مبانی ژنتیک

تألیف

دکتر مختار غفاری

و

دکتر مهدی مخبر

اعضای هیأت علمی دانشگاه ارومیه

غفاری، مختار، ۱۳۵۹-.

مبانی ژنتیک/ تالیف مختار غفاری و مهدی مخبر ، ارومیه: دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۷.

۳۲۰ص.: نمودار، جدول، مصور،(انتشارات دانشگاه ارومیه، ۲۵۸).

شابک: ۹-۵۱-۸۶۸۱-۶۰۰-۹۷۸

کتابنامه

۱- ژنتیک انسانی. ۲- ژنتیک. الف. مخبر، مهدی، نویسنده همکار. ب. عنوان. ج. فروست.

شماره ملی:۵۵۶۳۳۰۵—رده کنگره: QH، 431، 2م7غ/، 1397.

عنوان: مبانی ژنتیک

نویسنده: مختار غفاری و مهدی مخبر

ناشر:دانشگاه ارومیه

سال نشر:1397

سری انتشارات:258

شابک:978-600-8681-51-9

آدرس: ارومیه- کیلومتر 11 جاده سرو- دانشگاه ارومیه – انتشارات پاشازاده

04432779930 -09141869427

فهرست مطالب

فصل اول

1-فصل اول:تاریخچه‌ی علم ژنتیک **15**

1-1-علم ژنتیک **15**

1-2-تاریخچه‌ی پیدایش علم ژنتیک **15**

1-2-1-کشفیات قبل از مندل 16

1-2-2-کشفیات بعد از مندل 17

1-3-تقسیم‌بندی علم ژنتیک ..... **Error! Bookmark not defined.**

1-3-1-ژنتیک مولکولی ..... Error! Bookmark not defined.

1-3-2-ژنتیک کلاسیک یا مندلی ..... Error! Bookmark not defined.

1-3-3-ژنتیک جمعیت ..... Error! Bookmark not defined.

1-3-3-ژنتیک کمی ..... Error! Bookmark not defined.

فصل دوم

2-فصل دوم:بیولوژی و ژنتیک سلولی ..... ***Error! Bookmark not defined.***

2-1-مقدمه ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-2-سلول ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-2-1-پروکاریوت‌ها ..... Error! Bookmark not defined.

2-2-2-یوکاریوت‌ها ..... Error! Bookmark not defined.

2-2-3-ساختار سلول ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-سیتوژنتیک ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-3-1-بسته‌بندی کروموزومی ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-2-مراحل تبدیل مارپیچ **DNA** به کروموزوم ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-3-تعداد کروموزوم‌ها ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-4-انواع کروموزوم از نظر محل سانترومر ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-5-کاریوتیپ ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-6-ایدیوتایپ ..... Error! Bookmark not defined.

2-4-ناهنجاری‌های کروموزومی ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-4-1-گوناگونی در تعداد کروموزوم‌ها ..... Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined. ..... 2-4-2-تغییر در ساختمان کروموزوم
Error! Bookmark not defined. ..... 2-4-3-بیماری‌های ژنتیکی در انسان

فصل سوم

Error! Bookmark not defined. ..... **3- فصل سوم: تقسیم سلولی**
Error! Bookmark not defined. ..... **3-1-چرخه‌ی سلولی**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-1-1-مرحله‌ی **M**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-1-2-مرحله‌ی اینترفاز
Error! Bookmark not defined. ..... **3-2-تقسیم میتوز**
Error! Bookmark not defined. 3-2-1-پروفاز
Error! Bookmark not defined. 3-2-2-متافاز
Error! Bookmark not defined. 3-2-3-آنافاز
Error! Bookmark not defined. 3-2-4-تلوفاز
Error! Bookmark not defined. ..... **3-3-تقسیم میوز**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-3-1-میوز **I**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-3-1-میوز **II**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-3-3-میوز و تنوع در ماده‌ی ژنتیکی
Error! Bookmark not defined. ..... **3-4-مقایسه‌ی تقسیم میوز و میتوز**
Error! Bookmark not defined. ..... **3-5-تولید سلول‌های جنسی یا گامتوژنز**
Error! Bookmark not defined. ..... 3-5-1-اسپرماتوژنز یا اسپرم‌زایی
Error! Bookmark not defined. ..... 3-5-2-اووژنز یا تخمک‌زایی
Error! Bookmark not defined. ..... 3-5-3-تفاوت‌های اسپرماتوژنز و اووژنز
Error! Bookmark not defined. **3-6-لقاح**

فصل چهارم

Error! Bookmark not defined. ..... **4-فصل چهارم: ژنتیک مولکولی**
Error! Bookmark not defined. **4-1-مقدمه**
Error! Bookmark not defined. ..... **4-2-ماهیت مولکولی ماده‌ی ژنتیکی چیست؟**
Error! Bookmark not defined. ..... **4-3-مطالعات جهت تعیین ماهیت ماده‌ی ژنتیکی**
Error! Bookmark not defined. ..... 4-3-1-شناسایی ماهیت شیمیایی عامل تراریختی (تغییر ماهیت) باکتری
Error! Bookmark not defined. ..... **4-4-کشف ساختار DNA توسط واتسون و کریک (1953)**
Error! Bookmark not defined. ..... 4-4-1-داستان کشف مارپیچ دوگانه
Error! Bookmark not defined. ..... **4-5-بیوشیمی توارث**
Error! Bookmark not defined. ..... 4-5-1-اسید دی‌اکسی ریبو نوکلئیک (**Deoxyribonucleic acid- DNA**)
Error! Bookmark not defined. ..... 4-5-2-اسید ریبونوکلئیک (**Ribonucleic acid- RNA**)
Error! Bookmark not defined. 4-5-3-پروتئین
Error! Bookmark not defined. ..... **4-6-بیان ژن**

Error! Bookmark not defined. ..... 4-6-1-رونویسی (مرحله‌ی اول بیان ژن)
Error! Bookmark not defined. ..... 4-6-2-ترجمه (مرحله‌ی دوم بیان ژن)
Error! Bookmark not defined. ..... 4-7-تنظیم بیان ژن
Error! Bookmark not defined. ..... 4-7-1-تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها
Error! Bookmark not defined. ..... 4-7-2-تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها
Error! Bookmark not defined. 4-8-همانندسازی
Error! Bookmark not defined. ..... 4-8-1-آزمایشات مزلسون و استال
Error! Bookmark not defined. ..... 4-8-2-همانندسازی در کولی‌باسیلوس
Error! Bookmark not defined. ..... 4-8-3-همانندسازی در ژنوم یوکاریوت‌ها
Error! Bookmark not defined. ..... 4-8-4-همانندسازی در میتوکندری یوکاریوت‌ها

