

فصل ۴

تغییر در اطلاعات وراثتی



پایداری اطلاعات در سامانه‌های زنده، یکی از ویژگی‌های ماده وراثتی است اما در عین حال، ماده وراثتی باید بتواند به طور محدود تغییرپذیر باشد. این تغییرپذیری باعث ایجاد تفاوت‌های فردی می‌شود و چنان‌که خواهیم دید زمینه تغییر گونه‌ها را فراهم می‌کند. در این فصل با انواع تغییرات ماده وراثتی و اثرات آن بر فرد، جمعیت و گونه آشنا خواهیم شد.

گفتار ۱

جهش

در فصل با کم‌خونی ناشی از گویچه‌های قرمز داسی شکل آشنا شدیم و دیدیم که علت این بیماری، تغییر شکل در مولکول‌های هموگلوبین است. علت این تغییر شکل هموگلوبین چیست؟ دانشمندان با مقایسه آمینواسیدهای هموگلوبین‌های سالم و تغییر شکل یافته دریافتند که این دو پروتئین فقط در یک آمینو اسید با هم تفاوت دارند این که چرا چنین شده است، سوالی است که باید پاسخ آن را در ژن‌ها بیابیم.. مقایسه ژن‌های هموگلوبین در بیماران و افراد سالم نشان می‌دهد که در رمز مربوط به این آمینو اسید، به جای A نوکلئوتید T قرار گرفته است. شگفتا که تغییر در یک نوکلئوتید از میلیون‌ها نوکلئوتید انسان، می‌تواند پیامدی این‌چنین وخیم را به دنبال داشته باشد.

Table 1: Single-Base Mutation Associated with Sickle-Cell Anemia

Sequence for Wild-Type Hemoglobin												
ATG	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT
Start	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr
Sequence for Mutant (Sickle-Cell) Hemoglobin												
ATG	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GTG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT
Start	Val	His	Leu	Thr	Pro	Val	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr

شکل ۱. مقایسه ژن‌های هموگلوبین در افراد سالم و بیماران. در این شکل فقط بخشی از ژن نشان داده شده است.

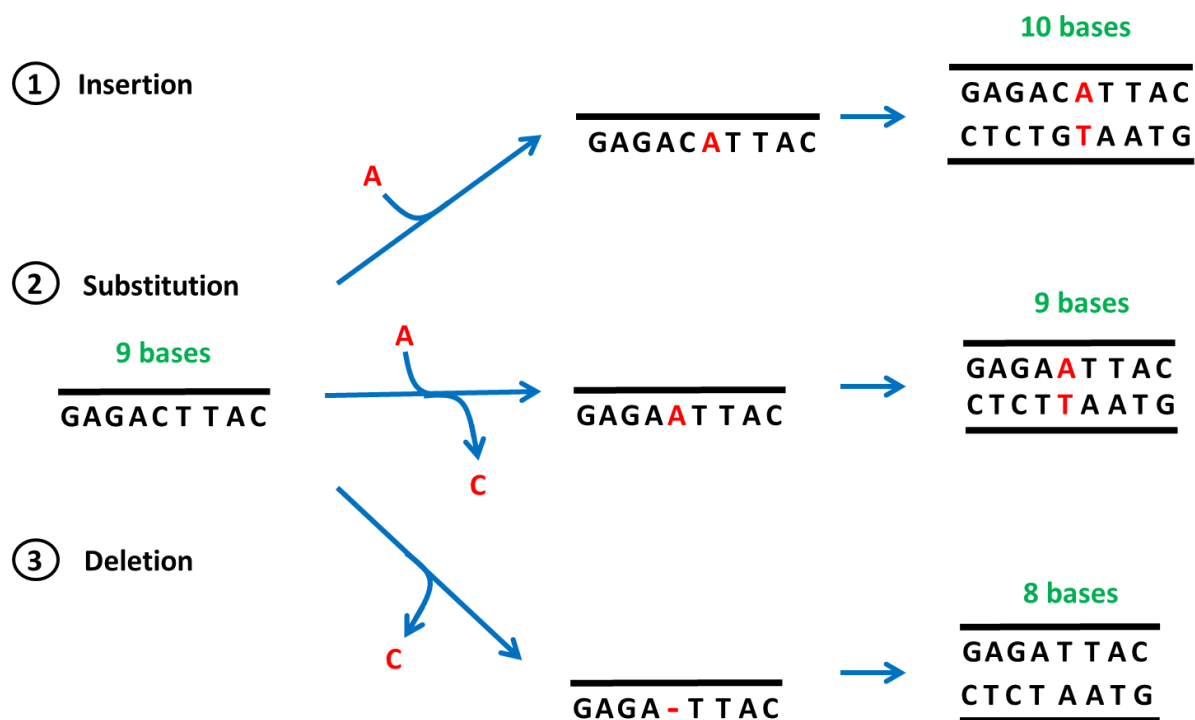
تغییر پایدار در نوکلئوتیدهای ماده وراثتی را جهش می‌نامند. منظور از تغییر پایدار، تغییری است که در صورت تقسیم یاخته، بتواند به یاخته‌های دختر منتقل شود.

انواع جهش

در مثال بالا دیدیم که جهش در یک نوکلئوتید رخ داده است. اما جهش می‌تواند در اندازه بسیار وسیع‌تری هم رخ دهد. گاهی جهش آنقدر وسیع است که حتی ساختار کروموزوم را تغییر می‌دهد. بر همین اساس جهش‌ها را به دو گروه کوچک و بزرگ تقسیم می‌کنند.

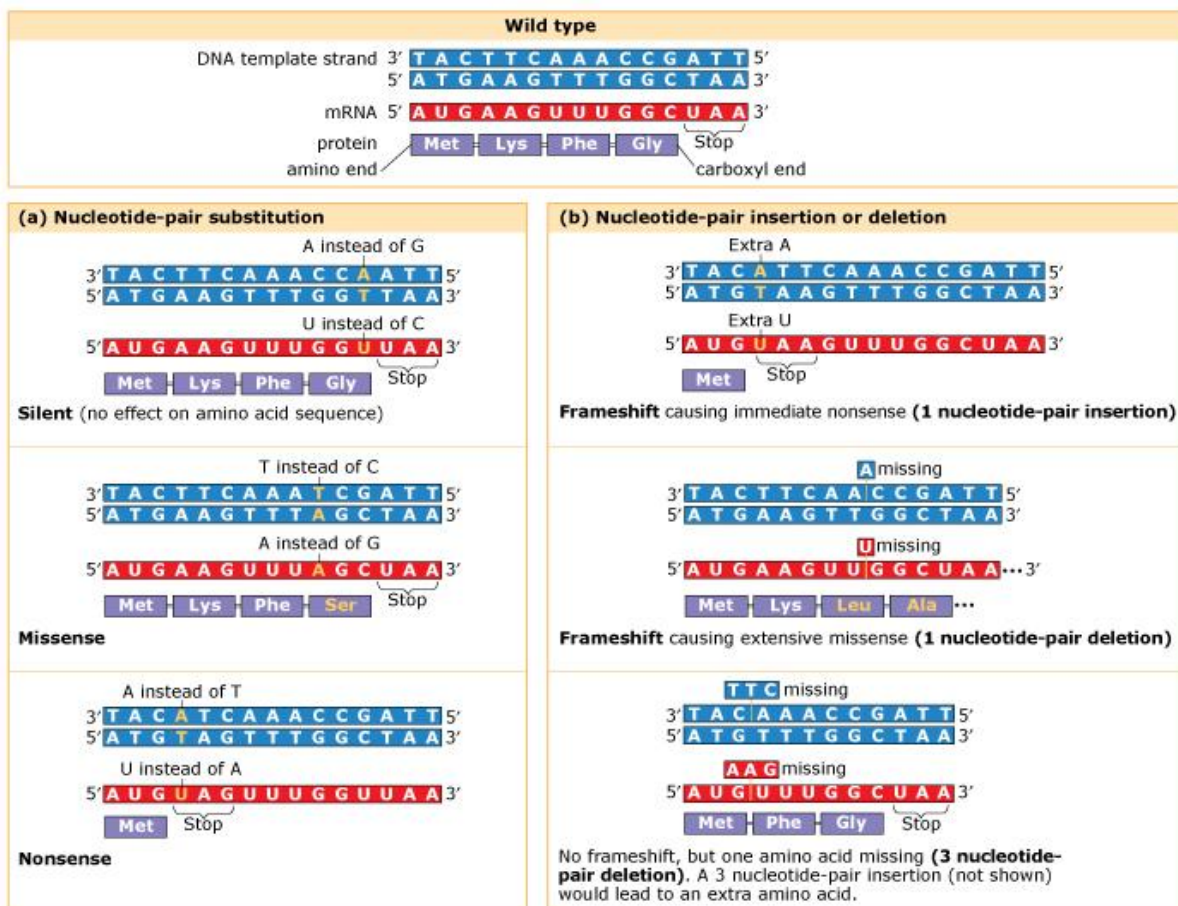
جهش‌های کوچک

جهش‌های کوچک یک یا چند نوکلئوتید را در بر می‌گیرند. انواع جهش‌های کوچک در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مثال یاخته‌های داسی شکل، نمونه‌ای از جهش کوچک است. در اینجا یک نوکلئوتید T جانشین A شده است. این نوع جهش را **جانشینی** می‌نامند. در این مثال، جهش باعث قرار گرفتن یک آمینواسید به آمینواسید دیگر شده است. به علت وجود رابطه مکملی بین بازها، تغییر در یک نوکلئوتید از یک رشته DNA، نوکلئوتید مقابل آن را در رشته دیگر تغییر می‌دهد به همین علت، جانشینی در یک نوکلئوتید به جانشینی در یک جفت نوکلئوتید منجر می‌شود.



شکل ۲. انواع جهش‌های کوچک

نباید تصور کرد که جهش جانشینی همیشه باعث تغییر در توالی آمینو اسیدها می‌شود. می‌دانید چرا؟ پاسخ این است که گاهی جهش، رمز یک آمینو اسید را به رمز دیگری برای همان آمینو اسید تبدیل می‌کند. این نوع جهش تأثیری بر پروتئین نخواهد گذاشت. این امکان وجود دارد که جهش جانشینی رمز یک آمینو اسید را به رمز پایان ترجمه تبدیل کند که در این صورت پروتئین کوتاه خواهد شد (شکل ۳).



