अध्याय – 13

आनुवंशिकी

(Genetics)

प्रजनन (Reproduction)

प्रजनन क्रिया (Reproduction) समस्त जीवधारियों/सजीवों का प्रमुख लक्षण है। यह दो प्रकार का होता है अलैंगिक एवं लैंगिक।

लैंगिक या अलैंगिक जनन द्वारा जीवों में नई संतति का निर्माण या बनने को प्रजनन कहते हैं।

अलैंगिक प्रजनन – अलैंगिक प्रजनन में नर व मादा युग्मकों का सलयन नहीं होता है।

लैंगिक प्रजनन (Sexual Reproduction) – नई सन्तति के उत्पादन/निर्माण में नर एवं मादा युग्मकों (Gametes) का संलयन होता है। लैंगिक प्रजनन में युग्मकों (नर एवं मादा) के द्वारा जनक पीढ़ी (Parental generation) से संतति पीढ़ी (Offspring generation) में विभिन्न लक्षणों का संचरण (Transmission) होता है। इस प्रकार जो लक्षण पैतृकों/जनकों से संतति में संचरित होते हैं, उनको वंशानुगतिक या आनुवंशिक लक्षण (Hereditary characters) कहते हैं।

लक्षणों/जीनों का जनक पीढ़ी/पैतृकों (Parents) से संतति (Offspring) में संचरण/अभिगमन (Transmission) को वंशानुगति (Heredity) कहते हैं।

आनुवंशिकता एवं आनुवंशिकी विज्ञान या आनुवंशिकी (Genetics) – जीव विज्ञान की वह शाखा जिसमें विभिन्न जीवों में लक्षणों की वंशानुगति (Heredity) एवं विभिन्नताओं (Variations) का अध्ययन किया जाता है, उसे आनुवंशिकी (Genetics) कहते हैं या आनुवंशिकी वह विज्ञान है जिसमें जीन की संरचना, संगठन, परिगमन/संम्प्रेषण तथा कार्यों एवं विभिन्नताओं की उत्पत्ति का अध्ययन किया जाता है।

विभिन्नता (Variation) – एक ही प्रजाति के व्यष्टि के मध्य लक्षणों में पाई जाने वाली विषमताओं को विभिन्नता (Variation) कहते हैं।

जेनेटिक्स (Genetics) शब्द सबसे पहले बेटसन (Bateson) ने 1905 में प्रयोग किया। जेनेटिक्स शब्द की व्युत्पति ग्रीक शब्द जीन (Gene) से हुई जिसका अर्थ होना या उगाना (to become or to grow)।

जीन गुणसूत्रों (Chromosomes) पर उपस्थित होते हैं। जनकों (Parents) एवं उनकी सन्तति (Progeny/Offspring) के मध्य पाई जाने वाली समानता आनुवंशिकता के कारण होती है। परन्तु सन्तानों/सन्तति में समरूपता होते हुए भी कोई भी दो प्राणी पूर्णरूपेण एक–दूसरे के समान नहीं होते हैं। उसे विभिन्नता (Variation) कहते हैं। आनुवंशिकी (Genetics) की मुख्य शाखाएं (Branches) –

1. **आण्विक आनुवंशिकी** (Molecular genetics) – इसमें गुणसूत्रों की संरचना, संगठन, कार्यों एवं पुनरावृत्ति (Replication) तथा आनुवंशिकी पदार्थ जैसे DNA, RNA का अध्ययन किया जाता है।
2. **जैव रसायन आनुवंशिकी** (Biochemical genetics) – सजीवों में जीनों द्वारा की जाने वाली जैव–रसायन क्रियाओं का अध्ययन किया जाता है।
3. **सुजननकी** (Eugenics) – आनुवंशिकी की वह शाखा जिसमें आनुवंशिक सिद्धान्तों का प्रयोग मानव जाति के उत्थान (Betterment of human being/race) के लिए किया जाता है।
4. **मेण्डेलियन आनुवंशिकी** (Mendelian genetics) – इसमें जीवों में गुणात्मक (Qualitative characters) या Oligogenic लक्षणों की वंशानुगति का अध्ययन किया जाता है।
5. **यूफेनिक्स** (Euphenics) – इसमें बाह्य सौन्दर्यीकरण एवं वंशानुगत बीमारियों के नियंत्रण हेतु विशेष रूप से उपापचय

की जन्मजात त्रुटियों (Inborn Error Metabolism) का अध्ययन किया जाता है।

आनुवंशिकी के अनुप्रयोग / उपयोग
(Applications of Genetics)

1. **वर्गिकी** (Taxonomy) – आनुवंशिक लक्षण, गुणसूत्र संख्या एवं गुणसूत्र प्ररूप का जीवों के वर्गीकरण में महत्व है। गुणसूत्र संख्या से पादपों के वर्गीकरण में सहायता होती है। उदाहरण के लिए *ट्रिटिकम* जीनस (*Triticum*) जो गेहूँ से संबंधित है तीन ग्रुप में बांटा गया – द्विगुणित (Diploid), चतुर्गुणित (Tetraploid) एवं षटगुणित (Hexaploid)।

   गुणसूत्र प्ररूप (केरियोटाइप–Karyotype) से जीवों में प्राक् (Primitive) या सुविकसित (Advance) गुणों की जानकारी मिलती है।

2. **कृषि** (Agriculture) – कृषि के क्षेत्र में आनुवंशिकी का योगदान विशेषकर 1. कृषि फसलों में सुधार, 2. पशुओं की नस्ल (Breed) सुधार में किया जाता है।

फसलों के सुधार हेतु आनुवंशिकी के सिद्धान्तों एवं विधियों का उपयोग किया जाता है, जैसे नियंत्रित संकरण एवं कृत्रिम चयन द्वारा गुणवत्ता एवं उपज बढ़ाना, परिपक्वता अवधि में कमी, कीटों एवं व्याधियों के प्रति प्रतिरोधकता, लवणता, सूखा, पाला प्रतिरोधी एवं अनुकूलन क्षमता (Adaptability) में वृद्धि आदि।

