

جهش و انواع آن

تعریف جهش: تغییر دائمی در نوکلئوتیدهای ماده وراثتی

- الف جهش خاموش: تبدیل رمز به رمز هم‌معنی
- ب جهش دگر معنا: تغییر در توالی آمینواسیدها
- پ جهش بی معنا: تبدیل رمز آمینوسید به رمز پایان

۱ جانیشینی

الف جهش‌های کوچک

انواع جهش

۲ جهش‌های اضافه و حذف

- الف مضر بی از سه نوکلئوتید: تغییر در چند آمینواسید
- ب تغییر چارچوب: تغییر شدید در نوع پروتئین محصول

ب جهش‌های بزرگ

۱ نحوه تشخیص: مشاهده کاریوتیپ

۲ انواع

الف ناهنجاری عددی: ناشی از جدانشدن کروموزوم‌ها (مثال: نشانگان داون)

(ناهنجاری‌های فام‌تنی)

ب ناهنجاری ساختاری

- ۱ حذف
- ۲ جابه‌جایی
- ۳ مضاعف‌شدگی
- ۴ واژگونی

پیامدهای جهش

الف جهش در ژن: تأثیر بر نوع پروتئین محصول

- ۱ زیاد
- ۲ کم
- ۳ بی‌تأثیر

ب جهش در توالی‌های تنظیمی

- ۱ بی‌تأثیر بر نوع پروتئین محصول
- ۲ مؤثر بر میزان تولید محصول

علت جهش

الف خطای همانندسازی

ب عوامل جهش‌زا

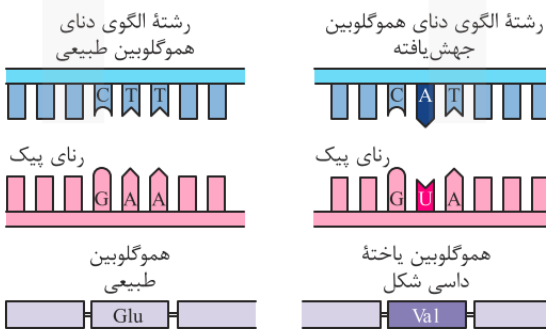
- ۱ عوامل فیزیکی: مانند پرتوی فرابنفش ← ایجاد دوپار تیمین
- ۲ عوامل شیمیایی: مانند بنزوپیرن موجود در دود سیگار ← ایجاد سرطان



- یکی از ویژگی‌های مادهٔ وراثتی، پایداری نسبی آن است. به عبارت دیگر، مادهٔ وراثتی به‌طور محدود تغییرپذیر است. این تغییرپذیری، باعث ایجاد **گوناگونی** می‌شود، توان بقای جمعیت‌ها را در شرایط متغیر محیط افزایش می‌دهد و زمینهٔ **تغییر گونه‌ها** را فراهم می‌کند.
- تغییر دائمی** در نوکلئوتیدهای مادهٔ وراثتی، **جهش** نامیده می‌شود. جهش ممکن است مفید، مضر و یا خنثی باشد. جهش‌ها را می‌توان به دو گروه کوچک و بزرگ تقسیم کرد:
 - جهش‌های کوچک:** یک یا چند نوکلئوتید را در برمی‌گیرند و می‌توانند از نوع حذف، اضافه و یا جانشینی باشند. در جهش کوچک حذفی، یک یا چند نوکلئوتید از دنا حذف و در جهش اضافه، یک یا چند نوکلئوتید به دنا افزوده می‌شوند. در جهش جانشینی، یک نوکلئوتید جانشین نوع دیگری می‌شود.
 - جهش‌های کوچک** ممکن است دگر معنا، خاموش یا بی‌معنا باشند و یا این که منجر به تغییر در چارچوب خواندن رنای پیک شوند.
 - جهش‌های بزرگ:** در اندازهٔ وسیع‌تری رخ می‌دهند و موجب تغییر در تعداد و یا ساختار فام‌تن‌ها می‌شوند. این جهش‌ها ممکن است از نوع حذف، جابه‌جایی، مضاعف‌شدگی یا واژگونی باشند.

- اگر تغییر در مادهٔ وراثتی به‌صورت **دائمی** نباشد، جهش محسوب نمی‌شود. مثلاً اگر طی همانندسازی نوکلئوتید اشتباه در برابر رشتهٔ الگو قرار بگیرد، جهش نیست، چون ممکن است **اصلاح** شود. این اشتباه زمانی جهش به حساب می‌آید که به‌صورت دائمی در بیاید.
- ویژه** جهش‌ها را می‌توان از نظر انتقال به نسل بعد، به سه گروه تقسیم کرد:
 - گروهی از جهش‌ها در **یاخته‌های جنسی** یا یاخته‌های مولد یاخته‌های جنسی رخ می‌دهند. این جهش‌ها می‌توانند به نسل بعد منتقل شوند. دقت کنید که با اطمینان نمی‌توان گفت که این جهش‌ها به نسل بعد منتقل می‌شوند! چون مثلاً ممکن است یاخته‌های جنسی حاوی ژن جهش‌یافته، در لقاح شرکت نکنند.
 - گروهی از جهش‌ها در **یاخته‌های پیکری** رخ می‌دهند که قابلیت **تقسیم** زیادی دارند (مانند یاخته‌های بنیادی). این جهش‌ها به افراد نسل بعد منتقل نمی‌شوند اما به **یاخته‌های نسل بعد** منتقل می‌گردند.
 - گروهی از جهش‌ها در **یاخته‌های پیکری** رخ می‌دهند که قابلیت تقسیم ندارند. این جهش‌ها فقط در همان یاختهٔ جهش‌یافته وجود دارند.
- ویژه** جهش‌ها در صورتی مؤثرند که **اثر فنوتیپی** داشته باشند. به عنوان مثال اگر ژن هموگلوبین در گویچه‌های سفید جهش پیدا کند، اثری ندارد، چون این ژن در گویچه‌های سفید بیان نمی‌شود!

کم‌خونی ناشی از گویچه‌های قرمز داسی شکل



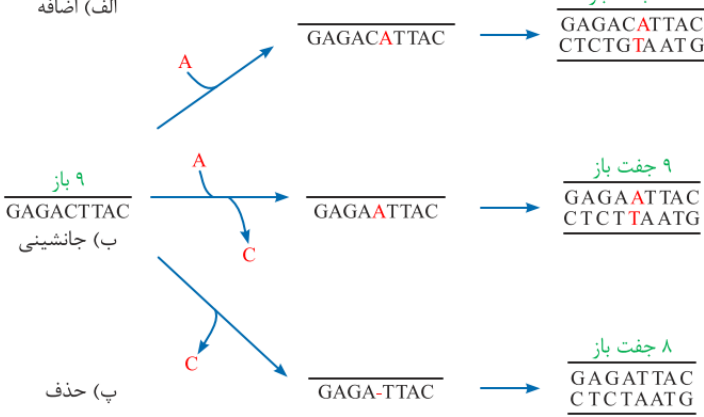
- نوعی بیماری وراثتی است که علت آن تغییر شکل مولکول‌های **هموگلوبین** است. هموگلوبین افراد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل فقط در **ششمین** آمینواسید از **زنجیرهٔ بتا** با هموگلوبین فرد سالم تفاوت دارد.
- در ژن زنجیرهٔ بتای هموگلوبین افراد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل، نوکلئوتید **A** به جای **T** قرار گرفته است.
- ششمین** آمینواسید هموگلوبین در افراد سالم گلوتامیک‌اسید (Glu) اما در افراد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل، والین (Val) است.
- ویژه** مولکول هموگلوبین از دو زنجیرهٔ آلفا و دو زنجیرهٔ بتا تشکیل شده است. در فرد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل، ژن سازندهٔ یکی از این زنجیره‌ها (آلفا) طبیعی و ژن زنجیرهٔ دیگر (بتا) غیرطبیعی است. بنابراین فرد بیمار، دو زنجیرهٔ طبیعی و دو زنجیرهٔ غیرطبیعی دارد! یعنی در کل، مولکول هموگلوبین غیر طبیعی دارای دو آمینواسید اشتباه است.
- بیماری کم‌خونی داسی‌شکل، نتیجهٔ جهش **دگر معنا** است.

- ترکیبی** گویچه‌های قرمز داسی‌شکل در مقایسه با گویچه‌های طبیعی اندازهٔ کوچک‌تری دارند. بنابراین **هماوکریت** فرد مبتلا کمتر از افراد سالم است و به دلیل غیرطبیعی بودن هموگلوبین این افراد، انتقال گازهای تنفسی در خون دچار اختلال می‌شود و میزان **اکسیژن‌رسانی** به بافت‌ها کاهش می‌یابد.

جمع‌بندی مقایسه فرد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل با فرد سالم



فرد	رمز دنا	رمز رنای پیک	آمینواسید
سالم	CTT	GAA	Glu (گلوتامیک‌اسید)
مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل	CAT	GUA	Val (والین)



۱۰ ابتدا جانشینی، حذف و یا اضافه شدن یک نوکلئوتید، سبب تغییر در یک رشته دنا می‌شود اما به دلیل وجود رابطه مکملی بین نوکلئوتیدها، این تغییر منجر به جانشینی، حذف و یا اضافه شدن یک جفت نوکلئوتید می‌شود.

۱۱ جهش جانشینی به طور مستقیم سبب تغییر در دنا می‌شود و می‌تواند موجب تغییر در رمزهای دنا شود. در پی وقوع جهش جانشینی در رمزهای یک ژن پروتئین‌ساز، روزه‌های رنای پیک دچار تغییر می‌شود و این تغییر ممکن است منجر به تولید پروتئین غیرطبیعی شود.

۱۲ ویژه فقط در صورتی جانشینی یک نوکلئوتید می‌تواند منجر به تغییر یک جفت نوکلئوتید شود که دنا همانندسازی کند. بنابراین اگر یاخته وارد مرحله G شود، دنا جهش‌یافته همان یک نوکلئوتید اشتباه را خواهد داشت.

جهش دگر معنا: نوعی جهش جانشینی است که در آن، رمز یک آمینواسید به رمز آمینواسید دیگر تبدیل می‌شود. این جهش، موجب تغییر در نوع آمینواسید در زنجیره پلی‌پپتیدی می‌شود.

۱۳ اگر جهش دگر معنا در رمزه آغاز رخ دهد:

۱ ممکن است رنای پیک ترجمه نشود؛ این اتفاق زمانی می‌افتد که بعد از رمزه آغاز، رمزه AUG دیگری وجود نداشته باشد.

۲ ممکن است طول پلی‌پپتید حاصل از ترجمه کوتاه‌تر از حد طبیعی شود. این اتفاق زمانی می‌افتد که رمزه AUG دیگری وجود داشته باشد و ترجمه از آن آغاز شود.

نوع طبیعی	
دنا	TACTTCAAACCGATT ATGAAGTTTGGCTAA
رنای پیک	AUGAAGUUUGGCUAA
پروتئین	Met - Lys - Phe - Gly پایان

جهش خاموش: نوعی جهش جانشینی است که در آن، یک رمز، به رمز هم‌معنی تبدیل می‌شود. این نوع جهش، تأثیری بر نوع پروتئین محصول ندارد.

مثال ۱: تبدیل رمز یک آمینواسید به رمز دیگر همان آمینواسید.

مثال ۲: تبدیل رمز پایان به رمز پایان دیگر (مثلاً تبدیل UAA به UAG).

جهش بی‌معنا: نوعی جهش جانشینی است که در آن، رمز یک آمینواسید به رمز پایان تبدیل می‌شود. جهش بی‌معنا منجر به کوتاه شدن پلی‌پپتید می‌شود.

جانشینی	حذف یا اضافه جفت نوکلئوتید
G جای T TACTTCAAACCGATT ATGAAGTTTGGCTAA A جای C AUGAAGUUUGGCUAA دگر معنا (تغییر پایان در آمینو اسید)	A اضافی TACATTCAAACCGATT GTGTAAGTTTGGCTAA U اضافی AUGUAAGUUUGGCUAA تغییر چارچوب

تغییر چارچوب: اگر حذف یا اضافه شدن نوکلئوتیدها مضر بی از سه نوکلئوتید نباشد، موجب تغییر چارچوب خواندن رنای پیک می‌شود که نتیجه آن، تغییر در توالی آمینواسیدها است.

G جای T TACTTCAAACCAATT ATGAAGTTTGGCTAA U جای G AUGAAGUUUGGUUAA خاموش (بدون تغییر در توالی آمینواسیدها)	A حذف TACTTCAAACCGATT ATGAAGTTTGGCTAA U حذف AUGAAGUUUGGCUAA... تغییر چارچوب
--	--

۱۴ جهش تغییر چارچوب ممکن است منجر به تشکیل زود هنگام رمز پایان و کوتاه شدن پلی‌پپتید حاصل از ترجمه شود.

۱۵ معمولاً حذف سه نوکلئوتید (یا مضر بی از سه نوکلئوتید)، منجر به تغییر چارچوب نمی‌شود. اما اگر

A جای T TACATCAAACCGATT ATGTAGTTTGGCTAA U جای A AUGUAGUUUGGUUAA بی معنا (ایجاد رمز پایان)	TCC حذف TACAAAACCGATT ATGTTTGGCTAA AAG حذف AUGUUUGGCUAA جهش تغییر چارچوب خواندن رخ نمی‌دهد اما یک آمینواسید حذف شده است.
--	--

حذف یا اضافه شدن مضر بی از سه نوکلئوتید، سبب تغییر رمزه آغاز شود، می‌تواند چارچوب خواندن را تغییر دهد.

