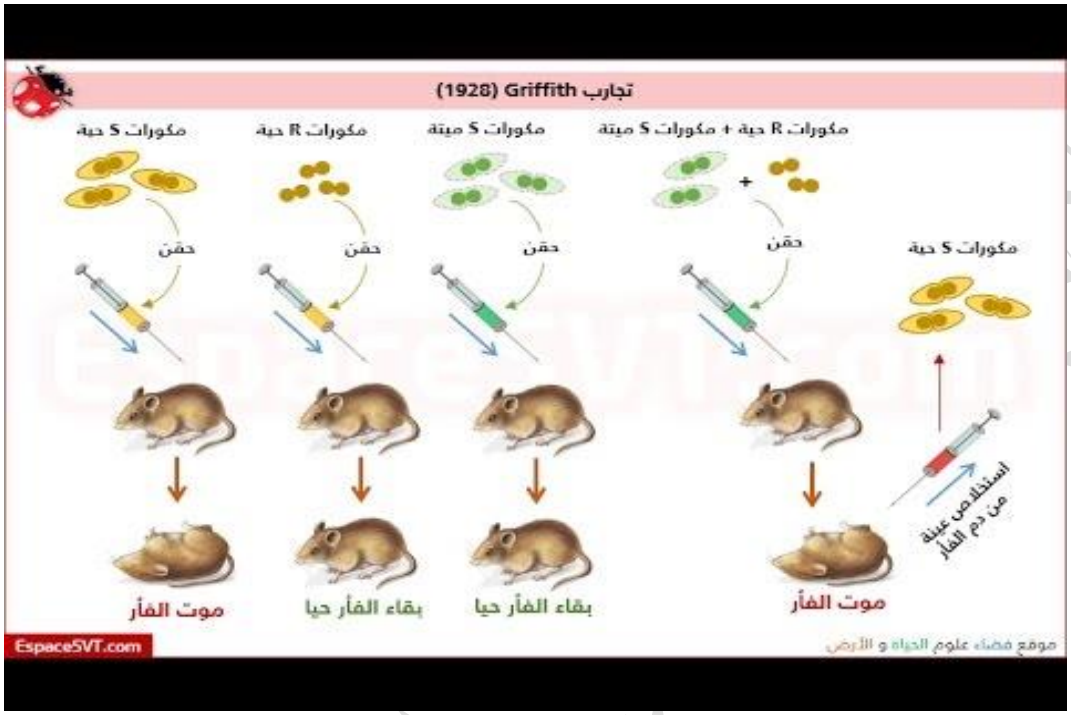
جاء اول دليل مباشر على ان DNA هو المادة الوراثية من نتائج التجارب التي أجريت على نوع من البكتريا التي تعرف بالبكتريا الرئوية والتي تسبب الالتهاب الرئوي للإنسان . هذه البكتريا مثلها مثل باقي الكائنات الحية اذ تظهر اختلافات وراثية يمكن التعرف عليها لوجود طرز مظهرية مختلفة من هذه البكتريا ومن هذه الاختلافات وجود الكبسولة المحيطة بالخلية البكتيرية او عدم وجودها ، وكذلك طبيعة التركيب الكيميائي للكبسولة .

عند تنمية هذه البكتريا على بيئة مناسبة في اطباق بتري تنتج هذه البكتريا مستعمرات كبيرة ملساء (ناعمة) Smoth ويرمز لها بالرمز S وهذا الطراز ممرض لمعظم الكائنات التي تصاب به ومنها الانسان ووجد ان هذا الطراز الناعم (S) من البكتريا يمكن ان يطفر الى طراز اخر من الخلايا تكون مستعمرات صغيرة خشنة Rough ويرمز لها بالطراز R . هذا الطراز R غير ممرض ولا يسبب مرض الالتهاب الرئوي . كذلك وجد ان الطراز الناعم S يوجد منه طرز مختلفة تبعاً لتركيب الكبسولة ويرمز لها بالرمز SIII , SII , SI وهكذا . هذه الطرز الأخيرة يمكن ايضاً ان تطفر الى الطراز الخشن وتبعاً لذلك يوجد طرز خشنة مختلفة تبعاً للمصدر الناعم الذي نشأت منه . ومن الممكن ان تحدث الطفرة العكسية ويرتد الطراز الخشن الى الطراز الناعم مرة أخرى .

عام ١٩٢٨ قام العالم Griffith بأجراء تجارب باستخدام الفئران المعملية لمعرفة ما هي طبيعة المادة الوراثية . ففي احدى التجارب قام بحقن بعض الفئران ببكتريا ممرضة من الطراز SIII والبعض الاخر ببكتريا من الطراز RII فوجد ان الفئران التي حقنت بالطراز الناعم SIII ماتت بينما التي حقنت بالطراز الخشن RII عاشت ولم تمت ، وفي تجربة أخرى عامل البكتريا الناعمة من الطراز SIII بدرجات حرارة عالية لقتلها ثم حقن بها بعض الفئران فوجد انها لم تسبب أي مرض وبالتالي عاشت الفئران . في تجربة ثالثة اخذ نفس الطراز من البكتريا الناعمة الممرضة SIII والميتة (نتيجة معاملتها بالحرارة) بالإضافة الى البكتريا الخشنة من الطراز RII وقام بحقن بعض الفئران بمخلوط منها معاً فوجد ان الفئران أصيبت بالمرض وماتت كما استطاع ان يعزل بكتريا حية من الطراز SIII من الفئران المريضة.