فصل پنجم

Error! Bookmark not defined. ..... **5- فصل پنجم: تئوری احتمالات و آزمون فرض‌های ژنتیکی**
Error! Bookmark not defined. 5-1-احتمالات
Error! Bookmark not defined. ..... 5-2-تعاریف و اصطلاحات در احتمالات
Error! Bookmark not defined. ..... 5-3-تعداد قابل انتظار
Error! Bookmark not defined. ..... 5-4-احتمال مورد انتظار
Error! Bookmark not defined. ..... 5-5-قوانین مهم مورد استفاده در احتمالات
Error! Bookmark not defined. ..... 5-5-1-قانون اول (قانون جمع احتمال)
Error! Bookmark not defined. ..... 5-5-2-قانون دوم (قانون ضرب احتمال)
Error! Bookmark not defined. ..... 5-5-3-قانون سوم
Error! Bookmark not defined. ..... 5-6-توزیع‌های آماری
Error! Bookmark not defined. ..... 5-7-فرض‌های آزمون
Error! Bookmark not defined. ..... 5-8-آزمون کای اسکوئر (X^2)

فصل ششم

Error! Bookmark not defined. ..... **6-فصل ششم: ژنتیک مندلی**
Error! Bookmark not defined. ..... 6-1- ژنتیک مندلی
Error! Bookmark not defined. ..... 6-2-گریگور یوهان مندل
Error! Bookmark not defined. ..... 6-3-دلایل موفقیت مندل
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-اصطلاحات و تعاریف ژنتیک مندلی
Error! Bookmark not defined. 6-4-1-صفت
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-2-صفات متقابل
Error! Bookmark not defined. 6-4-3-ژن
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-4-جایگاه ژنی یا لوکوس
Error! Bookmark not defined. 6-4-5-آلل
Error! Bookmark not defined. 6-4-6-هموزیگوت
Error! Bookmark not defined. 6-4-7-هتروزیگوت

Error! Bookmark not defined. 6-4-8-فنوتیپ
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-9-فنوتیپ غالب
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-10-فنوتیپ مغلوب
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-11-ناقل یا حامل
Error! Bookmark not defined. 6-4-12-ژنوتیپ
Error! Bookmark not defined. 6-4-13-دورگگیری
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-14-آمیزش‌های دو طرفه
Error! Bookmark not defined. ..... 6-4-15-مربع پانت
Error! Bookmark not defined. ..... 6-5-قوانین مندل
Error! Bookmark not defined. ..... 6-5-1-آمیزش مونوهیبریدیسم و قانون اول مندل (قانون تفرق یا تفکیک جفت ژن‌ها)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-5-2-آمیزش دی‌هیبریدیسم و قانون دوم مندل (قانون جور شدن مستقل ژن‌ها یا استقلال صفات)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-6-مطالعه‌ی نحوه‌ی توارث یک ژن (مونو هیبریدیسم)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-7-تلاقي آزمون یا تست‌کراس (T.C.)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-8-تلاقي برگشتي
Error! Bookmark not defined. ..... 6-9-مطالعه‌ی نحوه‌ی توارث دو ژن (دی‌هیبریدیسم)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-9-1-روش‌های مختلف تعیین نتاج حاصل از آمیزش‌های دی‌هیبرید
Error! Bookmark not defined. ..... 6-10-مطالعه‌ی نحوه‌ی توارث چند ژن (پلی‌هیبریدیسم)
Error! Bookmark not defined. ..... 6-11-تغییرات نسبت‌های مندلي
Error! Bookmark not defined. ..... 6-11-1-تغییر نسبت‌های فنوتیپی مندلي در مونوهیبریدها
Error! Bookmark not defined. ..... 6-11-2-تغییر نسبت‌های فنوتیپی مندلي در دی‌هیبریدها
Error! Bookmark not defined. ..... 6-11-3-بیان شیمیایي اپیستازی
Error! Bookmark not defined. ..... 6-11-4-انواع اپیستازی

فصل هفتم

Error! Bookmark not defined. ..... 7-فصل هفتم: ژنتیک جنسیت
Error! Bookmark not defined. 7-1-جنسیت
Error! Bookmark not defined. ..... 7-2-مکانیسم‌های تعیین جنسیت
Error! Bookmark not defined. ..... 7-2-1-تعیین جنسیت ژنتیکي
Error! Bookmark not defined. ..... 7-2-2-تعیین جنسیت محیطي
Error! Bookmark not defined. ..... 7-2-3-تعیین جنسیت رفتاری
Error! Bookmark not defined. ..... 7-3-صفات مرتبط با جنسیت
Error! Bookmark not defined. ..... 7-3-1-صفات وابسته به جنس
Error! Bookmark not defined. ..... 7-3-2-صفات محدود به جنس
Error! Bookmark not defined. ..... 7-3-3-صفات تحت تأثیرجنس
Error! Bookmark not defined. ..... 7-4-ایمپرینتینگ ژنوم

Error! Bookmark not defined. ..... **7-5-بررسی و تحلیل شجره‌نامه**

فصل هشتم

Error! Bookmark not defined. ..... **8-فصل هشتم: پیوستگی ژن‌ها و نقشه‌ی کروموزومی**
Error! Bookmark not defined. ..... **8-1-پیوستگی ژن‌ها**
Error! Bookmark not defined. ..... **8-2-کراسینگ‌اور**
Error! Bookmark not defined. ..... **8-3-کراسینگ‌اورهای چندگانه**
Error! Bookmark not defined. ..... **8-4-نقشه‌های فیزیکی و ژنتیکی**
Error! Bookmark not defined. ..... 8-4-1-نقشه‌های فیزیکی
Error! Bookmark not defined. ..... 8-4-2-نقشه‌های ژنتیکی
Error! Bookmark not defined. ..... **8-5-تهیه‌ی نقشه‌ی ژنتیکی**
Error! Bookmark not defined. ..... 8-5-1-نقشه‌ی ژنتیکی در حالت دو ژنی
Error! Bookmark not defined. ..... 8-5-2-نقشه‌ی ژنتیکی در حالت سه ژنی
Error! Bookmark not defined. ..... **8-6-ممانعت از کراسینگاور**
Error! Bookmark not defined. ..... 8-6-1-درجه حرارت
Error! Bookmark not defined. ..... 8-6-2-سن والد ماده
Error! Bookmark not defined. ..... 8-6-3-اثر تشعشع
Error! Bookmark not defined. ..... 8-6-4-ترکیبات شیمیایی