۱۶ هر نوع جهش، قطعاً سبب تغییر در ماده وراثتی می‌شود.

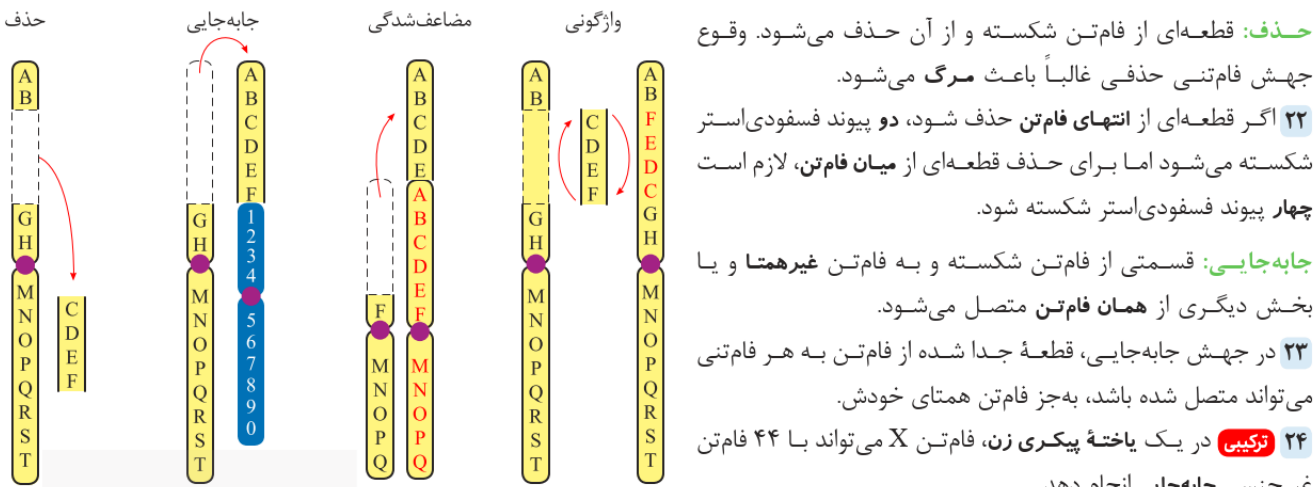
۱۷ هر نوع جهش جانشینی، بر اندازه ماده وراثتی بی تأثیر است.

۱۸ در مقایسه با جهش‌های کوچک در مقیاس وسیع‌تری رخ می‌دهند و منجر به ناهنجاری‌های فام‌تی می‌شوند. این جهش‌ها می‌توانند منجر به تغییر در تعداد یا ساختار فام‌تن‌ها شوند.

زیست‌شناسان با مشاهده **کاریوتیپ** از وجود جهش‌های بزرگ آگاه می‌شوند. کاریوتیپ، تصویری از کروموزوم‌ها با حداکثر فشردگی است که در آن، بر اساس اندازه، شکل، محتوای ژنی و محل قرارگیری سانترومرها مرتب و شماره‌گذاری شده‌اند. معمولاً کاریوتیپ در مرحله متافاز میتوز تهیه می‌شود.

ناهنجاری عددی، ناشی از جدا نشدن فام‌تن‌ها در والدین است. مثلاً **نشانگان داون**، در اثر جدا نشدن کروموزوم‌های ۲۱ ایجاد می‌شود و فرد مبتلا، یک فام‌تن ۲۱ اضافی دارد.

۲۱ ناهنجاری ساختاری در فام‌تن‌ها می‌تواند از نوع حذف، جابه‌جایی، مضاعف‌شدگی و یا واژگونی باشد:



در یک یاخته پیکری مرد، فام‌تن X می‌تواند با ۴۴ فام‌تن غیرجنسی و یک فام‌تن جنسی Y جابه‌جایی انجام دهد.

مضاعف‌شدگی: جهشی است که در آن، قطعه‌ای از فام‌تن شکسته و به فام‌تن همتا متصل می‌شود. در این صورت، یکی از فام‌تن‌های همتا از بعضی ژن‌ها دو نسخه خواهد داشت.

۲۶ جهش مضاعف‌شدگی نمی‌تواند در یاخته هاپلوئید (تک‌لاد) روی دهد؛ چون این یاخته، از هر نوع فام‌تن فقط یک نسخه دارد.

۲۷ در هر جهش فام‌تنی مضاعف‌شدگی، طول دو فام‌تن تغییر می‌کند؛ اندازه یکی از فام‌تن‌های همتا کاهش و اندازه دیگری افزایش می‌یابد.

واژگونی: قطعه‌ای از فام‌تن شکسته و به صورت وارونه به جای قبلی خود متصل می‌شود؛ در نتیجه، جهت قرارگیری قسمتی از یک فام‌تن در جای خودش معکوس می‌شود.

۲۸ در جهش واژگونی، اگر قطعه‌ای از انتهای فام‌تن وارونه شود، دو پیوند فسفودی‌استر شکسته و دو پیوند فسفودی‌استر جدید تشکیل می‌شود اما اگر محل وارونگی میان فام‌تن باشد، چهار پیوند فسفودی‌استر شکسته و چهار پیوند فسفودی‌استر تشکیل می‌گردد.

۲۹ ویژه از بین انواع جهش‌های فام‌تنی، فقط در جهش حذفی قطعه‌ای از دنا حذف می‌شود؛ در سایر انواع جهش‌های فام‌تنی، قطعه جدا شده به فام‌تن دیگری متصل شده و در همان یاخته قرار دارد. به عبارت دیگر، در جهش‌های مضاعف شدن، جابه‌جایی و واژگونی، مقدار ماده وراثتی یاخته پس از تقسیم تغییر نمی‌کند!

جمع‌بندی انواع جهش

تغییر در توالی آمینواسیدها	دگر معنا	جانشینی	جهش‌های کوچک
بی‌تأثیر در توالی آمینواسیدها	خاموش		
تبدیل رمز آمینواسید به رمز پایان و کوتاه شدن پلی‌پپتید	بی‌معنا		
تعداد نوکلئوتیدهای حذف یا اضافه شده مضربی از ۳ نیست.	تغییر چارچوب	حذف و اضافه	جهش‌های بزرگ
منجر به تغییر چارچوب نمی‌شود.	مضربی از سه نوکلئوتید		
تغییر در تعداد فام‌تن‌ها، مانند نشانگان داون	نتیجه جدا نشدن فام‌تن‌ها		
از دست رفتن قطعه‌ای از فام‌تن	حذف	ناهنجاری ساختاری	
انتقال قطعه‌ای از فام‌تن به فام‌تن غیرهمتا یا بخش دیگری از خودش	جابه‌جایی		
انتقال قطعه‌ای از فام‌تن به فام‌تن همتا	مضاعف‌شدگی		
معکوس شدن جهت قرارگیری قسمتی از یک فام‌تن	واژگونی		

کل محتوای ماده وراثتی جاندار است.

۳۰ ژنگان باکتری شامل یک نسخه از **فام تن اصلی** و یک نسخه از **فام تن کمکی** (در صورت وجود) است.

۳۱ ژنگان **یوکاریوت‌ها** شامل محتوای ماده وراثتی هسته‌ای و سیتوپلاسمی است.

۳۲ ژنگان **هسته‌ای**، شامل یک نسخه از هر یک از انواع فام‌تن‌های جاندار است. مثلاً ژنگان هسته‌ای انسان شامل ۲۲ فام‌تن **غیرجنسی** و فام‌تن‌های **جنسی X** و **Y** است.

۳۳ ژنگان سیتوپلاسمی انسان و سایر جانوران، شامل دنای **راکیزه** است؛ در حالی که ژنگان سیتوپلاسمی گیاهان، شامل دنای **راکیزه** و **دیسه** است.

۳۴ **ویژه** در ژنگان، برای هر صفت **تک‌جایگاهی** یک دگره وجود دارد اما صفت **چندجایگاهی** می‌تواند چندین دگره داشته باشد! به عبارت دیگر، برای هر یک از جایگاه‌های ژنی آن یک دگره در ژنگان وجود دارد.

پیامدها و علت جهش

اصل مطلب



پیامد جهش: به عوامل مختلفی بستگی دارد که یکی از آن‌ها **محل وقوع جهش** در ژنگان است. بعضی جهش‌ها تأثیری در نوع محصول ژن ندارند اما بعضی دیگر از جهش‌ها منجر به تولید پروتئینی می‌شوند که عملکرد آن با پروتئین طبیعی متفاوت است. بعضی دیگر از جهش‌ها، نوع پروتئین محصول را تغییر نمی‌دهند اما بر میزان تولید آن مؤثرند.

علت جهش: جهش می‌تواند بر اثر **خطای همانندسازی** و **عوامل جهش‌زا** رخ دهد. عوامل جهش‌زا می‌توانند **فیزیکی** یا **شیمیایی** باشند. پرتوی فرابنفش از عوامل جهش‌زای فیزیکی و بنزوپیرن از عوامل جهش‌زای شیمیایی است.

۳۵ **ویژه** وقوع جهش در **توالی‌های بین ژنی**، تأثیری بر توالی محصول ژن ندارد؛ چون توالی‌های بین ژنی رونویسی نمی‌شوند.

۳۶ میزان تأثیر جهشی که سبب تغییر یک آمینواسید در آنزیم می‌شود:

① در صورت تغییر آمینواسید در **جایگاه فعال آنزیم**، احتمال تغییر عملکرد آنزیم بسیار زیاد است.

② اگر جهش دور از جایگاه فعال رخ دهد، احتمال تغییر در عملکرد آنزیم، کم یا حتی صفر است.

۳۷ جهش در **توالی‌های تنظیمی** (راه‌انداز، افزاینده، اپراتور و جایگاه اتصال فعال‌کننده):

① هیچ تأثیری بر توالی آمینواسیدی پروتئین محصول ندارد؛ بلکه بر **میزان تولید پروتئین** تأثیر می‌گذارد.

② جهش در راه‌انداز، ممکن است آن را به راه‌انداز قوی‌تر یا ضعیف‌تر تبدیل کند و در نتیجه، **میزان رونویسی** را بیشتر و یا کمتر کند.

۳۸ جهش در **دنا** رخ می‌دهد اما ممکن است اثر آن در رنا و پروتئین ظاهر شود.

۳۹ **ویژه** جهش‌هایی که در **دنا** رخ می‌دهند، از نظر تأثیر بر رنا و پروتئین متفاوت‌اند. به موارد زیر دقت کنید:

① وقوع جهش در **دنا**، ممکن است هیچ اثری در رنا نداشته باشد؛ مانند جهش در توالی‌های بین ژنی.

② اگر جهش در **توالی اینترونی** رخ دهد، اثر آن در رنای پیک اولیه مشاهده می‌شود اما به دلیل حذف آن، اثری بر رنای پیک بالغ نخواهد داشت.

③ جهش‌هایی که در **توالی‌های اگزونی** رخ می‌دهند، قطعاً در رنای پیک اولیه و بالغ تغییر ایجاد می‌کنند. این جهش‌ها ممکن است در توالی آمینواسیدی پروتئین تغییر ایجاد کنند (جهش دگرمعنا) و یا این که بر توالی آمینواسید پروتئین بی‌تأثیر باشند (جهش خاموش).

۴۰ جهش **جانشینی** قطعاً تأثیری بر **طول دنا** ندارد و معمولاً بر طول رنای رونوشت آن نیز بی‌تأثیر است.

۴۱ در جهش **خاموش**، توالی نوکلئوتیدی دنا و رنای رونوشت آن دچار تغییر می‌شوند اما توالی آمینواسیدی پلی‌پپتید محصول تغییر نمی‌کند. بنابراین جهش خاموش **تأثیر فنوتیپی** ندارد.

۴۲ جهش‌های **دگرمعنا** تغییری در طول دنا، رنای پیک و پلی‌پپتید محصول ایجاد نمی‌کنند اما توالی نوکلئوتیدی دنا و رنای پیک و همچنین توالی آمینواسیدی پلی‌پپتید محصول را تغییر می‌دهند.

۴۳ جهش **دگرمعنا** قطعاً توالی آمینواسید پلی‌پپتید محصول را تغییر می‌دهد اما ممکن است بر **عملکرد پروتئین** محصول بی‌تأثیر باشد.

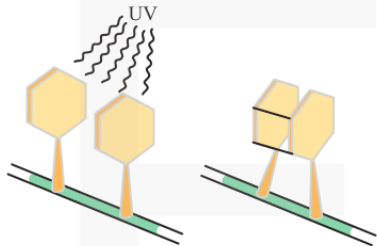
۴۴ هر جهش کوچک از نوع حذف و اضافه قطعاً بر **طول دنا** مؤثر است. اگر این جهش در توالی ژنی رخ دهد، قطعاً بر طول رونوشت آن نیز مؤثر است اما اگر در توالی‌های بین ژنی و یا توالی‌های تنظیمی رخ دهد، بر طول رنای رونوشت آن بی‌تأثیر است.