استنتج من هذه التجارب ان هنالك مادة مسؤولة عن تحول البكتريا الحية من الطراز الخشن RII الى الطراز الناعم SIII وسماها باسم أساس التحول وان هذه المادة انتقلت من البكتريا الميتة من الطراز SIII الى البكتريا الحية من الطراز RII . مما يؤكد ذلك انه لو ان تحول البكتريا الخشنة من الطراز RII الى الطراز الناعم SIII عن طريق حدوث طفرة عكسية لكان من المنطقي ان تكون البكتريا المعزولة من الفئران المريضة من الطراز SII وليس من الطراز SIII والذي امكن عزله بالفعل مما ينفي حدوث الطفرة العكسية وانه حدث بالفعل انتقال شيء ما من الخلايا الميتة من الطراز SIII الى الخلايا الحية من الطراز RII وسببت تحولها الى الطراز الناعم SIII . السؤال هما ما هي المادة المسؤولة عن حدوث مثل هذا التحول في البكتريا ؟ ولقد ظلت الإجابة غير معروفة حتى عام ١٩٤٤ عندما قام عدد من العلماء بمجموعة من التجارب لتحديد المادة المسئولة عن حدوث التحول في البكتريا، ولتحديد المادة المسؤولة عن التحول قاموا بفصل محتويات الخلايا البكتيرية من الطراز SIII من بروتينات ودهون وكربوهيدرات واحماض نووية DNA كل على حده ثم قاموا بإضافة كل مكون على

حدة الى بيئات بكتيرية تحتوي على بكتريا من الطراز RII حية ، فوجدوا ان البيئة البكتيرية من الطراز RII التي أضيف اليها DNA المعزول من الطراز SIII هي الوحيدة التي ظهر بها مستعمرات بكتيرية من الطراز SIII بالإضافة الى مستعمرات بكتيرية من الطراز RII بينما لم تظهر أي المستعمرات البكتيرية من الطراز SIII في باقي البيئات الأخرى التي اضيف اليها أي من البروتينات او الكربوهيدرات او الدهون مما يؤكد ان المادة المسؤولة عن التحول الوراثي في هذه البكتريا هي DNA وليس أي مركب اخر .



ثانيا : حدوث التزاوج البكتيري :

قدم العالمان Hershey & Chase عام ١٩٥٢ دليلاً مباشراً اخر على ان DNA هو المادة الوراثية من خلال نتائج تجاربهم التي اجروها باستخدام فايروس بكتيري معين يدعى فاج البكتريا T2 ، حيث يتركب هذا الفايروس من DNA وبروتين بنسب متساوية (٥٠% لكل منهما) وتكون البروتينات غطاء للفيروس بينما يكون جزيئة DNA داخل هذا الغطاء البروتيني ، وباعتبار ان هذا الفيروس يتركب من DNA وبروتين فقط فأي منهما هو المادة الوراثية . لذلك قام العالمان بتعليم DNA عن طريق الفسفور المشع P^{32} وذلك لان البروتينات لا تحتوي على الفسفور بينما DNA يحتوي على الفسفور ومن ناحية أخرى تعليم البروتين بالكبريت المشع S^{35} لان الكبريت يدخل في تركيب البروتينات ولا يدخل في تركيب DNA ، ولتحقيق ذلك قاما بالسماح لجزيئات الفيروس لجزيئات الفيروس T2 الطبيعية بالنمو

والتكاثر على بيئة بكتيرية (من بكتريا E-coli) في وجود الفسفور المشع P^{32} وبذلك فان جزيئات الفيروس الجديدة سوف تحتوي جزيئة DNA فيها على الفسفور المشع بينما يكون البروتين طبيعي . في التجربة الثانية قاما بتنمية جزيئات الفيروس طبيعياً على بيئة بكتيرية أخرى لكن تحتوي على الكبريت المشع فقط وبذلك فان غطاء جزيئات الفيروس الجديدة ستكون معلمة بالكبريت المشع بينما يكون DNA طبيعي .

المعروف ان هذا الفيروس T2 يدخل الخلية البكتيرية العائلة ويتكاثر بداخلها ، والسؤال هنا هل جزيئة DNA هي التي تدخل الى الخلية البكتيرية العائلة ام جزيئات البروتينات هي التي تدخل الى داخل الخلية البكتيرية العائلة ؟ للإجابة على هذا السؤال استخدموا جزيئات الفيروس التي تحتوي على DNA المعلم بالفسفور P^{32} بينما يكون البروتين طبيعي وقاموا بتنميتها على بيئة بكتيرية عادية ، كخلايا عائلة لتكاثر الفيروس وبعد دخول الفيروس الخلايا البكتيرية وتكاثره بداخلها وجد ان معظم الاشعاع كان داخل الخلايا البكتيرية العائلة وهذا يدل على ان جزيئات DNA المعلمة بالفسفور هي التي دخلت الى خلايا العائل البكتيرية وتكاثرت بداخلها ، بينما ظل الغلاف البروتيني خارج خلايا العائل .

وفي التجربة المكملة للتجربة السابقة استخدموا جزيئات الفيروس المعلم بالكبريت المشع فقط والسماح لها بالتكاثر على بيئة بكتيرية عادية ، اذا أوضحت النتائج ان النشاط الاشعاعي ظل موجوداً خارج الخلايا البكتيرية العائلة مما يدل على ان الذي دخل الى داخل الخلايا البكتيرية للعائل هو DNA وليس الغطاء البروتيني للفيروس.

هذه التجارب تؤكد مرة ثانية ان الـ DNA هو المادة الوراثية وليست البروتينات وان جزيئة DNA هي التي تحمل المعلومات الوراثية في كل الكائنات الحية الراقية وغير الراقية باستثناءات قليلة جدا او نادره حيث وجد ان بعض الفيروسات البسيطة تحتوي على RNA كمادة وراثية بدلاً عن DNA .

تركيب جزيئة الـ DNA :

بعد ان تم التأكد ان الـ DNA هو المادة الوراثية في جميع الكائنات الراقية باستثناء بعض الفيروسات التي تحتوي على جزيئة RNA كمادة وراثية . لا بد من التعرف على تركيب جزيئة DNA والخصائص التي تسمح لهذا التركيب من نقل المعلومات الوراثية من جيل الى اخر وكذلك الصورة التي تخزن بها المعلومات الوراثية .