فصل نهم

Error! Bookmark not defined. ..... **9-فصل نهم: ژنتیک جمعیت**
Error! Bookmark not defined. ..... **9-1-ژنتیک جمعیت**
Error! Bookmark not defined. ..... **9-2-فراوانی‌های ژنی و ژنوتیپی**
Error! Bookmark not defined. ..... 9-2-1-محاسبه‌ی فراوانی ژنوتیپی
Error! Bookmark not defined. ..... 9-2-2-محاسبه‌ی فراوانی ژنی
Error! Bookmark not defined. ..... **9-3-آمیزش تصادفی**
Error! Bookmark not defined. ..... **9-4-احتمال آمیزش‌ها**
Error! Bookmark not defined. ..... **9-5-قانون هاردی - واینبرگ**
Error! Bookmark not defined. ..... 9-5-1-فراوانی‌های ژنی در تعادل هاردی- واینبرگ
Error! Bookmark not defined. ..... 9-5-2-فراوانیهای ژنوتیپی در تعادل هاردی- واینبرگ
Error! Bookmark not defined. ..... 9-5-3-کاربردهای قانون هاردی – واینبرگ
Error! Bookmark not defined. ..... **9-6-عوامل موثر در تغییر فراوانی نسبی ژن‌ها و ژنوتیپ‌ها**
Error! Bookmark not defined. ..... 9-6-1-عوامل منظم یا سیستماتیک
Error! Bookmark not defined. ..... 9-6-2-عوامل غیرسیستماتیک یا پراکندگی

فصل دهم

Error! Bookmark not defined. ..... **10-فصل دهم: ژنتیک کمی**
Error! Bookmark not defined. ..... **10-1-انواع صفات بیولوژیک**

Error! Bookmark not defined. ..... 10-1-1-صفات کیفی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-1-2-صفات کمی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-2-ژنتیک کمی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-3-ژنوتیپ در ژنتیک کمی
Error! Bookmark not defined. 10-4-ژنومیک
Error! Bookmark not defined. ..... 10-5-آمار و کاربرد آن در ژنتیک کمی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-5-1-توزیع نرمال
Error! Bookmark not defined. 10-5-2-میانگین
Error! Bookmark not defined. 10-5-3-واریانس
Error! Bookmark not defined. ..... 10-5-4-انحراف معیار
Error! Bookmark not defined. ..... 10-5-5-ضریب تغییرات
Error! Bookmark not defined. 10-5-6-کوواریانس
Error! Bookmark not defined. 10-5-7-همبستگی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-5-8-تابعیت یا رگرسیون
Error! Bookmark not defined. ..... 10-6-مدل ژنتیکی و مؤلفه‌های واریانس در ژنتیک کمی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-6-1-مدل ژنتیکی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-6-2-مؤلفه‌های واریانس
Error! Bookmark not defined. ..... 10-7-شاخص‌ها یا پارامترهای ژنتیکی
Error! Bookmark not defined. ..... 10-7-1-وراثت‌پذیری
Error! Bookmark not defined. ..... 10-7-2-کاربرد وراثت‌پذیری
Error! Bookmark not defined. 10-7-3-تکرارپذیری
Error! Bookmark not defined. ..... 10-7-4-کاربرد تکرارپذیری

پیشگفتار

تقدیر و تشکر

تقدیم به

فصل اول

تاریخچه‌ی علم ژنتیک

علم ژنتیک

علم بیولوژی یا زیست‌شناسی از دوره‌های بسیار دور مورد توجه بشر قرار داشته است و شواهد تاریخی مربوط به تفسیر وراثت، به دوران یونان باستان باز می‌گردد. بقراط که از وی به‌عنوان پدر ژنتیک نیز یاد می‌شود، ایده‌ای تحت عنوان پان‌ژنز[1] مطرح نمود. بر اساس این ایده، تمام بخش‌های بدن یک موجود زنده به تخمک‌ها یا اسپرم‌های فرد و سپس نسل بعد منتقل می‌شود. در مقابل ارسطو فیلسوف یونانی، ضمن رد این ایده بیان کرد، آن چه که به ارث می‌رسد توانایی تولید اجزای بدن است نه ذراتی که خود به شکل اجزای بدن هستند. اما در دو سده‌ی اخیر انقلابی در علم بیولوژی رخ داد و این حوزه از علم وارد مرحله‌ی جدیدی شد که بعدها آن را ژنتیک نامیدند. ژنتیک یا علم وراثت، شاخه‌ای از علم بیولوژی است که به مطالعه‌ی شباهت‌ها و تفاوت‌های بین موجودات زنده و نیز به مکانیسم وراثت یا انتقال اطلاعات بیولوژیکی از یک سلول به سلول دیگر، از والد به نوزاد و بنابراین از یک نسل به نسل بعد می‌پردازد. به واحدهای وراثتی که از نسلی به نسل بعد انتقال می‌یابند، ژن می‌گویند. هر ژن بخشی از مولکول‌های طویلی به‌نام دی‌اکسی ریبونوکلئیک اسید (**DNA**) است. مولکول‌های **DNA** به‌همراه ماتریس پروتئینی خود، نوعی نوکلئوپروتئین را ایجاد می‌کنند که در قالب ساختارهای رنگ‌پذیری به‌نام "کروموزوم" سازمان‌دهی می‌گردند. در موجودات یوکاریوتی این ساختارها در داخل هسته‌ی سلول جای می‌گیرند. در این فصل از کتاب به تاریخچه‌ی پیدایش علم ژنتیک و روند توسعه‌ی علم ژنتیک پرداخته و با شاخه‌های کلی این علم نوپا آشنا خواهید شد.

تاریخچه‌ی پیدایش علم ژنتیک

در هر صورت روند توسعه‌ی این شاخه از علم در طی زمان دچار فراز و نشیب‌هایی بوده است و دانشمندان زیادی به‌طور مستقیم و غیر مستقیم در روند توسعه‌ی آن نقش داشته‌اند. در ادامه به‌طور خلاصه به برخی از رخدادهای مهمی که باعث تحول در علم بیولوژی و متعاقب آن در علم ژنتیک شده‌اند، تحت عنوان تاریخچه‌ی پیدایش علم ژنتیک اشاره می‌گردد.