From Campbell Biology by Reece et al. © Pearson Education, Inc.

شکل ۳. تاثیر جهش بر پروتئین.

جهش‌های اضافه و حذف، انواع دیگر جهش‌های کوچک اند. در این جهش‌ها به ترتیب نوکلئوتیدی اضافه یا حذف می‌شود (شکل ۲). نتیجه این جهش‌ها چیست؟ می‌دانیم که رمز دنا به صورت دسته‌های سه‌تایی از نوکلئوتیدها خوانده می‌شود. اگر نوکلئوتیدی اضافه یا حذف شود چه خواهد شد؟ اجازه بدهید به این سوال با ذکر مثالی پاسخ دهیم. جمله « این سیب سرخ است » را که با کلمات سه حرفی نوشته شده است، به صورت زیر در نظر بگیرید:

ای ن / س ی ب / س ر خ / ا س ت

اگر یک حرف به جایی درون این جمله اضافه شود چگونه خوانده می‌شود؟ قرار است این جمله را همچنان به صورت کلمات سه حرفی بخوانیم:

ای ن / ر س ی / ب س ر خ / ا س ت

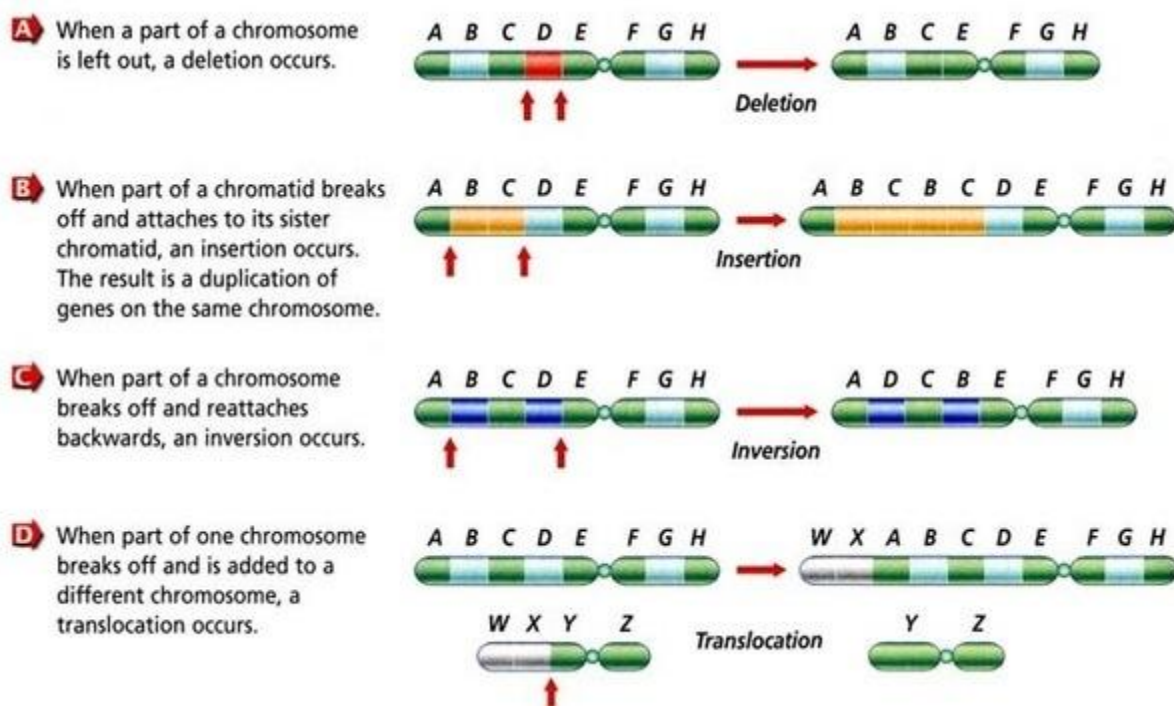
می بینیم که جمله معنای خود را از دست می دهد. جهش هایی که باعث چنین تغییری در خواندن می شوند را جهش تغییر چارجوب خواندن می نامند. در شکل ۳، تاثیر این جهش بر توالی یک پروتئین فرضی نشان داده شده است.

ناهنجاری های کروموزومی

جهش ممکن است در مقیاس وسیع تری رخ دهد به گونه ای که به ایجاد ناهنجاری های کروموزومی منجر شود. زیست شناسان با مشاهده کاربوتیپ می توانند از وجود چنین ناهنجاری هایی آگاه شوند.

در سال گذشته با سندروم داون آشنا شدید. می دانید که مبتلایان به این بیماری یک کروموزوم ۲۱ اضافی دارند. تغییر در تعداد کروموزوم ها را ناهنجاری عددی در کروموزوم ها می نامند.

نوع دیگری از ناهنجاری کروموزومی، ناهنجاری ساختاری است. انواع این جهش ها در شکل ۴ نشان داده شده اند.



شکل ۴. انواع ناهنجاری های ساختاری در کروموزوم ها

همان طور که در شکل می بینید، ممکن است قسمتی از کروموزوم از دست برود که به آن حذف می گویند. جهش های کروموزومی حذفی غالباً باعث مرگ می شوند. گاهی جهت قرارگیری قسمتی از یک

کروموزوم در جای خود تغییر می‌کند که به آن واژگونی می‌گویند. جابه‌جایی، نوع دیگری از ناهنجاری کروموزومی است که در آن قسمتی از یک کروموزوم به کروموزوم غیر همتا یا حتی بخش دیگری از همان کروموزوم منتقل می‌شود. اگر قسمتی از یک کروموزوم به کروموزوم همتا جابه‌جا شود، آن‌گاه در کروموزوم همتا، از آن قسمت دو نسخه دیده می‌شود. به این جهش، مضاعف‌شدگی می‌گویند.

پیامدهای جهش بر عملکرد

این‌که جهش چه تاثیری بر عملکرد محصول خود دارد به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل محل وقوع جهش در ژنوم است. ژنوم به کل محتوای ژنتیک گفته می‌شود. و برابر است با مجموع محتوای ژنتیک هسته‌ای و سیتوپلاسمی. طبق قرارداد، ژنوم هسته‌ای را کل محتوای ژنتیک در یک مجموعه کروموزوم (هاپلوئید) در نظر می‌گیرند. ژنوم هسته‌ای انسان شامل ۲۲ کروموزوم اتوزوم و کروموزوم‌های جنسی X و Y است. دنا میتوکندری ژنوم سیتوپلاسمی را در ژنوم انسان تشکیل می‌دهد.

بنابراین، ژن‌ها فقط بخشی از ژنوم‌اند. ممکن است جهش در توالی‌های بین ژنی رخ دهد. در این صورت بر توالی محصول ژن، اثری نخواهد گذاشت. اگر جهش در درون ژن رخ دهد، آن‌گاه پیامدهای آن مختلف خواهد بود. آنزیمی را در نظر بگیرید که در ژن آن جهش جانشینی رخ داده است و معنی یک آمینو اسید را به آمینو اسید دیگری تبدیل کرده است.. آیا این جهش باعث تغییر در عملکرد آنزیم خواهد شد؟ پاسخ این سوال به محل وقوع تغییر در آنزیم بستگی دارد. اگر جهش باعث تغییر در جایگاه فعال آنزیم شود، آن‌گاه احتمال تغییر عملکرد آنزیم بسیار زیاد است. اما اگر جهش در جایی دور از جایگاه فعال رخ دهد، به طوری که بر آن اثری نگذارد، احتمال تغییر در عملکرد آنزیم کم یا حتی صفر است.

گاهی جهش در یکی از توالی‌های تنظیمی ژن رخ می‌دهد، مثلاً در راه انداز یا افزایشنده. این جهش بر توالی پروتئین اثری نخواهد داشت بلکه بر «مقدار» آن تاثیر می‌گذارد. جهش در راه‌انداز یک ژن، ممکن است آن را به راه‌اندازی قوی‌تر یا ضعیف‌تر تبدیل کند و با اثر بر میزان رونویسی از آن، محصول آن را نیز بیش‌تر یا کم‌تر کند.

علت جهش

گرچه سازوکارهای دقیقی برای اطمینان از صحت همانندسازی دنا وجود دارد اما با وجود این‌ها، گاهی در همانندسازی خطاهایی رخ می‌دهد که باعث جهش می‌شوند.

جهش، تحت اثر عوامل جهش‌زا هم رخ می‌دهد. عوامل جهش‌زا را می‌توان به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد. پرتو فرابنفش و ایکس مثال‌هایی از جهش‌زاهای فیزیکی‌اند. از مواد شیمیایی جهش‌زا می‌توان به بنزوپیرن اشاره کرد که در دود سیگار وجود دارد و جهشی ایجاد می‌کند که به سرطان منجر می‌شود. پرتوی فرابنفش یکی از عوامل جهش‌زای فیزیکی است. این پرتو باعث تشکیل پیوند بین دو تیمین مجاور هم می‌شود که به آن دیمر تیمین می‌گویند.

جهش ممکن است ارثی یا اکتسابی باشد. جهش ارثی از یک یا هر دو والد به فرزند می‌رسد. این جهش در گامت‌ها وجود دارد که پس از لقاح، جهش را به زیگوت منتقل می‌کنند. در این صورت همه سلول‌های حاصل از آن زیگوت، دارای آن جهش‌اند. جهش اکتسابی از محیط کسب می‌شود. مثلاً سیگارکشیدن می‌تواند باعث ایجاد جهش در یاخته‌های دستگاه تنفس شود.