۴۵ **ویژه** در ارتباط با صفات مستقل از جنس، وقوع جهش در یکی از **فام‌تن‌های فرد سالم** و خالص، منجر به تغییر فنوتیپ نمی‌شود. چون این فرد به‌طور طبیعی از هر فام‌تن **دو نسخه** دارد و اگر در یکی از فام‌تن‌ها جهش روی دهد، فام‌تن هم‌تای آن سالم است و می‌تواند محصول طبیعی تولید نماید.

۴۶ **ویژه** برای آن که اثر یک جهش در فنوتیپ ظاهر شود، اولاً باید جهش از نوع **مؤثر** باشد؛ ثانیاً جهش در **یاخته‌ای** رخ دهد که آن ژن را بیان می‌کند! مثلاً اگر ژن سازنده انسولین در **یاخته‌های عصبی** جهش پیدا کند، تأثیر فنوتیپی نخواهد داشت. چون این یاخته‌ها قرار نیست ژن انسولین را بیان کنند.

۴۷ اگر جهش از طریق گامت‌ها به یاخته تخم منتقل شود و یا این که در این یاخته رخ دهد، با فرض این که تقسیمات یاخته‌ای به‌طور طبیعی انجام شوند، همه یاخته‌های پیکری جاندار حاصل از آن دارای جهش خواهند بود.

۴۸ ویژه معمولاً جهش‌هایی که در یاخته‌های پیکری رخ می‌دهند، به نسل بعد منتقل نمی‌شوند اما اگر جاندار دارای تولیدمثل غیرجنسی باشد، جهش در یاخته‌های پیکری نیز می‌تواند به نسل بعد منتقل شود!



۴۹ پرتوهای فرابنفش نور خورشید، موجب تشکیل پیوند بین دو باز تیمین مجاور و تشکیل دوپار تیمین (دیمر تیمین) می‌شوند. دوپار تیمین سبب اختلال در عملکرد دنابسپاراز می‌شود و همانندسازی دنا را با مشکل مواجه می‌کند.

۵۰ ترکیبی امواجی که در سونوگرافی مورد استفاده قرار می‌گیرند (امواج صوتی)، برخلاف پرتوهای ایکس که در رادیولوژی به کار می‌روند، جهش‌زا نیستند.

۵۱ بنزوپیرن، از عوامل جهش‌زای شیمیایی است که در دود سیگار وجود دارد و باعث ایجاد جهش در یاخته‌های دستگاه تنفس و در نهایت سرطان می‌شود.

۵۲ جهش ممکن است اکتسابی و یا ارثی باشد. جهش‌های ارثی از طریق گامت از یک یا هر دو والد به فرزند می‌رسند.

۵۳ غذاهای گیاهی به دلیل داشتن پاداکسنده و الیاف، در پیشگیری از سرطان مؤثرند.

۵۴ مصرف غذاهای نمک‌سود یا دودی شده و همچنین مصرف زیاد غذاهای کباب شده یا سرخ شده می‌تواند منجر به سرطان شود.

۵۵ ترکیبات نیتريت‌دار (مانند سدیم‌نیتريت) موجود در سوسیس و کالباس در بدن به ترکیبات سرطان‌زا تبدیل می‌شوند.

دقت کنید: نیتريت سرطان‌زا نیست؛ بلکه ترکیبات نیتريت‌دار قابلیت سرطان‌زایی دارند!



تغییر در گذر زمان

الف) در میان افراد هرگونه، تفاوت‌های فردی وجود دارد.

ب) افراد سازگارتر با محیط، شانس بقا و تولیدمثل بیشتری دارند. (انتخاب طبیعی)

خزانه ژن: مجموع همه دگره‌های موجود در همه جایگاه‌های ژنی افراد جمعیت

الف) شرط برقراری: حفظ فراوانی نسبی دگره‌ها و ژن‌نمودها از نسلی به نسل بعد

تبادل در جمعیت

- ۱ جهش: غنی‌تر کردن خزانه ژن با افزودن دگره‌های جدید و افزایش گوناگونی در جمعیت
- ۲ رانش دگره‌ای: تغییر فراوانی دگره‌ای بر اثر رویدادهای تصادفی
- ۳ شارش ژن: انتقال دگره‌ها از یک جمعیت به جمعیت دیگر با مهاجرت افراد
- ۴ آمیزش غیرتصادفی: آمیزشی که به فنوتیپ یا ژنوتیپ افراد بستگی دارد.
- ۵ انتخاب طبیعی: با برگزیدن افراد سازگارتر، فراوانی دگره‌ها را تغییر می‌دهد.

ب) عوامل برهم‌زننده:

الف) گوناگونی دگره‌ای در کامه‌ها: به دلیل آرایش متفاوت تتراده‌ها در میوز ۱

ب) نوترکیبی: تبادل قطعاتی از کروموزوم‌های هم‌تا بر اثر کراس‌ینگ‌اور

عوامل تداوم گوناگونی در جمعیت‌ها

- ۱ مالاریا: نوعی بیماری که بر اثر نوعی انگل تک‌یاخته‌ای ایجاد می‌شود.
- ۲ کم‌خونی داسی‌شکل: نوعی بیماری مستقل از جنس نهفته
- الف) $Hb^A Hb^A$: در معرض خطر بیماری مالاریا
- ب) $Hb^S Hb^S$: مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل
- پ) $Hb^A Hb^S$: مقاوم در برابر مالاریا

پ) اهمیت ناخالص‌ها

مثال: ارتباط مالاریا و کم‌خونی داسی‌شکل



مدتی است که باکتری‌ها نسبت به پادزیست‌ها (آنتی‌بیوتیک‌ها) مقاوم شده‌اند. مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به داروها، نشان می‌دهد که موجودات زنده می‌توانند در گذر زمان، تغییر کنند.

افراد یک گونه (مانند انسان) با وجود ویژگی‌های مشترک، تفاوت‌های فردی نیز دارند. در هر جمعیت، افرادی که سازگاری بیشتری با محیط خود دارند، شانس بیشتری برای زنده ماندن و تولیدمثل دارند و در نتیجه، شانس آن‌ها برای انتقال صفات به نسل بعد بیشتر است. محیط تعیین می‌کند که کدام صفات با فراوانی بیشتری به نسل بعد منتقل شوند. فرایندی که در آن، افراد سازگارتر با محیط، انتخاب می‌شوند، انتخاب طبیعی نام دارد.



فلش‌بک: جمعیت، شامل تعدادی از افراد یک گونه است که در یک زمان و یک مکان زندگی می‌کنند. بنابراین در تعریف جمعیت، سه چیز باید مشخص باشد: (۱) گونه (۲) زمان (۳) مکان. به عنوان مثال اگر بگوییم جمعیت انسان‌هایی که در ایران زندگی می‌کنند، درست نیست چون زمان مشخص نشده است. اگر بگوییم جمعیت درختان تهران در سال ۱۳۹۸ درست نیست چون گونه مشخص نیست. اما اگر بگوییم جمعیت گربه‌های تهران در سال ۱۳۹۸ درست است.

۱ وجود تفاوت‌های فردی در جمعیت، شانس بقا و تولیدمثل آن را افزایش می‌دهد. همچنین جمعیت می‌تواند در صورت تغییر شرایط محیط، با آن سازگار شود و تغییر نماید.

۲ چگونگی مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به پادزیست:

- ۱ در ابتدا تعداد اندکی از باکتری‌ها در برابر پادزیست‌ها مقاوم بودند.
- ۲ باکتری‌هایی که در برابر پادزیست‌ها مقاوم نبودند، در گذر زمان از بین رفتند.
- ۳ باکتری‌های مقاوم تکثیر شدند و به تدریج همه جمعیت را به خود اختصاص دادند. در نتیجه، جمعیت از غیرمقاوم به مقاوم تغییر یافت.

۳ ویژه راه‌های انتقال ژن به باکتری عبارتند از:

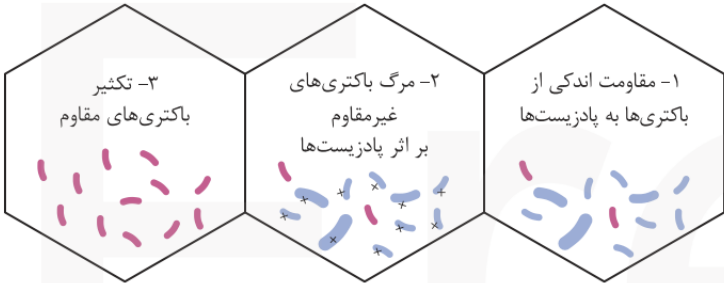
- ۱ تقسیم شدن باکتری: در این روش، ابتدا دناي باکتری همانندسازی می‌کند، سپس هنگام تقسیم، هر یک از مولکول‌ها به یک یاخته منتقل می‌شود.
- ۲ دریافت دنا از محیط بیرون: مثلاً در آزمایش‌های گریفیت و ایوری، باکتری می‌تواند دنا را از مایع خارج شده از باکتری‌های دیگر (عصاره یاخته‌ای) دریافت کند.
- ۳ انتقال دیسک یک باکتری به باکتری دیگر: در این روش، باکتری با دریافت دیسک، توانایی‌های جدیدی مانند مقاومت نسبت به پادزیست (آنتی‌بیوتیک) را به دست می‌آورد. چون ژن مقاومت در برابر پادزیست، در دناي کمکی (دیسک) قرار دارد.
- ۴ انتخاب طبیعی، موجب تغییر در فرد نمی‌شود، بلکه جمعیت را تغییر می‌دهد.

خزانه ژن و تعادل در جمعیت



مجموع همه دگره‌های موجود در همه جایگاه‌های ژنی افراد یک جمعیت، خزانه ژن آن جمعیت را تشکیل می‌دهد. اگر در جمعیتی فراوانی نسبی دگره‌ها و ژن‌نمودها از نسلی به نسل دیگر ثابت باشد، آن‌گاه می‌گویید جمعیت در حال تعادل ژنی است اما خروج جمعیت از تعادل، منجر به تغییر آن می‌شود. عوامل زیر باعث خروج جمعیت از تعادل می‌شوند:

- ۱ جهش: با افزودن دگره‌های جدید، خزانه ژن را غنی‌تر می‌کند. بسیاری از جهش‌ها اثر فوری بر رخ‌نمود (فنوتیپ) ندارند اما با تغییر شرایط محیط، ممکن است دگره جدید، سازگارتر از دگره‌های قبلی باشد.
- ۲ رانش دگره‌ای: فرایندی است که باعث تغییر فراوانی دگره‌ای بر اثر رویدادهای تصادفی می‌شود.
- ۳ شارش ژن: وقتی افراد یک جمعیت به جمعیت دیگر مهاجرت می‌کنند، تعدادی از ال‌های جمعیت مبدأ را به جمعیت مقصد وارد می‌کنند و با این کار سبب تغییر در فراوانی نسبی دگره‌های هر دو جمعیت می‌شوند.
- ۴ آمیزش غیر تصادفی: در آمیزش‌های تصادفی، احتمال آمیزش هر فرد با افراد جنس دیگر در جمعیت، برابر است. آمیزشی که به رخ‌نمود و یا ژن‌نمود افراد بستگی داشته باشد، غیر تصادفی است و فراوانی نسبی دگره‌ها را تغییر می‌دهد.
- ۵ انتخاب طبیعی: پدیده‌ای است که بر اثر آن، افراد سازگارتر با محیط برگزیده می‌شوند و از فراوانی افراد ناسازگار کاسته می‌شود و در نتیجه، خزانه ژنی نسل بعد را تغییر می‌دهد.



۵ در خزانه ژن برخلاف ژنگان، فام تن همتا وجود دارد. چون ژنگان شامل یک نسخه از هر فام تن است اما خزانه ژن شامل همه دگره‌های موجود در همه جایگاه‌های ژنی است و در آن همه فام‌تن‌ها در نظر گرفته می‌شوند.

۶ **ویژه** مجموع فراوانی نسبی انواع دگره‌های مربوط به یک صفت، برابر با یک است. مثلاً اگر صفتی توسط دو دگره A و a کنترل شود، ممکن است فراوانی نسبی الل A در خزانه ژن $0/7$ و فراوانی نسبی الل a نیز $0/3$ باشد که مجموع آن‌ها می‌شود $0/7 + 0/3 = 1$.

۷ هر عاملی که باعث خروج جمعیت از تعادل می‌شود، سبب تغییر در فراوانی دگره‌ها یا ژن‌نمودها می‌شود.

۸ اگر جهش منجر به افزایش گوناگونی در جمعیت شود، می‌تواند شانس بقای جمعیت را افزایش دهد. صفتی که در اثر جهش ایجاد می‌شود، ممکن است در حالت عادی مطلوب به حساب نیاید، اما با تغییر شرایط محیط سبب سازگاری جمعیت شود.

۹ **ویژه** انتخاب طبیعی بر اساس فنوتیپ اثر می‌کند. بنابراین اگر به عنوان مثال افراد AA و Aa هر دو فنوتیپ بارز مطلوب داشته باشند، انتخاب طبیعی هر دوی آن‌ها را انتخاب می‌کند.

۱۰ انتخاب طبیعی بر جهش‌هایی مؤثر است که تأثیر فنوتیپی داشته باشند. اگر یک جهش منجر به افزایش یا کاهش سازگاری افراد با محیط شود، انتخاب طبیعی نیز در جهت افزایش یا کاهش ژن جهش یافته عمل می‌کند اما به عنوان مثال اگر در یک ژن، جهش خاموش روی دهد، انتخاب طبیعی تأثیری بر فراوانی آن نخواهد داشت.