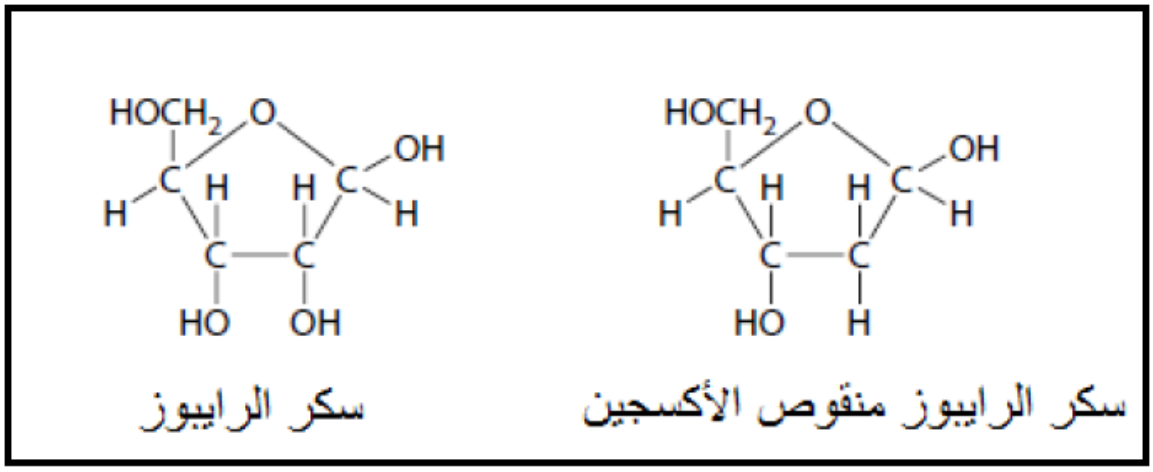
فالأحماض النووية هي عبارة عن جزيئات كبيرة تتركب من وحدات بنائية متكررة وتسمى الوحدة البنائية في بناء الاحماض النووية باسم النيوكليوتيدة ، وعلى ذلك فان الاحماض النووية تتركب من وحدات متكررة من النيوكليوتيدات وتتركب كل نيوكليوتيدة من :

١) مجموعة فوسفات

٢) سكر خماسي

٣) قاعدة نيتروجينية حلقية

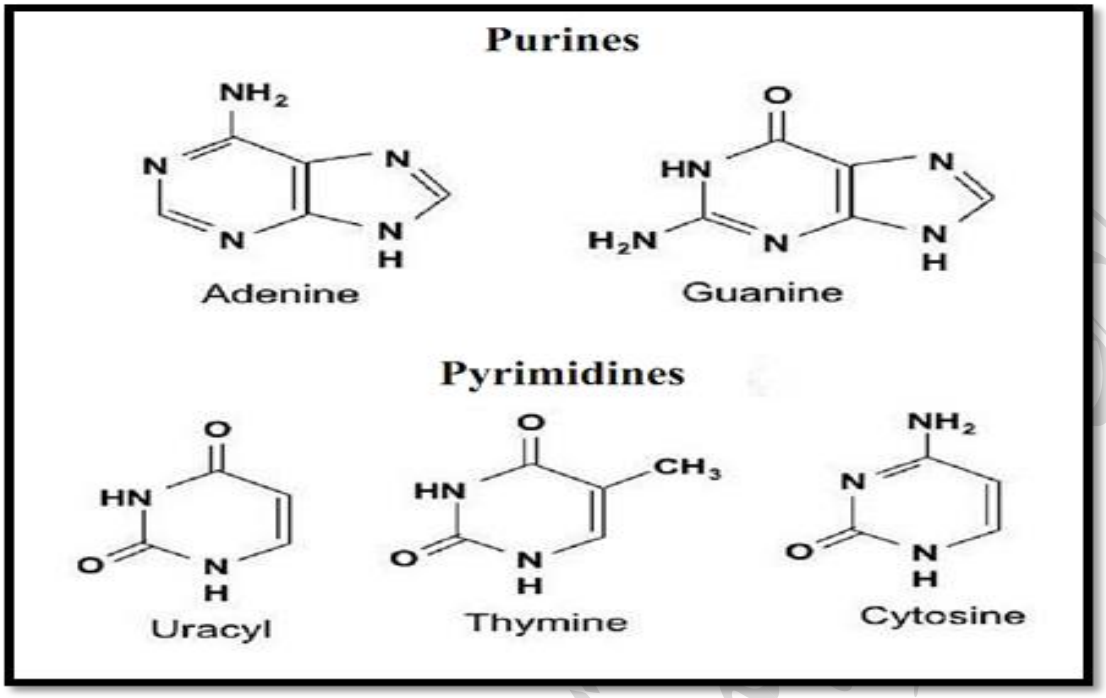
هنالك نوعين من السكر الخماسي احدهما يعرف باسم الرايبوز ويدخل في تركيب الـ RNA فقط بينما النوع الاخر من السكر الخماسي يعرف باسم الديؤكسي رايبوز ويدخل في تركيب الـ DNA فقط ويلاحظ ان الاختلاف بينهما يرجع لإزالة الاوكسجين من مجموعة الهيدروكسيل (OH) الموجودة على الكربون رقم ٢ في السكر الديؤكسي رايبوز كما في الشكل التالي .