درک تفاوت‌ها و شباهت‌های بین والدین و فرزندان و پی بردن به اسرار آن برای سال‌های متمادی ذهن بشر را مشغول نموده بود، به‌طوری‌که تحقیقات زیادی برای کشف این اسرار توسط دانشمندان مختلف صورت گرفته است. از این‌رو پیشرفت‌های کنونی که در

---

[1] - Pangenesis

زمینه علم ژنتیک به وقوع پیوسته است، نتیجه‌ی اکتشافات، اختراعات و پژوهش‌های دانشمندان مختلف بوده و می‌توان این پژوهش‌ها را در دو دوره‌ی زیر مورد بررسی قرار داد.

- کشفیات قبل از مندل (از ابتداتا 1865)
- کشفیات بعد از مندل (1865 تا کنون)

کشفیات قبل از مندل

اگرچه علم بیولوژی در قالب مدرن خود پیشرفت‌های بسیاری یافته است، اما ریشه‌ی علوم مرتبط و وابسته به آن به تمدن‌های باستانی بین‌النهرین، مصر، شبه‌قاره‌ی هند و چین باز می‌گردد. با این‌حال، ریشه‌های بیولوژی مدرن و گرایش به مطالعه‌ی طبیعت مربوط به یونان باستان می‌شود. آثار این مطالعات در نوشته‌های دانشمندان مسلمان قرون وسطی قابل مشاهده می‌باشد و در این دوران کتاب‌هایی در مورد گیاه‌شناسی، کالبدشناسی و فیزیولوژی نگاشته شده است. ولی در سال‌های بعد، علم بیولوژی با ساخت اولین میکروسکوپ توسط برادران جانسن[2] در سال 1590 میلادی وارد مرحله‌ی جدیدی شد و روند پیشرفت‌ها در این زمینه شدت یافت.

در سال 1665 رابرت هوک[3] اولین مشاهده‌ی میکروسکوپی را انجام داد. وی برای اولین بار توانست بقایای دیواره‌ی سلول‌های مرده‌ی گیاهی را در برشی از چوب‌پنبه مشاهده نماید. این دانشمند در همین سال مشاهدات میکروسکوپی خود را در کتابی با عنوان "میکروگرافیا" منتشر نمود. در این کتاب هوک از اصطلاح سلول برای توصیف جانداران بیولوژیکی استفاده و برای اولین بار سلول را توصیف کرد.

در سال 1674 آنتونی وان لیوون هوک[4] برای اولین بار توانست تک سلول‌های زنده (پروتوزوآ) را مشاهده کند. همچنین وی در سال 1677 اسپرم انسان و سایر پستانداران را مشاهده نمود و این سلول را انیماکولوس[5] نامید. در ادامه‌ی این اکتشاف مکتبی به‌نام انیماکولیسم[6] را به‌وجود آورد که پیروان آن اعتقاد داشتند صفات ارثی از طریق اسپرم منتقل می‌شود و تخم فقط غذای لازم برای رشد و نمو را در اختیار اسپرم قرار می‌دهد. در همین سال‌ها مکتب دیگری به‌نام اوویست[7] معرفی گردید که پیروان آن معتقد بودند صفات ارثی توسط سلول تخم منتقل می‌شود و اسپرم فقط سبب تحریک و فعالیت تخم می‌گردد. در حال حاضر ثابت شده است که علی‌رغم تفاوت در حجم اسپرم و تخمک، اندازه‌ی هسته در آن‌ها و نیز میزان ماده‌ی وراثتی در این دو سلول یکسان می‌باشد.

در سال 1679 ژان سوامردام[8] با کمک میکروسکوپ نتیجه‌ی مطالعات خود در مورد رشد حشرات را منتشر کرد و رشد را به‌طور ساده به‌صورت بزرگ شدن یک حیوان ریز ذره‌بینی به حیوانی کامل توصیف نمود. بعدها با تکمیل این ایده نظریه‌ی جدیدی در مورد رشد به‌نام تئوری پیش‌تشکیلی[9] در سال 1694 توسط مالپیگی[10] ارایه شد. مالپیگی ادعا کرد که درون اسپرم انسان، آدم کوچک یا

---

2 - Jansen
3 - Robert Hooke
4 - Anton van Leeuwenhoek
5 - Animacules
6 - Animaculism
7 - Ovists
8 - Jon swammerdam
9 - Preformation
10 - Malpighi

آدمک[11] را مشاهده نموده و به‌نظر می‌رسید که مشکل توارث حل شده است. طرفداران اوویست به‌دلیل اهمیتی که برای سلول تخم قائل بودند، ادعا کردند که این آدمک را درون تخمک مشاهده کردند. در سال 1785 اسپلانزی[12] اولین تلقیح مصنوعی را در سگ انجام داد و به اهمیت اسپرم و تخم به‌طور یکسان اشاره کرد. در سال 1809 لامارک[13] تئوری لامارکیسم[14] را ارایه داد. طبق این نظریه در طی تطابق حیوان با محیط، موجودات به‌تدریج تغییر می‌یابند و این خصوصیات اکتسابی می‌تواند به نوزادان انتقال یابد. لامارکیست‌ها عقیده داشتند در صورت به‌کار بردن زیاد یک اندام، آن اندام رفته رفته تقویت شده و شکل جدیدی متناسب با فعالیتی که انجام می‌دهد، به‌خود می‌گیرد. به‌عنوان مثال، دراز شدن گردن و پاهای زرافه به همین شکل صورت گرفته است. از طرفی، چنان‌که از یک اندام استفاده نشود، آن اندام رفته رفته تحلیل رفته و کوچک می‌شود، تا جایی که ممکن است به کلی از میان برود. به‌نظر لامارک، نبود چشم در جانداران ساکن غارهای تاریک و یا همچنین نبود دست و پا در مارها به همین سبب بوده است. همچنین، آن‌ها به موروثی بودن صفات اکتسابی اعتقاد داشتند. در حال حاضر، تئوری لامارکیسم منسوخ شده است. البته این به این معنی نیست که صفات به‌طور اکتسابی منتقل نمی‌شوند. چراکه امروزه شاخه‌ای از علم ژنتیک با محوریت موروثی بودن صفات اکتسابی به‌نام علم اپی‌ژنتیک به‌وجود آمده است.

در سال 1831 براون[15] به‌وجود هسته در داخل سلول پی برد و در سال 1850 داروین نظریه‌ی موقت پان‌ژنز را دوباره مطرح کرد. طبق این نظریه سلول‌های بدن، اجزای بسیار کوچک و مشابه خود به‌نام ژرمول[16] تولید می‌کنند که توسط جریان خون به تخمدان و بیضه‌ها رفته و از اتحاد آن‌ها قسمت‌های مختلف بدن طی رشد و نمو به‌وجود می‌آیند. این نظریه وجود تنوع و تولید گونه‌های جدید را مربوط به عدم انتقال ژرمول برخی از سلول‌ها می‌دانست. این نظریه در سال 1892 توسط وایزمن[17] رد شد و نظریه‌ی ژرم‌پلاسم[18] به‌جای آن ارایه گردید. همچنین نظریه‌ی پان‌ژنز توسط فرانسیس گالتون[19] نیز رد شد.