۱۱ برای این که جمعیت در تعادل ژنی باشد، پنج شرط وجود دارد: ۱) جهش رخ ندهد. ۲) جمعیت بزرگ باشد تا رویدادهای تصادفی، سبب تغییر شدید در فراوانی الل‌ها نشود. ۳) مهاجرت صورت نگیرد. ۴) آمیزش‌ها تصادفی باشند. ۵) انتخاب طبیعی رخ ندهد.

۱۲ به ندرت پیش می‌آید که جمعیت‌های واقعی در طبیعت در حال تعادل ژنی باشند؛ چون در بیشتر جمعیت‌ها این پنج شرط به صورت یک‌جا فراهم نیستند.

نقد کتاب درسی: در این قسمت دو نقد اساسی به کتاب درسی وارد است: اولاً مانند نقل و نبات از فراوانی نسبی دگره‌ها و ژن‌نمودها صحبت می‌کند؛ در حالی که این موضوع در کتاب درسی نظام جدید وجود ندارد و اساساً بدون دانستن نحوه محاسبه آن‌ها، قابل درک نیست. ثانیاً در کتاب درسی می‌خوانیم: «اگر در جمعیتی، فراوانی نسبی دگره‌ها یا ژن‌نمودها از نسلی به نسل دیگر ثابت باشد، آن‌گاه جمعیت در حال تعادل است.» در حالی که ممکن است با وجود ثابت ماندن فراوانی دگره‌ها، فراوانی ژن‌نمودها تغییر کند و جمعیت را از تعادل خارج کند! به عبارت دیگر، برای حفظ تعادل، باید فراوانی دگره‌ها و فراوانی ژن‌نمودها هر دو ثابت باشند.

۱۳ رانش دگره‌ای پدیده‌ای کاملاً تصادفی است و برخلاف انتخاب طبیعی، منجر به سازگاری بیشتر افراد با محیط‌شان نمی‌شود. حتی ممکن است طی رانش، دگره‌های مطلوب از نظر انتخاب طبیعی حذف شوند.

۱۴ هر چه جمعیت کوچک‌تر باشد، اثر رانش دگره‌ای بیشتر است.

۱۵ اگر شارش ژن بین دو جمعیت به صورت پیوسته و دو سویه ادامه یابد، سرانجام خزانه ژنی دو جمعیت شبیه به هم می‌شود.

۱۶ در طبیعت، بیشتر آمیزش‌ها غیر تصادفی هستند؛ مثلاً انتخاب جفت بر اساس ویژگی‌های ظاهری یا رفتاری، نمونه‌ای از آمیزش غیر تصادفی است.

۱۷ جهش در جهت افزایش تنوع در خزانه ژنی عمل می‌کند اما انتخاب طبیعی، آمیزش‌های غیر تصادفی و رانش دگره‌ای موجب کاهش تنوع ژنی در جمعیت‌ها می‌شوند. شارش ژن نیز می‌تواند باعث کاهش تنوع در جمعیت مبدأ و افزایش تنوع در جمعیت مقصد شود.

۱۸ انتخاب طبیعی باعث ایجاد صفات سازگارتر با محیط نمی‌شود، بلکه با انتخاب افرادی که صفات سازگارتر دارند، فراوانی صفات آن‌ها را افزایش می‌دهد.

۱۹ برای این که انتخاب طبیعی بتواند جمعیت را تغییر دهد، لازم است بین افراد جمعیت تفاوت‌های فردی وجود داشته باشد.

◀ تداوم گوناگونی در جمعیت‌ها

اصل مطلب



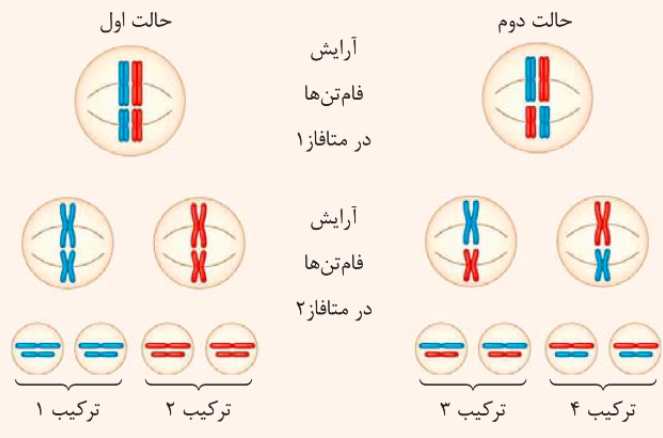
انتخاب طبیعی منجر به سازگاری بیشتر جمعیت با محیط می‌شود اما با انتخاب شدن افراد سازگارتر، عملاً گوناگونی در جمعیت‌ها کاهش می‌یابد. از طرف دیگر وجود گوناگونی در بین افراد یک جمعیت، توان بقای آن را در شرایط محیطی جدید افزایش می‌دهد. بنابراین به سازوکارهایی نیاز است که با وجود انتخاب طبیعی، بتوانند گوناگونی را در جمعیت حفظ کنند. عوامل زیر، در جهت تداوم گوناگونی در جمعیت‌ها عمل می‌کنند:

۱ گوناگونی دگرهای در گامت‌ها: نوع فام‌تن‌هایی که هر گامت به نسل بعد انتقال می‌دهد، به **آرایش تتراده‌ها** در مرحله متافاز میوز ۱ بستگی دارد. آرایش‌های تترادی مختلف، منجر به تولید گامت‌های مختلفی می‌شوند.

۲ نوترکیبی: گاهی ممکن است هنگام تشکیل تتراد (چهارتایه) در مرحله پروفاز میوز ۱، قطعاتی از کروماتیدهای غیرخواه‌ری از کروموزوم‌های هم‌تا با هم مبادله شوند. این پدیده، **کراسینگ‌اور** (چلیپایی شدن) نامیده می‌شود.

۳ اهمیت ناخالص‌ها: اگر در یک محیط، افراد ناخالص سازگاری بیشتری نسبت به افراد خالص داشته باشند، هر دو نوع ال در خزانه ژنی حفظ می‌شود.

ارتباط بین بیماری‌های **مالاریا** و **کم‌خونی داسی‌شکل**، مثالی از اهمیت ناخالص‌هاست.

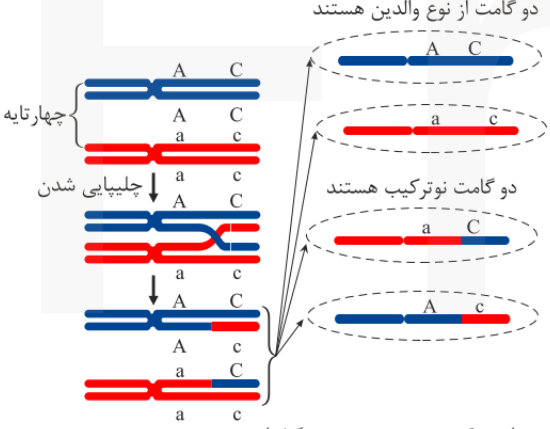


۲۰ بسیاری از جهش‌ها **اثر فوری** بر رخ‌نمود ندارند و ممکن است تشخیص داده نشوند اما تعداد اندکی از جهش‌ها اثر فوری بر فنوتیپ دارند و به‌راحتی تشخیص داده می‌شوند.

۲۱ در حالت عادی، هر نوع آرایش تترادی، منجر به تولید دو نوع گامت می‌شود. بنابراین یاخته‌زاینده‌ای که برای آن دو نوع آرایش تترادی وجود دارد، توانایی تولید چهار نوع گامت را دارد.

۲۲ ویژه در هر تقسیم میوز (کاستمان) فقط یکی از انواع آرایش تترادی ایجاد می‌شود. به همین دلیل، از هر تقسیم میوز (بدون وقوع کراسینگ‌اور) حداکثر دو نوع گامت حاصل می‌شود.

۲۳ چلیپایی شدن، بین دو کروموزوم هم‌تا روی می‌دهد و در صورتی که قطعات مبادله شده حاوی **ال‌های متفاوت** باشند، منجر به **نوترکیبی** می‌شود.



۲۴ اگر در چلیپایی شدن، قطعاتی با ال‌های متفاوت مبادله شوند، **فامینک‌های نوترکیب** (کروماتیدهای نوترکیب) ایجاد می‌شوند. گامت‌هایی که فامینک‌های نوترکیب را دریافت می‌کنند، **گامت‌های نوترکیب** نامیده می‌شوند.

۲۵ بدون چلیپایی شدن، از هر یاخته‌زاینده گامت، حداکثر دو نوع گامت حاصل می‌شود اما در صورت وقوع چلیپایی شدن و مبادله قطعاتی با ال‌های متفاوت، یاخته‌زاینده می‌تواند حداکثر چهار نوع گامت تولید نماید. در شکل مقابل، پس از چلیپایی شدن، چهار نوع گامت ایجاد شده‌اند. از این چهار نوع گامت، دو گامت (ac و AC) قبلاً نیز توسط والدین تولید می‌شدند و به آن‌ها گامت‌های والدی می‌گویند اما دو گامت (aC و Ac) قبلاً تولید نمی‌شدند و گامت‌های نوترکیب محسوب می‌شوند.

۲۶ مالاریا به وسیله نوعی **انگل تک‌یاخته‌ای** ایجاد می‌شود که بخشی از چرخه زندگی خود را در **گویچه‌های قرمز** می‌گذراند.

۲۷ افراد از نظر **کم‌خونی داسی‌شکل**، به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱) افراد $Hb^S Hb^S$ به کم‌خونی داسی‌شکل مبتلا هستند و معمولاً در سنین پایین می‌میرند.
- ۲) افراد $Hb^A Hb^A$ گویچه‌های قرمز طبیعی دارند اما در صورت **آلوده شدن** به انگل مالاریا، به این بیماری مبتلا می‌شوند.
- ۳) افراد $Hb^A Hb^S$ در شرایط عادی، گویچه‌های قرمز طبیعی دارند. گویچه‌های قرمز این افراد فقط هنگامی داسی‌شکل می‌شوند که مقدار اکسیژن محیط کم باشد. این افراد در برابر مالاریا **مقاوم** هستند؛ چون وقتی انگل مالاریا وارد گویچه‌های قرمز آن‌ها می‌شود، شکل گویچه‌ها داسی‌شکل می‌شود و **انگل می‌میرد**.

۲۸ فراوانی ال Hb^S در مناطقی که مالاریا شایع است، بسیار بیشتر از سایر مناطق است که علت آن، مقاوم بودن افراد $Hb^A Hb^S$ نسبت به مالاریا است.

۲۹ ویژه کراسینگ‌اور، جهش محسوب نمی‌شود! برای این که مطمئن شوید، آن را با همه انواع جهش فام‌تنی مقایسه می‌کنیم:

- ۱) در جهش **حذفی** قطعه‌ای از یک فام‌تن کلاً از آن جدا می‌شود و به هیچ فام‌تنی متصل نمی‌شود؛ اما در چلیپایی شدن (کراسینگ‌اور) قطعاتی از دو فام‌تن جابه‌جا می‌شوند. پس حذف محسوب نمی‌شود.
- ۲) در جهش **جابه‌جایی**، قطعه‌ای از فام‌تن، به فام‌تن غیرهم‌تا متصل می‌شود در حالی که در چلیپایی شدن، مبادله بین فام‌تن‌های هم‌تا صورت می‌گیرد، پس جابه‌جایی محسوب نمی‌شود.

۲) در جهش **واژگونی**، قطعه‌ای از یک فام‌تن پس از شکستن، به‌صورت وارونه در جای قبلی خود قرار می‌گیرد اما در کراسینگ‌اور و ارونگی رخ نمی‌دهد. پس جهش واژگونی هم محسوب نمی‌شود.

۴) در جهش **مضاعف‌شدن**، قطعه‌ای از یک فام‌تن به‌صورت کاملاً یک طرفه به همتای آن متصل می‌شود و یکی از فام‌تن‌های همتا صاحب دو نسخه از بعضی ژن‌ها می‌شود اما در نتیجه کراسینگ‌اور، هیچ یک از قطعات فام‌تن دو برابر نمی‌شود. بنابراین مضاعف‌شدگی نیز محسوب نمی‌شود.

۳۰ **ویژه** در جاندارانی که میوز و **تولیدمثل جنسی** ندارند، کراسینگ‌اور مشاهده نمی‌شود. مثلاً باکتری‌ها میوز ندارند و در نتیجه نمی‌توانند کراسینگ‌اور داشته باشند. همچنین تولیدمثل غیرجنسی گیاهان بدون دخالت میوز انجام می‌شود، بنابراین احتمال کراسینگ‌اور در آن وجود ندارد.

۳۱ **ترکیبی** در افراد مبتلا به **مالاریا**:

۱) به دلیل کاهش اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها، ترشح **اریتروپویتین** از کبد و کلیه‌ها افزایش می‌یابد.

۲) تکثیر انگل در گویچه‌های قرمز منجر به تخریب این یاخته‌ها می‌شود. در نتیجه، تجزیهٔ هموگلوبین توسط درشت‌خوارها و میزان تولید **بیلی‌روبین** افزایش می‌یابد.