पशुओं की उपयोगिता में चयनात्मक प्रजनन से वृद्धि हुई जैसे गायों एवं भैसों में दूध, भेड़, बकरी व सुअरों में मांस, पाल्ट्री में अण्डा उत्पादन में वृद्धि हुई।

3. **औषधि** (Medicine) –

(i) **आनुवंशिक बीमारियों का पता लगाना** (Detection of hereditary disease) – आरम्भिक अवस्था में ही आनुवंशिक बीमारियों का पता लगाने से बीमारियों पर इलाज संभव हुआ है।

(ii) एन्टी बायोटिक्स का उत्पादन (Production of antibiotics)

4. **उद्विकास** (Evolution) – कृत्रिम एवं प्राकृतिक चयन विभिन्न फसलों में विकास के लिए उत्तरदायी है। चयन प्रभावी तभी होता है जब विविधता (Variation) उपलब्ध हो। विविधता आनुवंशिकी की निम्न विधियों से बढ़ाई जाती है – बहुगुणिता (Polyploidy), संकरण (Hybridization), जीन अभियांत्रिकी (Genetic engineering) एवं उत्परिवर्तन (Mutation)।

मेंडल के वंशानुगति नियम
(Mendel's Laws of Inheritance)

पृथ्वी पर पाये जाने वाले जीव–जन्तुओं के लक्षणों में भिन्नता पाई जाती है। एक ही जाति के जीवों की संतति अपने जनकों के समान होती है लेकिन बिल्कुल एक समान नहीं होते हैं। उनके लक्षणों में कुछ भिन्नता होती है। साधारणतया, गाय का बच्चा गाय एवं मनुष्य की संतान मनुष्य ही होती है। इसी प्रकार मक्का के बीज से मक्का ही उगती है किन्तु सारी संततियां एक समान नहीं होती हैं। इसी समानता तथा विभिन्नता को समझने के लिए कई वैज्ञानिकों ने प्रयोग किये।

बेबिलोन एवं असीरिया के निवासी 700 वर्ष ईसा पूर्व खजूर में अच्छे फल पाने के लिए कृत्रिम परागण किया करते थे। सर्वप्रथम डि ग्राफ (de Graf) (1641-1673) ने प्रस्तावित किया कि संतति में दोनों जनकों के गुण होते हैं और वंशानुगति में दोनों जनकों का योगदान होता है, कोल्र्यूटर ने 1760 से 1766 के बीच तम्बाकू में संकरण से प्राप्त प्रथम पीढ़ी (F_1) के पौधों में संकर ओज एवं एकसमानता तथा द्वितीय पीढ़ी (F_2) के पौधों में अत्यधिक विविधता पायी गई। गार्टनर (1772–1850), नाडिन (1815–1909), डार्विन (1809–1882) आदि ने कोल्र्यूटर के परिक्षणों को जाँचा–परखा व प्रथम पीढ़ी (F_1) में लक्षणों में प्रभाविता पायी। इन्होंने यह भी बताया कि द्वितीय पीढ़ी (F_2) में अत्यधिक विविधता पायी जाती है। परन्तु ये वैज्ञानिक इन परिणामों की व्याख्या नहीं कर सके। उन्नीसवीं शताब्दी के मध्य में आनुवंशिकता के अध्ययन के बारे में काफी प्रगति हुई। ग्रेगर जोहन मेंडल ने अपने घर के बगीचे में उद्यान वाले मटर में संकरण पर आठ वर्षों तक (1856–1863) प्रयोग किये तथा इनके परिणामों के विश्लेषण के आधार पर जीवों में वंशानुगति नियमों को प्रस्तावित किया।

ग्रेगर जोहन मेंडल का जन्म 1822 ई. में तत्कालीन आस्ट्रिया में ब्रुन (Brunn), जो अब चेकोस्लोवाकिया में स्थित है, के एक गरीब किसान परिवार में हुआ। इन्होंने 1857 में विभिन्न व्यापारियों से मटर के बीज इकट्ठे किये। उन्होंने मटर पर संकरण के सभी प्रयोग अपने घर के बगीचे में किये। मेंडल ने अपने अध्ययन के बाद 1865 में ब्रुन की प्रकृति विज्ञान सोसायटी की दो बैठकों में अपना शोध पत्र प्रस्तुत किया। यह शोध पत्र 1866 में इस सोसायटी की वार्षिक प्रगतिकी में छपा, जो यूरोप एवं अमेरिका के बहुत से पुस्तकालयों को भेजी गई। मेंडल की मृत्यु 1884 ई. में हुई, जबकि उनके निष्कर्षों की पुनः खोज एवं उचित मूल्यांकन 16 वर्षों बाद वर्ष 1900 में हुई।

मेंडल के प्रयोगों में मटर के चयन का महत्व

मेंडल द्वारा अपने प्रयोगों के लिए मटर का चयन निम्न प्रमुख कारणों से किया–

1. मटर उगने में आसान व कम स्थान घेरने वाली फसल है।
2. स्वपरागित फसल – शुद्ध जनकों का प्राप्त होना।
3. छोटा जीवन काल – मटर की फसल एक वर्षीय होने के कारण हर वर्ष अनेक पीढ़ी उगाई जा सकती है।

4. मटर में कई विपर्यासी लक्षण उपस्थित थे जिन्हें आसानी से सुस्पष्ट वर्गो में बांटा जा सकता था।

मेंडल की सफलता के कारण

मेंडल की सफलता का मुख्य कारण अपने से पूर्व के वैज्ञानिकों के प्रयोगों की जटिलताएं जो कि उनके लिए एक समस्या थी, को जितना संभव हो सका सरलीकृत करते हुए दूर किया। इसके साथ ही वे अपने प्रयोगों की योजना बनाने के प्रति सतर्क थे। मेंडल की सफलता के अन्य कारण निम्न थे –

