مبانی ژنتیک و اصلاح نژاد دام

جزوه شماره 2

مصطفی حیدری زاد

۲

ژنتیک مندلی

برخی از اصطلاحات و مفاهیم ژنتیک:

دانستن برخی از اصطلاحات و مفاهیم اولیه برای درک بهتر ژنتیک کلاسیک لازم است. به برخی از آنها در زیر اشاره شده است :

۱ـ **معمولاً والدین**[۱] را به P و افراد **نسل**[۲] ۱، ۲، ۳ و.. را به F_1، F_2 و F_3 و.... نشان می‌دهند.

۲ـ **صفت**[۳]: به فاکتورهای قابل اندازه‌گیری یا قابل بررسی نظیر ارتفاع، رنگ چشم، رنگ پوست و غیره اطلاق می‌شود.

۳ـ **غالب**[۴]: به صفت متقابلی که صفت دیگر را می‌پوشاند غالب یا بارز اطلاق می‌گردد. به عنوان مثال صافی دانه در نخودفرنگی بر چروکیدگی دانه غالب می‌باشد.

۴ـ **مغلوب**[۵]: صفت مغلوب یا نهفته به صفت متقابلی گفته می‌شود که در حضور صفت متقابل دیگر قادر نباشد اثر خود را ظاهر سازد. صفت چروکیدگی دانه که اثر خود را در اثر صافی دانه بروز نمی‌دهد صفت مغلوب است.

۵ـ **آلل**[۶]: به فرم‌های مختلف یک ژن که در اثر وقوع موتاسیون ایجاد می‌شوند کلمه آلل اطلاق می‌شود. از حروف بزرگ و کوچک یک حرف لاتین برای علامت‌گذاری و نشان‌دادن آلل‌ها استفاده می‌شود.

۶ـ **کروموزوم‌های همولوگ**[۷]: کروموزوم‌هایی که هنگام تقسیم میوزی با هم جفت می‌شوند، کروموزوم‌های همولوگ نامیده می‌شوند. هر یک از کروموزوم‌های همولوگ به‌صورت

۱- Parents
۲- Filiale
۳- Trait
۴- Dominant
۵- Recessive
۶- Allele
۷- Homologous chromosomes

جفت وجود دارند که در اثر تولید مثل جنسی گامت‌ها، تولید می‌شوند. در فرآیند گرده‌افشانی و در نتیجهٔ لقاح گامتها، یکی از کروموزوم‌های همولوگ مجدداً از پدر و دیگری از مادر به سلول تخم[۱] و بعد به موجود بالغ منتقل می‌شود. آلل‌ها به‌طور مرتب، پشت سر هم و مشابه روی هر یک از کروموزوم‌های همولوگ قرار می‌گیرند. بنابراین در هر موجود، آلل‌ها به‌صورت جفت وجود دارند که ممکن است مشابه یا متفاوت باشند.

۷ ـ **ژن**[۲]: به عامل مولد یک صفت، ژن اطلاق می‌گردد. برای هر ژن یک حرف الفبای لاتین انتخاب می‌شود. حروف بزرگ برای صفت متقابل غالب و حروف کوچک برای صفت متقابل نهفته به‌کار می‌رود.

۸ـ **لوکوس**[۳]: به محل یا جای قرارگرفتن یک ژن روی کروموزوم اطلاق می‌شود. در یک لوکوس یک موجود دیپلوئید، دو آلل یا فرم‌های مختلف یک ژن در یک لوکوس مشخص روی کروموزوم‌های مشابه (همولوگ) قرار می‌گیرند.

۹ـ **گامت**[۴]: سلول‌هایی که در اثر تقسیم میوزی در اندام‌های جنسی به‌وجود می‌آیند، دارای نصف تعداد کروموزوم سلول‌های سوماتیک (بدنی) هستند که به این سلول‌ها گامت یا سلول‌های جنسی گفته می‌شود.

۱۰ـ **هموزیگوس**[۵] یا هموزیگوت[۶]: به موجودی که از دو گامت مشابه (یک جور و یکنواخت) به‌وجود آمده و گامت‌های یکنواخت تولید کند کلمه هموزیگوت اطلاق می‌شود. مثلاً" موجودی با ژنوتیپ AA که فقط یک نوع گامت A تولید می‌کند و خود نیز از ترکیب دو گامت مشابه به‌وجود آمده است. افرادی که دارای آلل‌های مشابه در لوکوس مشابه کروموزوم‌های همولوگ هستند هموزیگوت هستند.

۱۱ـ **هتروزیگوس**[۷] یا هتروزیگوت[۸]: به موجودی که از دو گامت مختلف به‌وجود آمده و گامت‌های مختلف نیز تولید کند اطلاق می‌شود. مثلا"موجودی با ساختار ژنوتیپی Aa دو نوع گامت A و a تولید می‌کند و خود نیز از ترکیب چنین گامت‌هایی به‌وجود آمده است. مونوهیبریدی که در یک لوکوس خاص و روی کروموزوم‌های همولوگ خود دارای آلل‌های متفاوت باشد، هتروزیگوت می‌باشد.

۱۲- **زیگوت**[۱]:سلول اولیه‌ای که از ترکیب گامت نر و گامت ماده به‌وجود می‌آید و دارای $2n$ کروموزوم می‌باشد، سلول تخم یا زیگوت نام دارد. تمام موجودات پرسلولی در اثر تقسیمات میتوزی که در زیگوت به‌وقوع می‌پیوندد، رشد و تکامل می‌یابد.

۱۳- **ژنوتیپ**[۲]:به ساختار ژنی یک موجود یا مجموعه ژن‌هایی که از والدین به یک موجود می‌رسد ژنوتیپ اطلاق می‌شود.

۱۴- **فنوتیپ**[۳]:به شکل و خواص ظاهری یک موجود اطلاق می‌گردد. موجودات ممکن است دارای فنوتیپ یکسان ولی ژنوتیپ‌های متفاوت باشند. به‌طور مثال ژنوتیپ‌های WW و Ww هر دو دارای فنوتیپ مشابه (در آزمایش مندل) هستند.

۱۵- **صفات مندلی**[۴]:به صفاتی گفته می‌شود که دارای دو حالت متقابل بوده و یکی از صفات متقابل، بر دیگری غلبه کامل داشته باشد. بعبارت دیگر بین دو آلل رابطه غالبیت کامل[۵] برقرار است. موجودات هتروزیگوت واجد این صفات کاملا" شبیه موجود هموزیگوت غالب می‌باشند.

۱۶- **بک‌کراس**[۶]:به آمیزش یکی از افراد نسل اول (F_1) با یکی از والدین اطلاق گردیده که می‌توان آن را به‌صورت $F_1 \times P_1$ یا $F_1 \times P_2$ نشان داد.

۱۷- **تست کراس**[۷]:به آمیزش یک فرد با ساختار ژنوتیپی نامشخص با یک فرد هموزیگوت مغلوب $Aa \times aa$ اطلاق می‌گردد. به عبارت دیگر به تلاقی یکی از افراد نسل اول (F_1) با والد هموزیگوت مغلوب اطلاق می‌شود.