۳۲ در مناطقی که مالاریا شیوع ندارد، شانس بقا و تولیدمثل افراد $Hb^A Hb^A$ و $Hb^A Hb^S$ برابر است اما در مناطقی که مالاریا شیوع دارد، شانس بقا و تولیدمثل **افراد ناخالص** ($Hb^A Hb^S$) بیشتر از افراد خالص بارز ($Hb^A Hb^A$) است. ضمناً افراد $Hb^S Hb^S$ شانس بقای کمی دارند و معمولاً در سنین پایین می‌میرند.

۳۳ عامل اصلی که تعیین می‌کند کدام صفات به نسل بعدی منتقل شوند، **محیط** است. به‌تدریج، فراوانی صفات سازگار با محیط افزایش و فراوانی صفات ناسازگار کاهش می‌یابد.

۳۴ دگره نامطلوبی که در اثر جهش پدید می‌آید، ممکن است با **تغییر شرایط محیط**، دگره سازگار محسوب شود.

۳۵ در مناطقی که مالاریا شیوع دارد، دگره Hb^S نوعی **دگره سازگارکننده** است و داشتن یک نسخه از آن، سبب افزایش شانس بقا و تولیدمثل می‌شود.

۳۶ **ویژه** انتخاب طبیعی، دگره‌های **نامطلوب بارز** را سریع‌تر از دگره‌های نامطلوب نهفته حذف می‌کند؛ چون دگره نامطلوب نهفته توسط افراد ناخالص در خزانهٔ ژنی حفظ می‌شوند. به همین دلیل، بیشتر بیماری‌ها از نوع نهفته‌اند. برای درک بهتر به دو حالت زیر توجه کنید:

حالت ۱: فرض کنید دگره A عامل سلامت و دگره نهفته a عامل یک **بیماری کشندهٔ نهفته** باشد. در این صورت افراد aa به علت ابتلا به بیماری می‌میرند و افراد AA و Aa باقی می‌مانند. در بین افرادی که زنده می‌مانند، افراد Aa دگرهٔ بیماری را دارند.

حالت ۲: فرض کنید دگره B عامل یک **بیماری کشندهٔ بارز** و دگره b عامل سلامت باشد. در این صورت افراد BB و Bb به علت ابتلا به بیماری می‌میرند و فقط افراد bb زنده می‌مانند و هیچ یک از افرادی که زنده می‌مانند، دگرهٔ بیماری را ندارند.

جمع‌بندی عوامل مؤثر بر گوناگونی دگره‌ای در جمعیت‌ها



عوامل افزایش‌دهندهٔ گوناگونی	جهش	غنی‌تر کردن خزانه ژن با ایجاد دگره‌های جدید
عوامل کاهش‌دهندهٔ گوناگونی	شارش ژن	افزایش گوناگونی در جمعیت مقصد
	رانس ژن	تغییر فراوانی دگره‌ها بر اثر از بین رفتن تعدادی از افراد جمعیت
	شارش ژن	کاهش گوناگونی در جمعیت مبدأ
عوامل حفظ‌کنندهٔ گوناگونی	آمیزش‌های غیرتصادفی	آمیزش‌هایی که به رخ‌نمود یا ژن‌نمود افراد بستگی دارند.
	انتخاب طبیعی	کاهش گوناگونی در جمعیت با انتخاب افراد سازگارتر
	گوناگونی دگره‌ای در گامت‌ها	تولید گامت‌های مختلف بر اثر آرایش‌های مختلف تترادی
	نو ترکیبی	تولید گامت‌های نو ترکیب بر اثر کراسینگ‌اور
اهمیت ناخالص‌ها	حفظ دگره Hb^S توسط افراد ناقل کم‌خونی داسی‌شکل در محل شیوع مالاریا	

الف سنگواره‌ها: بقایا و یا آثار جانداران قدیمی

مثال: سنگواره درخت گیسو با قدمت ۱۷۰ میلیون سال

شواهد تغییر گونه‌ها

ب تشریح مقایسه‌ای:

مقایسه اجزای پیکر گونه‌های مختلف

۱ ساختارهای هم‌تا: ساختارهایی که در گونه‌های مختلف طرح ساختاری یکسان دارند.

مثال: اندام حرکتی جلویی مهره‌داران

۲ ساختارهای آنالوگ: ساختارهایی که کار یکسان اما طرح متفاوت دارند.

مثال: بال کبوتر و بال پروانه

الف تعریف: ساختاری که کوچک، ساده یا ضعیف شده است.

ب مثال: بقایای پا در مار پیتون

۳ اندام وستیجیال:

۱ هرچه دناى دو جاندار به هم شبیه‌تر باشد، خویشاوندی نزدیک‌تری دارند.

۲ توالی‌های حفظ شده: توالی‌هایی از دنا که در گونه‌های مختلف دیده می‌شود.

پ مطالعات مولکولی

الف

تعریف گونه: جاندارانی که در طبیعت می‌توانند با هم آمیزش کنند و زاده‌های زیست‌زا و زایا به‌وجود آورند.

گونه‌زایی

ب سازوکارهای گونه‌زایی

۱ گونه‌زایی دگرمیهنی

الف ایجاد سد جغرافیایی و تبدیل جمعیت به دو قسمت

ب توقف شارش ژن بین دو جمعیت

پ افزایش تفاوت‌ها بر اثر جهش، نوترکیبی، انتخاب طبیعی و رانش دگره‌ای

ت جدایی تولید مثلی و ایجاد گونه‌های جدید

مراحل

۲ گونه‌زایی هم‌میهنی

گونه‌زایی بدون جدایی جغرافیایی

مثال: پیدایش گیاهان چندلاد بر اثر خطای کاستمانی



شواهدی وجود دارند که نشان می‌دهند گونه‌ها در طول زمان تغییر کرده‌اند. برخی شواهد تغییر گونه‌ها عبارتند از:

- سنگواره (فسیل):** بقایای یک جاندار یا آثاری از جاندار است که در گذشته دور زندگی می‌کرده است و معمولاً حاوی قسمت‌های سخت بدن جانداران (مثل استخوان یا اسکلت خارجی) است. دیرینه‌شناسان، دانشمندانی هستند که به مطالعه سنگواره‌ها می‌پردازند و می‌توانند عمر یک سنگواره را تعیین کنند.
- تشریح مقایسه‌ای:** روشی است که در آن، اجزای پیکر جانداران گونه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند. بعضی جانداران، اندام‌هایی با طرح ساختاری یکسان دارند که به آن‌ها اندام‌ها یا **ساختارهای همتا** می‌گویند. از ساختارهای همتا برای **رده‌بندی** جانداران استفاده می‌شود. جاندارانی که ساختارهای همتا دارند، **خویشاوند** هستند و در یک گروه قرار می‌گیرند.
- مطالعات مولکولی:** به‌عنوان مثال در **ژنگان‌شناسی مقایسه‌ای**، ژنگان گونه‌های مختلف را با هم مقایسه می‌کنند. زیست‌شناسان از مقایسهٔ دنا جانداران مختلف برای تشخیص **خویشاوندی** آن‌ها استفاده می‌کنند.

سنگواره:



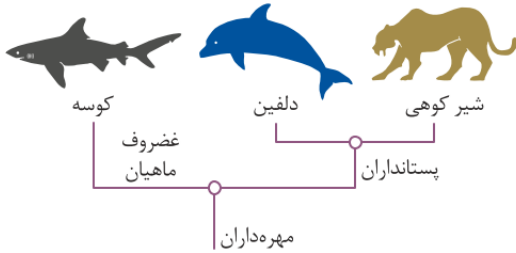
- سنگواره می‌تواند حاوی کل بدن یک جاندار باشد، مثل **ماموت منجمد شده** که همهٔ قسمت‌های بدن آن، حتی پوست و مو حفظ شده‌اند و با حشراتی که در **ترکیبات ترش‌جی** گیاهان به دام افتاده‌اند و در اثر سخت شدن این ترکیبات، سنگوارهٔ آن‌ها به وجود آمده است.
- بعضی از جانداران، در گذشته زندگی می‌کرده‌اند و امروزه دیگر نیستند؛ مانند دایناسورها.
- بعضی گونه‌های امروزی، در گذشته‌های دور وجود نداشته‌اند، بنابراین **سنگواره ندارند**؛ مانند گل‌لاله و گربه.
- بعضی گونه‌ها از گذشته‌های دور تا زمان حال زندگی کرده‌اند؛ مانند **درخت گیسو** که در ۱۷۰ میلیون سال پیش هم وجود داشته است.

تشریح مقایسه‌ای:

- اندام‌هایی که طرح ساختاری یکسان دارند، اندام‌ها یا **ساختارهای همتا** نامیده می‌شوند؛ مثلاً اندام حرکتی جلویی در مهره‌داران مختلف، طرح ساختاری یکسان دارد. دست انسان، بال پرنده، بالهٔ دلفین و دست گربه، مثال‌هایی از اندام‌های همتا هستند.
- ساختارها یا اندام‌های همتا، **طرح ساختاری یکسان** دارند در حالی که ساختارهای **آنالوگ**، کار یکسانی انجام می‌دهند اما طرح ساختاری آن‌ها متفاوت است؛ مانند بال کبوتر و بال پروانه.
- اندام‌های همتا ممکن است کار **یکسان** و یا **متفاوت** داشته باشند. مثلاً اندام حرکتی جلویی در خفاش و پرنده‌گان کار یکسانی انجام می‌دهند و برای پرواز به‌کار می‌روند اما کار اندام حرکتی جلویی در انسان و اسب با هم متفاوت است.
- ترکیبی** اندام‌های همتا لزوماً استخوانی نیستند؛ مثلاً قلب و رگ‌های مهره‌داران نیز ساختارهای همتا محسوب می‌شوند. بدیهی است که اندام وستیجیال نیز می‌تواند استخوانی نباشد. مثلاً آپاندیس انسان، در مقایسه با همتای خود در بسیاری از جانوران، کوچک و ساده شده است و وستیجیال محسوب می‌شود.

۹ جاندارانی که ساختارهای همتا دارند، در گذشته از **نیای مشترک** مشتق شده‌اند. گونه‌هایی را که نیای مشترکی دارند، **گونه‌های خویشاوند** نامیده می‌شوند.

۱۰ **ویژه** در طرح‌هایی که **روابط خویشاوندی** گونه‌ها را نشان می‌دهند، هر چه از یک گونه به سمت **نیای مشترک** پیش می‌رویم، میزان شباهت جانداران کمتر و تعداد آن‌ها بیشتر می‌شود.



۱۱ از خویشاوندی موجودات زنده در **رده‌بندی** استفاده می‌شود. مثلاً دلفین با شیر کوهی خویشاوندی نزدیک‌تری دارد تا با کوسه. به همین دلیل دلفین و شیر کوهی در یک گروه قرار می‌گیرند.

۱۲ مهره‌داران (ماهی‌ها، دوزیستان، پرنده‌گان، خزندگان و پستانداران) نیای مشترک دارند.

۱۳ وجود ساختارهای آنالوگ نشان می‌دهد برای پاسخ به یک نیاز، جانداران به روش‌های مختلفی **سازش** پیدا کرده‌اند. مثلاً کبوتر و پروانه هر دو اندام‌هایی برای پرواز کردن دارند اما بال کبوتر دارای ساختار استخوانی است در حالی که پروانه استخوان ندارد.

۱۴ ساختارهای وستیجیال در مقایسه با همتای خود، **کوچک** یا **ساده** شده هستند و حتی ممکن است **فاقد کار خاصی** باشند. مثلاً مار پیتون پا ندارد اما بقایای پا در لگن آن به‌صورت وستیجیال موجود است. وجود ساختار وستیجیال نشان‌دهندهٔ **ارتباط خویشاوندی** مار پیتون با سایر مهره‌داران است.



زووم: در کتاب درسی می‌خوانیم: «اندام‌های وستیجیال کوچک یا ساده شده هستند و حتی ممکن است فاقد کار خاصی باشند». یعنی این که برخی اندام‌های وستیجیال کار مشخصی انجام می‌دهند.



۱۵ ساختارهای وستیجیال، **ردپای تغییر گونه‌ها** هستند. مثلاً نشان می‌دهند که مارها از تغییر یافتن **سوسمارها** پدید آمده‌اند.

۱۶ وجود ساختارهای آنالوگ برخلاف ساختارهای همتا در جانداران، دلیلی بر داشتن نیای مشترک و رابطه خویشاوندی نیست. بلکه ساختارهای آنالوگ، نشان‌دهنده روش‌های مختلف سازش در جانداران برای پاسخ به یک نیاز هستند.

۱۷ در مارهای امروزی (مانند مار پیتون)، استخوان لگن و ران وجود دارند اما بسیار کوچک شده‌اند و نقش خاصی ندارند.



ویژه ۱۸ اندام یا ساختار وستیجیال، در مقایسه با همتهای خود تغییر یافته است؛ بنابراین اندام یا ساختار جدیدتری به‌شمار می‌رود. بنابراین به‌عنوان مثال، مار نسبت به سوسمار **گونه جدیدتری** است.