1. मेंडल ने मटर के संकरण के प्रयोगों में एक समय में एक, फिर दो, और बाद में तीन लक्षणों का अध्ययन किया। जबकि उनसे पूर्व के वैज्ञानिकों ने जीव के सभी लक्षणों का एक साथ अध्ययन किया।

2. अध्ययन के लिए चयनित प्रत्येक लक्षण में केवल दो विपर्यासी रूप उपस्थित थे।

3. प्रत्येक पीढ़ी में लक्षणों के विपर्यासी रूपों वाले पौधों की अलग–अलग एवं सही गणना की।

4. प्रयोगों को पूर्ण सतर्कता के साथ सम्पन्न किया। उनके सांख्यकीय विश्लेषण एवं गणितीय ज्ञान से वे विपर्यासी लक्षणों के अनुपात के महत्व को समझकर उन अनुपातों की स्पष्ट व सही विवेचना कर सकें। मेंडल वास्तव में बहुत ही भाग्यशाली व्यक्ति थे क्योंकि (1) उनके द्वारा चयनित लक्षणों में से कोई भी लक्षण मात्रात्मक नहीं था। (2) प्रत्येक सातों लक्षण केवल एक जीन द्वारा नियंत्रित थे। (3) चुने गये लक्षणों के जीन अलग–अलग गुणसूत्रों में स्थित थे अर्थात् लक्षणों के जीनो में सहलग्नता (Linkage) का अभाव था।

इन नियमों की सत्यता बाद में किये गये प्रयोगों व परिक्षणों द्वारा सिद्ध हो चुकी थी। यद्यपि मेंडल ने अपने प्रयोगों के निष्कर्ष का वर्णन 1865 में ही कर दिया था। इन नियमों को 1900 में केवल तभी मान्यता मिली जब हॉलैण्ड के वैज्ञानिक हूगो डी व्रीज (Hugo de Vries), जर्मन के वनस्पति वैज्ञानिक कार्ल कोरेन्स (Carl Correns) और आस्ट्रिया के एरिक वॉन शेर्माक (Erick Von Tschermak) ने जब स्वयं अपने स्वतंत्र अध्ययनों से उन्हीं निष्कर्षों पर पहुँचे जिन पर 35 वर्ष पूर्व मेंडल पहुँच चुके थे। इस प्रकार मेंडल के निष्कर्षों के आधार पर नए विज्ञान, आनुवंशिकी का आरम्भ हुआ। इसलिए मेंडल को आनुवंशिकी का जनक (Father of Genetics) कहा जाता है।

मेंडल के प्रयोग

मेंडल ने अपने अध्ययन के लिए मटर (*Pisum sativum L.*) की 34 किस्में इकट्ठी की तथा लक्षणों की स्थिरता एवं उपस्थित मिश्रण का अध्ययन करने के बाद केवल 22 किस्मों को संकरण के लिए चयन किया। ये किस्में एक–दूसरे से एक या एक से अधिक लक्षणों के लिए भिन्न थी। मेंडल ने कुल सात लक्षणों की वंशानुगति का अध्ययन किया (सारणी 13.1)। इन प्रत्येक लक्षणों के दो विपर्यासी रूप थे।

सारणी 13.1: मेंडल द्वारा अध्ययन किये गये मटर के सात लक्षण व उनके विपर्यासी रूप

क्र.सं.	लक्षण	विपर्यासी रूप	
		प्रभावी	अप्रभावी
1.	बीज का आकार	गोल	झुर्रीदार
2.	बीज पत्र का रंग	पीला	हरा
3.	बीजावरण का रंग	घूसर	सफेद
4.	फली का आकार	फूली	संकीर्णित
5.	फली का रंग	हरा	पीला
6.	पुष्प की स्थिति	अक्षीय	अन्तस्थ
7.	तने की लम्बाई	लम्बा	बौना

एक जीन की वंशानुगति

मेंडल ने वंशानुगति के अध्ययन के लिए एक प्रयोग में मटर की एक झुर्रीदार बीज वाली शुद्ध किस्म के पराग कणों से एक गोल बीज वाली किस्म के शुद्ध पौधे के पुष्पों को परागित किया। इस प्रयोग द्वारा एक जीन का आनुवंशिक अध्ययन किया गया। इस संकरण से उत्पन्न बीजों को व उनसे उगे पौधे को प्रथम संतति पीढ़ी (प्रथम फिलीयल/प्रोजेनी) या F_1 भी कहा जाता है। एक लक्षण के लिए भिन्न जनकों के संकरण को एकल संकरण (Monohybrid cross) तथा इस संकरण से प्राप्त F_1 पीढ़ी को एकल संकर (Monohybrid) कहा जाता है।

मेंडल को उपरोक्त संकरण से प्राप्त सभी F_1 बीज गोल (गोल बीज वाले जनक के समान) थे। उन्होंने देखा कि F_1 में दो में से एक जनक के लक्षण रूप ही अभिव्यक्त हुए। दूसरे जनक के लक्षण रूप प्रकट नहीं हुए। मेंडल ने F_1 पीढ़ी के पौधों में स्वपरागण अथवा स्वनिषेचन (Self-fertilization) होने दिया और उसे देखकर आश्चर्य हुआ कि F_1 पौधों से प्राप्त बीज जो कि F_2 संतति होती है, में 5474 बीज गोल तथा 1850 बीज झुर्रीदार थे। जो लक्षण F_1 पीढ़ी में नहीं देखा गया, वह अब F_2 पीढ़ी में प्रदर्शित हो गया। F_2 संतति के बीजों में 74.74 प्रतिशत गोल बीज तथा 25.26 प्रतिशत बीज झुर्रीदार थे। गोल व झुर्रीदार बीज लक्षण जनकों के समान ही थे और इनमें किसी प्रकार का सम्मिश्रण नहीं था।