مندل و دلایل موفقیت مندل:

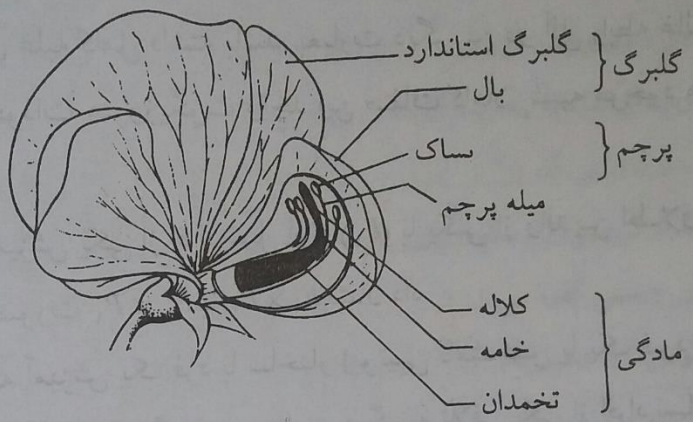
گریگور مندل[۸] در سال ۱۸۲۲ در شهر هنزندروف[۹] که در آن زمان بخشی از امپراطوری اطریش و مجارستان بود، به دنیا آمد. پدرش مزرعه‌دار بود و وی از همان آغاز جوانی گیاهان و حیوانات اهلی را می‌شناخت. در ۲۱ سالگی کشیش شد و در سال ۱۸۵۱ به‌خاطر مطالعات ارزنده خود به دانشگاه وین دعوت شد. در آنجا وی دامنه تحقیقات خود را از فیزیک و ریاضیات به گیاه‌شناسی و جانورشناسی گسترش داد. دستاورد اساسی مندل کشف این نکته بود که خصوصیات ارثی به‌صورت واحدهایی مجزا، مستقل و تجزیه‌ناپذیر از نسلی به نسل دیگر

۱- *Zygote*
۲- *Genotype*
۳- *Phenotype*
۴- *Mendelian traits*
۵- *Complete dominance*
۶- *Back cross*
۷- *Test cross*
۸- *Gregor mendel*
۹- *Heinz*

منتقل می‌شوند. در آن زمان این مفهوم با مفهوم وراثت پیوسته متفاوت بود.

دلایل موفقیت مندل در دستیابی به اصول معروف خود، متنوع است که می‌توان آنها را در چند مورد به صورت زیر خلاصه نمود :

۱ـ انتخاب گیاه نخودفرنگی به‌عنوان گیاه مورد مطالعه. این گیاه خودگشن[1] بوده، به آسانی رشد می‌کند و می‌توان از گیاه اولیه آن نژادهای خالصی را تولید نمود. علاوه بر این، مندل دو جفت صفت متقابل (یکی غالب و دیگری مغلوب) از گیاه نخودفرنگی انتخاب نمود.



شکل ۲-۱: گل نخود، بعد از بریدن گلبرگ بال، آن را باز نموده تا اجزاء تولید مثل رویشی قابل مشاهده باشد. تخمدان نیز به صورت برش یافته نمایش داده شده است.

۲ـ مندل همزمان به مطالعه تمامی این صفات نپرداخت، بلکه او در هر آمیزشی به مطالعه یک صفت متقابل پرداخت. به‌طور مثال او وقتی صافی دانه را در مقایسه با چروکیدگی آن مطالعه می‌کرد، بقیه صفات موجود در گیاه را مورد نظر قرار نمی‌داد.

۳ـ مندل در آزمایشات خویش ابتدا وضعیت اولین نسل حاصل از آمیزش دو گیاه را که در یک صفت با هم متفاوت بودند مورد مشاهده قرار داد، سپس گیاهان نسل اول را با هم آمیزش داد تا در نسل دوم در مورد آنها بررسی کند.

---

[1] *Self fertilization*

اصل اول مندل:

اصل اول مندل همان اصل تفرق[۱] یا جداشدن فاکتورهای ژنتیکی است. مندل در آزمایشی، واریته پا بلند از گیاه نخود فرنگی را با واریته پاکوتاه تلاقی داد و ملاحظه نمود که نتاج حاصل (F_1) عمدتاً پابلند گردیدند و صفت پاکوتاهی در نسل اول (F_1) ناپدید گردید. موقعی که بوته‌های پابلند (F_1) را وادار به خودگرده‌افشانی[۲] نمود، مشاهده کرد نتاج نسل دوم (F_2) برخی پابلند و عده‌ای دیگر کوتاه هستند. وی بوته‌های حاصل از نسل دوم را گروه‌بندی کرد و مشاهده نمود $\frac{3}{4}$ بوته‌ها پابلند و $\frac{1}{4}$ آنها پاکوتاه بودند. در آزمایش‌های دیگری نیز همین نتاج را به‌دست آورد که به‌صورت خلاصه در جدول زیر آمده است :

جدول ۲ـ۱ : نتایج حاصل از هفت تلاقی مختلف در گیاه نخودفرنگی

فنوتیپ والدین	فنوتیپ F_1	فراوانی فنوتیپ‌ها در نسل دوم	نسبت
بذر چروکیده × بذر صاف	صاف	۵۴۷۴ صاف : ۱۸۵۰ چروکیده	۲/۹۶:۱
سبز × زرد	زرد	۶۰۲۲ زرد :۲۰۰۱ سبز	۳/۰۱ :۱
گلبرگ سفید ×گلبرگ بنفش	بنفش	۷۰۵ بنفش : ۲۲۴ سفید	۳/۱۵ :۱
غلاف سخت × غلاف نرم	نرم	۸۸۲ نرم : ۲۹۹ سخت	۲/۹۵ :۱
غلاف زرد× غلاف سبز	سبز	۴۲۸ سبز : ۱۵۲ زرد	۲/۸۲ :۱
گل انتهایی ×گل جانبی	جانبی	۶۵۱ جانبی : ۲۰۷ انتهایی	۳/۱۴ :۱
پاکوتاه × پابلند	پابلند	۷۸۷ پابلند : ۲۷۷ پاکوتاه	۲/۸۴ :۱
مجموع		۱۴۹۴۹ : ۵۰۱۰	۲/۹۸ : ۱

اولین مفهوم اساسی که مندل به اثبات رساند، مفهوم غالب و مغلوب بود. وی صفت پابلندی که در تمامی نخودهای نسل اول ظاهر شده بودند، صفت غالب و صفت پاکوتاهی را مغلوب (نهفته) نامید. مندل هیبریدهای نسل اول را F_1 و افراد به‌دست آمده در دومین نسل که واجد صفات اجدادی بودند را F_2 نامید. مندل پیش‌بینی نمود که فاکتورهای فیزیکی (که امروزه آنها را ژن می‌نامیم) به‌صورت جفت ظاهر می‌شوند. به عبارت دیگر فاکتورهای متقابل، آلل

۱ـ *Segregation*
۲ـ *Self-Pollination*

می‌دهد، هر گامت آن باید بر همین قیاس یک فاکتور به نسل بعد انتقال دهد. پس پیش از آنکه گامت به رشد کامل برسد، باید از هر دو فاکتور فقط یکی را داشته باشند. از این رو مندل فرض کرد که فرآیندی برای کم‌کردن فاکتورها وجود دارد.

مندل در مورد تقسیم میوز و نحوه حرکت کروموزوم‌ها که تا آن زمان مورد شناسایی و بررسی قرار نگرفته بودند، چیزی نمی‌دانست. مندل با عنوان‌کردن این فرض در واقع میوز را پیش‌بینی کرده بود. در اواخر قرن نوزدهم میوز عملاً کشف شد و بعداً معلوم شد که کاهش کروموزوم در جریان میوز دقیقاً با فرآیند کم‌کننده فاکتورها که مندل پیشنهاد کرده بود مطابقت دارد. امروزه می‌دانیم که کروموزوم‌ها طی مرحله زیگوتن پروفاز ۱ میوزی جفت، و در آنافاز ۱ از هم جدا می‌شوند. اگر ژنی روی یک کروموزوم قرار داشته باشد، فرم دیگر آن روی کروموزوم مشابه آن قرار خواهد داشت. با توجه به جداشدن کروموزوم‌ها در آنافاز ۱، این دو فرم ژنی در یک گامت یافت نخواهند شد.

به‌طور خلاصه نتایج آزمایشات مندل را می‌توان به‌صورت زیرخلاصه کرد :

۱ـ برای تعیین وراثت صفات، فاکتورهای (ژن‌های) مشخص وجود دارد.

۲ـ برای هر صفت گیاه، معمولاً دو آلل وجود دارد که ممکن است یکسان یا متفاوت باشند.