در سال 1859 چالز داروین نتایج مطالعات خود پیرامون مسأله تکامل با عنوان "تنازع برای بقاء" را منتشر کرد و عنوان یکی از بخش‌های آن‌را منشاء گونه‌ها نامید. نشریات گویای این واقعیت بود که داروین، نظریه‌ی تکامل را قبول دارد ولی وی به‌جای وراثت اکتسابی که توسط لامارک مطرح شده بود، انتخاب طبیعی را مهم‌ترین عامل در تکامل می‌دانست.

کشفیات بعد از مندل

اگر تاکنون بر سر دروس زیست‌شناسی نشسته باشید به‌طورحتم با نام مندل و نخودهای سبز و زرد و چروکیده و صاف وی آشنا هستید. در حقیقت سرآغاز علم ژنتیک با آزمایش‌های گریگور مندل[20] و مقاله‌ای بود که وی در سال 1865 در انجمن برنو ارایه و همچنین در سال 1866 در مجموعه مقالات انجمن جمعیت علوم طبیعی در برنو به چاپ رساند. مندل همانند بسیاری از دانشمندان قرن نوزدهم دارای کنجکاوی خارق العاده‌ای درباره‌ی جهان فیزیکی و طبیعت بود و علاقه‌ی فراوانی به درک تنوع در موجودات زنده

11 - Humanculues
12 - Spalanzany
13 - Lamark
14 - Lamarckism
15 - Brown
16 - Germmule
17 - Weismann
18 - Germplasm
19 - Francis Galton
20 - Gregor mendel

داشت. مندل در سال 1822 چشم به جهان گشود. او در سال 1843 وارد کلیسا شده و به صومعه‌ی آگوستین در برن ملحق شد. وی موثرترین بخش تحقیقات خود را در بین سال‌های 1851 تا 1853 در دانشگاه وین طی کرد. این دانشمند آزمایش‌های دورگ‌گیری را در سال 1856 شروع نمود و نتایج کار خود را در سال 1853 منتشر کرد. او کار خود را تا سال 1871 بر روی نوعی کاسنی ادامه داد که نتایج آن خیلی نامطمئن‌تر از نتایج مطالعات نخودفرنگی بود. جزییات آزمایشات مندل و یافته‌های وی فعلاً مورد بحث ما نیست و در بخش‌های بعد به آن اشاره خواهد شد. آن‌چه‌که بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که کارهای مندل نه‌تنها قوانین اصلی وراثت را پایه‌ریزی می‌کرد، بلکه نمایشی بود از این‌که وراثت را می‌توان از طریق آزمایش بررسی نمود. علی‌رغم این‌که این رساله حاصل چندین سال کار و بر مبنای افکار هوشمندانه ریاضی و مشاهدات عینی بود، برای سال‌های زیادی مورد توجه قرار نگرفت، ولی با کشف مجدد همین اصول در سال ۱۹۰۰ به اهمیت آن‌ها پی برده شد. دلیل این‌که یافته‌های مندل به‌مدت 35 سال مورد توجه قرار نگرفت این موضوع نبود که مقاله‌ی او در یک مجله‌ی غیرمعتبر چاپ شده بود. چراکه این مجله برای بسیاری از کتابخانه‌های معروف و انجمن‌ها و حتی استادهای معروف دانشگاه‌ها فرستاده می‌شد و حداقل در 16 نشریه از مقاله‌ی مندل یاد شده است. واقعیت این است که تا سال 1900 طول کشید تا سطح افکار زیست‌شناختی به حدی برسد که بتواند اهمیت کار مندل را درک نماید.

در سال 1869، یوهان فریدریک مایشر[21] بیولوژیست سوئیسی **DNA** را کشف کرد. موضوع پژوهش مایشر بررسی شیمیایی گلبول-های سفید خون انسان بود. وی طی پژوهش‌های خود گلبول‌های سفید را از زخم‌های چرکی بیمارستانی جدا کرده و بعد از هضم‌های آنزیمی و تخلیص‌های اولیه، مخلوط‌های خام حاوی **DNA** و پروتئین‌های متصل به کروموزوم را از این سلول‌ها جداسازی کرد. وی سپس موفق به خالص‌سازی اسید نوکلئیک از اسپرم ماهی آزاد شد. این دانشمند نشان داد که **DNA** ماهیت اسیدی دارد و غنی از فسفر می‌باشد. همچنین پیشنهاد کرد که اندازه‌ی این مولکول‌های **DNA** باید بسیار بزرگ باشد، ولی عموماً این عقیده تا سال‌های دهه‌ی 1930 که روش‌های بیوفیزیکی اندازه‌های بزرگ مولکولی **DNA** را تأیید کردند، پذیرفته نشد.

در سال 1875 کروموزوم برای اولین بار توسط استراسبورگ[22] تشریح شد و در سال 1882 سلول‌شناس اتریشی والتر فلمینگ[23] اصطلاح میتوز[24] را پیشنهاد نمود و نشان داد که کروموزوم‌ها در هنگام تقسیم سلولی و تشکیل هسته‌های دختری به‌صورت طولی تقسیم می‌شوند. او همچنین نام کروماتین[25] را به قسمت رنگ‌پذیر هسته اطلاق نمود. در سال 1888 نام کروموزوم توسط والدیر[26] بر روی کروموزوم گذاشته شد.

وایزمن[27] در سال 1892 با انجام یک آزمایش نظریه‌ی پان‌ژنز را رد کرد و نظریه‌ی ژرم‌پلاسم یا گنجینه‌ی ارثی را به‌جای آن ارایه کرد. وایزمن نشان داد حتی پس از گذشت 22 نسل از تولید مثل موش‌های دم‌بریده، فرزندان آن‌ها هنوز دارای دم هستند. طبق نظریه‌ی ژرم‌پلاسم، موجودات دارای دو نوع بافت سوماتوپلاسم و ژرم‌پلاسم می‌باشند. سوماتوپلاسم برای فعالیت بدن و بافت ژرم‌پلاسم برای تولیدمثل ضروری هستند.