इस प्रकार मेंडल के एक जीन लक्षण की वंशानुगति के अन्य लक्षणों पर किये गये अध्ययनों से भी इसी प्रकार के परिणाम प्राप्त हुए अर्थात् F_1 पीढ़ी में केवल एक ही जनकीय लक्षण रूप प्रकट हुआ जबकि F_2 पीढ़ी में लक्षण के दोनों विपर्यासी रूप 2.96 : 1 के अनुपात में थे, जो कि 3 : 1 के अनुपात के करीब थे।

उपरोक्त परिक्षणों के आधार पर मेंडल ने प्रस्तावित किया कि कोई ठोस कण जनकों से संततियों में अपने अपरिवर्तित रूप में सम्प्रेषित होते हैं। उसने इन ठोस कणों को 'कारक' (फैक्टर) कहा। परन्तु अब इसे 'जीन' कहा जाता है। दूसरे शब्दों में जीन आनुवंशिकता की इकाई है। जीन शब्द डब्ल्यू. एल. जोहैन्सेन (W. L. Johannsen) ने 1909 में दिया। कौन से जीन में कौन सा विशेष लक्षण अभिव्यक्त होगा, इसकी सूचना इसमें निहित होती है। प्रत्येक जीन के दो वैकल्पिक रूप होते हैं, जो कि एक ही लक्षण के विपर्यासी रूप उत्पन्न करते हैं, उन्हें विकल्पी (Allele) कहते हैं।

प्रत्येक जीन को, साधारणतया, उस जीन द्वारा नियंत्रित लक्षण के नाम के पहले या पहले और बाद के एक अथवा दो अन्य अक्षरों द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। इन अक्षरों को जीन संकेत कहते हैं। प्रत्येक जीन के प्रभावी विकल्पी को अंग्रेजी के केपीटल अक्षर से तथा अप्रभावी विकल्पी को अंग्रेजी के उसी छोटे अक्षर से लिखा जाता है। उदाहरण के लिए बीज आकार को नियंत्रित करने वाले जीन के दोनों विकल्पियों को हम R (गोल आकार) एवं r (झुर्रीदार आकार) से प्रदर्शित करते हैं। R और r एक दूसरे के युग्म विकल्पी (Allele) है।

प्रत्येक जीव की कायिक कोशिका में एक जीन की दो प्रतियाँ उपस्थित होती हैं। यदि किसी जीव में एक जीन की दोनों प्रतियाँ एक समान हो, अर्थात् उससे संबंधित जीन के दो विकल्पियों में से केवल एक विकल्पी की ही दो प्रतियाँ उपस्थित हों, तो ऐसे जीव को समयुग्मजी (Homozygous) जैसे, RR (गोल बीज), rr (झुर्रीदार बीज)। परन्तु जब किसी जीव में उपस्थित एक जीन की दोनों प्रतियाँ भिन्न हों, अर्थात् उसमें एक जीन के दोनों विकल्पी उपस्थित हो, तो उसे विषमयुग्मजी (Heterozygous) कहते हैं; जैसे Rr (गोल बीज) विषमयुग्मजी अवस्था में जो विकल्पी अपना प्रभाव प्रदर्शित करता है, अर्थात् अपनी अभिव्यक्ति करता है या लक्षण उत्पन्न करता है, उसे प्रभावी विकल्पी (R) कहते हैं। परन्तु जो विकल्पी विषमयुग्मजी अवस्था में अपनी अभिव्यक्ति नहीं कर पाता, उसे अप्रभावी विकल्पी (r) कहते हैं। किसी जीव के किसी लक्षण या कई लक्षणों के लिए उपस्थित जीनों एवं उनके विकल्पियों को उस पौधे का जीनप्ररूप (Genotype) कहते हैं। लेकिन उस जीव के बाहरी स्वरूप अथवा उसमें दिखने वाले लक्षण या लक्षणों को उसका लक्षणप्ररूप (Phenotype) कहते हैं। इस प्रकार बीज आकार के लिए तीन जीनप्ररूप RR, Rr व rr होंगे। जबकि इस लक्षण के लिए लक्षणप्ररूप गोल या झुर्रीदार बीज होंगे।

एकलसंकर संकरण की वंशानुगति

इस एकल संकर क्रास के आरेख में देखते हैं कि जब शुद्ध जनकों (समयुग्मनजी) के पौधों में अर्धसूत्री कोशिका विभाजन से युग्मक बनाते समय जनकीय जोड़े के विकल्पी एक–दूसरे से

जनक पीढ़ी ♀ RR × ♂ rr
गोल बीज झूर्रीदार बीज
युग्मक (R) (r)
F_1 पीढ़ी Rr
गोल बीज
F_1 पीढ़ी में स्वपरागण ♀ Rr × ♂ Rr
युग्मक (R) (r) (R) (r)
F_2 पीढ़ी–