۳ـ هنگامی‌که دو آلل، کنترل‌کننده یک صفت مختلف هستند فقط یکی از آن دو در تعیین صفت دخالت دارد و دیگری مخفی یا نهفته باقی می‌ماند.

۴ـ هر دو آلل بدون تغییر و با احتمال مساوی در بین گامت‌ها توزیع می‌شود.

۵ـ در هنگام لقاح، ترکیب گامت‌ها به‌صورت تصادفی انجام می‌شود. این ترکیب تصادفی گامت‌ها پیش‌بینی نسبت‌های فنوتیپی فرزندان را امکان‌پذیر می‌سازد.

مثال ۲-۱

مندل اصل تفکیک عوامل ارثی (آللها) را از چه پدیده‌ای استنباط کرد؟

جواب: مندل از روی مطالعه نسبت افراد دارای صفت مغلوب در نسل دوم حاصل از تلاقی‌های انجام‌شده توانست به اصل تفکیک عوامل ارثی (آلل‌ها) پی ببرد.

طرز مشخص‌کردن آلل‌ها:

مندل از حروف الفبا به‌عنوان نشانه آللها استفاده نمود. وی حروف بزرگ را به‌عنوان نشانه آلل‌های غالب، و حروف کوچک را برای آلل‌های نهفته در نظر گرفت. برای اجتناب از هرگونه

موجوداتی که برای مطالعات ژنتیکی به‌کار می‌روند:

موجوداتی که در مطالعات ژنتیکی به‌کار می‌روند اعم از حیوانات، گیاهان عالی و یا پست

۱- *Mutant*

۲- *Vermilion*

۳- *Cinnabar*

۴- *Lobe*

۵- *Curly*

بایستی دارای برخی از خصوصیات مطلوب باشند. برخی از این خصوصیات عبارتند از :

۱ـ به سهولت تکثیر شوند.

۲ـ نتاج زیادی تولید کنند.

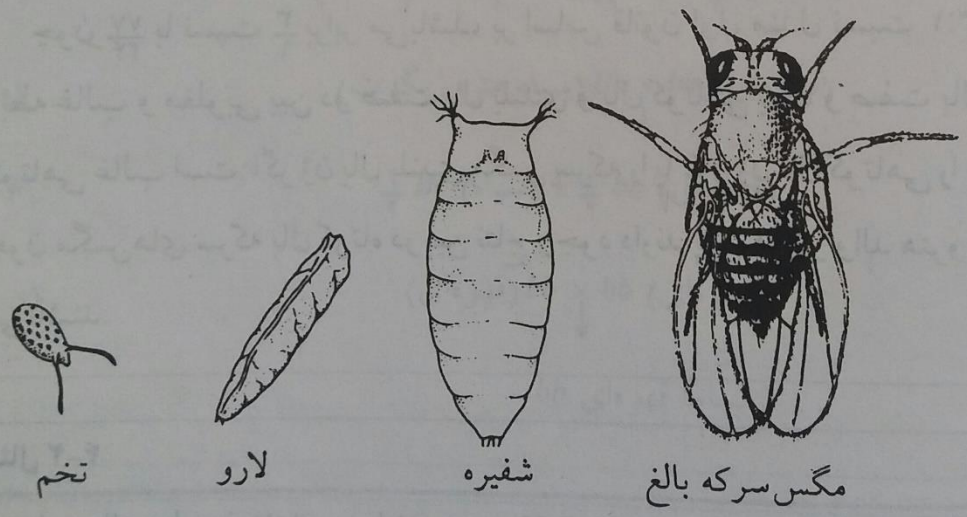
۳ـ دارای رشد سریع باشند و طول دوره زندگی آنها نیز کوتاه باشد.

۴ـ تعداد کروموزوم کمی داشته باشند. هر چه تعداد کروموزوم کمتر باشد تعداد گروههای لینکاژ[۱] کمتر بوده و در نتیجه تعداد کمتری موجود برای مطالعه صفات لازم است.

۵ـ به راحتی و سهولت قابل نگهداری باشند.

۶ـ امکان تلاقی‌های کنترل‌شده بین آنها وجود داشته باشد.

در این میان از مگس‌سرکه[۲]، موش، موش صحرایی، خرگوش و از حیوانات اهلی مثل گاو و سگ استفاده شده است. در بین گیاهان ذرت، گوجه‌فرنگی و جو و از بین تک‌سلولی‌ها باکتری اشرشیاکلی[۳]، سالمونلا[۴]، مخمر[۵]، پارامسی[۶] و جلبک[۷] و از بین میکروارگانیسم‌های پرسلولی قارچ‌ها بالاخص قارچ نوروسپورا[۸] و آسپرجیلوس[۹] می‌توان نام برد.



شکل ۲ـ۳: مگس سرکه بالغ در کنار تخم، لارو دو روزه و شفیره آن

۱ـ *Linkage*

۲ـ *Drosophila melanogaster*

اصل دوم مندل:

اصل جورشدن مستقل فاکتورهای ژنتیکی[1]

مندل به منظور بررسی این فرضیه که آیا "فاکتورها"یی که صفات ارثی را مشخص می‌سازند مستقل از یکدیگر عمل می‌نمایند یا خیر، اقدام به انجام آزمایشات تکمیلی نمود و اصل دوم خود را بیان نمود. بر اساس این اصل، تفکیک و توزیع آلل‌های یک ژن در یک جفت کروموزوم مشابه، مستقل از تفکیک آلل‌های یک ژن دیگر در یک جفت کروموزوم مشابه دیگر صورت می‌پذیرد. استقلال تفکیک یک جفت آلل از جفت آلل دیگر موقعی صادق است که مکان‌های این دو جفت آلل در روی جفت کروموزوم‌های همولوگ (مشابه) مختلف قرار گرفته باشند. وراثت یک جفت ژن که بر یک جفت کروموزوم همولوگ جای دارند، تحت تأثیر وراثت همزمان جفت ژن‌های دیگر واقع بر یک جفت کروموزوم همولوگ دیگر قرار نمی‌گیرد. به گفته

۱- *Independent assortment*

دیگر دو یا چند صفت حاصل از ژن‌های واقع بر دو یا چند جفت کروموزوم همولوگ مستقل از هم جور می‌شوند، یعنی هر صفت به‌طور مستقل و گویی که صفت دیگری در میان نیست آشکار می‌شود. مندل این واقعیت را پس از انجام آزمایش زیر به دست آورد.

وی دو رقم نخودفرنگی را که در یکی از آنها دانه‌ها صاف و آلبومین آن زرد رنگ بود و دیگری دارای دانه چروکدار و آلبومن سبز رنگ داشت انتخاب و اقدام به انجام تلاقی بین آنها نمود.

p: $WWGG$ (زرد صاف) × $wwgg$ (سبز چروکدار)

F_1: $WwGg$ (صاف، زرد) ⊗

↓

F_2:

♀ \ ♂	WG	Wg	wG	wg
WG	$WWGG$	$WWGg$	$WwGG$	$WwGg$
Wg	$WWGg$	$WWgg$	$WwGg$	$Wwgg$
wG	$WwGG$	$WwGg$	$wwGG$	$wwGg$
wg	$WwGg$	$Wwgg$	$wwGg$	$wwgg$

نسبتهای فنوتیپی F_2 — نسبتهای ژنوتیپی F_2

زرد و صاف $\frac{۹}{۱۶}$

$\frac{۱}{۱۶} GGWW$
$\frac{۲}{۱۶} GGWw$
$\frac{۲}{۱۶} GgWw$
$\frac{۴}{۱۶} GgWw$

زرد و چروکدار $\frac{۳}{۱۶}$

$\frac{۱}{۱۶} GGww$
$\frac{۲}{۱۶} Ggww$

سبز و صاف $\frac{۳}{۱۶}$

$\frac{۱}{۱۶} ggWW$
$\frac{۲}{۱۶} ggWw$

سبز چروکیده $\frac{۱}{۱۶}$

$\frac{۱}{۱۶} ggww$

وی در نسل اول این تلاقی، دانه‌هایی که تماماً صاف و آلبومین زرد رنگ داشتند، به‌دست آورد. مندل با خودگشنی بوته‌های نسل اول، دانه‌هایی با چهار فنوتیپ متشکل از ۳۲ چروکدار