گفتار ۲

تغییر در جمعیت‌ها

بعد از کشف آنتی‌بیوتیک در نیمه قرن گذشته، آدمی به یکی از کارآمدترین ابزارهای دفاعی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا مجهز شد و توانست در نبرد با آن‌ها پیروز شود. با این وجود، مدتی است که از گوشه و کنار دنیا خبر می‌رسد باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها مقاوم شده‌اند. گرچه دانشمندان با طراحی داروهای جدید، برتری انسان را در این نبرد همچنان حفظ کرده‌اند اما در عین حال، روند مقاوم شدن باکتری‌ها آدمی را سخت نگران کرده است. مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به داروها، یکی از مثال‌هایی است که نشان می‌دهد «موجودات زنده می‌توانند در گذر زمان تغییر کنند». این تغییر چگونه رخ می‌دهد؟

تغییر در گذر زمان

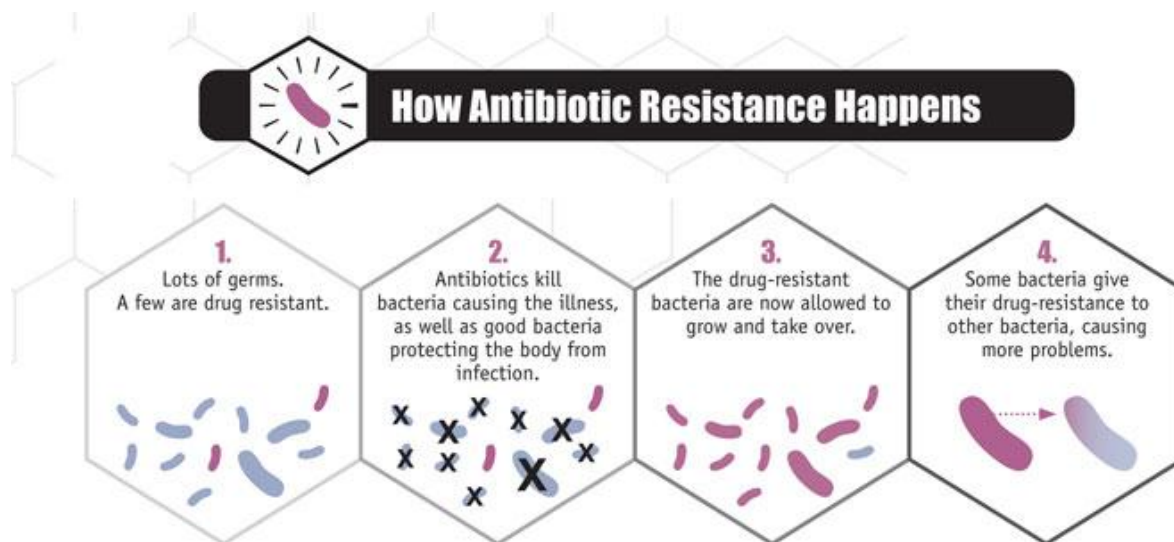
به انسان‌های اطراف خود نگاه کنید. همه انسان‌ها ویژگی‌های مشترکی دارند که باعث می‌شود آنان را در گروهی به نام «انسان‌ها» قرار دهیم. در عین حال، در میان انسان‌ها «تفاوت‌های فردی» نیز وجود دارد که باعث شناخت آن‌ها از یکدیگر می‌شود. تفاوت‌های فردی منحصر به انسان نیست. در میان افراد گونه‌های دیگر هم تفاوت‌های فردی مشاهده می‌شود.

تفاوت‌های فردی چگونه می‌تواند در پایداری گونه مؤثر باشد؟ این سوال را با ذکر مثالی پاسخ می‌دهیم. فرض کنید در گونه‌ای از جانوران، افراد تحمل متفاوتی نسبت به سرما دارند؛ یعنی بعضی‌ها می‌توانند سرما را تحمل کنند. اگر سرمای شدیدی رخ دهد، آنان که سرما را تحمل می‌کنند شانس بیشتری برای زنده ماندن دارند. بنابراین، این افراد، بیش‌تر از دیگران تولید مثل می‌کنند و در نتیجه صفت تحمل سرما، بیش از گذشته، به نسل بعد منتقل می‌شود. اگر سرما همچنان ادامه یابد، باز هم آن‌ها که سرما را تحمل می‌کنند شانس بیشتری برای تولید مثل و انتقال صفت به نسل‌های بعد را خواهند داشت. بنابراین بعد از مدتی با

جمعیتی روبه رو خواهیم شد که در آن، تعداد افرادی که سرما را تحمل می‌کنند مقایسه با جمعیت اول، بیش‌تر است و این، یعنی تغییر در جمعیت.

مثال ساده‌ای که در بالا عنوان شد، نشان می‌دهد که برای تغییر، شرایطی لازم است. یکی از این شرایط، وجود تفاوت‌های فردی است. وقتی که تفاوت فردی هست، این سوال پیش می‌آید که کدام تفاوت‌ها بهترند. در مثال ما، آن‌ها که سرما را تحمل می‌کردند، در مقایسه با بقیه، شانس بهتری برای زنده ماندن داشتند. کمی دقت متوجه می‌شویم که این «بهتر» بودن یک صفت همیشگی نیست بلکه شرایط محیط تعیین‌کننده صفت بهتر است. اگر هوا به جای سرد شدن گرم می‌شد، آن‌گاه افراد دیگری شانس زنده ماندن داشتند. بنابراین زیست‌شناسان از واژه «صفت بهتر» استفاده نمی‌کنند بلکه به جای آن می‌گویند «صفت سازگارتر با محیط». به روشنی دیده می‌شود که این، «محیط» است که تعیین می‌کند کدام صفت به نسل بعد منتقل شوند. این فرایند را که در آن افراد سازگارتر با محیط انتخاب می‌شوند، **انتخاب طبیعی** می‌نامند.

انتخاب طبیعی می‌تواند علت مقاوم شدن باکتری‌های را به آنتی بیوتیک‌ها نیز توضیح دهد (شکل ۵)



شکل ۵. چگونگی مقاوم شدن باکتری‌ها به آنتی بیوتیک

وقتی از تفاوت‌های فردی سخن می‌گوییم در واقع در حال بررسی جمعیتی از افراد هستیم نه یک فرد. انتخاب طبیعی روی جمعیت اثر می‌کند و آنچه که تغییر می‌کند «جمعیت» است نه «فرد». جمعیت، به افرادی گفته می‌شود که به یک گونه تعلق دارند و در یک محل زندگی می‌کنند.

خزانه ژنی

قبل از کشف اصول ژنتیک، زیست‌شناسان جمعیت را بر اساس صفات ظاهری توصیف می‌کردند. مثل رنگ بدن در یک جانور یا ضخامت پوستک در برگ یک گیاه. با شناخت ژن‌ها، اکنون زیست‌شناسان معیار دیگری را هم برای توصیف یک جمعیت در اختیار دارند و آن، بر اساس ژن‌های موجود در یک جمعیت است. زیست‌شناسان فراوانی نسبی ال‌ها را در جمعیت دنبال می‌کنند. اگر فراوانی نسبی ال‌ها در نسل‌های بعدی هم حفظ شود، آن‌گاه می‌گویند جمعیت در **حال تعادل** است. اما اگر فراوانی‌های اللی تغییر کند، آن‌گاه جمعیت از تعادل خارج می‌شود و به سوی تغییر پیش می‌رود. مجموع فراوانی نسبی همه ال‌های موجود در یک جمعیت را خزانه ژنی آن جمعیت می‌نامند.

عوامل تغییر دهنده فراوانی‌های اللی

عوامل زیر باعث تغییر فراوانی‌های اللی می‌شوند.

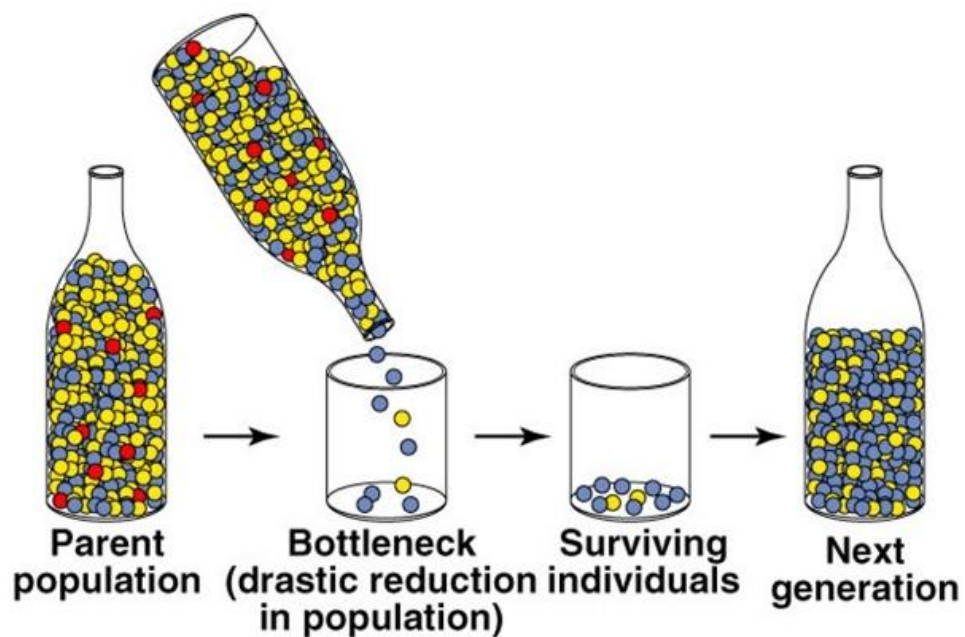
جهش

یک باکتری را در نظر بگیرید که هر ۲۰ دقیقه تقسیم می‌شود. اگر هیچ جهشی رخ ندهد، همه زاده‌ها مشابه باکتری اولی خواهند بود. بدون جهش، هیچ نوع گوناگونی در میان افراد یک جمعیت دیده نخواهد شد. اما جهش، میان افراد، گوناگونی ایجاد می‌کند. بسیاری از جهش‌ها تاثیری فوری بر فنوتیپ ندارند و بنابراین ممکن است تشخیص داده نشوند. وقتی در ژنی جهش ایجاد می‌شود، ال جدیدی از آن ژن حاصل می‌شود که ممکن است در شرایطی سازگارتر از ال یا ال‌های قبلی عمل کند.