♀ \ ♂	R	r
R	RR गोल बीज	Rr गोल बीज
r	Rr गोल बीज	rr झूर्रीदार बीज

जीनप्ररूप अनुपात RR : Rr : rr
1 : 2 : 1
लक्षणप्ररूप अनुपात गोल : झूर्रीदार
3 : 1

अलग हो जाते हैं, और केवल एक ही विकल्पी युग्मक में प्रेषित ♂ होगा। विकल्पियों का यह विसंयोजन यादृच्छिक होता है और युग्मक में कोई एक विकल्पी होने की सम्भावना 50 प्रतिशत होती है, ऐसा संकर प्रयोगों द्वारा सत्यापित हो चुका है। इस तरह गोल बीज वाले पौधे RR के युग्मकों में केवल R विकल्पी और झुर्रीदार बीज वाले पौधे rr के युग्मकों में r विकल्पी होता है। निषेचन के समय दो विकल्पी R जनक से, अण्ड के माध्यम से, और r दूसरे जनक से, पराग के माध्यम से, आकर युग्मन करके ऐसे युग्मनजों (Zygotes) का निर्माण करते हैं जिनमें एक R विकल्पी तथा दूसरा r विकल्पी होता है। इस प्रकार के युग्मनज संकर होते हैं, इन पौधों को विषमयुग्मनजी कहा जाता है। पुनेट वर्ग के आरेख की सहायता से जनकों के युग्मकों का उत्पादन, युग्मनजों का निर्माण प्रथम पीढ़ी, द्वितीय पीढ़ी के संतति पादपों को समझ सकते हैं। इसे ब्रितानी आनुवंशिकीविद् रेजीनाल्ड सी पुनेट ने दिया। इस आरेख द्वारा संकरण प्रयोगों में संतति के सभी संभावित जीनप्ररूपों की गणना की जा सकती है। पुनेट वर्ग में स्तम्भ में एक जनक (मादा) के युग्मक तथा पंक्ति में दूसरे जनक के युग्मक (नर) लिखे जाते हैं। सभी संभाव्य संयोजनों का प्रतिरूपण नीचे के वर्गों में किया जाता है। इस प्रकार सारा आरेख एक वर्ग की तरह में होता है। ऊपर दर्शाये गये संकरण आरेख में मादा जनक व नर जनक को क्रमशः ♀ तथा संकेतों से प्रदर्शित किया जाता है, संकरण में पहले मादा जनक तथा बाद में नर जनक को लिखा जाता है।

जीनप्ररूप Rr के पौधे स्वपरागित करने पर, पुंकेसरों में R व r युग्मक बराबर संख्या में तथा अण्डाशय में भी R व r युग्मक बराबर संख्या में उत्पन्न करते हैं। जब निषेचन होता है तो जीनप्ररूप R के परागकणों के द्वारा जीनप्ररूप R और r के अण्डों को परागित करने की 50 प्रतिशत संभावना रहती है। साथ ही जीनप्ररूप r के परागकणों के जीनप्ररूप R और जीनप्ररूप r के अण्डों को परागित करने की 50 प्रतिशत संभावना रहती है। इस प्रकार संयोग आधारित निषेचन से F_2 पीढ़ी में युग्मनज RR, Rr व rr जीनप्ररूप बनते हैं। इस पुनेट वर्ग को देखने पर ज्ञात होता है कि F_2 पीढ़ी में $^1/_4$ RR, ½ Rr और $^1/_4$ rr जीनप्ररूप वाले युग्मनज उत्पन्न हुए। अतः F_2 पीढ़ी के पौधों में औसतन $^3/_4$ बीज गोल आकार के तथा $^1/_4$ बीज झुर्रीदार उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार F_2 पीढ़ी में लक्षणप्ररूप अनुपात 3 : 1 क्रमशः गोल बीज व झुर्रीदार बीज प्राप्त होता है।

मेंडल द्वारा F_2 पीढ़ी के पौधों में स्वपरागण कराने पर F_3 और F_4 पीढ़ियों में F_2 पीढ़ी के झुर्रीदार बीज वाले पौधों से केवल झुर्रीदार बीज ही पैदा हुए। उसने निष्कर्ष निकाला की झुर्रीदार बीजों का जीनप्ररूप समयुग्मनजी rr था।

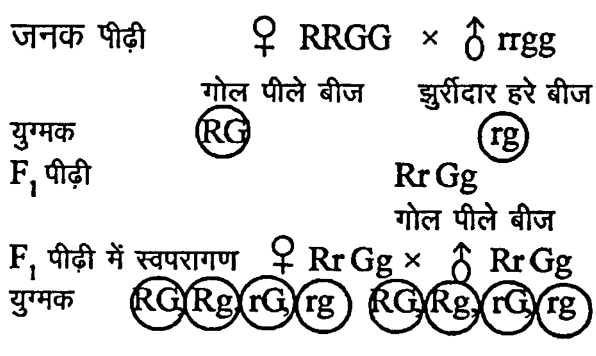
लक्षणप्ररूप वाले पौधों से उसकी जीनप्ररूप संरचना का पता नहीं लगाया जा सकता है। जैसे कि F_1 या F_2 के गोल बीज आकार वाले पौधे का जीनप्ररूप RR है या Rr। F_2 के गोल बीज वाले पौधों का जीनप्ररूप का पता परीक्षार्थ संकरण से किया जा सकता है। F_1 संकर का अप्रभावी लक्षण वाले जनक से संकरण परीक्षार्थ संकरण (Test Cross) कहलाता है। मेंडल ने परीक्षार्थ संकरण में जीन के विकल्पियों के विसंयोजन के व्यवहार को प्रमाणित किया है। F_1 संकर में विसंयोजन से उत्पन्न प्रभावी तथा अप्रभावी विकल्पियों वाले युग्मक शुद्ध व बराबर आवृत्ति में होते हैं। यह संकरण किसी पादप में यह पता करने के लिए भी किया जाता है कि यह पौधा समयुग्मनजी है अथवा विषमयुग्मनजी। परीक्षार्थ संकरण से मेंडल को 1 प्रभावी 1 अप्रभावी विपर्यासी लक्षणों का अनुपात मिला। इसका तात्पर्य यह है कि F_1 का जीनप्ररूप Rr था। इसी प्रकार F_2 के गोल बीज वाले पौधे का संकरण, F_2 के झुर्रीदार बीज वाले पौधे से कराने पर यदि संतति में गोल बीज आकार उत्पन्न होते हैं तो F_2 का जीनप्ररूप RR है, परन्तु यदि संतति में गोल व झुर्रीदार आकार के बीज उत्पन्न हो तो F_2 गोल बीज आकार का जीनप्ररूप Rr होगा।