اما بالنسبة للقواعد النيتروجينية الحلقية فيوجد نوعان من هما ايضاً

١- مجموعة البيورين وهي عبارة عن مجموعة نيتروجينية مكونة من حلقتين وتضم كلاً من الادنين (A) والكوانين (G) ، مع ملاحظة ان الادنين والاكوانين يدخلان في تركيب كل من DNA & RNA

٢- مجموعة البيريميدين وتتركب القواعد النيتروجينية من حلقة واحدة وتضم هذه المجموعة كل من الثيمين (T) والسيتوسن (C) واليوراسيل (U) . ويدخل الثيمين في تركيب DNA فقط بينما يدخل اليوراسيل في تركيب RNA كما في الشكل التالي .



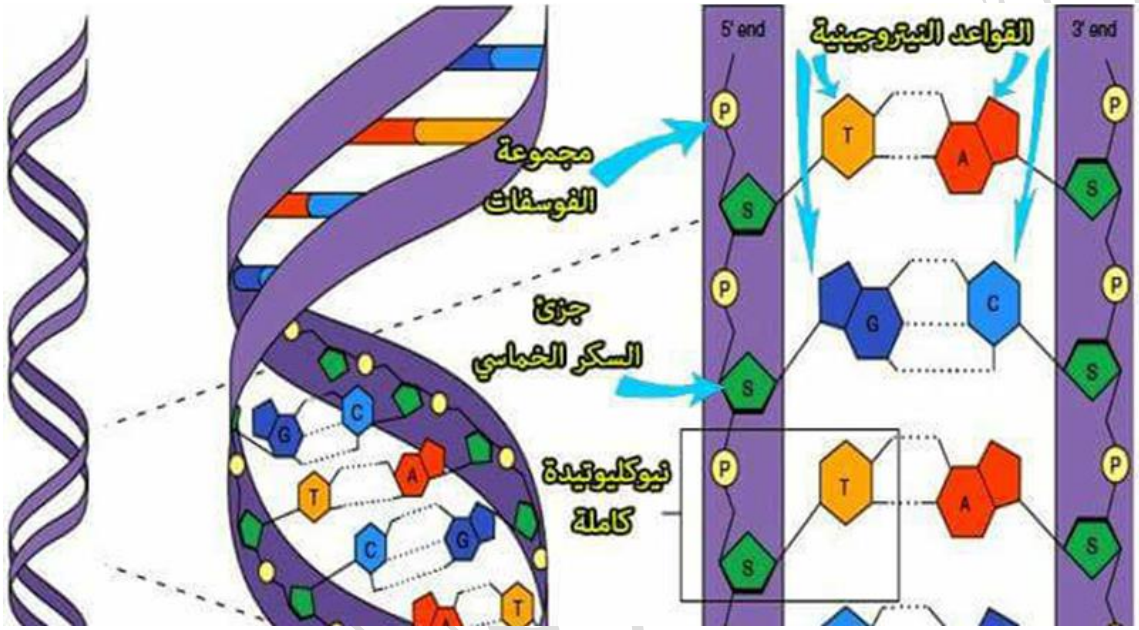
وعلى ذلك يمكن القول ان القواعد النيتروجينية التي تدخل في بناء نيوكليوتيدات جزيئة الـ DNA هي الادنين والكوانين والثيمين والسيتوسين ، بينما يدخل في بناء نيوكليوتيدات جزيئة الـ RNA كل من الادنين والكوانين واليوراسيل والسيتوسين .

ولقد أضحت التجارب ان جزيئة الـ DNA عبارة عن جزيئة مزدوجة الخيط بينما الـ RNA عبارة عن خيط منفرد . ولقد أوضح العالمان واطسون وكريك نموذجاً لناء جزيئة الـ DNA عرف باسمهما او بنموذج الحلزون المزدوج .

الحلزون المزدوج لجزيئة الـ DNA :

الحامض النووي DNA مؤلف من سلسلتين او شريطين ملتفين على هيئة سلم حلزوني ، وان ارتباط القواعد النيتروجينية بين الشريطين يكون بواسطة أواصر هيدروجينية وهذا الارتباط لا يكون عشوائياً بل مقيداً ، فالادنين في احد الشريطين يرتبط مع الثيمين في الشريط الاخر باصرتين هيدروجينية ويرتبط السيتوسين في احد الشريطين مع الكوانين في الشريط الاخر بثلاث أواصر هيدروجينية . وان كمية القاعدة الثيمين (T) تساوي كمية القاعدة الادنين (A) و كمية القاعدة السيتوسين (C) تساوي كمية القاعدة الكوانين (G) . كما ان مجموع كميات القواعد النيتروجينية (T+C) يساوي مجموع

القواعد النيتروجينية (A+G) . وعند فحص جزيئة DNA باستخدام اشعة X وجد ان الاشعة تنحرف في شكل ونظام خاص يدل على ان جزيئات DNA تتركب من بناء محكم ومنظم وليس بناء عشوائي حيث وجد ان الوحدات البنائية لجزيئة الـ DNA تتكرر بمسافات منتظمة مقدارها ٣.٤ انكستروم وذلك على طول محور الجزيئة.



وبذلك يمكن القول ان جزيئة الـ DNA تتميز بالخصائص التالية :

١- ان جزئية الـ DNA توجد بصورة حلزون مزدوج الخيط ويتركب كل خيط او شريط من عدد من النيوكليوتيدات ويلتف كلا الشريطين حول بعضهما حلزونياً .

٢- يتكون كل شريط من عديد من النيوكليوتيدات المتتابعة وترتبط مع بعضها عن طريق رابطة او اصرة فسفورية وتكون هذه الاصرة بين وحدات السكر المتجاورة .

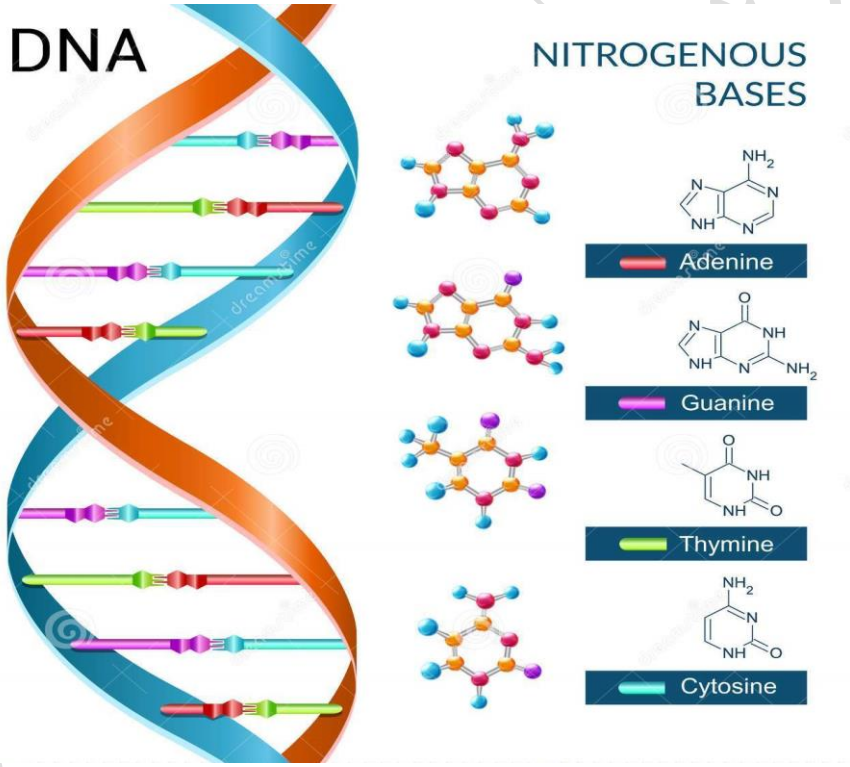
٣- يرتبط كلا الشريطين معاً عن طريق الروابط الهيدروجينية والتي تصل بين القواعد النيتروجينية في كلا الشريطين ، حيث تبدوا ازواج القواعد المتقابلة في الشريطين بوضع متعامد بالنسبة لمحور الجزيئة وتشبه السلم .

٤- يكون الارتباط بين ازواج القواعد المتقابلة في الشريطين على درجة عالية من التخصص حيث يرتبط الادنين مع الثيمين دائما باصرتين هيدروجينية بينما يرتبط الكوانين مع السيتوسين دائما بثلاث أواصر هيدروجينية . لذلك نجد ان احد ازواج القواعد المتقابلة في كلا الشريطين احدهما من

البيورينات والأخرى من البيريميدينات ويرجع ذلك الى قدرة هذه القواعد على تكوين روابط او أواصر هيدروجينية فيما بينها .

٥- المسافة التي يشغلها كل زوج من ازواج القواعد المتقابلة تساوي ٣.٤ انكستروم وتحتوي كل لفة للحلزون المزدوج على عشرة ازواج من القواعد .

٦- يرجع الثبات العالي في بناء الحلزون المزدوج لجزيئة الـ DNA الى العدد الكبير من الاواصر الهيدروجينية بين ازواج القواعد المتقابلة في كلا الشريطين ، والى الاواصر غير المحبة للماء بين ازواج القواعد المتراصة من ناحية أخرى مما يعطي ثباتاً لجزيئة الـ DNA في البروتوبلازم المائي للخلية الحية .



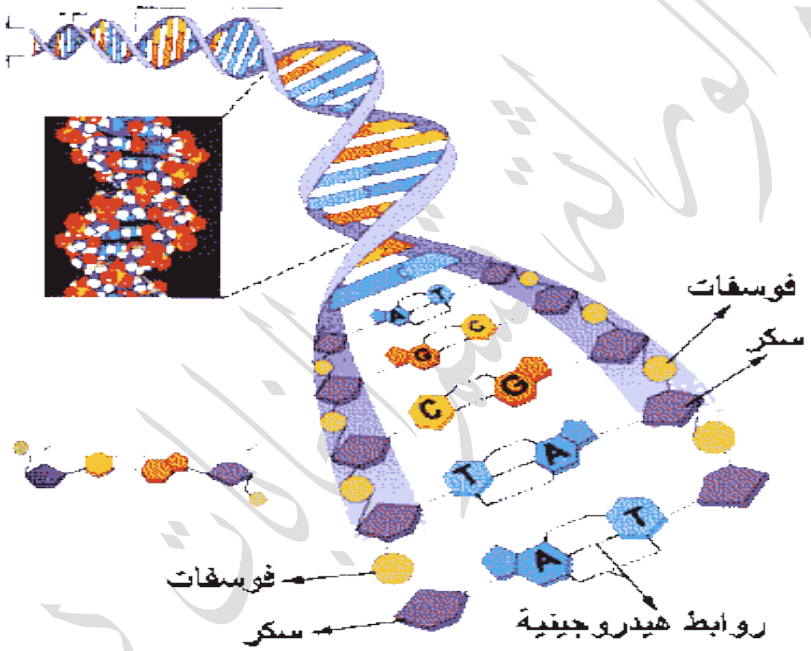
تضاعف جزيئة الـ DNA :

من المعروف ان الكائنات الحية تحافظ على نوعها عن طريق التكاثر والذي اما ان يكون انقساماً خلوياً بسيطاً في البكتريا او ان يكون عن طريق التكاثر الجنسي كما في النباتات والحيوانات الراقية وفي كلا الحالتين فان التكاثر يتطلب نقل المعلومات الوراثية بطريقة دقيقة من الإباء الى النسل ، وحيث ان المعلومات الوراثية تخزن في جزيئة الـ DNA فان تضاعف هذه الجزيئة لا بد ان يكون بطريقة دقيقة