۳

ژنتیک سلولی

کروموزومها

کروموزوم‌ها از مواد نوکلئوپروتئین[۱] (مخلوط شیمیایی دی‌اِن‌آ و پروتئین) یا کروماتین[۲] ساخته شده‌اند. کروم به زبان لاتین به معنی رنگ است. اصطلاح کروماتین، بدون توجه به ترکیب شیمیایی آنها، به تمام مواد هسته که واکنش بازوفیلی را نشان می‌دهند گفته می‌شود. در تعریف، کروماتین همان رشته‌های بسیار باریک مادهٔ ژنتیک است که متشکل از اسید نوکلئیک و پروتئین می‌باشد و فقط با میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است. میکروسکوپ الکترونی به‌خوبی بخشهای محتوی دی‌اِن‌آ در شیره هسته و پروتئینهایی که دی‌اِن‌آ با آنها ترکیب شده‌اند را نشان می‌دهد. با استفاده از میکروسکوپ نوری و رنگ‌آمیزی سلولها نیز، می‌توان اجسام رشته‌ای شکل کروماتین را در هسته مشاهده کرد. چون طول دی‌اِن‌آ تخلیص شده از کروماتین، بیشتر از قطر هسته است، برای قرارگرفتن در هسته باید پیچ و تاب خورده یا فشرده‌تر شود. عمل کوتاه و ضخیم‌شدن در زمان تقسیم سلول منجر به تشکیل ساختار فشرده‌ای به نام کروموزوم می‌شود که با میکروسکوپ نوری مشاهده آن امکان‌پذیر است. کروموزومها معمولاً دارای یک سیکل بخصوص پیچش وبازشدن هستند، به این معنی که در موقع تقسیم سلول، هر کروموزوم پیچیدگی‌های زیادی پیداکرده و کوتاه می‌گردد، به همین علت در اثر رنگ‌آمیزی دیده می‌شود. پس از آن به‌دنبال عمل تقسیم، پیچش‌های کروموزوم باز شده و دیگر مشاهده نمی‌شود. این سیکل را در اصطلاح سیکل حقیقی[۳] می‌گویند. قسمتی از کروموزوم که از این سیکل برخوردار

۱- *Nucleoprotein* ۲- *Chromatin* ۳- *Eucycle*

است یوکروماتین[1] نام دارد که چندان رنگی به خود نمی‌گیرد و کم‌رنگ می‌باشند. بخش دیگر کروموزوم این سیکل را طی نمی‌کند و از سیکل دیگری برخوردار می‌باشد. این بخش چون از تارهای کروماتین قطور و بسیار تاخورده تشکیل شده است، رنگ بیشتری بخود گرفته و پررنگ‌تر می‌باشد و به هتروکروماتین[2] معروف است. متفاوت‌بودن هتروکروماتین‌ها و یوکروماتین‌ها از لحاظ رنگ‌پذیری انعکاسی از وضعیت درونی کروماتین می‌باشد. کم‌رنگی کروماتین (یوکروماتین) به علت وضعیت غیرپیچیده کروماتین می‌باشد، در حالیکه پررنگی آن (هتروکروماتین) مبین وضعیت پیچیده کروماتین است. پیچیدگی و تاب خوردگی کروماتین، خود انعکاسی از فعالیت اسیددزوکسی‌ریبونوکلئیک[3] از نظر همانندسازی[4] یا رونویسی[5] می‌باشد. در حالت فقدان یاکاهش تاب‌خوردگی، رونویسی و یا همانندسازی دی‌ان‌آ فعال بوده و در حالت پیچیدگی (هتروکروماتین) چنین فعالیت‌هایی صورت نمی‌گیرد. دی‌ان‌آ غیرفعال به‌طور محکم و پیچ‌خورده بخش هتروکروماتین هسته را تشکیل می‌دهد که با هیستونها و پروتئینهای دیگر پیوسته است. این ترکیبات نه تنها فعالیت دی‌ان‌آ را متوقف می‌نمایند تا در عمل نسخه برداری شرکت نکنند بلکه امکان دارد به عنوان بخش حفاظتی مواد ژنتیکی عمل نمایند. در یوکروماتین توده‌ای از پروتئینهای اسیدی باعث فعال‌شدن دی‌ان‌آ برای رونویسی می‌شوند. علاوه بر موارد ذکرشده یوکروماتین‌ها و هتروکروماتین‌ها، تفاوت‌های دیگری نیز دارند که موارد ذیل از آن جمله هستند:

۱- یوکروماتین‌ها حاوی ژنهای فعال یا ژن‌های ساختمانی هستند که دارای اثرات اساسی و قابل تشخیص برای موجود زنده هستند، در حالی که هتروکروماتین‌ها فاقد چنین ژنهایی می‌باشند. حذف یا افزایش قسمتهای هتروکروماتینی تأثیر چندانی بر حیات موجود ندارد، با این حال هتروکروماتین‌ها ازلحاظ ژنتیکی به‌طور کامل خنثی نیستند. به طورمثال کروموزوم‌های جنسی که عمدتاً از مناطق هتروکروماتینی تشکیل شده‌اند، دارای فعالیت‌های ژنتیکی می‌باشند.

۲- ژنهای یوکروماتینی از نسبت‌های مندلی پیروی می‌کنند. در حالی که ژن‌های مناطق هتروکروماتینی تابع قوانین مندل نیستند.

هتروکروماتین‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول، هتروکروماتین‌های ثابت یا دائمی[6]

۳- DNA

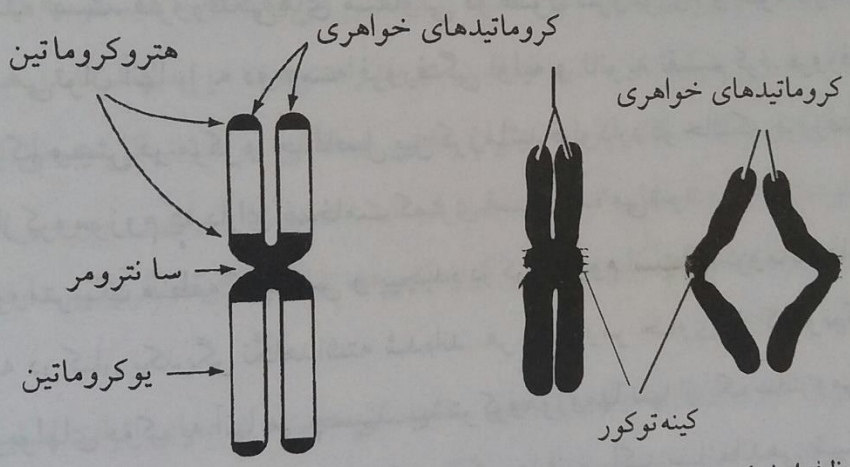
که همیشه متراکم و غیرفعال بوده، هیچوقت باز نمی‌شوند و غالباً در اطراف سانترومرها متمرکز می‌باشند. دسته دوم، هتروکروماتین‌های متغیر یا اختیاری[۱] که برخی اوقات غیرفعال و متراکم هستند و گاهی از لحاظ رونویسی فعال شده و کم‌رنگ (یوکروماتین) می‌شوند. نمونه مهم این نوع هتروکروماتین، کروموزوم جنسی X می‌باشد.