दो जीनों की वंशानुगति

मेंडल ने मटर में दो लक्षणों के लिए भिन्न किस्मों में संकरण प्रयोग किये। इस प्रकार के संकरण में एक किस्म के दाने गोल (बीज का आकार) एवं पीले (बीज पत्र का रंग) तथा दूसरी किस्म के बीज झुर्रीदार (बीज का आकार) व हरे (बीज पत्र का रंग) थे। संकरण से प्राप्त सभी F_1 बीज गोल, पीले थे। इसका कारण यह था कि गोल बीज उत्पन्न करने वाला विकल्पी (R) झुर्रीदार बीज उत्पन्न करने वाले विकल्पी (r) पर एवं पीला रंग नियंत्रित करने वाला विकल्पी (G) हरा रंग पैदा करने वाले विकल्पी (g) पर प्रभावी था। F_1 बीजों से उगने वाले पौधों में स्वपरागण कराने पर F_2 संतति में मेंडल को कुल 556 बीज प्राप्त हुए, जिनमें से 315 गोल, पीले; 108 गोल, हरे; 101 झुर्रीदार, पीले; तथा 32 झुर्रीदार, हरे थे। जिनका अनुपात 9.84 : 3.37 : 3.12 : 1 था, जो कि 9:3:3:1 के लगभग समान था।

एक जनक के बीज गोल, पीले तथा दूसरे जनक के बीज झुर्रीदार, हरे के जीनप्ररूपों को क्रमशः RRGG तथा rrgg से प्रदर्शित करते हैं। इन जनकों में उत्पन्न युग्मकों का जीनप्ररूप RG तथा rg है। RG जीनप्ररूप वाले अंड का rg जीनप्ररूप पराग से निषेचन होने पर Rr Gg जीनप्ररूप वाले पौधे प्राप्त हुए। मेंडल ने इन F_1 पौधों को स्वपरागित किया। इन पौधों पर उत्पन्न बीज से F_2 संतति प्राप्त हुई। F_2 पीढ़ी में बीज का आकार पर किये गये प्रेक्षणों में 556 बीजों में से 423 गोल बीज तथा 133 झुर्रीदार बीज मिले। इनका आपसी अनुपात 3.18 : 1 जो कि लगभग 3 : 1 के अनुपात में थे। इसी प्रकार, बीज पत्र के रंग के प्रेक्षणों में 416 बीज पीले तथा 140 बीज हरे थे, जिनका अनुपात 2.97 : 1 यानि लगभग 3 : 1 के अनुपात में थे। F_2 पीढ़ी में दोनों लक्षणों के लक्षणप्ररूप अनुपात 9 गोल पीले : 3 गोल हरे : 3 झुर्रीदार पीले : 1 झुर्रीदार हरा प्राप्त हुआ। अतः इन परिणामों से स्पष्ट है कि द्विसंकर संकरण में दोनों लक्षणों का विसंयोजन एक दूसरे से स्वतंत्र रूप में हो रहा है। इन परिणामों को गणितीय प्रायिकता के सिद्धांत के आधार पर भी समझा जा सकता है। दो स्वतंत्र घटनाओं के एक साथ घटित होने की प्रायिकता उन घटनाओं के अलग–अलग घटित होने की प्रायिकताओं के गुणनफल के बराबर होती है। यहाँ पर द्विसंकर संकरण में बीज के आकार का विसंयोजन अनुपात 3 गोल : 1 झुर्रीदार तथा बीज पत्र रंग का विसंयोजन अनुपात 3 पीला : 1 हरा का गुणनफल 9 गोल पीले : 3 गोल हरे : 3 झुर्रीदार पीले : 1 झुर्रीदार हरा प्राप्त होता है।

द्विसंकर संकरण की वंशानुगति का आरेख



F_2 पीढ़ी

♀ \ ♂	RG	Rg	rG	rg
RG	RRGGगोल पीले	RRGgगोल पीले	RrGGगोल पीले	RrGgगोल पीले
Rg	RRGgगोल पीले	RRggगोल हरे	RrGgगोल पीले	Rrggगोल हरे
rG	RrGGगोल पीले	RrGgगोल पीले	rrGGझुर्रीदार पीले	rrGgझुर्रीदार पीले
rg	RrGgगोल पीले	Rrggगोल हरे	rrGgझुर्रीदार पीले	rrggझुर्रीदार हरे

लक्षणप्ररूप अनुपात –

9 गोल पीले बीज :

3 गोल हरे बीज :

3 झुर्रीदार पीले बीज :

1 झुर्रीदार हरे बीज

जीनप्ररूप अनुपात –

1 RRGG : 2 RRGg : 2 RrGG : 4 RrGg : 1 RRgg :
2 Rrgg : 1 rrGG : 2 rrGg : 1 rrgg

मेंडल के वंशानुगति के नियम

मेंडल ने मटर पर एकल संकरण प्रयोग के परिणामों के आधार पर विसंयोजन के नियम का प्रतिपादन किया। इसके बाद उन्होंने द्विसंकरण प्रयोग का विश्लेषण कर उनसे प्राप्त परिणामों से स्वतंत्र अपव्यूहन के नियम की खोज की। इस प्रकार मेंडल ने दो नियमों का प्रतिपादन किया –

1. विसंयोजन का नियम (Law of Segregation) एवं
2. स्वतंत्र अपव्यूहन का नियम (Law of Independent Assortment)

विसंयोजन का नियम – इस नियम को युग्मकों की शुद्धता का नियम, पृथक्करण का नियम व मेंडल के वंशानुगति का प्रथम नियम आदि नामों से जाना जाता है।

इस नियम के अनुसार एकलसंकर संकरण से प्राप्त प्रथम पीढ़ी में एक जीन की दोनों विकल्पियाँ विद्यमान रहती हैं। युग्मक बनते समय एक जीन की दोनों विकल्पियों का एक–दूसरे से अलग होकर भिन्न–भिन्न युग्मकों में जाना ही विसंयोजन कहलाता है। समयुग्मनजी जनक द्वारा उत्पन्न सभी युग्मक समान होते हैं। जबकि विषमयुग्मनजी जनक दो प्रकार के युग्मक उत्पन्न करता है जो समान अनुपात में तथा प्रत्येक में केवल एक विकल्पी होता है। उदाहरणार्थ : जीनप्ररूप Rr से दो प्रकार के युग्मक R तथा r समान आवृत्ति में उत्पन्न होते हैं।