رانس اللى

در هر جمعیتی، بعضی از افراد ممکن است فرزندان بیش تری نسبت به بقیه داشته باشند یا این که اصلاً فرزندی نداشته باشند. بنابراین ژن‌هایی که به نسل بعد می‌رسند لزوماً ژن‌های سازگارتر نیستند بلکه ژن‌های خوش شانس‌ترند! به مثال دیگری توجه کنید. فرض کنید گله از ۱۰۰ گوسفند در حال عبور از ارتفاعات‌اند. حین عبور، دو بره به پایین سقوط می‌کنند. این دو بره، پیش از رسیدن به سن تولید مثل مرده‌اند و شانس انتقال ژن‌های خود را به نسل بعد نداشته‌اند. به فرایندی که باعث تغییر فراوانی آلی بر اثر رویدادهای تصادفی می‌شود، **رانس ژن** می‌گویند. رانس ژن گرچه فرایندهای اللى را تغییر می‌دهد اما برخلاف انتخاب طبیعی به سازش نمی‌انجامد.

هرچه اندازه یک جمعیت کوچک‌تر باشد، رانس ژن اثر بیش تری دارد. به همین علت، برای آن که جمعیتی در تعادل باشد، باید اندازه بزرگی داشته باشد. منظور از اندازه جمعیت، تعداد افراد آن است. گاهی تعداد افرادی که بر اثر چنین رویدادهایی حذف می‌شوند زیاد است و تعداد بازماندگان کم‌اند. در حوادثی نظیر سیل، زلزله، آتش‌سوزی و نظایر آن، تعداد آن‌هایی که می‌میرند ممکن است بیش از آن‌هایی باشند که زنده می‌مانند. بنابراین فقط بخشی از ال‌های جمعیت بزرگ اولیه به جمعیت کوچک باقی‌مانده خواهد رسید و جمعیت آینده از همین ال‌های برجای مانده تشکیل خواهند شد (شکل ۶).



4

50

شکل ۶. کاهش شدید در اندازه جمعیت باعث تغییر فراوانی های اللی می شود.

شارش ژن

وقتی افرادی از یک جمعیت به جمعیت دیگری مهاجرت می کنند، در واقع تعدادی از ال‌های جمعیت مبدا را به جمعیت مقصد وارد می کنند. به این پدیده، "شارش ژن" می گویند. اگر جریان ژن به طور پیوسته ادامه یابد، سرانجام خزانه ژنی دو جمعیت به هم شبیه می شوند.

انتخاب طبیعی

انتخاب طبیعی فراوانی ال‌ها را در خزانه ژنی تغییر می دهد. انتخاب طبیعی همواره افراد سازگارتر با محیط را برمیگزیند و از فراوانی دیگر افراد می کاهد. به این ترتیب خزانه ژنی نسل آینده دستخوش تغییر می شود. انتخاب طبیعی در نهایت باعث «سازش» جانداران با محیط می شود.

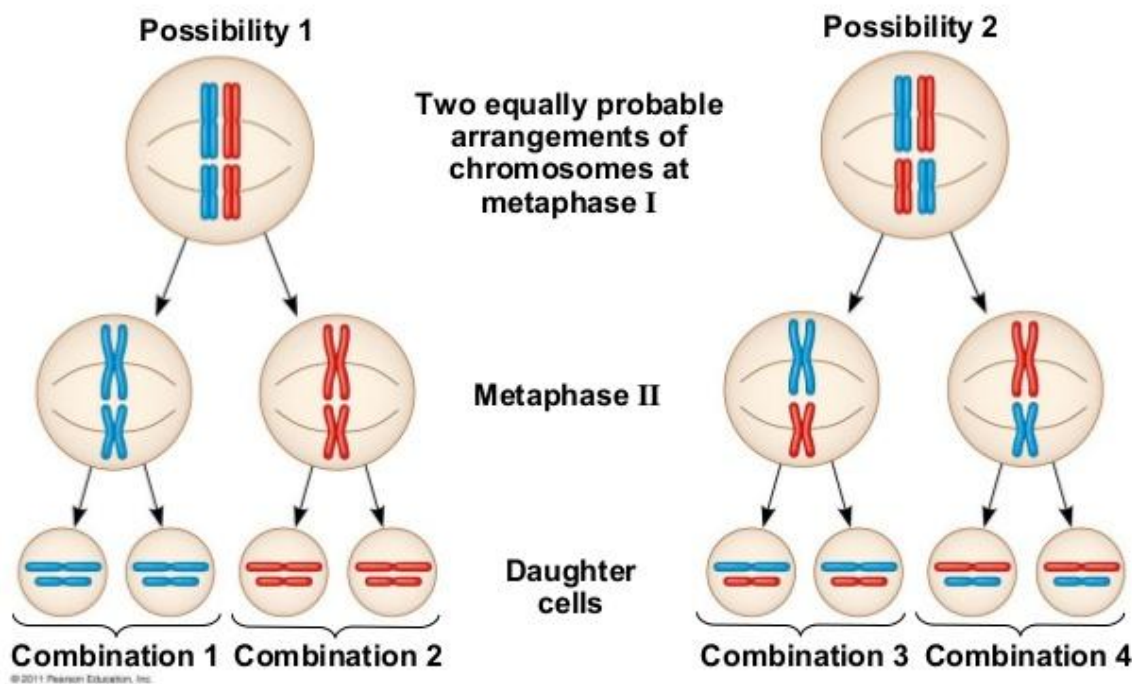
حفظ گوناگونی در جمعیت‌ها

دانستیم که نتیجه انتخاب طبیعی، سازگاری بیشتر جمعیت با محیط است. انتظار داریم انتخاب طبیعی با انتخاب بعضی نسبت به بعضی دیگر، تفاوت‌های فردی را کاهش دهد. اما سازوکارهایی هست که در عین وجود انتخاب طبیعی تفاوت‌های فردی و در نتیجه گوناگونی را حفظ می‌کند؟ در ادامه، این سازوکارهایی را بررسی می‌کنیم.

گوناگونی اللی در گامت‌ها

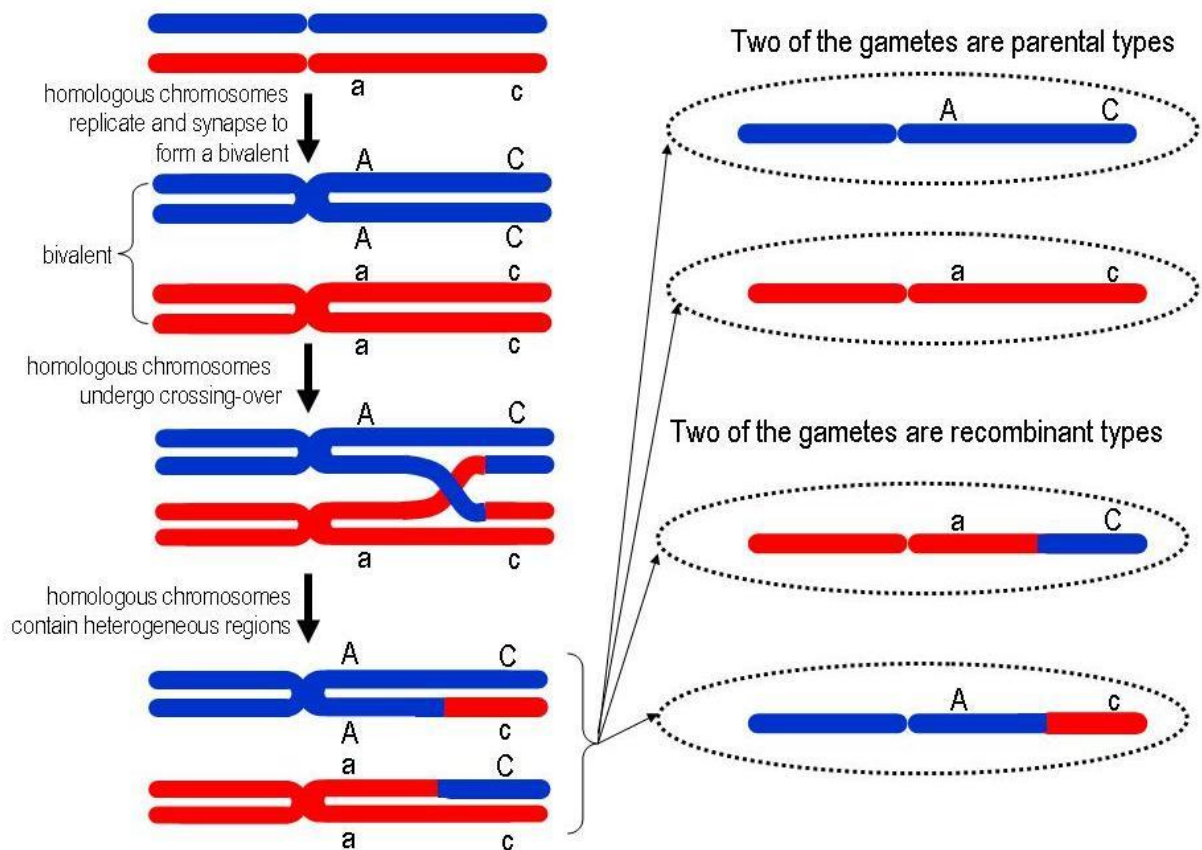
در تولید مثل جنسی، هر والد نیمی از کروموزوم‌های خود را از طریق گامت‌هایی که می‌سازد، به نسل بعد منتقل می‌کند. این که هر گامت کدامیک از کروموزوم‌ها را دریافت می‌کند به آرایش تتراده‌ها در میوز I بستگی دارد. در مرحله متافاز میوز I، کروموزوم‌ها با آرایش‌های مختلفی ممکن است در سطح میانی سلول قرار گیرند، که به ایجاد گامت‌های مختلف می‌انجامد. در شکل ۷ نحوه توزیع کروموزوم‌ها طی میوز نشان داده شده است.

Figure 13.10-3



نو ترکیبی

در میوز I، هنگام جفت شدن کروموزوم‌های همتا و ایجاد تتراد، قطعه‌ای از یک کروموزوم با قطعه متناظر خود در کروموزوم همتا مبادله می‌شود. این پدیده را کراسینگ اور می‌گویند. اگر قطعات مبادله شده حاوی الل‌های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از الل‌ها در هر کروماتید به وجود می‌آید. بنابراین کروموزوم‌های همتا قبل و بعد از کراسینگ اور ترکیب الی متفاوتی خواهند داشت و می‌گویند **نو ترکیبی** رخ داده است. از میان گامت‌ها، آن‌هایی که کروموزوم‌های توترکیب را دریافت می‌کنند، **گامت نو ترکیب** نامیده می‌شوند (شکل ۸).