زووم: گاهی این سؤال مطرح می‌شود که فلان اندام، هم‌تاست یا وستیجیال؟ این سؤال اساساً درست نیست! در مورد یک اندام می‌توان پرسید که وستیجیال است یا نه؟ برای پاسخ نیز باید ببینیم اندام مورد نظر در مقایسه با اندام‌های هم‌تای خود از نظر اندازه و کارایی چه وضعیتی دارد اما در مورد یک اندام نمی‌توان گفت هم‌تاست یا نه؟ در واقع هم‌تا بودن دو یا چند اندام در مقایسه با یکدیگر معنی پیدا می‌کند و برای پاسخ نیز باید ببینیم طرح ساختاری آن‌ها یکسان است یا نه.

جمع‌بندی مقایسه اندام‌های هم‌تا، آنالوگ و وستیجیال



مثال	کاربرد زیستی	ویژگی‌ها	اندام‌های هم‌تا
اندام‌های حرکتی جلویی مهره‌داران	رده‌بندی جانداران و تشخیص روابط خویشاوندی	طرح ساختاری یکسان، نقش یکسان یا متفاوت	اندام‌های آنالوگ
بال در پروانه و پرنده	تشخیص روش‌های سازش جانداران	طرح ساختاری متفاوت، نقش مشابه	اندام وستیجیال
بقایای پا در مار پیتون	از شواهد تغییر گونه‌ها و ارتباط خویشاوندی	کوچک یا ساده، در بعضی موارد فاقد نقش	

مطالعات مولکولی:

۱۹ بعضی ژن‌ها در بین گونه‌ها مشترک‌اند اما بعضی دیگر از ژن‌ها ویژگی‌های خاص یک گونه را باعث می‌شوند.

۲۰ از مقایسه دنا جانداران مختلف می‌توان به **تاریخچه تغییر** آن‌ها پی برد.

۲۱ توالی‌هایی از دنا را که در بین گونه‌های مختلف دیده می‌شوند، **توالی‌های حفظ شده** می‌نامند.

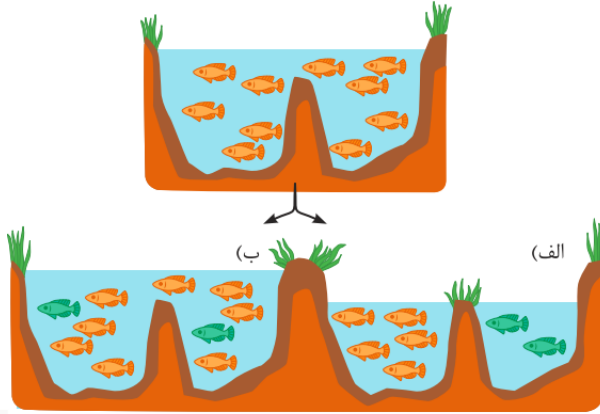
گونه‌زایی

اصل مطلب



- در زیست‌شناسی، **گونه** به جاندارانی گفته می‌شود که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های **زیستا** و **زایا** به‌وجود آورند اما نمی‌توانند با جانداران دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند. این تعریف توسط **ارنست مایر** ارائه شده است و برای جاندارانی کاربرد دارد که **تولیدمثل جنسی** دارند.
- اگر میان افراد یک گونه **جدایی تولیدمثلی** رخ دهد، آن‌گاه خزانه ژنی آن‌ها از هم جدا و احتمال تشکیل **گونه‌های جدید** فراهم می‌شود. منظور از جدایی تولیدمثلی، عواملی است که مانع از آمیزش موفقیت‌آمیز بعضی از افراد یک گونه با بعضی دیگر از افراد همان گونه می‌شود و آمیزش موفقیت‌آمیز، آمیزشی است که به تولید زاده‌های زیستا و زایا می‌انجامد.
- به‌طور کلی دو نوع گونه‌زایی وجود دارد: ۱- **گونه‌زایی دگرمیهنی** که در آن جدایی جغرافیایی رخ می‌دهد ۲- **گونه‌زایی هم‌میهنی** که در آن جدایی جغرافیایی رخ نمی‌دهد.

- ۱) بر اثر وقوع رخداد‌های زمین‌شناختی، **جدایی جغرافیایی** ایجاد می‌شود که یک جمعیت را به دو جمعیت کوچک‌تر تقسیم می‌کند.
- ۲) با قطع ارتباط بین دو جمعیت، **شارش ژن** بین آن‌ها متوقف می‌گردد.
- ۳) پدیده‌هایی مانند جهش، نوترکیبی و انتخاب طبیعی باعث می‌شوند به تدریج دو جمعیت با یکدیگر **متفاوت** شوند.
- ۴) با گذشت زمان، این تفاوت‌ها آن‌قدر زیاد می‌شوند که حتی اگر افراد این دو جمعیت کنار هم باشند، بین آن‌ها **آمیزش موفقیت‌آمیز** رخ نمی‌دهد و می‌توان آن‌ها را دو گونه مجزا به حساب آورد.



۲۳ **ویژه** گونه‌زایی دگرمیهنی با وقوع **جدایی تولیدمثلی** کامل می‌شود. در جدایی تولیدمثلی، افراد دو گروه نمی‌توانند آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند؛ مثلاً ممکن است **زمان** تولیدمثل آن‌ها متفاوت باشند.

۲۴ برای گونه‌زایی دگرمیهنی، ایجاد مانع جغرافیایی الزامی است. ایجاد مانع جغرافیایی اگر چه **عامل شروع گونه‌زایی** دگرمیهنی محسوب می‌شود اما به تنهایی موجب گونه‌زایی نمی‌شود و وجود سایر عوامل (مانند جهش، انتخاب طبیعی و نوترکیبی) نیز لازم‌اند.

۲۵ اگر جمعیت جدا شده از جمعیت اصلی کوچک باشد، **رانش ژن** نیز در گونه‌زایی مؤثر خواهد بود. چون باعث افزایش تفاوت بین دو جمعیت می‌شود.

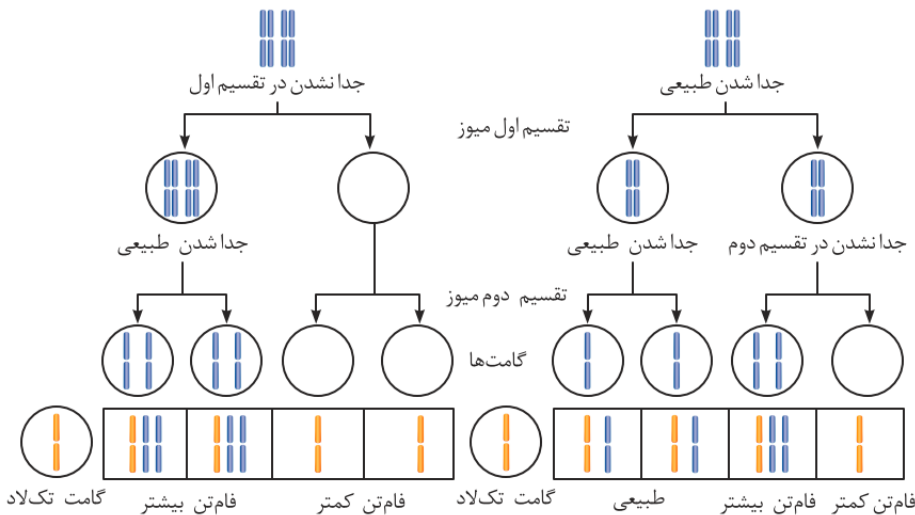
🎯 **دقت کنید:** ایجاد مانع جغرافیایی برای گونه‌زایی دگرمیهنی کافی نیست! گونه‌زایی دگرمیهنی زمانی مؤثر است که بتواند سبب **توقف شارش ژن** شود. البته باز هم نمی‌توان گفت با توقف شارش ژن، قطعاً گونه‌زایی رخ می‌دهد! برای گونه‌زایی باید عوامل دیگر نیز فراهم باشند تا در نهایت جدایی تولیدمثلی رخ دهد.

گونه‌زایی هم‌میهنی

۲۶ بدون نیاز به جدایی جغرافیایی انجام می‌شود و ناشی از جدایی تولیدمثلی در جمعیت‌هایی است که در یک **زیستگاه** زندگی می‌کنند.

۲۷ پیدایش **گیاهان چندلادی** (پلی‌پلوئیدی) نتیجه گونه‌زایی هم‌میهنی است و منجر به تولید گیاهانی می‌شود که خودشان زیستگاه و زیاده‌ها هستند اما نمی‌توانند با افراد گونه نیایی خود، آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند.

۲۸ گیاهان چندلادی، بر اثر **خطای میوزی** ایجاد می‌شوند. جدا نشدن فام‌تن‌ها در تقسیم میوز، به تشکیل گامت‌هایی با عدد فام‌تنی غیرطبیعی منجر می‌شود. اگر این گامت‌ها با گامت طبیعی لقاح کنند، تخم طبیعی تشکیل نخواهد شد.

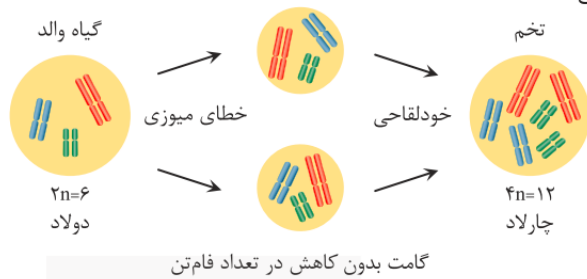


اگر پدیده جدا نشدن فام‌تن‌ها در **میوز** رخ دهد، همه گامت‌های حاصل غیرطبیعی خواهند بود. بدیهی است که از لقاح این گامت‌ها با گامت‌های طبیعی، یاخته‌های تخم غیرطبیعی حاصل خواهد شد. اما اگر جدا نشدن فام‌تن‌ها در **میوز** رخ دهد، نیمی از گامت‌های تولید شده، طبیعی و نیمی دیگر غیرطبیعی خواهند بود.

نمی‌توان گفت که هر نوع خطای میوزی منجر به گونه‌زایی هم‌میهنی می‌شود! به عنوان مثال اگر پدیده جدا نشدن فقط در یک جفت از فام‌تن‌ها رخ دهد، منجر به پیدایش گونه جدید نمی‌شود. علاوه بر آن، حتی با جدا نشدن همه فام‌تن‌ها نیز نمی‌توان گفت که گونه‌زایی هم‌میهنی قطعاً رخ می‌دهد. مثلاً ممکن است گامت‌های غیرطبیعی تولید شده، لقاح نیابند و یا این که جاندار جدیدی که پدید می‌آید، زیستا نباشد و ...

گاهی ممکن است از لقاح دو گامت **غیرطبیعی**، یاخته تخم و فرد طبیعی حاصل شود! فرض کنید در انسان، یک گامت غیرطبیعی ۲۲ کروموزومی که فاقد کروموزوم شماره ۹ است با یک گامت غیرطبیعی ۲۴ کروموزومی که دو نسخه از کروموزوم شماره ۹ را دارد، لقاح انجام دهد. در این صورت یاخته تخم حاصل ۴۶ کروموزومی است و از هر کروموزوم ۲ نسخه دارد. البته احتمال چنین اتفاقی خیلی کم و نزدیک به صفر است!

نحوه تشکیل گیاه **تتراپلوئید** ۱۲ کروموزومی از گیاه **دیپلوئید** ۶ کروموزومی:



۱) گونه والد، دیپلوئید با عدد کروموزومی $2n = 6$ بوده است.

۲) **خطای میوزی** (با هم ماندن همه کروموزوم‌ها)، منجر به تولید **گامت غیرطبیعی** با عدد کروموزومی $2n = 6$ شده است.

۳) گیاه والد، **خودلقاحی** انجام داده و دو گامت دیپلوئید با هم ادغام شده‌اند. در نتیجه، گیاه دورگه **تتراپلوئید** با عدد کروموزومی $4n = 12$ ایجاد شده است.

بررسی یک مثال:

گیاه گل مغربی به دو شکل دیپلوئید (دولاد) و تتراپلوئید (چارلاد) وجود دارد. گیاه گل مغربی **دیپلوئید** دارای ($2n = 14$) فام‌تن است و گامت‌های هاپلوئید ($n = 7$) تولید می‌کند اما گیاه گل مغربی تتراپلوئید (چارلاد) که توسط دانشمندی به نام **هوگو دوری** کشف شد، دارای ($4n = 28$) فام‌تن است و گامت‌های دیپلوئید ($2n = 14$) تولید می‌کند. ظاهر این گیاه با نوع دیپلوئید متفاوت است.

گیاه گل مغربی تتراپلوئید، بر اثر خطای میوزی به وجود آمده است. اگر هنگام میوز در گیاه دیپلوئید، همه کروموزوم‌ها وارد یک گامت شوند، گامت دیپلوئید ایجاد می‌شود. در صورتی که گیاه خودلقاحی انجام دهد و دو گامت دیپلوئید با هم لقاح یابند، گیاهی تتراپلوئید ایجاد می‌شود.

اگر گیاهان گل مغربی دیپلوئید و تتراپلوئید با هم آمیزش کنند، گیاهی **تریپلوئید** ($3n = 21$) حاصل می‌شود که نازا است. یعنی آمیزش بین گیاه دیپلوئید با گیاه تتراپلوئید موفقیت‌آمیز نیست؛ بنابراین **دو گونه مجزا** محسوب می‌شوند.

اگر گیاه تتراپلوئید بتواند **خودلقاحی** کند و یا در نزدیکی آن گیاه **تتراپلوئید مشابه** دیگری وجود داشته باشد، می‌تواند با آن آمیزش کند که حاصل آن گیاه تتراپلوئید زایا خواهد بود و با توجه به این که آمیزش آن با جمعیت نیایی موفقیت‌آمیز نیست، گونه جدیدی محسوب می‌شود.