स्वतन्त्र अपव्यूहन का नियम – दो या दो से अधिक लक्षणों के स्वतंत्र विसंयोजन को स्वतंत्र अपव्यूहन कहते हैं। स्वतंत्र अपव्यूहन में किसी युग्मक में एक जीन के दो विकल्पियों में से किसी भी एक विकल्पी दूसरे जीन दो विकल्पियों में से किसी भी एक विकल्पी के साथ समान आवृत्ति से जाता है इसे स्वतंत्र अपव्यूहन कहते हैं।

द्विसंकर संकरण के विश्लेषण व परिणामों को आधार मानने से इस नियम का प्रतिपादन हुआ। इस संकरण में लक्षणप्ररूप गोल पीला, गोल हरे, झुर्रीदार पीले और झुर्रीदार हरे क्रमशः 9:3:3:1 के अनुपात में प्रकट हुए। मेंडल द्वारा अध्ययन किये गये कई लक्षण युग्मों में ऐसा ही अनुपात देखा गया।

जीन के एक जोड़ी विकल्पी R और r के विसंयोजन से आधे युग्मकों में विकल्पी R उपस्थित और आधे युग्मकों में विकल्पी r है। इन युग्मकों में, R या r होने के साथ–साथ विकल्पी G या g भी है। Gg का विसंयोजन भी Rr के अनुरूप ही होता है तथा एक दूसरे से स्वतंत्र हैं। अतः विकल्पी R धारी युग्मकों में से आधों के साथ विकल्पी G तथा आधों के साथ विकल्पी g होगा। इसी प्रकार विकल्पी r धारी युग्मकों में से आधों के साथ विकल्पी G तथा आधों के साथ विकल्पी g होगा। इस प्रकार चार तरह के जीनप्ररूप वाले युग्मक समान संख्या में प्राप्त होते हैं जो कि RG, Rg, rG व rg है। इस प्रकार इन युग्मकों को पुनेट वर्ग में लिखकर कुल 16 वर्गों में युग्मनजों को लिख सकते हैं। इन युग्मनजों का F_2 लक्षणप्ररूप अनुपात 9:3:3:1 में होता है।

मेंडल के प्रयोगों में सहलग्नता (Linkage) का अभाव

मेंडल द्वारा चुने गये लक्षणों के जीन अलग–अलग गुणसूत्रों में स्थित थे अर्थात् लक्षणों के जीनों में सहलग्नता का अभाव था। सहलग्नता का तात्पर्य दो या दो से अधिक जीनों की वंशानुगति के दौरान एक साथ रहने की प्रवृत्ति से है। जीनों का एक ही गुणसूत्र में एक साथ रहने के कारण सहलग्नता पाई जाती है। जब जीनों में सहलग्नता पाई जाती है तो परीक्षार्थ संकरण संततियों में अनुपात मेंडल द्वारा प्राप्त परीक्षार्थ संकरण अनुपात से भिन्न होता है। मेंडल ने मटर के दो भिन्न लक्षणों वाली किस्मों के संकरण से F_1 पीढ़ी प्राप्त की। जैसा कि मेंडल के दो जीनों की वंशानुगति के विषय में इस अध्याय में समझाया गया है। इस F_1 पीढ़ी के पौधों को अप्रभावी लक्षणों वाले जनक से संकरण

कराने पर प्राप्त परीक्षार्थ संतति में चार जीनप्ररूप वाले युग्मनज 1:1:1:1 अनुपात में मिले तथा लक्षणप्ररूप भी 1:1:1:1 अनुपात में मिला। इससे सिद्ध होता है कि स्वतंत्र अपव्यूहन के कारण द्विसंकरणों में चार प्रकार के युग्मक समान आवृत्ति में बनते हैं। परन्तु यदि जीनों में सहलग्नता होती तो परीक्षार्थ संतति में चार प्रकार के युग्मक समान आवृत्ति में नहीं बनते। यानि की जनकीयप्ररूप वाले युग्मकों की संख्या पुनर्योगजप्ररूप वाले युग्मकों की संख्या से अधिक होगी। सहलग्नता का असर जनकों तथा F_1 पीढ़ी में (Nonsegregating generations) दिखाई नहीं देता है। सहलग्नता का असर F_2 तथा प्रतीप संकर (Back Cross) संततियों में (Segregating generations) ही दिखाई देता है।

द्विसंकर परीक्षार्थ संकरण आरेख :

परीक्षार्थ संकरण ♀ F_1 RrGg × ♂ rrgg (अप्रभावी जनक)

गोल पीले बीज — झुर्रीदार हरे बीज

युग्मक (RG) (Rg) (rG) (rg) — (rg)

परीक्षार्थ संतति

♀ \ ♂	rg
RG	RrGg गोल पीले बीज
Rg	Rrgg गोल हरे बीज
rG	rrGg झुर्रीदार पीले बीज
rg	rrgg झुर्रीदार हरे बीज

जीनप्ररूप अनुपात RrGg : Rrgg : rrGg : rrgg

1 : 1 : 1 : 1

लक्षणप्ररूप अनुपात

गोल पीले बीज : गोल हरे बीज :

1 : 1 :