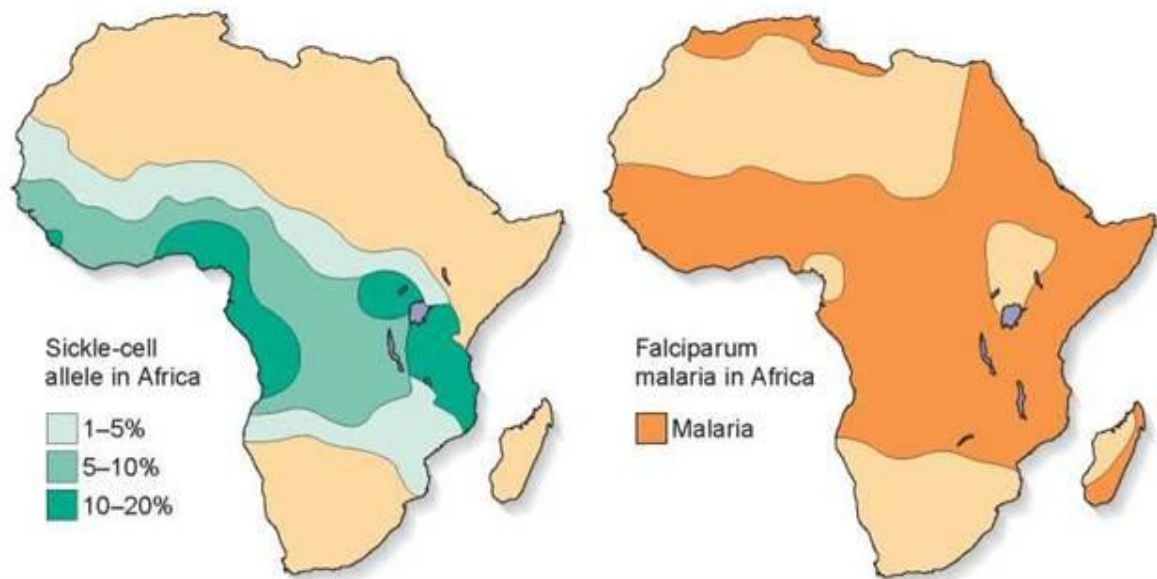
شکل ۸. نو ترکیبی بر اثر کراسینگ اور

وجود هتروزیگوت‌ها

فقط ال‌هایی که فنوتیپ متفاوت ایجاد می‌کنند، تحت تاثیر انتخاب طبیعی قرار می‌گیرند. در جانداران دیپلوئید هتروزیگوت‌ها در واقع نگهبانانی برای ال‌های مغلوب هستند. اگر هتروزیگوت‌ها نبودند، ال‌های مغلوب از خزانه ژنی حذف می‌شوند. مثلاً ال تالاسمی در افراد هتروزیگوت می‌تواند باقی بماند حال اگر هتروزیگوتی وجود نداشت ممکن بود به علت بیماری‌زایی شدید در هوموزیگوت‌ها پس از مدتی حذف شود.

اهمیت هتروزیگوت‌ها را در حفظ گوناگونی می‌توان به وسیله بیماری کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی‌شکل نیز نشان داد. افراد مبتلا به بیماری گلبول‌های قرمز داسی‌شکل ژنوتیپ **HbSHbS** دارند و در سنین پایین معمولاً می‌میرند. ژنوتیپ هتروزیگوت‌ها **HbAHbS** است و وضع بهتری دارند. گلبول‌های قرمز آن‌ها فقط هنگامی داسی‌شکل می‌شوند که مقدار اکسیژن محیط کم باشد.

ژنتیک‌دانان با مطالعه توزیع این بیماری در جهان دریافته‌اند که فراوانی ال **HbS** در مناطقی که مالاریا شایع است بسیار بیش‌تر از سایر مناطق است (شکل ۹). بیماری مالاریا به وسیله نوعی انگل تک سلولی که در گلبول‌های قرمز زندگی می‌کند، ایجاد می‌شود. بنابراین، افرادی که گلبول سالم دارند، که **HbAHbA** هستند، در خطر ابتلا به مالاریا قرار دارند.



شکل ۹. توزیع بیماری کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی در جهان

این انگل نمی‌تواند در افراد HbAHbS ایجاد بیماری کند چون وقتی این گلبول‌ها را آلوده می‌کند، شکل آن‌ها داسی‌شکل می‌شود و انگل می‌میرد. پس افراد HbAHbS در برابر مالاریا مقاوم‌اند. بنابراین، وجود ال HbS در این منطقه باعث بقای جمعیت می‌شود. این مثال، مثال خوبی است که نشان می‌دهد شرایط محیطی، تعیین‌کننده صفتی است که حفظ می‌شود.

گفتار ۳

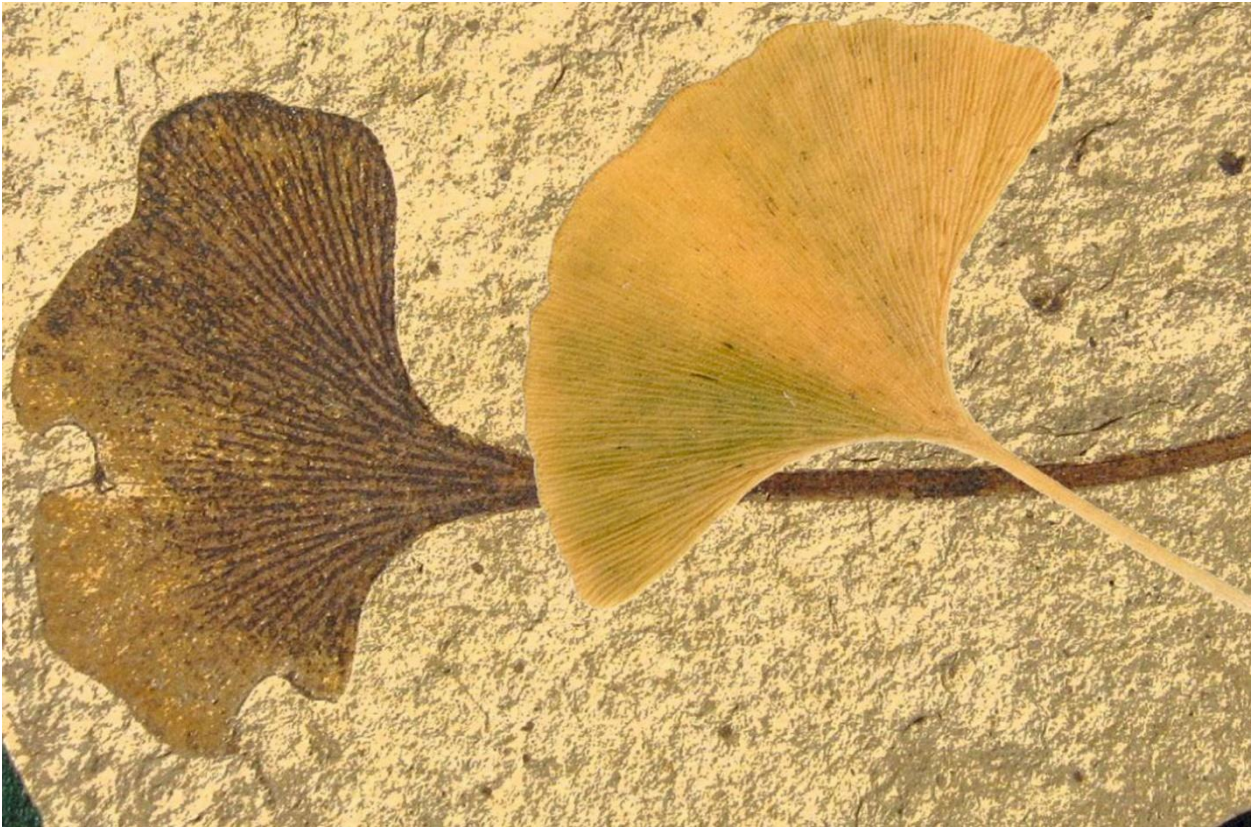
تغییر در گونه‌ها

گونه‌های بسیاری روی کره زمین زندگی می‌کنند. آیا این گونه‌ها در گذشته‌های دور هم وجود داشته‌اند؟ یا این که در طول زمان پدید آمده‌اند؟ در این گفتار، شواهدی را خواهیم دید که نشان می‌دهد گونه‌ها در طول زمان تغییر کرده‌اند.

فسیل‌ها

در سال‌های قبل با انواع فسیل‌ها و نحوه تشکیل آن‌ها آشنا شده‌اید. به یاد دارید که فسیل عبارت است از بقایای یک جاندار یا آثاری از جاندار که در گذشته دور زندگی می‌کرده است. فسیل معمولاً حاوی قسمت‌های سخت بدن جانداران (مثل استخوان‌ها یا اسکلت خارجی) است. گاهی ممکن است کل یک جاندار فسیل شده باشد مثل ماموت‌های منجمد شده‌ای که تمام قسمت‌های بدن آن‌ها، حتی پوست و مو، حفظ شده‌اند. یا حشراتی که در رزین‌های گیاهان به دام افتاده‌اند.

فسیل‌ها اطلاعات فراوانی به ما می‌دهند. دیرینه‌شناسی، شاخه‌ای از زیست‌شناسی است که به مطالعه فسیل‌ها می‌پردازد. دیرینه‌شناسان دریافته‌اند که در گذشته جاندارانی زندگی می‌کرده‌اند که امروز دیگر نیستند مثل دایناسورها. در مقابل، جاندارانی هم هستند که امروز زندگی می‌کنند، اما در گذشت زندگی نمی‌کرده‌اند مثل گل لاله یا گربه. در این میان، گونه‌هایی هم هستند که از گذشته‌های دور تا زمان حال زندگی کرده‌اند مثل درخت گیسو (یا کهن‌دار). شواهد فسیلی نشان می‌دهند که این درخت در ۱۷۰ میلیون سال پیش هم وجود داشته است (شکل ۱۰).