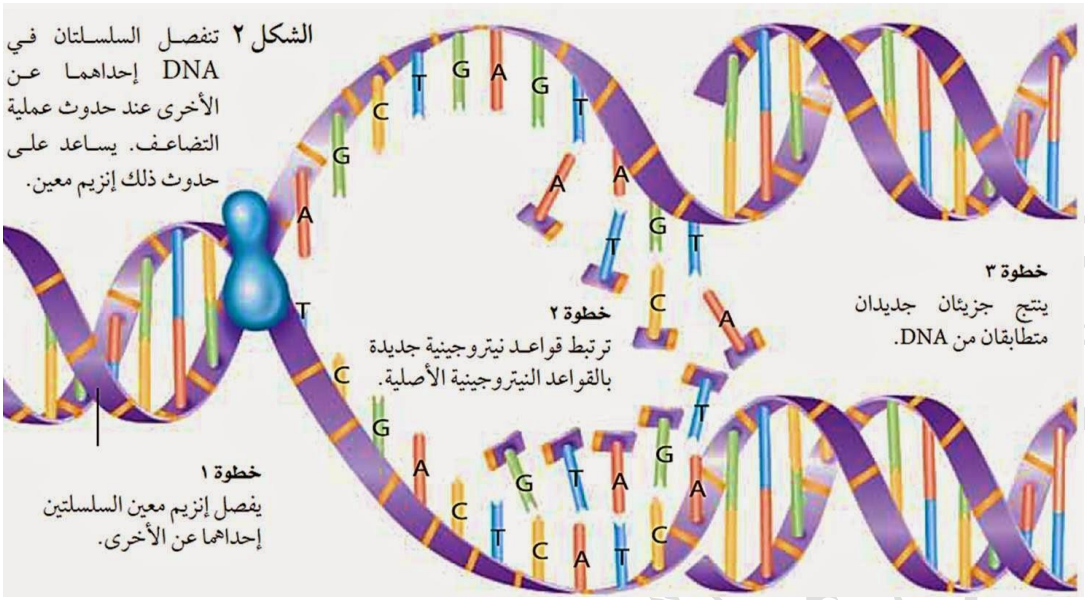
تضمن انتقال المعلومات الوراثية بكل دقة من الإباء الى النسل وتتلخص ميكانيكية التضاعف بالخطوات التالية :

١- انفصال شريطي الحلزون المزدوج عن بعضهما وذلك عن طريق تكسير الاواصر الهيدروجينية بين ازواج القواعد المتقابلة ويصبح كل شريط منفصل عن الاخر في جزء من الحلزون المزدوج ويعرف كل شريط منهما بالشريط القديم .

٢- كل شريط قديم يستخدم لتخليق شريط اخر جديد مكمل له حيث تكون القواعد في الشريط القديم مكملة للقواعد في الشريط الجديد ، بمعنى ان كل شريط ابوي يستخدم كقالب لتكوين شريط جديد .



٣- ينتج عن التضاعف الكامل لجزيئة DNA الابوي جزيئتان من DNA كل منهما مزدوج الشريط وكل منهما تحتوي على شريط قديم وشريط جديد ، لذلك تعرف هذه الطريقة من التضاعف لجزيئة DNA بالطريقة شبه (نصف) المحافظة Semiconservative Replication . وتعد هذه الميكانيكية لتضاعف جزيئة DNA من ادق الطرق لتوارث وانتقال المادة الوراثية من الإباء الى النسل الجديد وكما في الشكل التالي :



الأدلة على تضاعف جزيئة الـ DNA بالطريقة شبه (نصف) المحافظة :

قدم العالمان ميلسون وستال دليلاً تجريبياً لا يدع مجالاً للشك على ان جزيئة DNA تتضاعف بالطريقة نصف المحافظة وذلك من خلال تحليل نتائج تجاربه التي استخدموا فيها البكتريا E-coli والنظائر المشعة للنتروجين وهما النيتروجين الخفيف N^{14} والنيتروجين الثقيل N^{15} . ونظراً لان النيتروجين يدخل في تركيب البيورينات والبريميدينات التي تدخل بدورها في تركيب جزيئة DNA . فان الـ DNA المعزول من البكتريا التي تنمو على بيئة تحتوي على النيتروجين الثقيل N^{15} يكون لها درجة كثافة اعلى من جزيئات الـ DNA المعزولة من البكتريا التي تنمو على بيئة تحتوي على نيتروجين خفيف N^{14} .

ونظراً لإمكانية فصل الجزيئات المختلفة الكثافة عن بعضها بواسطة الطرد المركزي لهذه الجزيئات في محاليل متدرجة التركيز (متدرجة الكثافة) ، فانه باستخدام هذه الطريقة يمكن تحديد بكل دقة الطريقة التي تتضاعف بها جزيئة DNA .

ويمكن تلخيص الخطوات التي قاما بها العالمان ميلسون وستال بما يلي :

١- استخدام محلول ملحي لملح كلوريد السيزيوم متدرج التركيز لفصل جزيئات DNA المختلفة تبعاً لكثافتها .

٢- تنمية البكتريا E-coli لعدد من الأجيال على بيئة غذائية تحتوي على النيتروجين الخفيف (الطبيعي) لعدة أجيال واستخلاص جزيئات DNA من هذه البكتريا وتقدير مستوى ترسيبها في انبوبة الطرد المركزي .

٣- تنمية جزء اخر من هذه البكتريا على بيئة غذائية تحتوي على النيتروجين الثقيل فقط بدل من النيتروجين الخفيف لعدة أجيال ثم فصلت جزيئات DNA منها ومن ثم تقدير مستوى ترسيبها في انبوبة الطرد المركزي . من المتوقع ان يكون مستوى ترسيب جزيئات DNA التي تحتوي على جزيئات النيتروجين الثقيل في مستوى يختلف عن مستوى DNA الذي يحتوي النيتروجين الخفيف.