---

21 - Friedrich Miescher
22 - Strausberger
23 - Walter Flemming
24 - Mitosis
25- Chromatin
26 - Waldeyer
27 - Wiseman

در سال 1900 (16 سال بعد از فوت مندل)، سه گیاهشناس به‌نام‌های هوگو دوریس[۲۸]، اریخ ون شرماک[۲۹] و کارل کورنس[۳۰]، هر یک با انجام آزمایش‌هایی مشابه با آزمایش‌های مندل به‌طور مستقل تئوری خود را در مورد وراثت آزمون کردند و نتایج مطالعات مندل را مجدداً کشف نمودند. با این کشف مجدد، قوانین مندل مورد تأیید و توجه قرار گرفت و مندل به‌عنوان پدر علم ژنتیک شناخته شد. آزمایشات مندل و زیست‌شناسانی از قبیل دوریس، شرماک و کورنس ابهامات را از مسأله‌ی وراثت زدود و نشان داد که فرآیند وراثت از اصول قابل پیش‌بینی پیروی می‌کند. این اصول را می‌توان به‌طور عقلانی به‌صورت انتقال عوامل فیزیکی که هر کدام یک صفت ارثی را به‌هنگام تولیدمثل از والدین به نتاج کنترل می‌کند، تعبیر کرد.

در سال 1901 ویلیام باتسون نشان داد که قوانین مندل در گیاهان، در جانوران نیز صادق است. وی این نتایج را از طریق آزمایش بر روی تاج جوجه‌ها به‌دست آورد. در سال 1903 بووری ساتون[۳۱] دریافت که الگوهای توارث با رفتار کروموزوم‌ها در هنگام تقسیم سلولی مطابقت دارد. وی با همین استدلال تئوری کروموزومی[۳۲] ارایه داد. تئوری کروموزومی عنوان می‌کند که کروموزوم‌ها حامل ماده‌ی ژنتیکی هستند.

در سال 1905 زیست‌شناس انگلیسی ویلیام باتسون[۳۳] اصطلاح ژنتیک را برای مطالعات وراثتی پیشنهاد نمود. همچنین وی تعریف کلاسیکی از ژنتیک را در سال 1906 ارایه کرد. تعریف باتسون از علم ژنتیک از این قرار بود: "ژنتیک علمی است مبتنی بر توارث و تنوع به‌منظور کشف قوانین حاکم بر تشابهات و تفاوت‌های افراد که از طریق اجداد با هم مرتبط هستند". وی همچنین طی مطالعات خود اصطلاحات آلل یا آللومورف[۳۴]، $\mathbf{F_1}$ و $\mathbf{F_2}$ برای نسل‌های بعدی، هموزیگوت[۳۵]، هتروزیگوت[۳۶] و اپیستازی[۳۷] را معرفی کرد. او برای همگانی کردن قوانین مندل در گیاهان و جانوران فعالیت زیادی انجام داد. باتسون و پانت در سال ۱۹۰۶ اولین مورد لینکاژ که در نخودشیرین[۳۸] مشاهده گردیده بود را گزارش کردند. چون تعداد عوامل توارثی نسبت به تعداد کروموزوم‌ها زیاد بود به‌نظر می‌رسید که چند ژن روی یک کروموزوم واقع می‌شوند و بنابراین پیوسته[۳۹] می‌باشند.

در سال 1908 جی ایچ هاردی[۴۰] و ویلهم واینبرگ[۴۱] به‌طور مجزا با در نظر گرفتن مفروضاتی، پایه‌ی اصلی ژنتیک جمعیت یعنی قانون هاردی-واینبرگ[۴۲] (**H W**) را ارایه دادند. در سال 1909 ویلیام لودریک یوهانس[۴۳] ژنتیک‌دان و فیزیولوژیست گیاهی اهل دانمارک، کلمه‌ی ژن[۴۴] را برای عوامل وراثتی پیشنهاد کرد که متعاقباً مورد پذیرش قرار گرفت. وی همچنین اصطلاحات فنوتیپ[۴۵] و ژنوتیپ[۴۶] را پیشنهاد کرد.

---

28 - Huge Devries
29 - Erichvon Tschermak
30 - Carl Correns
31 - Boveri Sutton
32 - Chromosome theory
33 - William Bateson
34 - Allele or Allelomorph
35 - Homozygote
36 - Hetrozygote
37 - Epistasis
38 - Sweet peas
39 - Linked
40 - G. H. Hardy
41 - Wilhelm Weinberg
42 - The Hardy-Weinberg law
43- William Ludving Johansen
44 - Gene
45 - Phenotype
46 - Genotype

پس از آن‌که اساس تجربی وراثت پایه‌ریزی گردید و تئوری کروموزومی مورد پذیرش واقع شد، راه برای درک و پیشرفت سریع ژنتیک هموار گردید. پیشرفت سریع در این برهه مرهون درک و تصورات توماس هانت مورگان[۴۷] و گروه تحقیقاتی وی بود. مورگان و همکاران به مطالبی دست یافتند که بسیاری از زیست‌شناسان آن‌ها را در رویا هم نمی‌دیدند. این محققین موجودی را شناسایی کردند که برای برنامه‌ی تحقیقاتی خاصی که می‌خواستند انجام دهند، بسیار مناسب به‌نظر می‌رسید. این موجود مگس سرکه یا مگس میوه بود. در سال 1910 مورگان جهش چشم سفید و وابسته به جنس را در مگس سرکه کشف کرد و با این کشف مطالعات ژنتیکی در مگس سرکه شروع شد. مگس سرکه دارای چندین ویژگی منحصربه‌فرد است که آن را برای تجزیه‌ی ژنتیکی ایده‌آل می‌سازد. مهم‌ترین این ویژگی‌ها از نظر مورگان این واقعیت بود که تهیه‌ی تعداد زیادی از اشکال متفاوت ولی پایدار از مگس سرکه امکان‌پذیر است. گروه مورگان فنون زیادی ابداع کردند که امروزه به‌عنوان روش‌های استاندارد در تجزیه‌ی ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. که روش‌های ترسیم موقعیت نسبی ژن‌ها بر روی یک کروموزوم از آن‌جمله می‌باشند. در فاصله‌ی سال‌های 1911 تا 1929 اطاق مگس دانشگاه کلمبیا اطلاعاتی فراهم کرد که اساس دانش ما از ژن به‌عنوان واحد وراثتی را تشکیل می‌دهد. مورگان به پاس خدمات ارزنده‌ی خود در حوزه‌ی علم ژنتیک در سال 1933 موفق به اخذ جایزه‌ی نوبل شد.

در سال 1935 دلبروک (رئیس گروه فاژ) به‌همراه رزوسکی و زیمر پیشنهاد نمودند که ژن یک واحد فیزیکی است این دانشمند در سال 1940 گروه فاژ را تشکیل داد. در سال 1941 جورج ولز بیدل[۴۸] و ادوارد تاتوم[۴۹] نظریه‌ی یک ژن یک آنزیم را ارایه کردند که به‌خاطر این کشف به‌همراه دانشمند دیگری به‌نام لدربرگ[۵۰] به‌طور مشترک جایزه‌ی نوبل پزشکی را کسب کردند.

در سال 1944 اسوالد آوری[۵۱]، مک لود[۵۲] و مک کارتی[۵۳] دریافتند که ژن‌های باکتری باید از **DNA** ساخته شده باشد و اهمیت **DNA** را به‌عنوان ماده‌ی ژنتیکی نشان دادند. تا آن زمان احتمال می‌رفت که پروتئین ماده‌ی ژنتیکی باشد، زیرا ساختمان غیرپروتئینی نوکلئوپروتئین به‌نظر ساده‌تر از آن می‌رسید که ماده‌ی ژنتیکی باشد. کشف آوری و همکارانش راه را برای پژوهش‌های بعدی درباره‌ی ساختمان و عمل **DNA** هموار کرد.

کشف نقش **DNA**، محرکی قوی برای تحقیقات ژنتیکی بود و اساس تحقیقات سال‌های بعد مولکول **DNA** را بنا نهاد. فاصله‌ی بین سال‌های 1952 تا 1966 دومین دوره‌ی طلایی پیشرفت علم ژنتیک بود. تعداد زیادی از دانشمندان معروف دنیا از قبیل شارگاف و کریک در این دوران طلایی سهیم بودند. در این برهه ساختار **DNA** شناسایی گردید، رمز ژنتیکی گشوده شد و فرآیندهای نسخه-برداری و ترجمه توصیف گردید.

در سال 1952 آلفرد هرشی[۵۴] و مارتا چیس[55] با استفاده از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو S_{35} و P_{32}، پوشش پروتئینی باکتریوفاژ (ویروس باکتری) را از **DNA**ی آن جدا کردند و دریافتند که **DNA** ماده‌ی ژنتیکی است و خصوصیات توارثی را از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌کند. در همین سال رزالیند السی فرانکلین[۵۶] با استفاده از پرتو اشعه‌ی ایکس عکس‌های مربوط به **DNA** را تهیه کرد و نشان داد

47 - Thomas Hunt Morgan
48 - George Wells Beadle
49 - Edward L. Tatum
50 - Lederberg
51 - Oswald T. Avery
52 - Mac Leod
53 - Mc Carty
54 - Alfred Hershey
55 - Matrha Chese
56 - Rosalind Elsie Franklin

که مولکول **DNA** یک مارپیچ است.

در سال 1953 جیمز واتسون[۵۷] و فرانسیس کریک[۵۸] ساختار مولکول **DNA** را شناسایی کردند. این کشف یکی از بزرگ‌ترین پیروزی‌های استنتاجی در تاریخ علم بود و بر بسیاری از جنبه‌های ژنتیک مولکولی و حتی زیست‌شناسی اثر گذاشت. این دو دانشمند مدلی را ارایه کردند که از قوانین شیمی پیروی می‌کرد. همچنین، این محققین نتایج بررسی‌های شارگاف (نسبت بازهای **DNA** شارگاف) و کریستالوگرافی روزالیند فرانکلین را در مدل خود لحاظ کردند. در واقع این دو دانشمند تمام نتایج حاصل از مطالعات تجربی مرتبط با **DNA** را کنار هم گذاشته و اثبات نمودند که فقط شکل مارپیچ دوگانه برای مولکول **DNA** با تمام واقعیت‌های پیدا شده، مطابقت دارد. در سال 1967 مارشال نیرنبرگ[۵۹]، رابرت هالی[۶۰] و هارگوبیند خورانا[۶۱] مکانیسم ترجمه **DNA** به پروتئین را کشف کردند.

بعد از فعالیت‌ها و کشفیات دوران طلایی دوم، دوباره رکودی چندین ساله بر علم بیولوژی مولکولی و متعاقب آن بر ژنتیک حاکم شد. ژنتیک‌دانان نسل جدید دریافتند که روش‌های تجربی دهه‌ی 1960 آن‌قدر کارآمد نیستند که بشود با آن‌ها ژن‌ها را با جزییات بیشتری مورد مطالعه قرار داد. با این وجود در انتهای این دهه و اوایل دهه‌ی 1970 تحقیقات ژنتیک به گذشته‌ی درخشان خود باز گشت، به‌طوری‌که در این برهه از زمان، انقلابی در علم بیولوژی تجربی به‌وجود آمد. در این راستا روش‌های کاملاً جدیدی ابداع شد که کارهای غیرممکن گذشته را امکان‌پذیر کرد. این روش‌ها را فن‌آوری‌های **DNA**ی نوترکیب یا مهندسی ژنتیک نامیدند که به‌دلیل وجود همسانه‌سازی ژن در بطن خود، دوره طلایی دیگری را برای علم ژنتیک رقم زد. در سال 1968 دانشمند آمریکائی استنلی نورمن کوهن[۶۲] مشخص کرد که باکتری‌ها در پلاسمید خود ژن‌هایی را برای مقاومت به آنتی‌بیوتیک دارند. وی پلاسمید را خالص‌سازی و به باکتری‌های دیگر انتقال داد. در سال 1970 با کشف آنزیم‌های برشی[۶۳]، آنزیم **EcoR1** به‌دست آمد که از آن برای برش دادن **DNA** استفاده شد. در سال 1972 پاول برگ[۶۴] دو قطعه **DNA** از ویروس **SV40** و باکتری اشرشیاکولی (***E. Coli***) را ترکیب و **DNA**ی نوترکیب تولید نمود. وی در سال 1980 به‌همراه والتر گیلبرت و فردریک سنگر به‌طور مشترک جایزه‌ی نوبل شیمی را به‌خاطر تحقیق بر روی **DNA** کسب کرد.

در سال 1975 توالی یابی **DNA** توسط والتر گیلبرت[۶۵]، آلن ماکسام[۶۶] و فردریک سنگر[۶۷] انجام شد. این نوآوری به ایجاد روش‌های سریع توالی‌یابی **DNA** که تعیین ساختمان ژن‌ها را میسر می‌ساخت، منجر شد و در اواخر قرن بیستم با توالی یابی ژنوم انسان به اوج رسید. در سال 1978 انسولین انسانی درون باکتری اشرشیا کولی همسانه شد و در سال 1982 انسولین انسانی به‌عنوان اولین داروی نوترکیب تصویب گردید. در سال 1985 شرکت ژنتک[۶۸] به‌عنوان اولین کمپانی بیوتکنولوژی احداث و هورمون رشد پروتروپین[۶۹] را برای کودکان مبتلا به کمبود هورمون رشد، تولید کرد.

---

57 - Games Watson
58 - Francis Criek
59 - Marshall W. Nirenberg
60 - Robert W. Holley
61 - Hargobind Khorana
62 - Stanley Norman Cohen
63 - Restriction enzymes
64 - Paul Berg
65 - Walter Gilbert
66 - Allan Maxam
67- Frederick Sanger
68 - Genetech
69 - protropine

در دهه‌ی 1980، زمانی که هنوز هیجان ناشی از انقلاب همسانه‌سازی در اوج قرار داشت، پیدایش روشی جدید و نوآورانه در کنار آن قابل تصور نبود. گفته می‌شود که در سال 1985 کری مولیس[۷۰] شب هنگام و در طی رانندگی کنار ساحل کالیفرنیا تکنیک واکنش زنجیره‌ای پلیمراز[۷۱] (**PCR**) را ابداع کرد. با این کشف، انقلابی در علم بیولوژی مولکولی به‌وجود آمد. در این تکنیک می‌توان یک قطعه از **DNA** را در بیرون از سلول و با استفاده از یک آنزیم **DNA** پلیمراز مقاوم به حرارت، میلیاردها بار آن‌هم در کمتر از یک ساعت تولید نمود. آنزیم **DNA** پلیمراز مورد نظر در این واکنش از باکتری‌های گرمادوست به‌دست آمد. **PCR** دامنه‌ی آنالیز **DNA** را گسترده‌تر کرد و به‌کاربردهای جدیدتری از یافته‌های زیست‌شناسی مولکولی منجر شد. ژنتیک باستان‌شناسی، اکولوژی مولکولی و پزشکی قانونی بر اساس **DNA** سه حوزه‌ی جدید هستند که مستقیماً در نتیجه ابداع **PCR** حاصل شده‌اند.

در سال 1989 پروژه توالی‌یابی ژنوم انسان[۷۲] شروع شد و در سال 2001 یک پیش‌نویس از توالی ژنوم انسان انتشار یافت. در ادامه، توالی اولین کروموزوم در سال 2004 نهایی گردید و یک سال بعد یعنی در سال 2005 توالی نهایی تمام ژنوم انسان منتشر شد. اولین پروژه‌ی ژنوم انسان یکی از بزرگ‌ترین موفقیت‌های عرصه‌ی دانش به‌حساب می‌آید. چراکه در طی تکمیل این پروژه، علاوه بر دست‌یابی به توالی ژنوم انسان، فناوری تعیین توالی ژنوم متحول گردید. به‌طوری‌که انجام این کار به‌صورت تصاعدی سریع‌تر و ارزان‌تر شده است. در حالی‌که اولین پروژه تعیین توالی ژنوم انسان در طی 13 سال و با صرف هزینه‌ای در حدود 2/7 میلیارد دلار به اتمام رسیده بود، امروزه دستگاه‌های تعیین توالی می‌تواند یک ژنوم کامل را در کمتر از یک روز تحلیل کنند و طبق برآوردها، هزینه‌ی یک بار اسکن ژنوم حدود ۱۰۰۰ دلار می‌باشد.

در سال 1990 اولین ژن درمانی[۷۳] صورت گرفت. این درمان بر روی یک دختر 4 ساله که به کمبود آدنوزین دیمیناز (**ADA**) مبتلا بود، انجام گرفت. در این پروژه ویلیام فرنچ آندرسن[۷۴] و همکارانش یک **DNA** با ژن نرمال را به درون سلول‌های **T** این دختر انتقال داده و این سلول‌ها را به درون خون دختر تزریق کردند. تزریق هر دو ماه یک‌بار این سلول‌ها به دختر باعث جبران یا بهبود 25 درصد سیستم ایمنی این دختر گردید.

همچنین در سال 1990 اولین گیاه تراریخته تنباکوی مقاوم به ویروس موزائیک تنباکو، توسط کشور چین به صورت تجاری تولید شد. گیاه تراریخته به گیاهی گفته می‌شود که یک یا چند ژن محدود را از گونه‌های دیگری به جز خزانه‌ی ژنتیکی آن گیاه از طریق روش‌های مدرن ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک دریافت کرده باشد. هدف از این کار، بهبود مقاومت گیاه نسبت به برخی از آفات یا بیماری‌های گیاهی (تنش‌های زیستی)، افزایش تحمل تنش‌های غیر زنده نظیر شوری و کم‌آبی، بهبود کیفیت و بازارپسندی محصول، افزایش تولید و عملکرد گیاه، افزایش بهره‌وری در کشاورزی و در نهایت، افزایش سطح سلامت جامعه از طریق کاهش مصرف انواع سموم و کودهای شیمیایی است.

در سال 1996 اولین پستاندار شبیه‌سازی شد (دالی گوسفندی است که از یک سلول پستانی یک میش 6 ساله حاصل شد). در سال 1998 تکنولوژی سلول‌های بنیادی[۷۵] معرفی شد. در این سال دانشمندان توانستند سلول بنیادی انسان را جدا کرده و در آزمایشگاه رشد دهند. سلول‌های بنیادی دو ویژگی مهم دارند که آن‌ها را از دیگر سلول‌ها متمایز می‌کند. اول اینکه سلول‌هایی کاملاً عادی

---

70 - Kary Mullis

71 - Polymerase chain reaction

72 - Human genome project

73 - Gene therapy

74 - William French Anderson

75 - Stem cell

هستند که می‌توانند خودشان را برای زمان طولانی از طریق تقسیم سلولی ترمیم کنند، این سلول‌ها قادر هستند سلولی همانند خودشان و یا سلولی کاملاً متمایز از خود بسازند. دوم این‌که سلول‌های بنیادی قابلیت دارند تا تحت شرایط فیزیولوژیکی یا آزمایشی تحریک شده و به سلولی با ساختار خاص تبدیل شود. تکنولوژی سلول‌های بنیادی به نحوه‌ی تمایز سلول‌های تخصصی اندام‌های بدن و نیز جایگزینی سلول‌های سالم با سلول‌های تخریب شده در اندام‌های بالغ بدن می‌پردازد. توسعه‌ی این شاخه از علم بیولوژی منجر به درمان بیماری‌ها از طریق سلول درمانی شده است.