تفاوت در **ویژگی‌های ظاهری** گیاه گل مغربی هوگو دوری با گیاه گل مغربی دیپلوئید، به دلیل **تعداد فام‌تن** هاست، نه نوع آن‌ها.

گیاهان پلی‌پلوئیدی که بر اثر گونه‌زایی هم‌میهنی ایجاد می‌شوند، زیستا و زایا هستند اما نمی‌توانند با گونه نیایی خود، آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند.

جهش در گونه‌زایی هم‌میهنی همانند گونه‌زایی دگرمیهنی نقش دارد. دقت کنید که جدا نشدن کروموزوم‌ها نوعی **جهش بزرگ** (کروموزومی) محسوب می‌شود.

جمع‌بندی

خلاصهٔ دو نوع گونه‌زایی

با ایجاد مانع جغرافیایی و توقف شارش ژن	گونه‌زایی دگرمیهنی	سازوکارهای گونه‌زایی
متفاوت شدن دو جمعیت در زمان طولانی		
بر اثر جهش، نوترکیب، انتخاب طبیعی و رانش ژن		
کامل شدن گونه‌زایی با جدایی تولیدمثلی		
بدون جدایی جغرافیایی و در یک زیستگاه	گونه‌زایی هم‌میهنی	
گونه‌زایی در زمان کوتاه		
پیدایش گیاهان پلی‌پلوئید (چندلاد) بر اثر خطای میوزی		

ATP مولکول پرانرژی

الف ساختار: شامل باز آلی آدنین، قند پنج کربنی ریبوز و سه گروه فسفات

- ب** روش های ساخته شدن
 - ۱ ساخته شدن در سطح پیش ماده (دریافت فسفات از ترکیب فسفات دار)
 - ۲ ساخته شدن اکسایشی (با استفاده از انرژی حاصل از انتقال الکترون و یون فسفات)
 - ۳ ساخته شدن نوری (در فتوسنتز)

تنفس یاخته ای هوازی

الف قندکافت (گلیکولیز)

- ۱ محل انجام: ماده زمینه ای سیتوپلاسم
- ۲ مراحل
 - الف** تبدیل گلوکز به فروکتوز فسفات با مصرف ۲ ATP
 - ب** تبدیل فروکتوز فسفات به دو قند سه کربنی فسفات
 - پ** تبدیل قندهای سه کربنی فسفات به اسیدهای سه کربنی دوفسفات همراه با تولید NADH
 - ت** تبدیل اسیدهای سه کربنی دوفسفات به دو پیرووات همراه با تولید ۴ ATP

ب راکیزه مقصد پیرووات

- ۱ نقش: محل انجام مراحل هوازی تنفس یاخته ای در هوهسته ای ها
- ۲ اجزا
 - الف** غشاها: ۱. غشای بیرونی (صاف) ۲. غشای درونی (چین خورده)
 - ب** فضاها: ۱. فضای بین دو غشا (بخش خارجی) ۲. بخش داخلی

پ اکسایش پیرووات

- ۱ تعریف: تبدیل پیرووات به استیل کوآنزیم A
- ۲ مراحل
 - الف** تبدیل پیرووات به بنیان استیل
 - ۱. آزاد شدن CO_2
 - ۲. تبدیل NAD^+ به NADH
 - ب** اضافه شدن کوآنزیم A به بنیان استیل

۱ در تنفس یاخته‌ای، انرژی ذخیره شده در مولکول‌های آلی مانند **گلوکز**، برای تشکیل مولکول‌های ATP به کار می‌رود.

۲ تجزیه مواد مغذی به منظور تولید ATP می‌تواند در حضور اکسیژن (**تنفس یاخته‌ای هوازی**) و یا بدون نیاز به اکسیژن (**تخمیر**) انجام شود.

۳ واکنش تجزیه گلوکز در تنفس یاخته‌ای هوازی به صورت زیر است: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + ADP + P(فسفات) \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$

۴ CO_2 تولید شده در تنفس یاخته‌ای باید از یاخته‌ها دور شود. تجمع این ماده در بدن خطرناک است چون می‌تواند سبب **اسیدی شدن** محیط داخلی شود که منجر به تغییر در ساختار پروتئین‌ها و اختلال در کار آن‌ها می‌شود.

زووم: در سمت راست واکنش تنفس یاخته‌ای، مولکول ATP تولید شده است. مبدا فکر کنید در تنفس یاخته‌ای به ازای تجزیه هر مولکول گلوکز فقط یک مولکول ATP تولید می‌شود! تعداد ATP تولید شده در تنفس یاخته‌ای به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ مثلاً تعداد ATP خالص تولید شده در یاخته‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی متفاوت است. علاوه بر آن، در ادامه درس خواهید دید که در تنفس یاخته‌ای، ATP مصرف هم می‌شود!

• ATP و روش‌های ساخت آن

اصل مطلب



■ شکل رایج و قابل استفاده انرژی در یاخته‌ها ATP نام دارد و ATP نوکلئوتیدی است که از **آدنوزین** (باز آلی آدنین + قند پنج کربنی ریبوز) و **سه گروه فسفات** تشکیل شده است. اضافه شدن فسفات به آدنوزین، در سه مرحله صورت می‌گیرد.

■ همه ویژگی‌های جانداران (مانند رشد و نمو و تولیدمثل) به در اختیار داشتن ATP وابسته است.

■ روش‌های ساخت ATP عبارتند از:

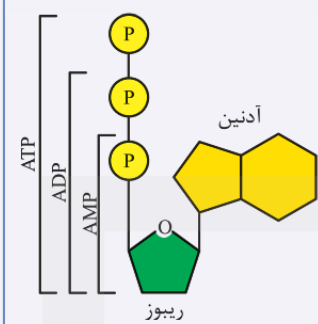
۱ **ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده:** در این روش، گروه فسفات از یک ترکیب فسفات‌دار (پیش‌ماده) برداشته شده و به ADP افزوده می‌شود. مانند ساخته شدن ATP با استفاده از **کراتین فسفات** در ماهیچه‌ها.

۲ **ساخته شدن اکسایشی ATP:** در این روش، ATP با استفاده از

یون فسفات و انرژی حاصل از **انتقال الکترون‌ها** در میتوکندری (راکیزه) ساخته می‌شود.

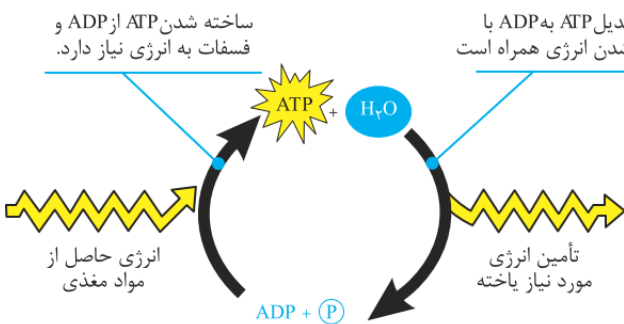
۳ **ساخته شدن نوری ATP:** در این روش، ATP با استفاده از

یون فسفات و انرژی حاصل از **انتقال الکترون‌ها** در کلروپلاست (سبزی‌ساز) ساخته می‌شود.



۵ مولکول ADP همانند مولکول ATP در ساختار خود **سه حلقه آلی** دارد که شامل دو حلقه نیتروژن دار مربوط به آدنین و یک حلقه قند ریبوز است.

۶ به طور معمول، ATP از ADP تشکیل می‌شود و این دو مولکول به یکدیگر تبدیل می‌شوند:



۱ تبدیل ADP به ATP از طریق واکنش سنتز آبدهی انجام می‌شود و انرژی خواه است. انرژی لازم برای این واکنش، از تجزیه مواد مغذی تأمین می‌شود.

۲ تبدیل ATP به ADP از طریق آبکافت (هیدرولیز) انجام می‌شود و با آزاد شدن انرژی همراه است. انرژی آزاد شده، انرژی مورد نیاز یاخته را تأمین می‌کند.

۷ مولکول ATP، دو بخش حلقوی (قند و باز)، دو حلقه نیتروژن دار (دو حلقه آدنین) و سه حلقه آلی (دو حلقه آدنین و یک حلقه قند) دارد.

۸ **ویژه:** دو نوع نوکلئوتید ATP وجود دارد که یکی دارای قند **ریبوز** و دیگری دارای قند **دئوکسی‌ریبوز** است اما آن مولکول ATP که شکل رایج انرژی در یاخته‌هاست، قند **ریبوز** دارد.

۹ **ویژه:** مولکول ATP به تنهایی نمی‌تواند انرژی لازم برای انجام واکنش‌های زیستی را تأمین کند! تبدیل ATP به ADP نوعی واکنش آبکافت (هیدرولیز) است و با کمک آنزیم انجام می‌شود. این آنزیم با مصرف یک مولکول آب، یکی از پیوندهای فسفات-فسفات را می‌شکند و در نتیجه، انرژی آزاد می‌شود.



فلش بک: انرژی مورد نیاز برای انقباض ماهیچه‌های اسکلتی انسان با روش‌های مختلفی می‌تواند تأمین شود که در همه آن‌ها، نهایتاً یاخته‌های ماهیچه‌ای از ATP های تولید شده استفاده می‌کنند:

- ۱ در صورت وجود اکسیژن کافی، بیشتر انرژی مورد نیاز ماهیچه‌های اسکلتی از **سوختن گلوکز** (تنفس یاخته‌ای) تأمین می‌شود.
- ۲ در انقباض‌های طولانی‌مدت، یاخته‌های ماهیچه‌ای برای تولید ATP از **اسیدهای چرب** استفاده می‌کنند.
- ۳ یاخته‌های ماهیچه‌ای می‌توانند با استفاده از ماده‌ای به نام **کراتین فسفات**، ATP بسازند.
- ۴ در فعالیت‌های شدید ماهیچه‌ای که اکسیژن کافی به یاخته‌های ماهیچه‌ای نمی‌رسد، تجزیه گلوکز به صورت **بی‌هوازی** (تخمیر) منجر به تولید مقدار اندکی ATP می‌شود.



دقت کنید: کراتین با کراتینین متفاوت است. کراتین نوعی پروتئین است و در صورتی که فسفات به آن متصل باشد (کراتین فسفات) یک ماده پرانرژی محسوب می‌شود. پس از جدا شدن گروه فسفات، کراتین تغییر می‌کند و به **ماده دفعی** نیتروژن‌داری به نام **کراتینین** تبدیل می‌شود که از طریق ادرار دفع می‌شود.

۱۰ برای تولید ATP به روش پیش‌ماده، از فسفات موجود در ترکیبات آلی اما در روش اکسایشی و ساخته‌شدن نوری، از **فسفات معدنی** استفاده می‌شود.

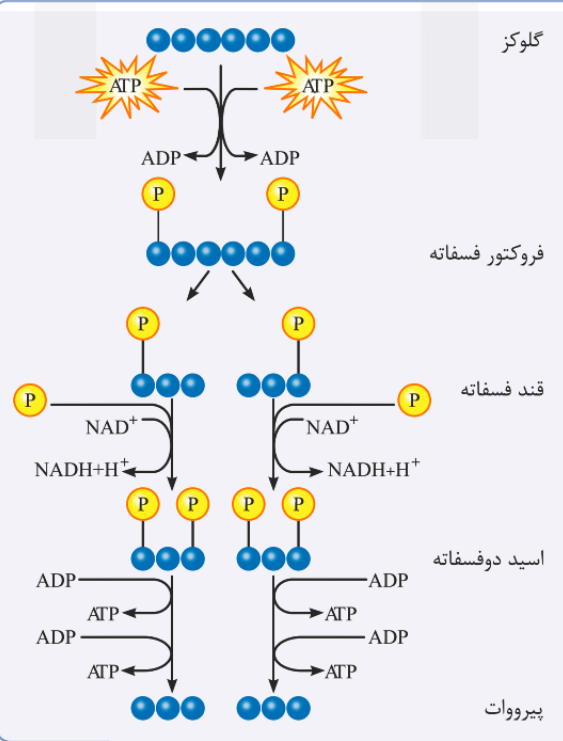
مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی:

- ۱۱ اغلب، واژه تنفس یاخته‌ای برای **تنفس یاخته‌ای هوازی** به کار می‌رود. این فرایند را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد:
 - ۱۲ مرحله اول تنفس یاخته‌ای، **قندکافت** (گلیکولیز) نام دارد که فرایندی **بی‌هوازی** است و در **ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم** همه جانداران انجام می‌شود.
- دقت کنید:** سیتوپلاسم یاخته‌های یوکاریوتی شامل اندامک‌ها (ساختارهای غشادار)، ساختارهای بدون غشا و ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم است. در واقع ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم که مراحل بی‌هوازی تنفس یاخته‌ای در آن انجام می‌شود، فضای بین اندامک‌های مختلف یاخته را پر می‌کند.
- ۱۳ مرحله دوم تنفس یاخته‌ای، **هوازی** است و در یاخته‌های یوکاریوتی هوازی، درون **راکیزه** انجام می‌شود. این مرحله، شامل تشکیل استیل‌کوآنزیم A، چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون است.
 - ۱۴ محل تشکیل استیل‌کوآنزیم A و چرخه کربس، **ماده زمینه‌ای راکیزه** است اما زنجیره انتقال الکترون در **غشای درونی راکیزه** قرار دارد.