٤- نقل جزء من البكتريا التي نمت على بيئة غذائية تحتوي على النيتروجين الثقيل الى بيئة تحتوي على النيتروجين الخفيف فقط وترك بعضها لينمو لمدة جيل واحة والبعض الاخر لمدة جيلين والبعض لمدة ثلاثة أجيال .

٥- فصل جزيئات DNA من كل جيل من الأجيال السابقة كل على حدة وعمل الطرد المركزي لها في محاليل متدرجة التركيز من محلول كلوريد السيزيوم لفصل جزيئات DNA المختلفة عن بعضها .

٦- بتحليل النتائج التي تم الحصول عليها وجد ان هنالك تطابق تام بين نتائجهم والطريقة نصف المحافظة لتضاعف جزيئة DNA حيث لا يمكن تفسير نتائجهم الا اذا كانت جزيئة DNA تتضاعف بالطريقة نصف المحافظة .

ان تضاعف جزيئة DNA بالطريقة نصف المحافظة اكدها الأسباب الاتية :

١) ان جزيئات DNA المعزولة من الخلايا التي نمت لمدة جيل واحد على بيئة تحتوي النيتروجين الخفيف كانت ذات كثافة وسطية بين كثافة DNA الثقيل و كثافة DNA الخفيف ويسمى الـ DNA في هذه الحالة بـ DNA الهجين .

٢) أظهرت جزيئات DNA المعزولة من بكتريا الجيل الثاني ان نصفها يظهر كثافة هجينية والنصف الاخر اظهر كثافة خفيفة أي بنسبة ١ : ١ ، وهذه النتائج تتفق بكل دقة مع حدوث التضاعف بالطريقة نصف المحافظة .

٣) اظهر جزيئات DNA المعزولة من بكتريا الجيل الثالث نوعين من الجزيئات احدهما خفيف والأخر ذو كثافة هجينية بنسبة ٣ : ١ وهذا ايضاً لا يمكن تفسيره الا كانت جزيئة DNA تتضاعف بالطريقة نصف المحافظة .

تعيين موقع الـ DNA في الخلايا

هنالك تكنيك يدعى تكنيك فولجن خاص بالكشف عن الـ DNA حيث يصطبغ أي تركيب خلوي يحتوي على DNA باللون البنفسجي وان شدة الاصطباغ تتناسب مع كمية DNA ، ويمكن قياس شدة الاصطباغ من خلال قراءات تقلبات الامتصاص للضوء من قبل التركيبات الملونة بطريقة فولجن

وعن طريق استخدام جهاز Micro spectrophotometric بالأشعة فوق البنفسجية ومن خلال الطول الموجي ٢٦٠ نانوميتر .

الحامض النووي الرايبوزي RNA

يختلف الحامض النووي الرايبوزي RNA عن الحامض النووي الديؤكسي رايبوز DNA من حيث التركيب الكيميائي والتركيب البنائي ، فمن ناحية التركيب الكيميائي تحتوي جزيئات RNA على سكر الرايبوز بدلا من سكر الديؤكسي رايبوز الذي يدخل في تركيب جزيئة DNA ، كما ان وظيفة الحامض النووي RNA هي القيام بنقل المعلومات الوراثية الموجودة على منطقة معينة من جزيئة DNA من النواة الى السيتوبلازم حيث يتم التعبير عنها الى البروتين المناسب ، هذه العملية تحدث عن طريق تكوين جزيئات mRNA التي تتم من خلال نسخ المعلومات الموجودة من احد شريطي DNA في ترتيب مكمل لتلك النيوكلوتيدات الموجودة على ذلك الشريط من DNA باستثناء إحلال القاعدة يوراسيل وكذلك إحلال سكر الرايبوز بدلاً من الديؤكسي رايبوز ، كما تحفز عملية نسخ جزيئة mRNA عن طريق انزيم البلمرة .

بصورة عامة تحتوي الخلية على ثلاثة أنواع مختلفة من جزيئات RNA وهي :

١) الحامض النووي الرايبي mRNA وظيفته في الخلية نقل المعلومات الوراثية الموجودة على جزيئات DNA من النواة الى السيتوبلازم ، حيث يتم التعبير عنها الى البروتين المناسب وتحدث هذه العملية عن طريق تكوين جزيئات mRNA التي تتم من خلال نسخ المعلومات الموجودة من احد خيطي DNA في ترتيب مكمل لتلك النيوكليوتيدات الموجودة على ذلك الشريط من DNA باستثناء إحلال القاعدة اليوراسيل وكذلك إحلال سكر الرايبوز بدلا من الديؤكسي رايبوز ، كما تحفز عملية نسخ جزيئة mRNA عن طريق انزيم البلمرة .

٢) الحامض النووي الرايبي tRNA وظيفته في الخلية القيام بحمل الاحماض الأمينية ووضعها في مكانها الصحيح من السلسلة اثناء عملية تخليق البروتين .

٣) الحامض النووي الرايبي rRNA يدخل في تركيب الريبوسومات التي تقوم بدور رئيسي وهام اثناء عملية تخليق البروتين .

التضاعف الكروموسومي polyploidy

كل كائن له عدد معين من الكرموسومات ومعظم الكائنات الحية هي ثنائية المجموعة الكروموسومية ، المجموعة الأولى تأتي من الاب والمجموعة الثانية تأتي من الام ، وقد يحدث زيادة او نقصان لكروموسوم واحد او اكثر او قد يحصل تضاعف في عدد المجاميع الكرموسومية . وعليه يوجد طرازان من تضاعف اعداد الكروموسومات .

الأول : التضاعف الكروموسومي الكامل Euploidy :

يطلق هذا التعبير على الكائنات ذات العدد الكروموسومي المتضاعف للعدد الأساسي المعين للنوع X أي التغير في اعداد المجاميع الأساسية للكروموسومات والمسماة بالجينومات genomes . والمجموعات الأساسية هي اصغر عدد من الكروموسومات لها وجود في النوع ، وعليه اذا كانت المجموعة فردية او حينوم واحد (1X) تسمى بالتضاعف الأحادي Monoploid ، بينما التضاعف الثنائي (2X) يدعى Diploid والثلاثي Triploid والرباعي Tetraploid والخماسي Pentaploid والسداسي Hexaploid وهكذا .

التضاعف الكروموسومي الذاتي Autoploidy :

في هذا النوع من التضاعف يحدث تضاعف لكروموسومات نفس النوع ، بحيث ان التضاعف الذاتي لفرد ثنائي المجموعة الكروموسومية ينتج عنه فرد رباعي التضاعف الذاتي (رباعي المجموعة الكروموسومية) (autotetraploids) وهذه المجموعة من الكروموسومات تكون متشابه أي تكون ذات كروموسومات متماثلة تقريباً ، ويرجع ذلك التضاعف الى انشطار الكروموسومات بعد مرحلة الانقسام الاختزالي ثم عدم حدوث انقسام للخلايا بعد ذلك لتكوين الكميتات الأحادية وعليه يصبح عدد الكروموسومات في الكميتات النتاجة مساوي تماماً للعدد الثنائي دون ان يختزل الى النصف وهذه الكميتات غير المختزلة اذا اتحدت لتكوين فرد جديد سيكون عدد الكروموسومات به ضعف العدد الموجود في الفرد الأصلي .

التضاعف الكروموسومي الخلطي Alloploidy :

في هذا التضاعف، يكون الفرد المتضاعف الهجين هو فرد ناتج من تهجين نوعين أو أكثر، وتحتوي نواة الخلية فيه على أكثر من نسخة من كل من جينومات الآباء الداخلة في التهجين. وينتج هذا التضاعف في الطبيعة بإحدى طريقتين:

١) إذا حدث تهجين بين نوع ثنائي يحتوي على الجينوم A ونوع آخر يحتوي على الجينوم B، فإن النسل الناتج يحتوي على الجينوم الخاص بكل منها، ويكون تركيبه AB، ومثل هذا التركيب غالباً ما يكون عقيم لفشل مجموعتي الكروموسومات في التزاوج أثناء الانقسام الاختزالي

٢) إذا حدث اتحاد بين كميتين غير مختزلتين (2n) من نوعين ثنائيين مختلفين يؤدي ذلك إلى إنتاج مثل هذا التضاعف الهجين في خطوة واحدة، مثل الحصول على نباتات ثلاثية لمجموعة الكروموسومية 3n من تلقيح او تضريب نباتات رباعية المجموعة الكروموسومية 4n مع نباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية 2n حيث ينتج من الرباعية كميتات 2n ومن الثنائيات كميتات n وعندما يتحدان تتكون نباتات ثلاثية المجموعة الكروموسومية 3n (هذه النباتات الثلاثية لا تتكاثر بشكل طبيعي بسبب الشذوذ الحاصل اثناء عملية الانقسام الميموزي) .

ثانياً : التضاعف الكروموسومي غير الكامل (الناقص) Aneuploidy

التضاعف الكروموسومي غير الكامل (Aneuploidy) هو عبارة عن الزيادة أو النقص في عدد الكروموسومات بكروموسوم واحد أو أكثر من مجموع الكروموسومات الموجودة في النوع، وتنتج هذه الحالات نتيجة حدوث أخطاء في عمليات الانقسام الميتوزي والميوزي، ويمكن تلخيص هذه الحالات في التالي:

نقص زوج من الكروموسومات كاملاً (2 – 2n) ويطلق عليه (nullisomic).

نقص كروموسوم واحد فقط (1 – 2n) ويطلق عليه (monosomic).

نقص كروموسومين مختلفين (1–1–2n) ويطلق عليه (double Monosomic).

زيادة كروموسوم (1 + 2n) ويطلق عليه (trisomic).

زيادة كروموسومين من نوع واحد (2 + 2n) ويطلق عليه (tetrasomic).

نقص كروموسوم معين وزيادة آخر (1–1+2n) ويطلق عليه (mono-trisomic

النباتات أحادية المجموعة الكروموسومية تكون ضعيفة النمو وصغيرة الحجم وعقيمة وحالة العقم هذه تعود الى الشذوذ الكامل لعملية الانقسام الميوزي ولذلك لعدم إمكانية اقتران الكروموسومات كونها مفردة . كما ان وجود هذه الحالات يسبب ارباكاً فسيولوجياً نتيجة لعدم التوازن في عدد الكروموسومات مما يسبب كما ذكرنا العقم . وان النباتات التي تكون من هذا النوع (الأحادية المجموعة الكروموسومية) تكون اقل قوة بالنمو من النباتات الطبيعية) وعلى الرغم من ذلك فانه لها فائدة كبيرة في مجال التربية والتحسين وذلك لإمكانية الحصول منها على سلالات نقية بفترة قصيرة من خلال مضاعفتها ذاتياً بالطرق الاصطناعية .

انتاج المتضاعفات صناعيا :

أي حدث يتداخل مع عملية تكوين المغزل خلال عملية الانقسام الميتوزي يؤدي الى حصول التضاعف الكروموسومي ، وان اول انتاج للمتضاعفات تم الحصول عليها من تعريض النباتات النامية لدرجات حرارة عالية وكذلك بالإمكان استخدام الاشعة والمواد الكيميائية ، اذا يعد الكولشيسين من افضل المواد الكيميائية لإنتاج المتضاعفات حيث يؤثر على عملية تكوين المغزل خلال عملية الانقسام الخلوي

مبادئ علم الوراثة قسم الغابات د. عمر مظفر عمر