झुर्रीदार पीले बीज : झुर्रीदार हरे बीज

1 : 1

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. आनुवंशिकी (Genetics) : जीव विज्ञान की एक शाखा है जिसके अन्तर्गत जीवों के लक्षणों की वंशानुगति व उनमें उपस्थित विभिन्नता का अध्ययन किया जाता है।
2. वंशानुगति (Heredity) : वह प्रक्रम है जिससे लक्षण जनक से संतति में जाते हैं।
3. मेंडल ने एक जीन की वंशानुगति तथा दो जीन की वंशानुगति के आधार पर क्रमशः विसंयोजन व स्वतंत्र अपव्यूहन के नियमों का प्रतिपादन किया।
4. मेंडल के एक जीन की वंशानुगति को F_1 पीढ़ी में केवल एक ही जनकीय लक्षण प्रारूप प्रकट हुआ जबकि F_2 में लक्षण के दोनों विपर्यासी रूप 3 : 1 के अनुपात में अभिव्यक्त हुए।
5. दो जीन की वंशानुगति के F_1 पीढ़ी में भी एक जनक के लक्षणप्ररूप प्रकट हुए। परन्तु F_2 पीढ़ी में लक्षणप्ररूप अनुपात 9 : 3 : 3: 1 पाये गए।
6. प्रत्येक जीन के दो वैकल्पिक रूप, जो एक ही लक्षण के विपर्यासी रूप उत्पन्न करते हैं, उन्हें युग्मविकल्पी (अलील) कहते हैं इन विकल्पियों में एक प्रभावी तथा दूसरा अप्रभावी हो सकता है।
7. जब किसी जीव में एक जीन के एक विकल्पी की दो प्रतियाँ उपस्थित हो तो ऐसे जीव को समयुग्मजी (Homozygous) कहते हैं।
8. किसी जीव में एक जीन के दोनों विकल्पी उपस्थित हो तो उसे विषमयुग्मजी (Heterozygous) कहते हैं।
9. किसी जीव के किसी लक्षण या कई लक्षणों के लिए उपस्थित जीनों एवं उनके विकल्पियों को उस पौधे का जीन प्ररूप (Genotype) कहते हैं।
10. जीव के बाहरी स्वरूप अथवा उसमें दिखने वाले लक्षण या लक्षणों को उसका लक्षण प्ररूप (Phenotype) कहते हैं।
11. परीक्षार्थ संकरण (Test Cross)
12. प्रतीप संकर (Back Cross)

अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

1. जेनेटिक्स (Genetics) शब्द सबसे पहले किसने दिया–
   (अ) जोहन मेण्डल (1965) (ब) जोहनसन (1903)
   (स) बेटसन (1905) (द) वाल्डेयर (1902)
2. आनुवंशिक विज्ञान की किस शाखा में वंशानुगत बीमारियों का अध्ययन किया है–
   (अ) आणविक आनुवंशिकी
   (ब) जैव रसायन आनुवंशिकी
   (स) सुजननकी (Eugenics)
   (द) यूफेनिक्स (Euphenics)
3. किसी जीवधारी के प्रकट होने वाले लक्षण कहलाते हैं–
   (अ) विषमयुग्मक (ब) समयुग्मक
   (स) जीन–प्ररूप (द) लक्षण–प्ररूप

4. जीन शब्द किसने दिया।
(अ) मेण्डल ने (ब) मोर्गन ने
(स) बेटसन एवं पुन्नैट ने (द) डब्ल्यू जोहन्सन ने

5. आनुवंशिकी का जनक कहा गया है–
(अ) बेटसन एवं पुन्नैट को
(ब) मोर्गन को
(स) ग्रेगर जोहन मेण्डल को
(द) हूगो डी व्रीज को

6. मेंडल ने मटर (*Pisum sativum* L.) के कितनी किस्मों का अध्ययन किया–
(अ) 22 (ब) 7
(स) 34 (द) 14

7. किस दशा में F_1 को अप्रभावी जनक/पित्र से संकरित करते हैं–
(अ) पूर्वज संकरण (ब) परीक्षार्थ संकरण
(स) बहु संकरण (द) व्युत्क्रम संकरण

8. संकर पौधे की संतति–
(अ) विशुद्ध प्रजनन करती है
(ब) मातृत्व पौधे के समान दिखती है
(स) पितृत्व पौधे के समान दिखती है
(द) पृथक्करित होती है।

9. परीक्षार्थ संकरण संतति में जीनप्ररूप अनुपात होता है–
(अ) 3 : 1 (ब) 1 : 2 : 1
(स) 1 : 1 (द) 2 : 1

10. निम्न में से कौनसी आनुवंशिकी की शाखा है–
(अ) सुजननकी
(ब) युफेनिक्स
(स) आण्विक आनुवंशिकी
(द) उपरोक्त सभी

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. आनुवंशिकी को परिभाषित कीजिये।
2. जीन प्रारूप को परिभाषित कीजिये।
3. सहलग्नता से आप क्या समझते हैं?
4. एकल संकरण को समझाइये।
5. युग्मविकल्पी (अलील) किसे कहते हैं?
6. आण्विक आनुवंशिकी एवं सुजननकी से आप क्या समझते है?
7. विभिन्नता को परिभाषित कीजिये।
8. मेंडल अपने प्रयोगों में सफल रहा। कारण स्पष्ट कीजिये।
9. मेंडल के प्रयोगों में मटर के चयन का महत्व लिखिये।
10. जीन प्ररूप एवं लक्षण प्ररूप में अन्तर बताइये।

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1. मेंडल के स्वतंत्र अपव्यूहन के नियम को समझाइये।
2. आनुवंशिकी की मुख्य शाखाएं लिखिये।
3. मेंडल के वंशानुगति नियम लिखिये।
4. मेंडल के प्रयोगों में सहलग्नता का अभाव था, क्यों समझाइये।
5. एकल संकर संकरण की वंशानुगति को आरेख द्वारा समझाइये।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. आनुवंशिकी को परिभाषित कर उसकी मुख्य शाखाओं तथा उसकी उपयोगिता का वर्णन कीजिये।
2. मेंडल के वंशानुगति नियम एवं उनकी सफलता के कारणों की विवेचना कीजिये।
3. एकलसंकर संकरण की वंशानुगति का आरेख सहित वर्णन कीजिये।
4. दो जीनों की वंशानुगति को आरेख द्वारा विस्तार से समझाइये।

उत्तरमाला: 1 (स) 2 (द) 3 (द) 4 (द) 5 (स) 6 (अ) 7 (ब) 8 (द) 9 (स) 10 (द)