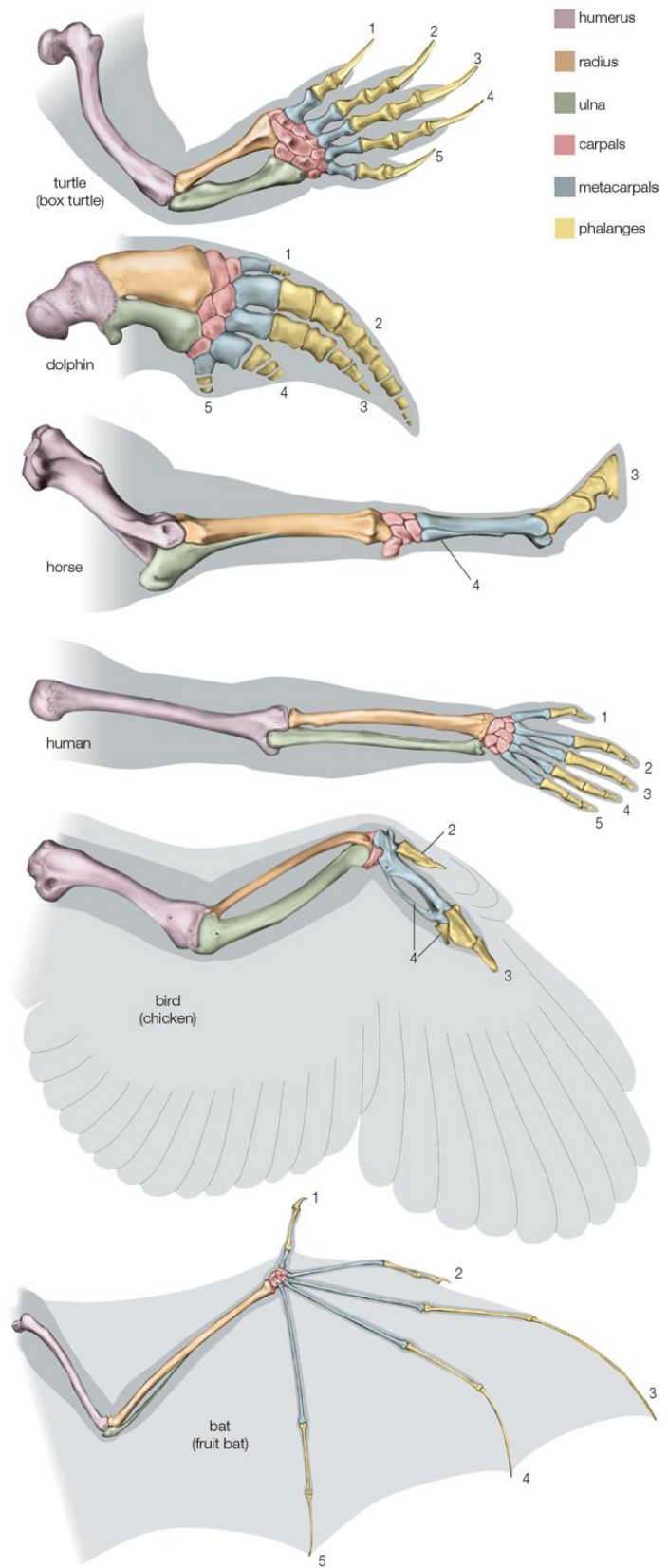
شکل ۱۰. برگ درخت گیسو و فسیل آن

دیرینه شناسان قادرند عمر یک فسیل را تعیین کنند. آنان اکنون می‌دانند که در هر زمان، چه جاندارانی وجود داشته‌اند. در مجموع، فسیل‌ها نشان می‌دهند که در زمان‌های مختلف، زندگی به شکل‌های مختلفی جریان داشته است.

آناتومی (تشریح) مقایسه‌ای

در آناتومی مقایسه‌ای اجزای پیکر جانداران گونه‌های مختلف بایکدیگر مقایسه می‌شود. این مقایسه نشان می‌دهد که ساختار بدنی بعضی گونه‌ها از طراحی مشابهی برخوردار است. به عنوان مثال، به شکل ۱۱ نگاه کنید. مقایسه‌ی اندام حرکت جلویی در مهره‌داران مختلف، از طرح ساختاری یکسان حکایت دارد. اندام‌هایی را که طرح ساختاری آن‌ها یکسان است، «اندام‌ها یا ساختارهای همتا» می‌نامند. دست انسان، بال پرنده، باله‌ی وال و دست گربه مثال‌هایی از اندام‌های همتا هستند.

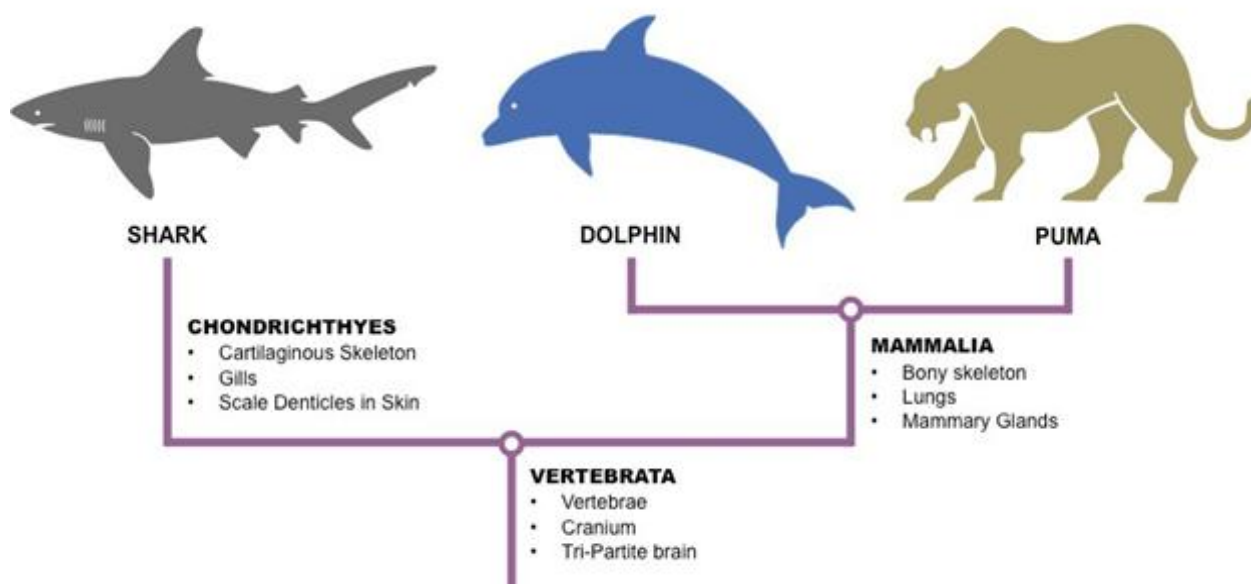
Homologies of the forelimb in six vertebrates



شکل ۱۱. ساختارهای همتا

ساختارهایی را که کار یکسان اما طراحی متفاوت دارند، ساختارهای آنالوگ می نامند. بال کبوتر و بال پروانه آنالوگ اند چون هر دو برای پرواز کردن اند (کار یکسان) اما ساختارهای متفاوتی دارند.

علت وجود ساختارهای همتا در گونه‌های متفاوت چیست؟ زیست شناسان بر این باورند که این گونه‌ها، نیای مشترکی دارند یعنی این که در گذشته از گونه مشترکی مشتق شده اند (شکل ۱۲). گونه هایی که نیای مشترکی دارند را **گونه های خویشاوند** می گویند.



شکل ۱۲. نیای مشترک و گونه های خویشاوند

زیست شناسان از ساختارهای همتا برای رده بندی جانداران استفاده می کنند و جانداران خویشاوند را در یک گروه قرار می دهند.

آناتومی مقایسه ای علاوه بر آشکار کردن خویشاوندی گونه ها، اطلاعات دیگری را نیز فراهم می کند. وقتی گونه های مختلف را مقایسه می کنیم، گاهی به ساختارهایی بر می خوریم که در یک عده بسیار کارآمد هستند اما در عده ای دیگر، کوچک یا ساده شده و حتی ممکن است فاقد کار خاصی باشند. این ساختارهای

کوچک، ساده یا ضعیف شده را ساختارهای « وستیجیال » (به معنی ردپا) می‌نامیم. مار پیتون (پایتون) با اینکه پا ندارد اما بقایای پا در لگن آن به صورت وستیجیال موجود است و این حاکی از وجود رابطه‌ای میان آن و دیگر مهره‌داران است (شکل ۱۳).



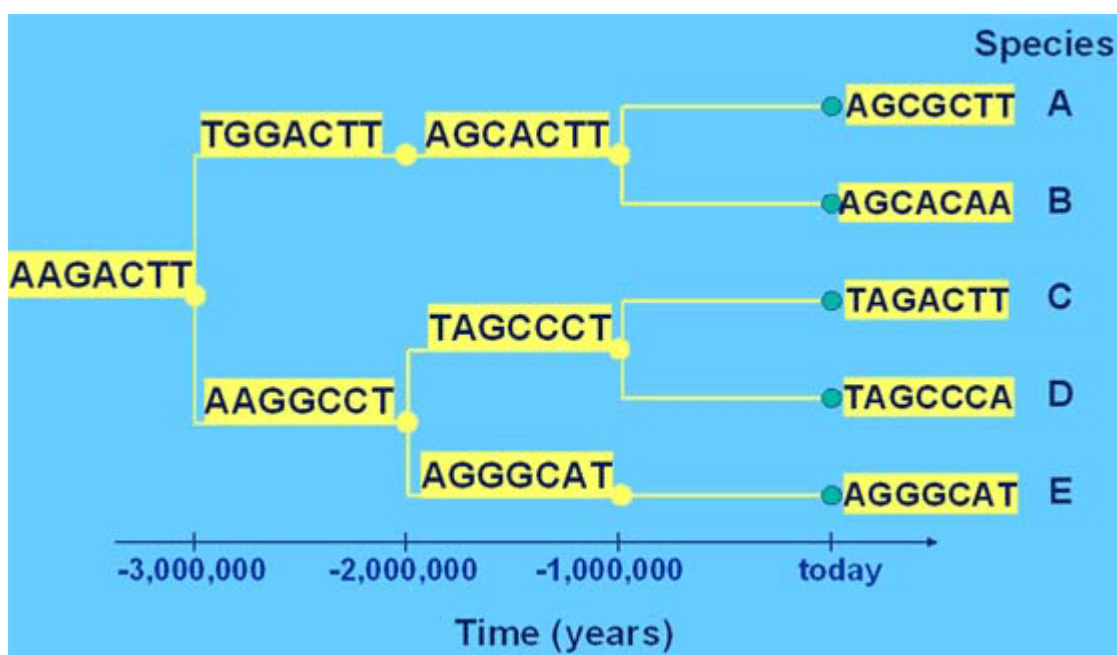
شکل ۱۳. بقایای پا در مار پیتون

در واقع ساختارهای وستیجیال ردپای « تغییر گونه‌ها » هستند. شواهد متعددی در دست است که نشان می‌دهد مارها از تغییر یافتن سوسمارها پدید آمده‌اند.

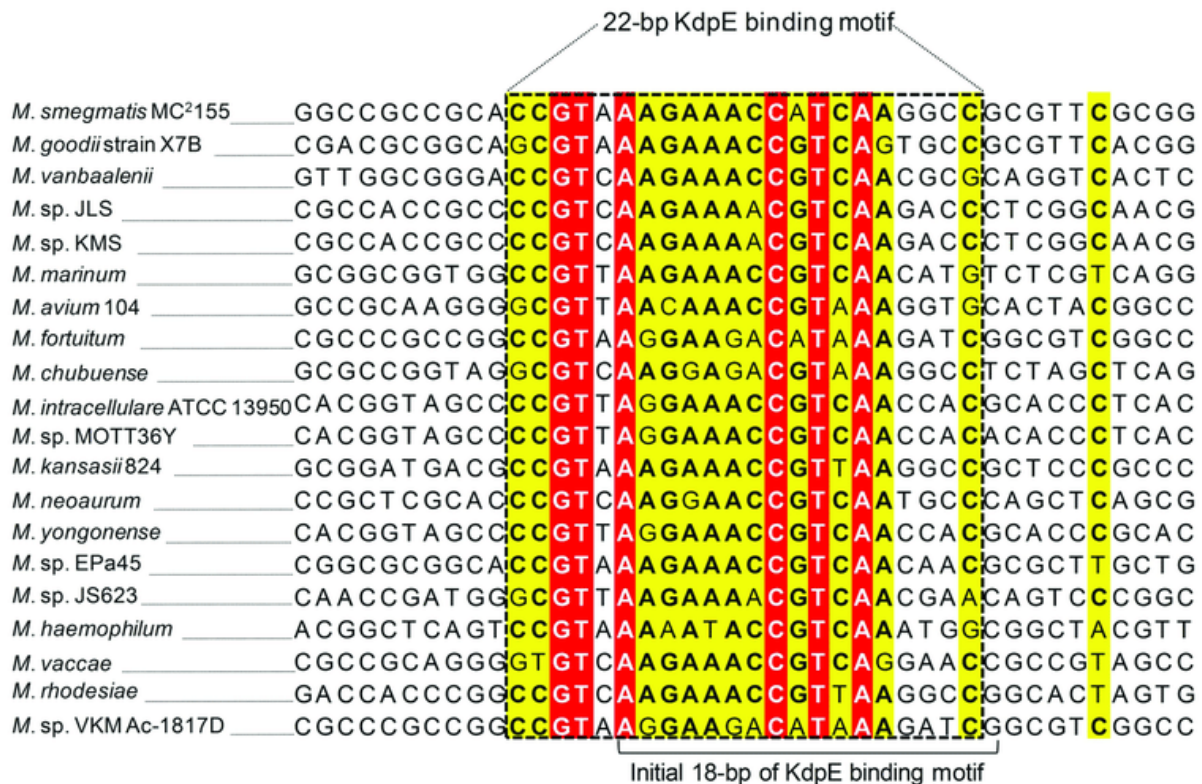
در دنیای زنده، حفظ کردن هر ساختار نیازمند صرف انرژی است. از سوی دیگر، جانداران انرژی را بیهوده صرف نمی‌کنند چون در این صورت، در رقابت با جاندار دیگری که انرژی را بهینه مصرف می‌کند حذف خواهند شد. یکی از علل مشاهده ساختارهای وستیجیال هم همین است. وقتی ساختاری کارایی ندارد، چرا باید حفظ شود؟

مطالعات مولکولی

مقایسه گونه ها را می توان در تراز ژنوم هم انجام داد. در ژنومیک مقایسه ای، ژنوم گونه های مختلف بایکدیگر مقایسه می شود. از این مقایسه، اطلاعات ارزشمندی به دست می آید. مثلا این که کدام ژن ها در بین گونه ها مشترک اند و کدام ژن ها ویژگی های خاص یک گونه را باعث می شوند. همچنین زیست شناسان از مقایسه بین DNA جانداران مختلف برای تشخیص خویشاوندی آنها استفاده می کنند. هر چه DNA دو جاندار شباهت بیشتری داشته باشد، خویشاوندی نزدیک تری دارند. همچنین می توانند به تاریخچه تغییر آنها پی ببرند (شکل ۱۴)



شکل ۱۴. چگونگی مشتق شدن پنج گونه فرضی از یک نیای مشترک. گونه های A و B نسبت به بقیه خویشاوندی بیشتری با هم دارند. همچنین خویشاوندی گونه های C و D بایکدیگر بیش تر است. توالی هایی از DNA که در بین گونه های مختلف دیده می شوند را **توالی های حفظ شده** می نامند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. توالی‌های حفظ شده در ژن یکی از پروتئین‌های باکتریایی. در بخش‌های قرمز، توالی‌ها کاملاً حفظ شده‌اند اما در بخش‌های زرد، کم‌تر حفظ شده‌اند.

زیست‌شناسان به توالی‌های حفظ شده توجه خاص دارند چون می‌دانند این توالی‌ها آن‌قدر مهم‌اند که در طول زمان حفظ شده‌اند. اصولاً هر چه در طول زمان حفظ شده باشد، از نقشی پر اهمیت برخوردار است چون هرگونه تغییر در آن به اتلاف انرژی یا مرگ منجر شده است و نتوانسته به نسل‌های بعد منتقل شود. بنابراین، زیست‌شناسان در برخورد با ساختار یا توالی‌های حفظ شده از خود می‌پرسند این ساختار یا توالی چه اهمیت ویژه‌ای را داشته که همچنان حفظ شده است؟ به عبارت ساده‌تر، این سوال را می‌پرسند «چرا حفظ شده است؟». به این ترتیب زیست‌شناسان امروزی فقط به توصیف دنیای زنده بسنده نمی‌کنند بلکه با نگرشی چراجویانه به تجزیه و تحلیل آن نیز می‌پردازند.

گونه زایی

تعاریف مختلفی برای گونه وجود دارد که هر کدام در محدوده مشخصی کارآمدند. یکی از تعاریف رایج برای گونه، تعریفی است که ارنست مایر ارائه کرده است و برای جاندارانی کاربرد دارد که تولید مثل جنسی دارند:

«گونه در زیست‌شناسی به جاندارانی گفته می‌شود که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های

زیستا و زایا به وجود آورند ولی نمی‌توانند با جانداران دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند».

زیستا در تعریف بالا، به جاندارانی گفته می‌شود که زنده می‌ماند و زندگی طبیعی خود را ادامه می‌دهد.

هم‌چنین، منظور از آمیزش موفقیت‌آمیز، آمیزشی است که به تولید زاده‌های زیستا و زایا منجر شود.

وقتی اعضای یک گونه نتوانند با اعضای گونه دیگر آمیزش کنند، بین گونه‌های مختلف، تبادل ژن صورت

نمی‌گیرد. در نتیجه خزانه ژنی هرگونه، از خزانه ژنی گونه دیگر جدا خواهد بود.

اگر میان افراد یک گونه جدایی تولید مثلی رخ دهد، آن گاه خزانه ژنی آن‌ها از یکدیگر جدا می‌شود و

احتمال تشکیل گونه جدید فراهم می‌شود. منظور از جدایی تولید مثلی، عواملی است که مانع آمیزش بعضی

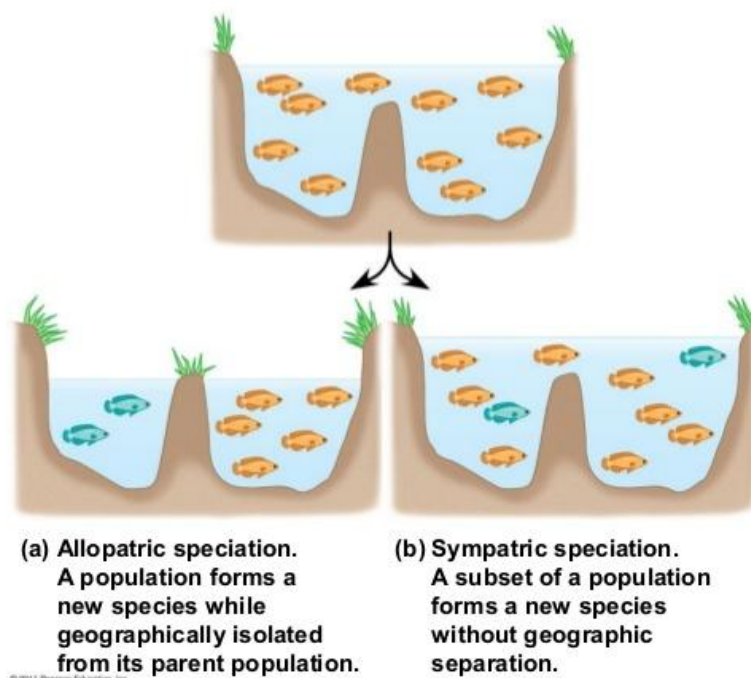
از افراد یک گونه با بعضی دیگر می‌شوند. به‌طور کلی مکانیسم‌هایی را که باعث ایجاد گونه‌ای جدید می‌شوند،

به دو گروه تقسیم می‌کنند: گونه‌زایی دگرمیپهنی که در آن جدایی جغرافیایی رخ می‌دهد و گونه‌زایی هم

میپهنی که در آن جدایی جغرافیایی رخ نمی‌دهد.

در شکل ۱۶ این دو نوع گونه‌زایی با هم مقایسه شده‌اند.

Figure 24.5



شکل ۱۶. گونه زایی دگر میهنی و هم میهنی

گونه زایی دگر میهنی

گاهی بر اثر وقوع رخدادهای زمین شناختی و وقوع سدهای جغرافیایی، یک جمعیت، به دو قسمت جداگانه تقسیم می شود. مثلا در نتیجه پدیده کوه زایی، ممکن است در یک منطقه کوه، دره، دریاچه و... ایجاد شود یک جمعیت را به دو قسمت تقسیم کند.

این سدهای جغرافیایی، ارتباط دو قسمت را - که قبلا به یک جمعیت تعلق داشتند - قطع می کنند و بین آنها دیگر شارش ژن صورت نمی گیرد. بر اثر وقوع پدیده هایی هم چون جهش، نوترکیبی و انتخاب طبیعی، به تدریج دو جمعیت یاد شده با یکدیگر متفاوت می شوند و از آنجا که شارش ژنی میان آنها وجود ندارد، این تفاوت بیش تر و بیش تر می شود تا جایی که حتی اگر این دو جمعیت کنار هم باشند، آمیزشی بین آنها رخ نخواهد داد و بنابراین می توان آنها را دو گونه مجزا به شمار آورد. اگر جمعیتی که از جمعیت اصلی جدا

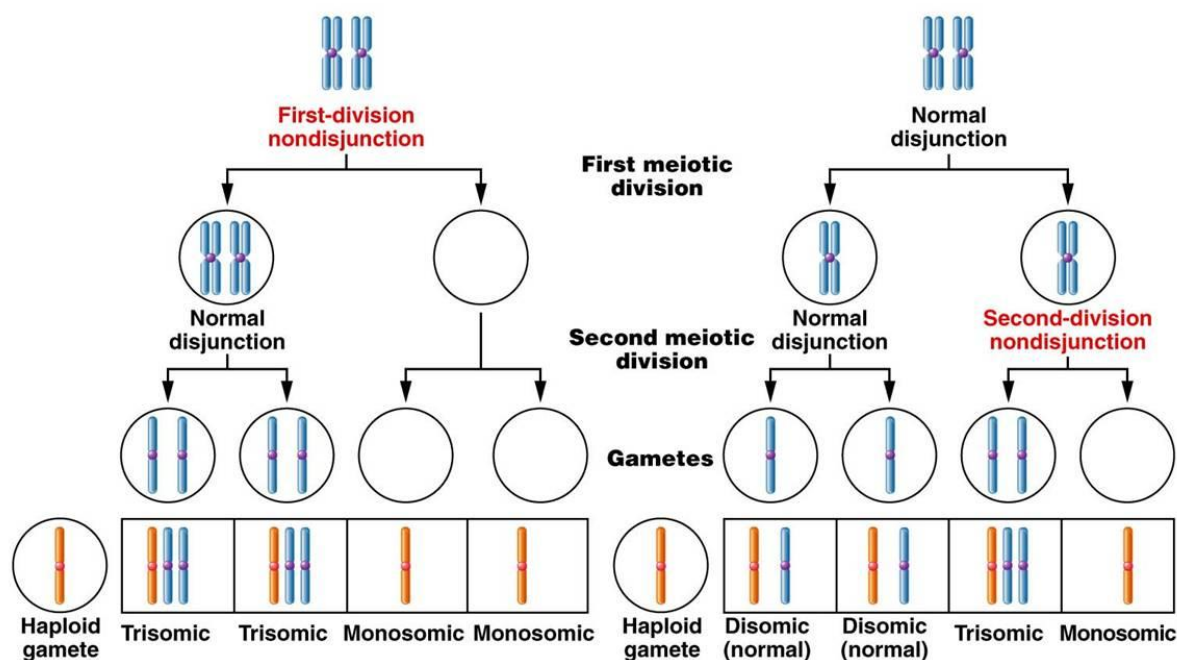
شده است کوچک باشد، آن وقت اثر رانش ژن را نیز باید در نظر گرفت که خود بر میزان تفاوت بین دو جمعیت می‌افزاید.

گونه‌زایی هم میهنی

گاهی بین جمعیت‌هایی که در یک زیستگاه زندگی می‌کنند، جدایی تولید مثلی اتفاق می‌افتد و در نتیجه، گونه جدیدی حاصل می‌شود. این نوع گونه‌زایی را **گونه‌زایی هم میهنی** می‌نامند. در گونه‌زایی هم میهنی، برخلاف گونه‌زایی دگر میهنی، جدایی جغرافیایی رخ نمی‌دهد.

پیدایش گیاهان پلی پلوئیدی، مثال خوبی از گونه‌زایی هم میهنی است. پلی پلوئیدی به تولید گیاهانی منجر می‌شود که زیستا و زایا هستند اما نمی‌توانند با افراد گونه نیایی خود آمیزش کنند و بنابراین گونه ای جدید به شمار می‌روند.

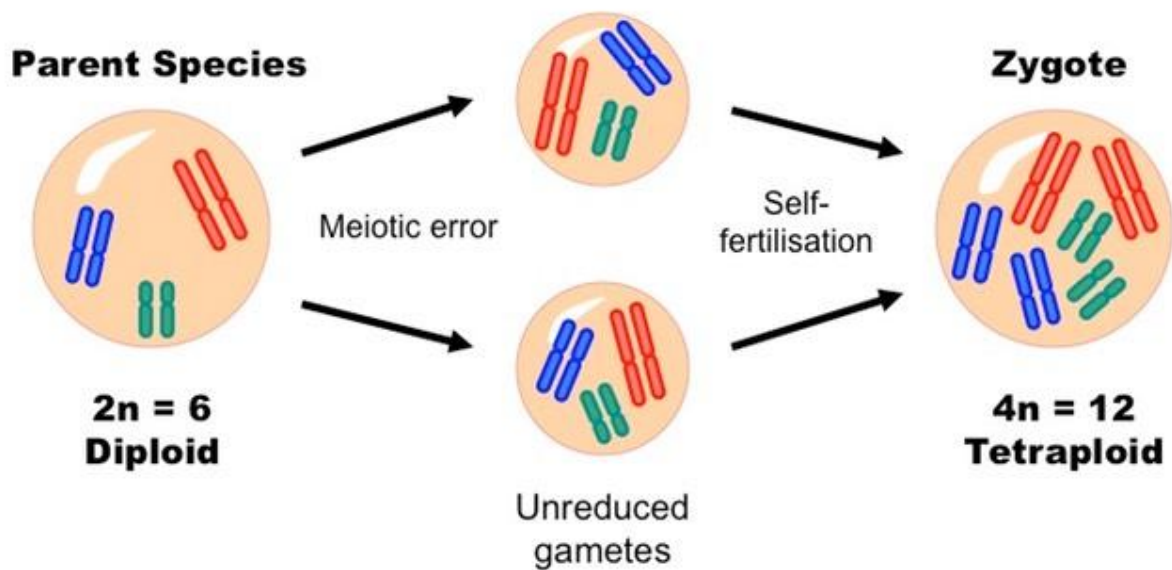
جدانشدن کروموزوم‌ها در میوز به تشکیل گامت‌هایی با عدد کروموزومی غیر طبیعی منجر می‌شود (شکل ۱۷). اگر این گامت‌ها با گامت طبیعی لقاح کنند زیگوت طبیعی تشکیل نخواهد شد.



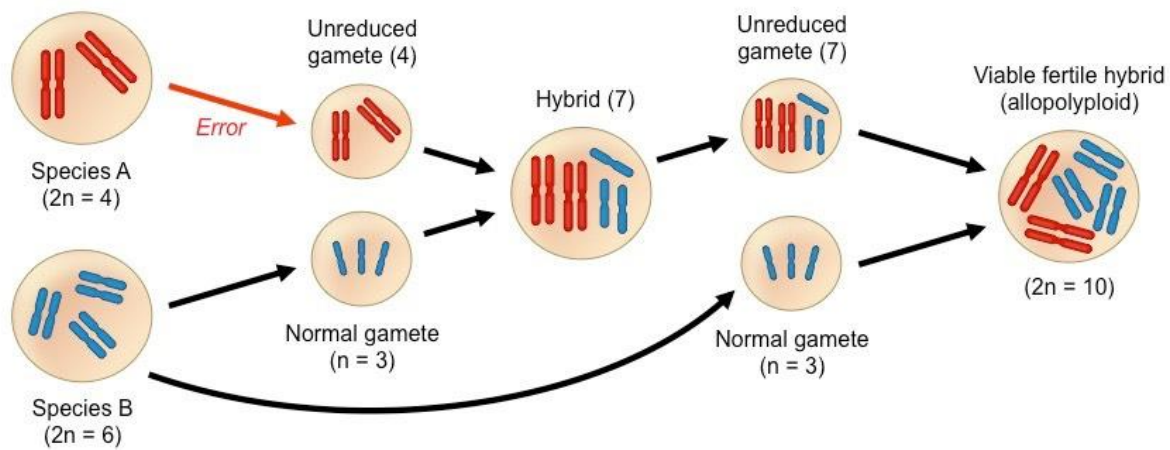
Copyright © 2009 Pearson Education, Inc.

شکل ۱۷. نتیجه آمیزش گامت های حاصل از خطای میوزی با گامت سالم.

اما زیست شناسان دریافته اند که از خودلقاحی گیاه دیپلوئید، می تواند گیاه تتراپلوئیدی ایجاد شود که زیستا و زایاست. شکل ۱۸ چگونگی آن را نشان می دهد. منظور از خود لقاحی این است که مادگی یک گل به وسیله دانه های گرده همان گل بارور شود.



گرچه زاده های حاصل از آمیزش گونه های مختلف زیستا و زایا نیستند اما گاهی به لطف خطای میوزی، امکان ایجاد گونه جدید، بخصوص در گیاهان، فراهم می شود. شکل ۱۹ مکانیسم این نوع گونه زایی را نشان می دهد.



شکل ۱۹. مکانیسم ایجاد گونه جدید در نتیجه خطای میوزی و آمیزش بین گونه ای.