کروموزوم از نظر لغوی به معنی اجسام رنگ‌پذیر می‌باشد. هر تار کروموزومی از اجتماع یک مولکول مارپیچ دی‌ان‌آ و پروتئین‌های هیستون[۲] تشکیل شده است. کروموزوم‌ها ممکن است ساده و بدون پوشش باشند مانند کروموزوم‌های ویروسها، باکتریها و اندامکهای سلولی و یا ممکن است دارای ساختمان پیچیده باشند که در هسته‌های پرسلولی‌ها (یوکاریوت‌ها) وجود دارد که در اینجا مورد بحث قرار گرفته است. در مرحله متافاز میتوزی در زیر میکروسکوپ نوری، هر کروموزوم، از یک ماده رنگ‌پذیر به نام ماتریکس[۳] و دو کروماتید حاصله تقسیم تشکیل شده است. فرورفتگی‌های متفاوتی در طول کروموزوم وجود دارد که بر حسب موقعیت، می‌توان آنها را به دو دسته فرورفتگی اولیه و ثانویه تقسیم کرد. فرورفتگی اولیه[۴] یا سانترومر کم وبیش در مرکز و حدفاصل بین کروماتید قرار دارد در حالیکه فرورفتگی ثانویه[۵] در مناطقی از کروموزوم که دارای ضخامت کمتری است دیده می‌شود.

سانترومتر یک منطقه کمپلکس و پیچیده در کروموزوم است که کروماتیدهای خواهری در این ناحیه در کنار یکدیگر نگاهداشته شده‌اند. هر سانترومر حاوی دو کینوتوکور[۶] است که میکروتوبولهای دوک به آنها می‌چسبند. بیشتر کروموزومها تنها از یک سانترومر که فرورفتگی اولیه نامیده می‌شود برخوردار هستند. کینوتوکورها از مراکز سازماندهی میکروتوبول‌ها و رشته‌های دوک می‌باشند. موقعیت فرورفتگی‌های اولیه و ثانویه و تعداد فرورفتگی‌های ثانویه، برای هر کروموزوم ثابت است و از روی آن می‌توان کروموزومها را در یک مجموعه کروموزومی تشخیص داد. در ناحیه فرورفتگی اولیه یا سانترومرها کمترین مقدار پیچ‌خوردگی انجام شده و این نقطه محل اتصال میکروتوبولها در تقسیم سلولی (مراحل متافاز و آنافاز) می‌باشد. به این نقطه مرکز حرکتی کروموزوم نیز گفته می‌شود. مجموع میکروتوبولها که در حرکت یک کروموزوم مؤثرند اصطلاحاً" رشته‌های دوکی نامیده می‌شود. به سانترومرهایی که در حالت طبیعی در یک کروموزوم به‌صورت دائمی در مکان خاص خود قرار دارند،

سانترومرهای دائمی مکان[1] گفته می‌شود. در زمان تقسیم سلول کروموزومها در محل سانترومر به رشته‌های دوکی[2] متصل و به قطبین کشیده می‌شوند. در شرایط خاصی نئوسانترومرها[3] جایگزین سانترومرهای واقعی شده و مانند سانترومرهای واقعی عمل می‌کنند. به‌طور مثال گاهی اوقات فرورفتگی ثانویه می‌تواند عمل سانترومر را انجام دهد که در این حالت انتهای کروموزومها، جلوتر حرکت خواهد کرد.

در کرم آسکاریس سانترومرهایی (با مکان غیراختصاصی[4]) وجود دارند که در این محل‌ها یک کروموزوم به بیش از یک رشته دوک متصل می‌شود. نوعی از این سانترومرها پلی‌سانترومر[5] نام دارد. نوع دیگر، سانترومرهای با مکان غیراختصاصی، هالوسانترومرها[6] هستند که در حشرات و در برخی از گیاهان عالی (جنس لوزولا[7]) دیده می‌شوند. در این موجودات نقاطی در طول کروموزوم کار سانترومر را انجام می‌دهد.



شکل ۳ـ۱: نمایش وظیفه اصلی کینوتوکور در وصل‌نمودن مناطقی از سانترومر به رشته‌های دوک و میکروتوبول و قسمتهای مختلف هتروکروماتین و یوکروماتین در مرحله متافازی.

هر کروماتید خود از دو رشته نازک و پیچ‌خورده به نام کرومونما[8] تشکیل می‌شود که یک مولکول دو رشته‌ای اسید دزوکسی ریبونوکلئیک را در بر دارد. کرومونماها بسیار نازک هستند و با میکروسکوپ نوری قابل مشاهده می‌باشند. کروماتیدها در کروموزوم به حدی به هم نزدیکند

۳- Neocentromere
۴- Spindle fibers
۶- Holocentromere

تعداد کروموزوم‌ها

تعداد کروموزوم‌ها در هر دسته کروموزومی سلول‌های یک نوع یوکاریوت[1]، مشابه و همیشه مساوی است. به همین دلیل تعداد کروموزوم‌ها شاخص گونه‌ها بوده و عدد کروموزومی سلول‌های مختلف یک گونه مساوی و ثابت است و از زوج‌های مشابه هم (هومولوگ‌ها) تشکیل یافته است.

مثال ۳ـ۱

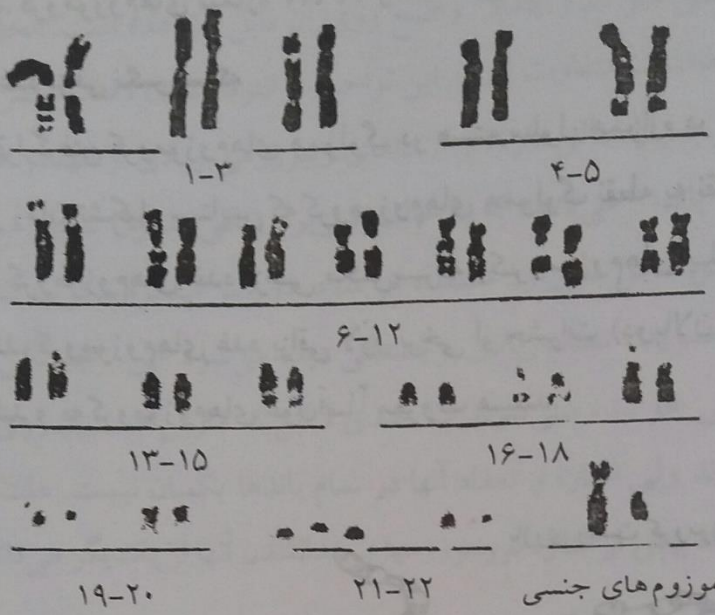
عدد کروموزومی در سلول‌های مگس‌سرکه ۸، چاودار ۱۴، ذرت ۲۰، انسان ۴۶ و آسکاریس ۲ می‌باشد. در برخی از سخت‌پوستان و یک گونه از سرخس بیش از ۲۰۰ کروموزوم وجود دارد. کم‌ترین عدد کروموزومی در عالم گیاهی ۴ است که در برخی از گلرنگ‌ها دیده می‌شود.

تعداد کروموزوم‌ها به هیچ‌وجه با پیچیدگی ژنتیکی گونه‌ها ارتباط ندارد و ممکن است دو گونه نزدیک بهم تعداد کروموزوم متفاوتی داشته باشند. به عنوان مثال یک گونه آسکاریس تنها ۲ کروموزوم دارد، در حالی که گونه‌ای دیگر از همین جنس بیش از ۳۰۰ کروموزوم دارا است.

کاریوتیپ[2]

شکل، اندازه (اندازه نسبی)، تعداد، و ساختمان درونی و بیرونی کروموزوم از اختصاصات کروموزومی می‌باشند که از آنها در تشخیص کروموزوم استفاده می‌شود. کاریوتیپ مجموعه‌ای از اختصاصات مربوط به دو شاخص شکل و تعداد کروموزوم می‌باشد که برای تشخیص گونه‌ها استفاده می‌شود. مورفولوژی کروموزوم‌های افراد هر گونه ثابت است، مگر اینکه نقص کروموزومی در فردی دیده شود. کاریوتیپ مانند دیگر خصوصیات سیستماتیک قابل تغییر می‌باشد ولی به‌طورکلی یک کاریوتیپ می‌تواند مشخص‌کننده گونه‌ها و حتی جنس‌ها بوده و در بررسی تکامل موجودات و طبقه‌بندی آنها مفید باشد. برای تهیه کاریوتیپ، باید از کروموزوم‌های یک موجود در مرحله متافاز تقسیم میتوز عکس گرفته شود. سپس عکسها را بریده، به ترتیب از بزرگ به کوچک (ابتدا کروموزوم‌های متاسانتریک، سپس ساب‌متاسانتریک،

بعد آکروسانتریک و در نهایت تلوسانتریک) روی یک یا چند خط قرار داده شوند.



شکل ۳ـ۵: کاریوتیپ موجودی با بیماری سندرم دان. تعداد کروموزوم‌های این موجود ۴۷ می‌باشد.

کاریوتیپ حیوانات نر و ماده، به دلیل وجود کروموزوم‌های جنسی غیرمشابه X و Y متفاوت می‌باشد. درصورتیکه کروموزوم‌های آسیب‌دیده در نظرگرفته نشوند، کاریوتیپ اتوزوم‌های[1] افراد یک موجود با هم مشابه و کاریوتیپ افراد موجودات مختلف، متفاوت هستند. امروزه جهت مطالعه دقیق‌تر کروموزوم‌ها از شیوه نواربندی[2] استفاده می‌گردد. در این شیوه انواع نوارهای رنگی یا باندها که ویژه هر کروموزوم می‌باشد ایجاد و به‌وسیله آن انواع کروموزوم‌ها را شناسایی و از یکدیگر تفکیک می‌نمایند.

آیدیوگرام[3]

کاریوتیپ را می‌توان با تهیه یک آیدیوگرام معین کرد. در حقیقت تصویر شماتیک کاریوتیپ آیدیوگرام نامیده می‌شود. به عبارت دیگر آیدیوگرام نمودار طولی و ترسیمی از شکل کروموزوم‌های هاپلوئید در یک صفحه است به گونه‌ای که کروموزوم‌ها طوری در یک صفحه قرار داده شوند که سانترومر آنها روی یک خط قرار گیرد. در آیدیوگرام از هر جفت کروموزوم

۱. *Autosome* ۲. *Banding* ۳. *Ideogarm*

تقسیم سلولی

تقسیم سلولی وسیله‌ای برای انتقال خصوصیات ژنتیکی پدر و مادر به فرزند در طی نسلها و به نوعی راهی برای ازدیاد سلولها یا موجودات است. در همه جانداران پرسلولی، تقسیم سلولی باعث انتقال کمی و کیفی ژنها به سلول‌های دختری می‌شود. همه جانداران پرسلولی از تقسیم سلولی پی‌درپی یک سلول اولیه بنام تخم[۲] پدید می‌آیند. تقسیم سلولی جراحتها را التیام می‌بخشد و بخشهای از بین‌رفته یا آسیب‌دیده بدن را دوباره می‌سازد. گاهی مهار تقسیم سلولی گسیخته می‌شود و به تولید غده، سرطان و دیگر بافتهای زاید ناهنجار می‌انجامد. در جانداران پرسلولی دو نوع تقسیم سلولی به نام‌های میتوز و میوز به وقوع می‌پیوندد.

تقسیم میتوز[۳]

این تقسیم مخصوص دوران رشد و نمو است که با افزایش و ازدیاد سلولهای بدنی باعث رشد و نمو جانداران می‌شود. سلول طی این تقسیم با استفاده از موادی که از خارج جذب می‌کند به دو سلول کاملا" مشابه با هم تقسیم می‌شود. برای مثال سلولهای یک فرد بالغ انسان دارای ۴۶ کروموزوم می‌باشند که از تکثیر پی‌درپی سلول تخم حاصل می‌شوند. این سلولها در حقیقت از طریق میتوزهای پی‌درپی به‌وجود می‌آیند و بدین ترتیب سلول‌هایی را به‌وجود

۱- *Puff* ۲- *Zygote* ۳- *Mitosis*

خواهند آورد که بافتهای گوناگون یک انسان بالغ را تشکیل می‌دهند.

به کمک فنون سینماتوگرافی و با استفاده از میکروسکوپ فاز متضاد (نور پلاریزه) می‌توان تقسیم میتوزی را از آغاز تا پایان دنبال کرد. میتوز یک پدیده ممتد است که دانشمندان سلول‌شناس آن را به چهار مرحله پروفاز[۱]، متافاز[۲]، آنافاز[۳] و تلوفاز[۴] تقسیم کرده‌اند. تقسیم سلول پدیده‌ای دینامیک و مداوم است به طوری که با انجام هر مرحله بلافاصله مرحله بعدی به‌وقوع می‌پیوندد. مرحله میان دو تقسیم متوالی را انترفاز[۵] گویند. سلولها در هنگام انترفاز نسبتاً ساکن هستند ولی فعالیت متابولیک آنها حداکثر است که مربوط به فعالیت ماده ژنتیکی است. مثلاً بیشتر دی‌ان‌آ، آر‌ان‌آ و پروتئین در مرحله انترفاز ساخته می‌شود.

هسته سلول در مرحله انترفاز به صورت یکنواخت[۶] دیده می‌شود و ساختمان روشنی ندارد. در مرحله انترفاز اسیدنوکلئیک کروموزومها، بی‌نهایت پراکنده هستند و نمی‌توانند مقدار زیادی رنگ جذب کنند. در این مرحله کروموزومها، بی‌نهایت نازک و شکننده هستند و به‌صورت شبکه‌ای که خیلی کم، رنگ گرفته و اصطلاحاً کروماتین نامیده می‌شود، دیده می‌شوند، در رشته‌های کروماتین ۶۰ درصد پروتئین، ۳۵ درصد دی‌ان‌آ و ۵ درصد آر‌ان‌آ وجود دارد. در این مرحله هستک‌ها به رنگ خیلی تیره مشاهده می‌شوند.

ریس و میرسکی[۷] در سال ۱۹۴۹ توانستند کروموزوم سلولهای ملخ را در حالت زنده و در مرحله انترفاز مشاهده نمایند. این آزمایش نشان داد که کروموزوم در مرحله انترفاز سالم و دست نخورده است.

آزمایشهای مبتنی بر مطالعات میکروسپکتروفتومتری[۸] (با این دستگاه مقدار دی‌ان‌آ را در چرخه زیستی سلول اندازه می‌گیرند) و با استفاده از مواد رادیواکتیو نشان داده‌اند که سنتز دی‌ان‌آ در مرحله انترفاز صورت می‌گیرد. مرحله انترفاز را می‌توان به سه دوره تقسیم کرد:

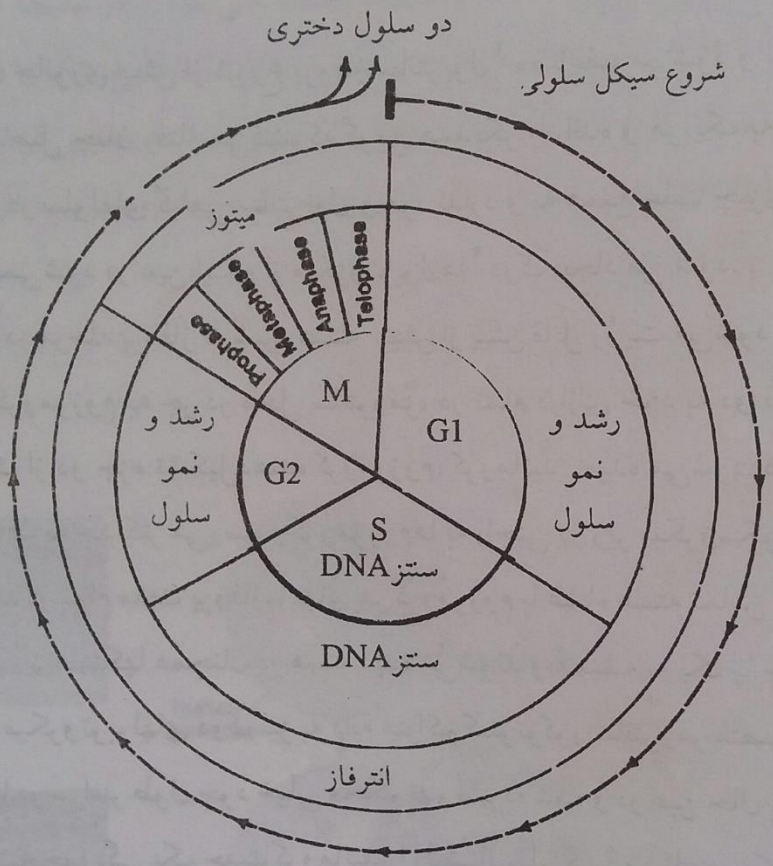
۱) G_1 یا بخش بین تلوفاز پیشین و آغاز سنتز دی‌ان‌آ. به‌عبارتی مرحله واقع در فاصله پایان تقسیم میتوز تا شروع سنتز دی‌ان‌آ (S). در این مرحله کروموزوم‌ها تک رشته‌ای و نازک هستند. در این مرحله رشد سلول ادامه می‌یابد و آنزیم‌های لازم برای سنتز دی‌ان‌آ فعال می‌شوند.

۲) S یا سنتز دی‌ان‌آ که طی آن مقدار دی‌ان‌آ نسبت به G_1 دو برابر می‌شود، در این مرحله علاوه بر

۱- *Prophase*
۲- *Metaphase*
۳- *Anaphase*
۶- *Homogeneous*

دی‌ان‌آ تعداد دیگری از اجزای کروماتین نیز مضاعف می‌شوند. برای مضاعف‌شدن دی‌ان‌آ در این مرحله آنزیم دی‌ان‌آ پلی‌مراز نقش دارد که عامل سنتز این آنزیم هنوز شناخته نشده است.

۳) G_2 که بخشی از انترفاز را شامل است از پایان دوره S تا آغاز یک تقسیم میتوز را دربر می‌گیرد. در این مرحله بر میزان پروتئین سلول به تدریج اضافه می‌شود.



شکل ۳ـ۷: مراحل مختلف چرخه سلولی، زمان نشان داده شده مربوط به کشت سلول در آزمایشگاه می‌باشد. M مرحله تقسیم سلولی میتوز، S مرحله سنتز دی‌ان‌آ و G فاصله بین دو مرحله.

سنتز آر‌ان‌آ و پروتئین، در طول همه دوره‌های انترفاز ادامه می‌یابد. رویدادهای قابل رؤیت میتوز از مرحله G_2 به بعد شروع می‌شود که شامل چهار مرحله پی‌درپی پروفاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز است.

زمان لازم برای انجام مراحل مختلف تقسیم میتوز

مدت زمان لازم برای انجام و تکمیل دوره تقسیم میتوز در موجودات و سلولهای مختلف متغیر است و به موجود، بافت، حرارت و عوامل محیطی دیگر بستگی دارد. در سلولهای نوروپلاست جنین ملخ، دوره تقسیم تقریباً در ۲۶ درجه سانتی‌گراد در طی ۸ ساعت تکمیل می‌شود. تقسیم میتوز در این سلولها با افزایش درجه حرارت به ۳۸ درجه سانتی‌گراد، ۳/۵ ساعت کاهش می‌یابد. دوره انجام مراحل متافاز و آنافاز از مراحل دیگر کوتاه‌تر است. مرحله تلوفاز طولانی است و پروفاز در مقایسه با سایر مراحل طولانی‌ترین مرحله تقسیم سلولی است. تقسیم سلول در حرارت پائین‌تر از ۲۴ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از ۴۶ درجه سانتی‌گراد به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. مدت زمان لازم برای تکمیل دوره‌های S، G_2 و تقسیم سلول در همه سلولهای یک جاندار برابر است. مثلاً در پستانداران دوره‌های S، G_2 و تقسیم سلول در اکثر سلولهایی که از نظر تقسیم فعال هستند، به ترتیب حدود ۹، ۴ و ۱ ساعت طول می‌کشد. اما زمان لازم برای طی دوره G_1 در سلولهای مختلف یک موجود بسیار متفاوت و تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله تغذیه و تمایز سلول قرار دارد. مثلاً سلولهای مغز استخوان به‌طور طبیعی سریع تقسیم می‌شوند و دوره G_1 را در کمتر از سه ساعت طی می‌کنند، در حالیکه سلولهای عصبی برای همیشه در دوره G_1 توقف دارند. به‌طورکلی هرچه تخصص سلول بیشتر باشد مدت زمان بیشتری در دوره G_1 توقف می‌کند و برعکس.

چگونگی تنظیم تقسیم میتوز، عامل سنتز آنزیم دی‌اِن‌آ پلی مراز برای همانندسازی دی‌اِن‌آ و چگونگی حرکات کروموزوم‌ها در مرحله آنافاز هنوز بخوبی روشن نیست.

مثال ۳ـ۵

یک باکتری ۱۶۰۰ میکرون دی‌اِن‌آ دارد که در شرایط مناسب قادر است در ۴۰ دقیقه تقسیم شود سرعت همانندسازی دی‌اِن‌آ باکتری در یک دقیقه چقدر است؟

$$v = \frac{x}{t} = \frac{۱۶۰۰\mu}{۴۰min} = ۴۰\mu/min$$

مثال ۳ـ۶

کدام مورد معرف چرخه سلولی است؟

الف ـ فاصله پایان تقسیم تا آغاز تقسیم بعدی

ب ـ مجموعه زمان میتوز و انترفاز

ج ـ مجموعه مراحل تقسیم سلول

د ـ مجموعه زمانهای سنتز و آماده سازی

جواب: گزینه ب

ویژگیهای تقسیم میتوز در گیاهان

تقسیم میتوز در سلولهای مریستم، کامبیوم، جنین و سلولهای انتهای ریشه گیاهان انجام می‌شود. در اثر میتوز، رشد اولیه و ثانویه گیاهان، رشد شاخه‌ها که بستگی به جوانه‌های جانبی و انتهایی دارد و رشد ریشه که بستگی به مریستم انتهایی ریشه دارد انجام می‌شود. تکثیر غیرجنسی گیاهان که به کمک اندام‌های رویشی (قلمه، خوابانیدن، پیاز، ریزوم و....) انجام می‌شود در حقیقت همان تقسیمات متوالی میتوزی است، که منجر به تشکیل سلولهایی با ژنوتیپ کاملاً یکسان می‌شود. ایجاد کلونها تنها از طریق به‌کارگیری تقسیم میتوز امکان‌پذیر است. در اکثر سلولهای گیاهی سانتریول وجود ندارد و تشکیل دوک نیز به عهده بخش فشرده شده‌ای از سیتوپلاسم می‌باشد. علاوه بر این در مرحله سیتوکینز (تقسیم سیتوپلاسم) غشاء سلول بر خلاف سلولهای حیوانی به سمت داخل چین خوردگی پیدا نمی‌کند، بلکه دیواره حد

فاصل بین دو سلول دختری از میانه سلول و به طور تدریجی ایجاد می‌شود. همچنین تقسیم میتوز باعث توزیع (انتشار)) ژنها می‌شود.

میوز[۱]

تولیدمثل جنسی جایگاه خاص و تعیین‌کننده‌ای در فرآیند تکامل دارد. وحدت دو سلول جنسی نر و ماده (که با یکدیگر و با سلولهای والدینی که از آن ناشی شده‌اند متفاوتند)، امکان پیدایش افرادی را فراهم می‌سازد که ترکیبات کاملاً تازه‌ای از ژنها را در بر دارند. به‌وسیله میوز که اساس تنوع ژنتیکی است ترکیب یا توزیع ژنهای پدر و مادر صورت می‌گیرد. میوز در حیوانات در سلولهای غدد جنسی نر (بیضه‌ها) و ماده (تخمدان) انجام می‌گیرد. در گیاهان پرچم‌ها و مادگی، سلولهای غدد جنسی را تشکیل می‌دهند. در جریان میوز، یک سلول دیپلوئید[۲] برای ایجاد چهار سلول هاپلوئید[۳] بایستی دوبار تقسیم گردد. میوز شامل دو تقسیم هسته‌ای است که به سرعت بدنبال یکدیگر انجام می‌شوند، تقسیم اول شامل جداشدن کروموزوم‌هایی است که در پروفاز با هم جفت شده‌اند و تقسیم دوم شامل تقسیم طولی و جداشدن کروماتیدهای هر یک از کروموزومها است. نتیجه تقسیم میوز، چهار هستهٔ هاپلوئید می‌باشد. در نتیجه تقسیم میوز تعداد کروموزوم‌ها نصف می‌شود و با انجام لقاح مجدداً برابر با تعداد کروموزوم‌های قبلی موجود می‌شود. حال اگر میوز اتفاق نمی‌افتاد و گامتها به روش غیرجنسی تولید می‌شدند تعداد کروموزوم‌های سلول تخم (زیگوت) دو برابر می‌شد و فرآیند مضاعف‌شدن پی در پی تعداد کروموزومها در نسلهای متوالی ادامه می‌یافت.

تعداد کاهش نیافته کروموزومها پیش از میوز را دیپلوئید می‌نامند و به صورت $2n$ نشان می‌دهند و تعداد کاهش یافته آنها پس از میوز هاپلوئید نامیده می‌شود و علامت آن n است. میوز جنبه‌های مشترک فراوانی با میتوز دارد ولی در اساس با تقسیم میتوز متفاوت می‌باشد. در زیر مراحل مختلف این نوع تقسیم سلولی بررسی شده است.

تفاوتهای میوز و میتوز

میتوز دارای یک مرحله تقسیم است که به‌واسطهٔ آن دو سلول با اطلاعات ژنتیکی مشابه سلول مادری ایجاد می‌شود، در حالیکه میوز دارای دو مرحله تقسیم است که طی آن چهار سلول به‌وجود می‌آید که هر یک دارای نیمی از اطلاعات ژنتیکی سلول مادری خود می‌باشند علاوه بر آن در میوز آرایش مجدد اطلاعات ژنتیکی اتفاق می‌افتد به‌طوریکه تنوع ژنتیکی زیادی را ایجاد می‌کند. تقسیم میوز برای تکمیل‌شدن، چند روز تا چند هفته طول می‌کشد، در حالیکه تقسیم میتوز طی چند ساعت انجام می‌گیرد.

از روی سه اختلاف عمده می‌توان دومین تقسیم میوز (که خود نوعی میتوز است) را از

اولین تقسیم میتوز تشخیص داد:

۱ ـ کروموزوم‌ها در میوز ۲ از نظر تعداد و شمارش هاپلوئید هستند.

۲ ـ کروماتیدها از یکدیگر خیلی باز هستند و هیچگونه ارتباطی با هم نشان نمی‌دهند.

۳ ـ هر کروماتید با توجه به تعداد دفعاتی که عملاً کیازما انجام داده است ممکن است کاملاً از نظر ژنتیکی نسبت به وضعیت اولیه خودش که در تقسیم میوزی داشته است متفاوت باشد. از آنجا که کیازما اصولاً اثر سیتولوژیکی عمل کراسینگ‌اور می‌باشند لذا ژنها ممکن است در طول کروموزوم‌های هومولوگ به‌صورت آللهای (همردیفهای) مختلف وجود داشته باشند.

چون میوز یک پدیده دقیق و منظم است، با مطالعه غیرمستقیم آللهای موتاسیون‌یافته می‌توان اثرات انفرادی ژنها را روی میوز بررسی نمود. این موتاسیونها معمولاً به طور غیرطبیعی بروز می‌کنند که می‌توانند به عنوان مبنایی برای جداسازی افراد مشخص از یک جامعه استفاده گردند. ردیابی این موتاسیونها با استفاده از اثرات فنوتیپی این موتاسیونها امکان‌پذیر بوده و می‌توان از روی آنها به فعالیت طبیعی ژن پی برد.

به علت کاهشی که در تعداد کروموزوم‌ها در اولین تقسیم میوز روی میدهد، تقسیم اول را تقسیم کاهش کروموزومی[1] و در مقابل، تقسیم دوم را تقسیم برابر[2] می‌خوانند که اصولاً میتوزی است و همراه با جداشدن کروماتیدهای خواهری از یکدیگر می‌باشد. اسامی میوز ۱ و میوز ۲ نیز برای تشخیص دادن دو تقسیم به‌کار رفته است.

نتیجه انتهایی میوز تولید چهار هسته یا سلول هاپلوئید از یک سلول اولیه دیپلوئید می‌باشد، که هر کدام برحسب موجود مورد مطالعه، تغییرات و اصلاحاتی پیدا خواهند کرد. در بعضی گونه‌ها چهار اسپور ممکن است پیش هم باقی بمانند تا به‌صورت یک چهارخانه[3] اسپور درآید. اسپرماتوسیت حیوانات مثل میکروسپروسیت در گیاهان عالی عمل میکند. یعنی چهار سلول از یک سلول میوزی به‌وجود می‌آید. تقسیم سیتوپلاسمی، در سلول‌های حیوانی به صورت یک فرورفتگی در دیواره سلولی صورت می‌گیرد. آخرین محصول میوز در تخمدان حیوانات یک سلول فعال یعنی تخمک می‌باشد. در گیاهان عمل و نتیجه انتهایی تقسیم، از یک گروه به گروه دیگر فرق می‌کند.

۱- *Reductional division* ۲- *Equational*

ویژگیهای میوز

تقسیم میوزی دارای چند ویژگی منحصر به فرد است:

الف) مضاعف‌شدن دی‌ان‌آ.

مضاعف‌شدن دی‌ان‌آ در انترفاز قبل از مرحله پروفاز ۱ صورت می‌گیرد. پس از این مرحله تا پایان تقسیم میوزی، هیچ سنتز مهم دیگری در مورد دی‌ان‌آ در هسته سلول روی نمی‌دهد. با این وجود گفته می‌شود که سنتز باقیمانده دی‌ان‌آ (حدود ۰/۳٪ کل دی‌ان‌آ) در حین پروفاز میوز (ابتدای زیگوتن) انجام می‌گیرد. این سنتز، به احتمال زیاد مربوط به قسمتهایی از دی‌ان‌آ در طول کروموزوم است که در انترفاز پیش از میوز مضاعف نشده بودند. این موضوع را می‌توان با شکافته‌شدن دیررس کروموزوم‌ها در پروفاز ۱ مرتبط دانست. در پایان میوز، علاوه بر هاپلوئید شدن تعداد کروموزوم‌ها، مقدار دی‌ان‌آ نیز در هسته به نصف، کاهش می‌یابد.

ب) جفت‌شدن کروموزوم‌ها

در مرحله پکیتن همه کروموزوم‌های همولوگ به صورت جفت شده مشاهده می‌شوند. در این مرحله کروماتیدهای کروموزوم‌های جفت شده که به وسیله یک ساختار سه بخشی از هم جدا شده‌اند اصطلاحاً سیناپتون[1] خوانده می‌شوند.

ج) کیازماها

کیازما یکی از مشخصه‌های تقسیم میوزی بوده و در تمام زوجهای کروموزومی همولوگ کلیه گونه‌ها دیده شده است. کیازما از تبادل فیزیکی بین دو کروماتید از ۴ کروماتید همولوگ نتیجه می‌شود.

د) تقسیم میوز، اساس فیزیکی قانون اول مندل است.

۱- *Synapton*