مراحل قندکافت (گلیکولیز):



اصل مطلب



- اولین مرحله تنفس یاخته‌ای و به معنی **تجزیه گلوکز** است. در همه جانداران، اعم از تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای، پروکاریوت و یوکاریوت، هوازی و بی‌هوازی، محل انجام قندکافت، **ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم** است.
- قندکافت طی **چهار مرحله** انجام می‌شود:
- ۱ با مصرف دو مولکول ATP، گلوکز به قند **فروکتوز** با دو فسفات (قند شش کربنی دو فسفات) تبدیل می‌شود.
- ۲ فروکتوز دو فسفات به دو **قند سه کربنی یک فسفات** تجزیه می‌شود.
- ۳ هر ترکیب سه کربنی یک فسفات، با دریافت یک گروه فسفات معدنی، به **اسید سه کربنی دو فسفات** تبدیل می‌شود.
- ۴ هر یک از اسیدهای سه کربنی دو فسفات با از دست دادن فسفات‌های خود، به ترکیب سه کربنی بدون فسفات، به نام **پیرووات** (بنیان پیروویک‌اسید) تبدیل می‌شوند.

- ۱۵ برای انجام واکنش‌های مربوط به تجزیه گلوکز، **انرژی فعال‌سازی** مورد نیاز است که از انرژی ATP تأمین می‌شود.
- ۱۶ در اولین مرحله قندکافت، **سه** مولکول دو فسفات تولید می‌شود: یک مولکول شش کربنی دو فسفات و دو مولکول ADP.

۱۷ در سوئیمین مرحله قندکافت، دو مولکول NAD^+ به $NADH$ تبدیل می‌شوند. ضمن تشکیل هر مولکول $NADH$ ، یک یون هیدروژن (H^+) نیز تولید می‌شود.

۱۸ **ویژه** به ازای هر مولکول آغازگر مرحله سوم قندکافت، یک مولکول $NADH$ و یک یون H^+ تولید می‌شود. چون آغازگر مرحله سوم قندکافت، قند سه‌کربنی یک فسفات است.

۱۹ **ویژه** به ازای هر مولکول آغازگر قندکافت، در مرحله سوم، دو مولکول $NADH$ و دو یون H^+ تولید می‌شود. چون آغازگر قندکافت، مولکول گلوکز است.

۲۰ $NADH$ نوعی حامل الکترون است که دو نوکلئوتید آدنین دارد و از NAD^+ به اضافه الکترون و پروتون تشکیل می‌شود. NAD^+ با گرفتن الکترون کاهش و $NADH$ با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابد.

۲۱ واکنش تبدیل NAD^+ و $NADH$ به یکدیگر، به صورت $NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons NADH + H^+$ است. هر مولکول NAD^+ با دریافت دو الکترون و یک یون هیدروژن، به $NADH$ تبدیل می‌شود.

۲۲ **ویژه** به ازای هر مولکول آغازگر مرحله چهارم قندکافت، دو مولکول ATP و یک مولکول پیرووات تولید می‌شود. چون آغازگر مرحله چهارم، اسید سه‌کربنی دو فسفات است و ضمن تبدیل هر اسید سه‌کربنی دو فسفات به پیرووات، ۲ مولکول ATP تشکیل می‌شود.

۲۳ **ویژه** به ازای هر مولکول آغازگر قندکافت، در مرحله چهارم، چهار مولکول ATP و دو مولکول پیرووات تولید می‌شود. چون آغازگر قندکافت، گلوکز است و با توجه به این که هر مولکول گلوکز به ۲ مولکول پیرووات تبدیل می‌شود، در این مرحله ۴ مولکول ATP به وجود می‌آید.

۲۴ در قندکافت، به ازای هر مولکول گلوکز، چهار مولکول ATP تولید می‌شود اما بازده خالص قندکافت، ۲ ATP است؛ چون در قندکافت، ۲ ATP مصرف و ۴ ATP تولید می‌شود.

۲۵ روش تولید ATP در قندکافت، در سطح پیش‌ماده است و اسیدهای سه‌کربنی دو فسفات، گروه فسفات مورد نیاز برای تبدیل ADP به ATP را تأمین می‌کنند.

۲۶ اگرچه فرایند قندکافت در مجموع انرژی‌زاست اما شروع آن انرژی‌خواه است و انرژی مورد نیاز برای شروع آن از دو مولکول ATP تأمین می‌شود.

۲۷ در گلیکولیز، دوفسفاته شدن قند شش‌کربنی با استفاده از فسفات آلی اما دوفسفاته شدن قند سه‌کربنی با استفاده از فسفات معدنی صورت می‌گیرد.

۲۸ در مراحل مختلف گلیکولیز، تنها پیش‌ماده بدون فسفات، گلوکز و تنها فراورده بدون فسفات، پیرووات است.

۲۹ در گلیکولیز، سه نوع ترکیب دوفسفاته تولید می‌شود: (۱) ADP (۲) فروکتوز دوفسفاته (۳) اسید سه‌کربنی دوفسفاته.

۳۰ ترکیب شش‌کربنی دوفسفاته‌ای که در اولین مرحله گلیکولیز تولید می‌شود، یعنی فروکتوز دوفسفاته، ناپایدار نیست. در فصل بعد با ترکیب شش‌کربنی دوفسفاته‌ای آشنا خواهید شد که ناپایدار است.

جمع‌بندی خلاصه قندکافت

مرحله	پیش‌ماده	محصول نهایی	سایر مولکول‌های تولید شده
اول	گلوکز	فروکتوز دو فسفات	۲ ADP
دوم	فروکتوز دو فسفات	۲ مولکول قند سه‌کربنی یک فسفات	-
سوم	۲ قند سه‌کربنی یک فسفات	۲ مولکول اسید سه‌کربنی دو فسفات	۲ $NADH$ و ۲ H^+
چهارم	۲ اسید سه‌کربنی دو فسفات	۲ مولکول پیرووات	۴ ATP

راکیزه، مقصد پیرووات

اصل مطلب



■ مرحله‌های تنفس یاخته‌ای به اکسیژن نیاز دارد و در یاخته‌های یوکاریوتی، در راکیزه انجام می‌شود.

■ راکیزه دو غشا دارد: غشای بیرونی صاف و غشای درونی چین‌خورده است. غشاهای راکیزه، فضای درون آن را به دو بخش تقسیم می‌کنند:

۱) بخش بیرونی (فضای بین دو غشا) ۲) بخش درونی

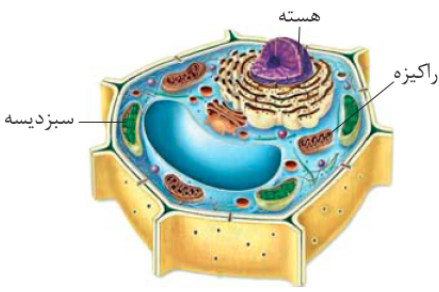
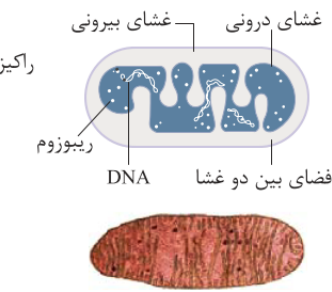
■ راکیزه دارای دنا مستقل از هسته و رناتن‌های مخصوص به خود است که با رناتن‌های سیتوپلاسم تفاوت دارند. در دنا راکیزه، ژن‌های مورد نیاز برای ساخت برخی از پروتئین‌های مورد نیاز تنفس یاخته‌ای وجود دارند.

■ راکیزه همراه با تقسیم یاخته و همچنین مستقل از آن تقسیم می‌شود؛ به همین دلیل یک یاخته می‌تواند چندین راکیزه داشته باشد.

۳۱ با توجه به شکل مقابل:

- ۱ هسته، راکیزه و سبزدیسه اندامک‌هایی با دو غشا هستند.
- ۲ همچنین شبکه آندوپلاسمی و پوشش هسته به یکدیگر پیوسته هستند.
- ۳ بزرگ‌ترین اندامک یاخته گیاهی، کریچه (واکوئول) است.

۳۲ در صورت وجود اکسیژن، پیرووات‌ها و NADH های حاصل از گلیکولیز وارد راکیزه می‌شوند. ورود پیرووات به راکیزه با انتقال فعال (مصرف ATP) انجام می‌شود.



۳۳ بعضی پروتئین‌های راکیزه توسط راتان‌های خود این اندامک و به استفاده از اطلاعات دنا راکیزه تولید می‌شوند. بعضی دیگر از پروتئین‌های راکیزه با استفاده از اطلاعات دنا هسته و توسط راتان‌های سیتوپلاسمی ساخته می‌شوند.

۳۴ دنا راکیزه می‌تواند همانندسازی کند؛ بنابراین درون راکیزه می‌تواند چندین نسخه یکسان از دنا وجود داشته باشد.

۳۵ دنا راکیزه همانند دنا باکتری حلقوی است اما برخلاف دنا باکتری، به غشای یاخته متصل نیست.

۳۶ با گذشت زمان و افزایش نیاز یاخته به انرژی (مثلاً بر اثر افزایش فعالیت آن) راکیزه‌های آن تقسیم می‌شوند و در نتیجه، تعداد راکیزه‌های یاخته افزایش می‌یابد.

۳۷ ویژه در یاخته‌های یوکاریوتی، همه ژن‌هایی که محصولات آن‌ها در قندکافت دخالت دارند در فام‌تن‌ها (درون هسته) قرار دارند. به عبارت دیگر، همه آنزیم‌هایی که در قندکافت نقش دارند، در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم ساخته می‌شوند.

۳۸ در یاخته‌های یوکاریوتی، همه واکنش‌های مربوط به مرحله هوازای تنفس یاخته‌ای در راکیزه انجام می‌شوند. گروهی از باکتری‌ها نیز هوازای اند اما باکتری‌ها راکیزه ندارند؛ بنابراین می‌توان گفت که محل انجام واکنش‌های هوازای تنفس یاخته‌ای، می‌تواند راکیزه نباشد!

۳۹ راکیزه دارای دنا و آنزیم‌هایی از قبیل دنباسپاراز، هلیکاز، رنابسپاراز و همچنین راتان است. بنابراین همانندسازی، رونویسی و ترجمه در راکیزه انجام می‌شود.

۴۰ ترکیبی در قطعه میانی اسپرم تعداد زیادی راکیزه وجود دارد. به همین دلیل، مراحل هوازای تنفس یاخته‌ای آن، در قطعه میانی انجام می‌شوند.

اکسایش پیرووات

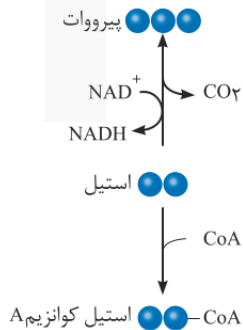
۴۱ بر اثر واکنش‌های قندکافت، دو مولکول پیرووات تولید می‌شود. این مولکول‌ها از طریق انتقال فعال وارد راکیزه می‌شوند و درون راکیزه اکسایش می‌یابند. هر مولکول پیرووات در راکیزه به یک مولکول استیل‌کوآنزیم A تبدیل می‌شود.

۴۲ تبدیل پیرووات به استیل‌کوآنزیم A طی دو مرحله انجام می‌شود:

۱ پیرووات با از دست دادن یک مولکول CO_2 به ترکیب دو کربنی به نام بنیان استیل تبدیل می‌شود.

۲ مولکولی به نام کوآنزیم A به بنیان استیل متصل می‌شود و آن را به استیل‌کوآنزیم A تبدیل می‌کند.

۴۳ استیل‌کوآنزیم A در چرخه‌ای از واکنش‌های آنزیمی، به نام چرخه کربس، اکسایش می‌یابد. این واکنش‌ها در بخش داخلی راکیزه انجام می‌شوند.



۴۴ ضمن تبدیل هر مولکول پیرووات به بنیان استیل، یک مولکول NADH و یک یون هیدروژن (H^+) تشکیل می‌شود. با توجه به این که از قندکافت یک مولکول گلوکز دو مولکول پیرووات حاصل می‌شود، در این مرحله به ازای هر مولکول گلوکز، دو مولکول استیل‌کوآنزیم A، دو مولکول NADH و دو یون هیدروژن (H^+) به وجود می‌آید.

۴۵ کوآنزیم A نوعی ماده آلی است که نقش آن کمک به فعالیت نوعی آنزیم مؤثر در تنفس هوازای است.

۴۶ استیل‌کوآنزیم A برخلاف بنیان استیل، دو کربنی نیست! چون کوآنزیم A نیز ماده آلی است و تعدادی کربن دارد.

۴۷ غلظت پیرووات در راکیزه بیشتر از ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم است؛ به همین دلیل، ورود پیرووات به راکیزه از طریق انتقال فعال و با مصرف ATP انجام می‌شود.

۴۸ ضمن تشکیل استیل‌کوآنزیم A، پیرووات اکسایش می‌یابد و به استیل تبدیل می‌شود. NAD^+ نیز کاهش یافته و به NADH تبدیل می‌شود.

۴۹ در مرحله تشکیل استیل‌کوآنزیم A، اکسیژن مصرف نمی‌شود اما کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود.