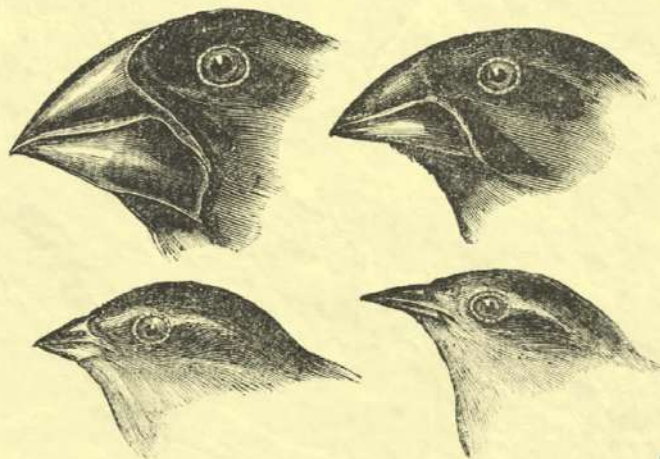


زیست‌شناسی در چند دقیقه

مفهوم‌های کلیدی دنیای ژنتیک و تکامل به زبان ساده



نویسنده: تام جکسن
مترجم: عطا کالیراد و عرفان خسروی

سرشناسه: جکسون، تام Jackson, Tom
 عنوان و نام پدیدآور: زیست‌شناسی در چند دقیقه / نویسنده تام جکسن؛ مترجم‌ها عطا کالیراد و عرفان خسروی؛
 دبیر مجموعه و ویراستار علمی عرفان خسروی.
 مشخصات نشر: تهران: سازمان فرهنگی هنری شهرداری تهران، موسسه نشر شهر، ۱۳۹۶.
 مشخصات ظاهری: ۴۰۸ ص.
 فروست: مجموعه کتابهای در چند دقیقه / دبیر مجموعه عرفان خسروی.
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۴۳۹-۱۳۱-۳
 وضعیت فهرست نویسی: فیپا
 یادداشت: عنوان اصلی: Genetics in minutes, ۲۰۱۶
 موضوع: زیست‌شناسی — به زبان ساده
 موضوع: Biology -- Popular works
 موضوع: زیست‌شناسی
 موضوع: Biology
 شناسه افزوده: کالیراد، عطا، ۱۳۶۸، مترجم
 شناسه افزوده: خسروی، عرفان، ۱۳۶۲، مترجم، ویراستار
 شناسه افزوده: موسسه نشر شهر
 شناسه افزوده: Nashr-e Shahr Institution
 رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ج۹/۹ QH۳۰۹
 رده بندی دیویی: ۵۷۴
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۶۶۸۳۹۴

مجموعه کتاب‌های «در چند دقیقه»

دبیر مجموعه و ویراستار علمی: عرفان خسروی
 دبیر تولید: فرزانه پورقناد

زیست‌شناسی در چند دقیقه

نویسنده: تام جکسن (Tom Jackson)
 ویراستار متن: فرزانه پورقناد
 ناشر: مؤسسه‌ی نشر شهر (سازمان فرهنگی هنری شهرداری تهران)
 نوبت چاپ: ۱۳۹۹ - دوم
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۴۳۹-۱۳۱-۳
 نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شهید حقانی (غرب به شرق)، بعد از ایستگاه مترو حقانی، بلوار کتابخانه ملی
 تلفن: ۹۶۰۴۵۵۰۰
 مترجم‌ها: عطا کالیراد و عرفان خسروی
 صفحه‌آرایی و تصویرسازی: لیلا پورقناد
 شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
 قیمت: ۳۳۰۰۰ تومان
 www.nashreshahr.com



نشرنت شهر

همه‌ی حقوق محفوظ است.

در چند دقیقه

این مجموعه برگرفته از کتاب‌های «IN MINUTES» از انتشارات QUERCUS است که هر یک به موضوعی در حوزه علوم پایه یا علوم انسانی می‌پردازد. هر کتاب شامل حدود دویست سرفصل و شرحی مختصر بر هر کدام است که با تصویرهایی مرتبط همراه شده‌است. هر یک از این کتاب‌ها دایرةالمعارفی است کوچک و مصور با زبانی ساده و عامه‌فهم و مناسب برای آشنایی مقدماتی. کتاب زیست‌شناسی در چند دقیقه ترجمه‌ای است از کتاب *Genetics in Minutes* نوشته Tom Jackson به ترجمه عطا کالیراد و عرفان خسروی.

تام جکسن

تام جکسن، نویسنده این کتاب، نویسنده‌ای علمی با تحصیلات عمومی جانورشناسی در دانشگاه برستول است که طی ۲۰ سال اخیر بیش از ۱۰۰ کتاب علمی در زمینه‌هایی مانند علوم طبیعی، فناوری و تاریخ علم نوشته و در نگارش تعداد بیشتری نیز مشارکت داشته است.

عطا کالیراد

عطا کالیراد، مترجم این کتاب، در دانشگاه تهران در رشته زیست‌شناسی تحصیل کرده و از دانشگاه هیوستون دکتری زیست‌شناسی دریافت کرده است. او در نشریاتی علمی مانند *دانستنیها* به نویسندگی علمی درباره زیست‌شناسی پرداخته و در نشریه *دنا* (انجمن دانشجویی زیست‌شناسی دانشگاه تهران) سلسله مقالاتی درباره فلسفه زیست‌شناسی منتشر کرده است. او پیش از این کتابی درباره فلسفه تکامل زیستی (چه چیزی زیست‌شناسی را بی‌همتا می‌کند) ترجمه کرده است.

عرفان خسروی

عرفان خسروی، مترجم این کتاب، در دانشگاه تهران در رشته زیست‌شناسی تحصیل کرده و تحصیلات خود را در همین دانشگاه تا مقطع دکتری زیست‌شناسی ادامه داده است. او نویسندگی علمی را از سال ۱۳۸۰ در نشریاتی از قبیل *دانشمند* و *اطلاعات علمی* آغاز کرد و از سال ۱۳۸۹ به تحریریه نشریه *دانستنیها* پیوست. او هم‌اکنون دبیر علمی نشریه *دانستنیها* است. عرفان خسروی تاکنون چند کتاب تخصصی و عمومی درباره جانورشناسی، دیرینه‌شناسی و تکامل نوشته (فسیل‌شناسی مهره‌داران، فرهنگنامه دایناسورها، جانورشناسی مقایسه‌ای، دایناسورهای شگفت‌انگیز، ...) و دو کتاب علمی نیز در همین زمینه‌ها ترجمه کرده است (مینوی طبیعت و راهنمای صحرایی دایناسورهای کرتاسه آغازین).

فهرست

..... ۳۲ وراثت

۳۲	وراثت
۳۴	ژن
۳۶	گرگور مندل
۳۸	آمیزه‌های مندل
۴۰	قوانین مندل
۴۲	فنوتیپ
۴۴	ژنوتیپ
۴۶	آلل‌ها
۴۸	ژنوم و خزانه ژنی
۵۰	بورگه‌ها
۵۲	چیرگی

..... ۱۲ حیات

۱۲	حیات
۱۴	اشکال حیات
۱۶	سوخت‌وساز
۱۸	تغذیه
۲۰	تنفسِ یاخته‌ای
۲۲	فتوسنتز
۲۴	رشد
۲۶	تولیدمثل
۲۸	دفع
۳۰	حواس

۸۴	بلورشناسی پرتو X	۵۴	صفات مغلوب
۸۶	مارپیچ دوگانه	۵۶	همچیرگی
۸۸	کریک و واتسون		
۹۰	تصویر ۵۱		
۹۲	روزالیند فرانکلین	۵۸	یاخته
۹۴	جفت باز	۶۰	غشای یاخته‌ای
۹۶	رمز ژنتیکی	۶۲	پروکاریوت‌ها
۹۸	خودهمانندسازی	۶۴	یاخته‌های جانوری
۱۰۰	DNA بی‌نمود	۶۶	یاخته‌های گیاهی و قارچی
۱۰۲	اصل بنیادین	۶۸	جانداران پریاخته‌ای
۱۰۴	RNA	۷۰	هسته و اندامک‌ها
۱۰۶	رونویسی	۷۲	میتوکندری
۱۰۸	ریبوزم	۷۴	کلروپلاست
۱۱۰	ترجمه	۷۶	نظریه یاخته‌ای
۱۱۲	رمزگان ژنتیک	۷۸	کروموزوم‌ها
۱۱۴	آمینواسیدها	۸۰	تقسیم یاخته‌ای: میتوز
۱۱۶	پروتئین‌ها		
۱۱۸	آنزیم‌ها		
۱۲۰	نظریه قفل و کلید		
		DNA ۸۲
		۸۲	DNA

۱۶۰	چندقلویی
۱۶۲	چرخه قاعدگی
۱۶۴	بکرزایی
۱۶۶	نرماده‌ها
۱۶۸	گرده‌افشانی
۱۷۰	تناوب نسل

..... ۱۷۲ تکامل

۱۷۲	تکامل
۱۷۴	پیدایش خودبه‌خودی
۱۷۶	صفات اکتسابی
۱۷۸	لامارکیسم
۱۸۰	چارلز داروین
۱۸۲	سفر بیگل
۱۸۴	آلفرد راسل والس
۱۸۶	درباره خاستگاه گونه‌ها
۱۸۸	انتخاب طبیعی
۱۹۰	رقابت
۱۹۲	تنوع
۱۹۴	جهش

..... ۱۲۲ آمیزش جنسی

۱۲۲	آمیزش جنسی
۱۲۴	تقسیم دوتایی
۱۲۶	همیوگی
۱۲۸	جوانه زدن
۱۳۰	پلویدی
۱۳۲	اسپرم
۱۳۴	تخمک
۱۳۶	میوز
۱۳۸	کراسینگ‌آور
۱۴۰	حاملگی
۱۴۲	جنین
۱۴۴	یاخته‌های بنیادین
۱۴۶	تمایز یاخته‌ای
۱۴۸	بافت
۱۵۰	اندام‌ها
۱۵۲	تخم‌گذاری
۱۵۴	تخم‌ها
۱۵۶	زنده‌زایی
۱۵۸	باروری

۲۳۲ ساعت مولکولی

..... **۲۳۴** بوم‌شناسی

۲۳۴ بوم‌شناسی

۲۳۶ بوم‌سازگان

۲۳۸ گنام بوم‌شناختی

۲۴۰ زیست‌گاه‌ها

۲۴۲ زیست‌بوم‌ها

۲۴۴ زنجیره‌ها و شبکه‌های غذایی

۲۴۶ سطح‌های هرم غذایی

۲۴۸ اتوتروف‌ها

۲۵۰ هتروتروف‌ها

۲۵۲ کموتروف‌ها

۲۵۴ افراط‌پسندها

۲۵۶ تقلید

۲۵۸ تکامل هم‌بسته

..... **۲۶۰** روابط جانوران

۲۶۰ روابط جانوران

۲۶۲ هم‌زیستی

۱۹۶ بقای اصلح

۱۹۸ سازش

۲۰۰ گونه‌زایی

۲۰۲ انقراض

۲۰۴ تکامل هم‌گرا

۲۰۶ ژنتیک جمعیت

۲۰۸ انتخاب ماده

۲۱۰ انتخاب جنسی

۲۱۲ اثر ملکه سرخ

۲۱۴ لوسی

..... **۲۱۶** رده‌بندی

۲۱۶ رده‌بندی

۲۱۸ کارل لینه

۲۲۰ نام‌گذاری لینه‌ای

۲۲۲ گونه

۲۲۴ آرایه

۲۲۶ کلادایستیک

۲۲۸ فرمان‌روها و دامنه‌ها

۲۳۰ درخت حیات

۳۰۰	شاهین - قمری
۳۰۲	جبرگرایی
۳۰۴	رفتارگرایی

۳۰۶ پیدایش حیات

۳۰۶	پیدایش حیات
۳۰۸	نظریه سوپ آغازین
۳۱۰	پانسپریمیا یا بذر کیهانی
۳۱۲	خودتسهیل‌گری
۳۱۴	تکامل شیمیایی
۳۱۶	درون همزیستی
۳۱۸	زیست‌شناسی تکوینی - تکاملی
۳۲۰	ژن‌های Hox

۳۲۲ ژنتیک و انسان

۳۲۲	ژنتیک و انسان
۳۲۴	پروژه ژنوم انسان
۳۲۶	گروه‌های خونی
۳۲۸	اقسام بافت‌ها بر اساس HLA
۳۳۰	نژاد

۲۶۴	رابطه انگلی
۲۶۶	شکار و شکارچی
۲۶۸	زندگی گله‌ای
۲۷۰	چندزنی
۲۷۲	چندشوهری
۲۷۴	روابط بی‌قاعده
۲۷۶	راهبردهای جفت‌یابی مختلط
۲۷۸	نسبت جنسی
۲۸۰	انتخاب r/K
۲۸۲	تعیین جنسیت
۲۸۴	گروه‌گرایی حقیقی
۲۸۶	رقابت اسپرمی
۲۸۸	فرهنگ در جانوران

۲۹۰ داروین‌یسم نو

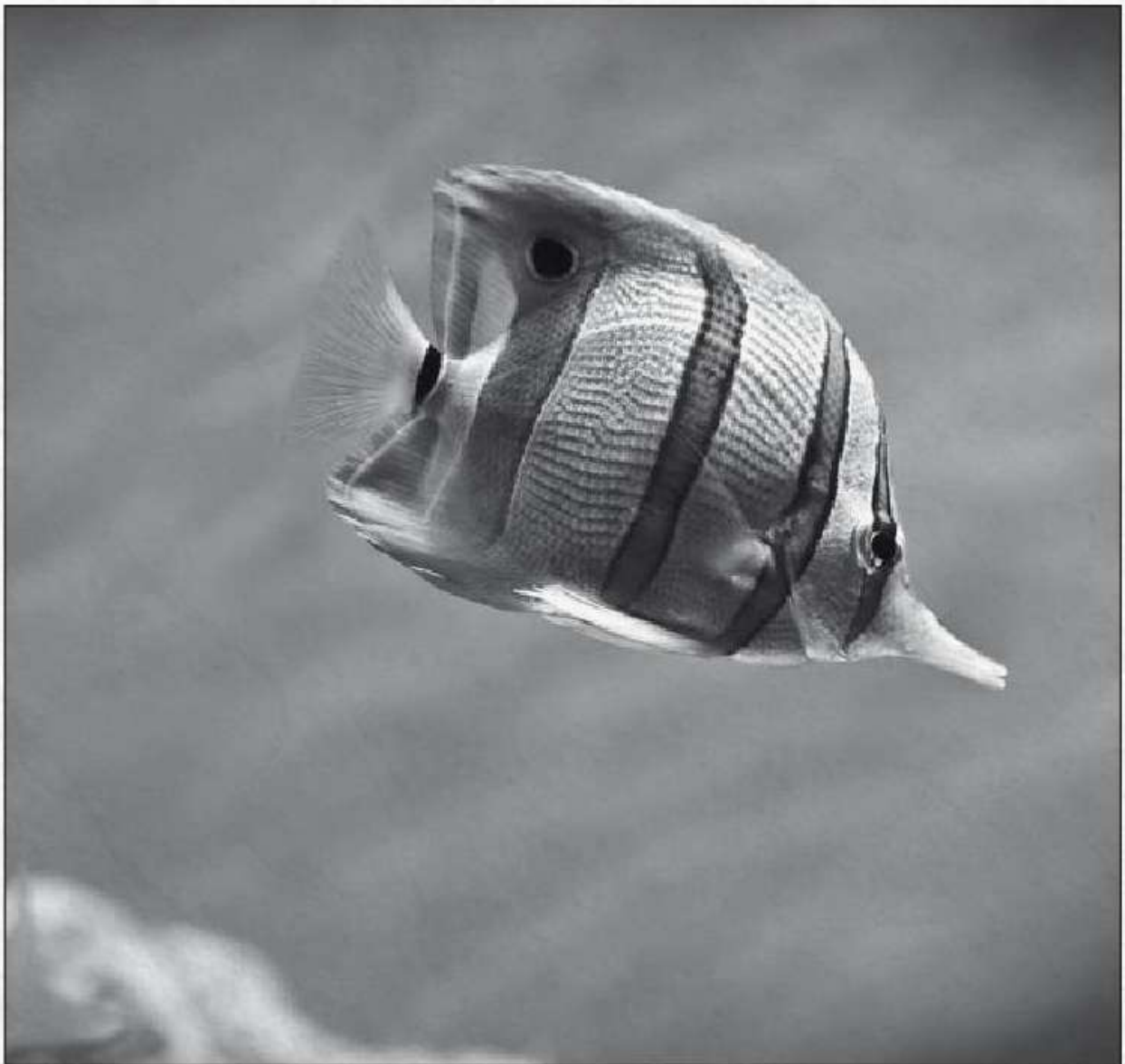
۲۹۰	داروین‌یسم نو
۲۹۲	نوع‌دوستی
۲۹۴	خویشاوندی
۲۹۶	ژن‌های خودخواه
۲۹۸	اثر ریش سبز

۳۶۸	برتری دورگه	۳۳۲	پلی‌پلویدی
۳۷۰	دورگه‌های مصنوعی	۳۳۴	نشانگان داون
۳۷۲	جهش‌یافته	۳۳۶	تفسیرات شمار نسخه‌ها
۳۷۴	اصلاح ژنتیکی	۳۳۸	بیماری وابسته به X
۳۷۶	غذای اصلاح ژنتیکی شده	۳۴۰	سرطان
۳۷۸	جانداران تراریخته	۳۴۲	ویروس‌ها
۳۸۰	به ثبت رساندن ژن‌ها	۳۴۴	پرائن‌ها
۳۸۲	همسانه‌سازی	۳۴۶	طبیعت مقابل تربیت
۳۸۴	انتقال هسته	۳۴۸	به‌نژادی
۳۸۶	گوسفندی به نام دالی	۳۵۰	هوش و ضریب هوشی
۳۸۸	انگشت‌نگاری ژنتیکی	۳۵۲	پژوهش روی دوقلوها
۳۹۰	واکنش زنجیره‌ای پلیمرز	۳۵۴	اپی‌ژنتیک
۳۹۲	الکتروفورز	۳۵۶	زمستان قحطی هلندی
۳۹۴	آزمایش ژن	۳۵۸	ممتیک
۳۹۶	وساطت ژنتیکی		
۳۹۸	ژن‌درمانی		
۴۰۰	درمان مبتنی بر یاخته بنیادین	۳۶۰	ژنتیک و فناوری
۴۰۲	نوزادان مد روز	۳۶۲	انتخاب مصنوعی
۴۰۴	زیست‌شناسی مصنوعی	۳۶۴	کشاورزی
۴۰۶	DNA: XNA مصنوعی	۳۶۶	دام

۳۶۰ ژنتیک و فناوری

حیات

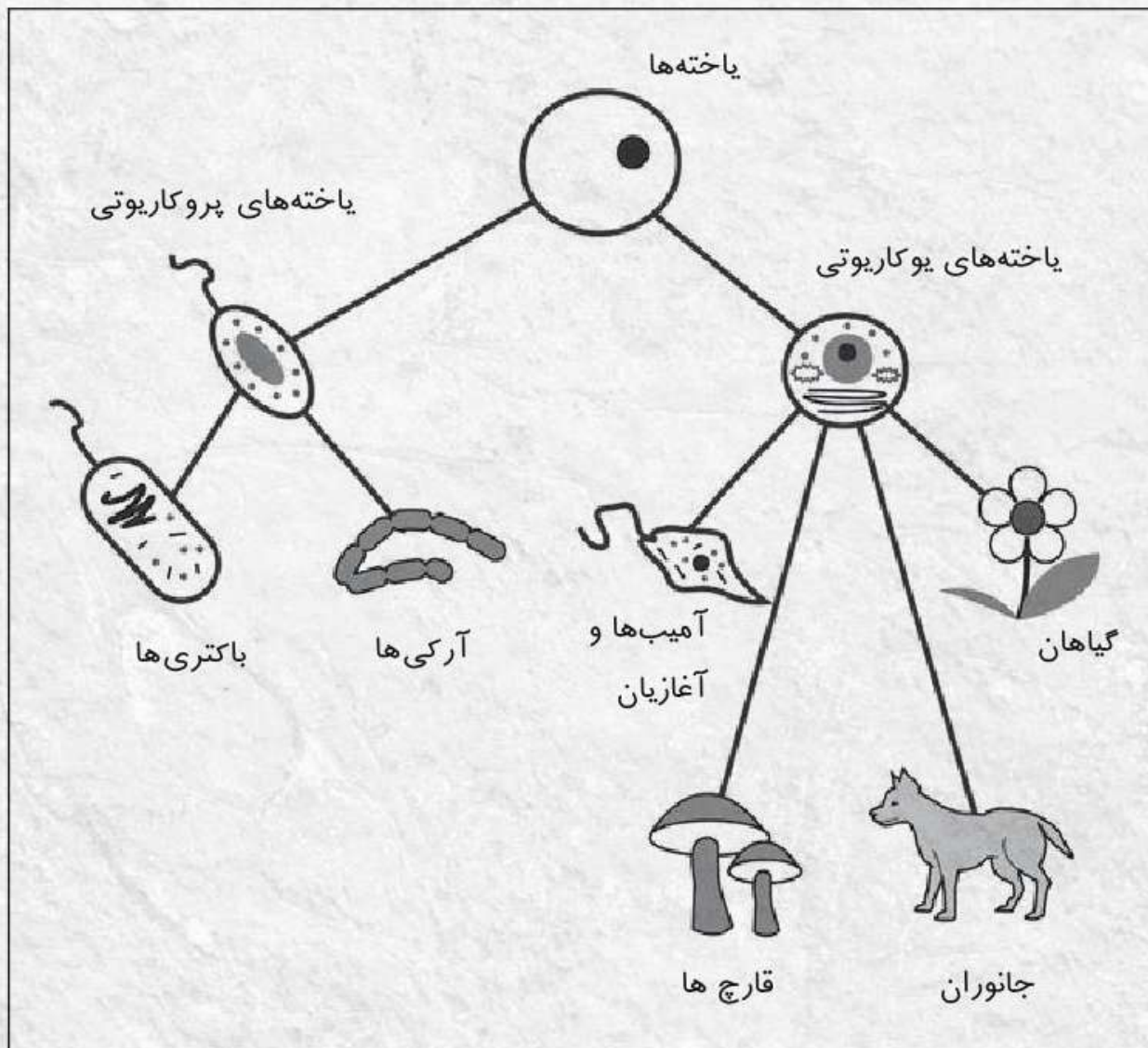
حیات چیست؟ دانشمندان به طور موجز حیات را فرآیندی خودهمتاساز (self-replicating) تعریف می‌کنند که لااقل نیازمند چرخه‌ای ترمودینامیکی است؛ به عبارت دیگر، موجودی زنده با استفاده از یک منبع انرژی، منابع شیمیایی را دگرگون می‌کند تا تولیدمثل کند. منبع انرژی مورد نیاز موجود زنده می‌بایست پایان‌ناپذیر باشد چراکه در نبود منبع انرژی یا در صورت ناتوانی موجود زنده از استفاده از این منبع، مرگ گریبان موجود زنده را می‌گیرد. همان‌طور که زندگی مختص جانداران است، مرگ نیز ویژه جانداران و به معنی تخریب فرایند ظریف و پویای حیات است. براساس این تعریف، ساده‌ترین شکل حیات یک رشته نوکلئیک اسید، مانند RNA، است. این ماده شیمیایی می‌تواند از روی خودش هم‌تاسازد. چنین شکلی از حیات به شدت ناپایدار و متغیر است؛ در نتیجه طی میلیاردها سال تکامل، حیات متنوع شده و جانداران گوناگون روش‌های مختلفی برای تضمین زندگی‌شان یافته‌اند. این روش‌های بقا تعیین‌کننده مرگ و زندگی جانداران است و دستور هر کدام از آنها در ژن‌ها جای دارد.



شکل‌های حیات

تعداد گونه‌های مختلف جانداران روی این کره خاکی چیزی میان سه تا ۳۰ میلیون تخمین زده می‌شود، گرچه اکثریت زیست‌شناسان عدد نه میلیون را نزدیک به واقعیت می‌دانند.

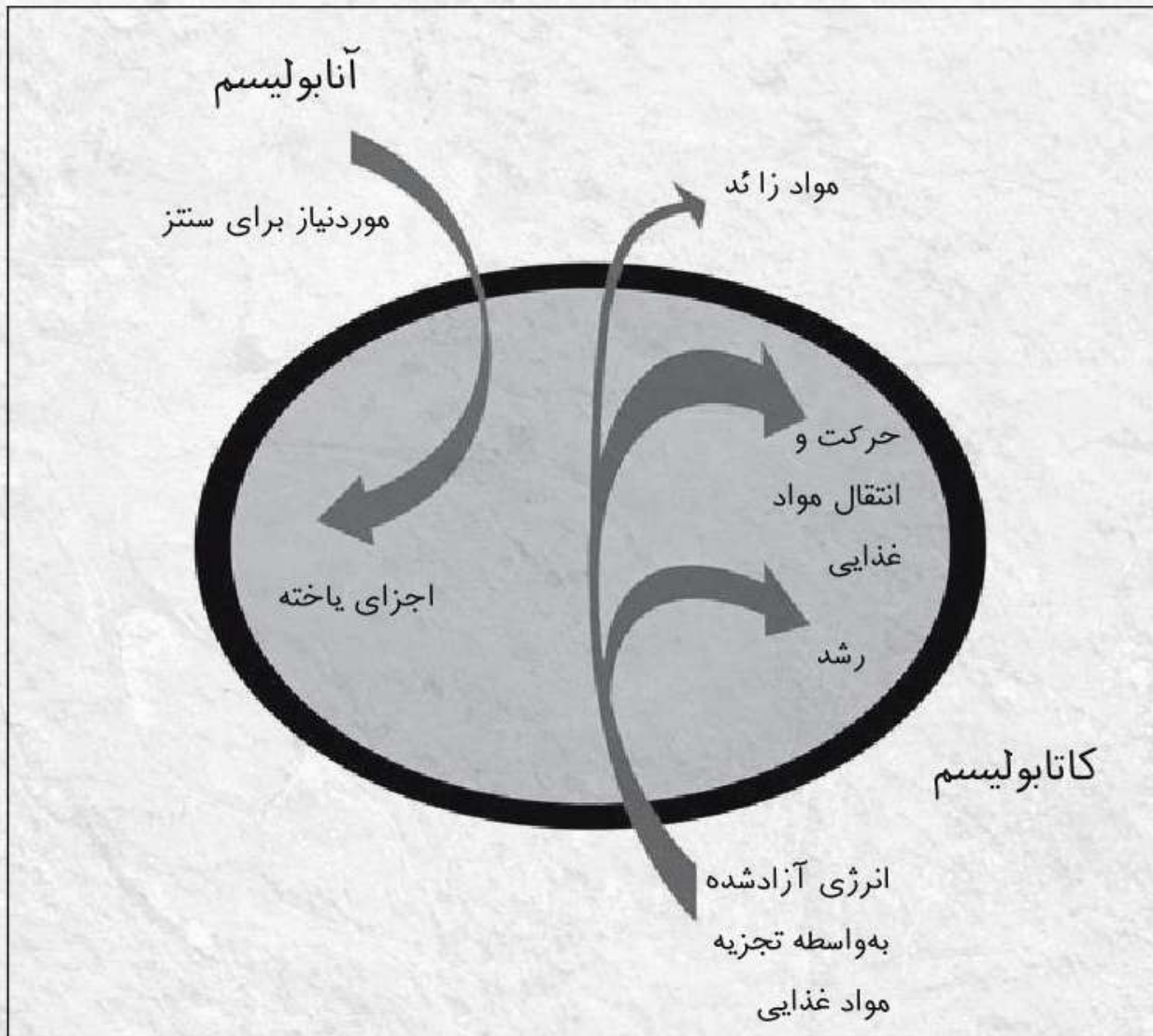
ساده‌ترین و کهن‌ترین شکل حیات باکتری‌ها هستند که بدنشان یک یاخته پروکاریوتی پیش نیست. آرکی‌ها (Archaea) نیز از شکل‌های کهن حیات هستند که در نگاه افراد نامتخصص با باکتری تفاوتی ندارند، ولی در واقع تفاوت‌های مهمی با آنها دارند و کاملاً جدا از باکتری‌ها قرار دارند. موجودات تک‌یاخته‌ای دیگر چون آمیب‌ها و آغازیان، یاخته‌هایی بزرگ‌تر و پیچیده‌تر دارند. این یاخته‌های یوکاریتی همان یاخته‌هایی هستند که بدن موجودات پریاخته‌ای چون گیاهان، جانوران و قارچ‌ها را تشکیل می‌دهند. هرگونه روشی خاص برای تنازع بقا خویش دارد، اما اعضای یک گروه زیستی با یکدیگر شباهت بیشتری دارند تا با اعضای گروه‌های دیگر. با وجود این تفاوت‌ها، شماری از خصایص زیستی (حس محیط اطراف، دفع مواد زائد، تولیدمثل، رشد، ترمیم و تغذیه) در میان اشکال مختلف حیات مشترک‌اند.



شکل‌های اصلی حیات یاخته‌ای

سوخت و ساز

سوخت و ساز یا «متابولیسم» شامل تمامی فعالیت‌های شیمیایی زیستی است؛ به عبارت دیگر فرآیندهای پرشماری که در بدن موجود زنده رخ می‌دهند، سوخت و ساز آن موجود هستند. سوخت و ساز چگونگی بهره‌کشی جانداران از منابع انرژی و نحوه استفاده از آن انرژی برای رشد و ترمیم به واسطه حامل‌های ساده انرژی شیمیایی است. فرآیندهای سوخت و ساز به دو گروه تقسیم می‌شوند: آنابولیسم و کاتابولیسم. آنابولیسم ساخت واحدهای بزرگ‌تر، پیچیده‌تر و منظم‌تر از واحدهای ساده‌تر است (به همین علت است که ورزشکاری متقلب می‌تواند از «آستروئید آنابولیک» استفاده کند که به رشد ماهیچه می‌انجامد). بالعکس، کاتابولیسم به معنای شکستن ساختارهای بزرگ‌تر به واحدهای کوچک‌تر است (همچنین این فرآیندها شامل تبدیل مواد شیمیایی زائد به انرژی می‌شود). فرآیندهای آنابولیکی و کاتابولیکی دائماً باهم در برهم‌کنش‌اند تا بسته‌های قابل استفاده انرژی را رها و آن را برای زنده نگاه داشتن موجود زنده مصرف کنند.



فرآیندهای بنیادین سوخت و ساز

تغذیه

همه موجودات زنده نیاز به خوردن غذا، یا به طور دقیق‌تر نیاز به منبعی غذایی دارند. منبع غذایی گیاهان قند حاصل از فتوسنتز و مواد معدنی موجود در محیط‌زیست‌شان (به‌ویژه خاک) است. جانوران و قارچ‌ها مواد غذایی موردنیاز خود را از جانداران دیگر استخراج می‌کنند. برخی جانداران تک‌یاخته‌ای می‌توانند از هر دو شیوه برای کسب مواد غذایی سود ببرند.

مواد غذایی به دو علت عمده موردنیازند: اولاً مواد غذایی، پس از استخراج، مورد استفاده فرآیندهای زیستی حاضر در بدن موجود زنده قرار می‌گیرند (گلوکز و سایر قندها از بهترین مثال‌های این هدف تغذیه است). ثانیاً، مواد غذایی را می‌توان به مواد خامی تبدیل کرد که برای ساخت بدن موجود زنده موردنیازند. نیازهای غذایی موجودات مختلف می‌توانند باهم تفاوت اساسی داشته باشند. گیاهان برای فراهم آوردن تمام انرژی موردنیاز خود به آب، دی‌اکسید کربن و مواد معدنی چون نیترات‌ها و فسفات‌ها نیازمندند، ولی جانوران به مواد غذایی پیچیده‌تری چون چربی‌ها، نشاسته، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها احتیاج دارند.



تنفس یاخته‌ای

بیشتر افراد با شنیدن واژه تنفس یاخته‌ای به یاد نفس کشیدن می‌افتند. معنای زیستی تنفس مفهومی فراتر از تعریف پزشکان از تنفس دارد. از لحاظ زیستی همه جانداران، چه آنان که مانند مهره‌داران نفس می‌کشند و چه دیگران تنفس یاخته‌ای انجام می‌دهند. از منظر زیستی، تنفس یاخته‌ای فرآیندی است که قند و یا دیگر انواع سوخت‌های شیمیایی را به انرژی مبدل می‌کند. عموماً چنین فرآیندی مشابه آتش گرفتن مواد سوختی در معرض هوا است که در آن مواد سوختی اکسیده می‌شوند. فرآیند اکسیده شدن گلوکز را که از رایج‌ترین اشکال تنفس یاخته‌ای است، می‌توان به شکل واکنش ساده‌ای نوشت؛ آن‌طور که در صفحه مقابل می‌بینید، گلوکز با اکسیژن واکنش می‌دهد و کربن دی‌اکسید، آب و مقداری انرژی حاصل این برهم‌کنش‌اند. اگر گلوکز خالص در معرض هوا سوزانده شود، چیزی جز شعله و حرارت حاصل نمی‌شود اما در درون یاخته، سوختن تنظیم شده گلوکز به تولید بسته‌های کوچکی در چندین مرحله می‌انجامد.



دی اکسید کربن + آب + انرژی → گلوکز + اکسیژن

فتوسنتز

همان‌طور که از این واژه برمی‌آید، فتوسنتز فرآیندی است که در آن مواد جدید به واسطه نور تولید شده به وجود می‌آیند. محصول پایانی این فرآیند گلوکز است. فتوسنتز در برگ‌ها و دیگر اندام سبزرنگ گیاهان و سایر جانداران فتوسنتز کننده رخ می‌دهد. رنگ سبز از این جهت حائز اهمیت است که انرژی خورشید توسط رنگینه‌ای به نام کلروفیل در یاخته‌های گیاهی به دام می‌افتد. کلروفیل از این رو سبزرنگ به نظر می‌آید که این رنگینه امواج آبی و قرمز را به دام می‌اندازد، درحالی‌که موج سبز را منعکس می‌کند.

ازلحاظ شیمیایی، فتوسنتز درست برعکس تنفس یاخته‌ای است: کربن دی‌اکسید و مولکول‌های آب باهم ترکیب شده و با انرژی فراهم شده با کلروفیل به گلوکز و اکسیژن مبدل می‌شوند. محصول زائد تنفس، کربن دی‌اکسید و محصول زائد فتوسنتز اکسیژن است. تقریباً تمامی اکسیژن موجود در اتمسفر کره زمین (که بیست درصد اتمسفر را تشکیل می‌دهد) حاصل فتوسنتز است.

انرژی خورشید



کلروفیل

انرژی خورشید



کلروفیل

رشد

موجود زنده زمانی زنده به شمار می‌آید که بتواند لااقل در برهه‌ای از زندگی‌اش رشد کند. تأیید این که جاننداری پیچیده این شرط را برآورده می‌کند یا خیر سهل است. بیشتر اشکال حیاتی پریاخته‌ای - جاندارانی که از بیش از یک یاخته تشکیل می‌شوند - در بدو امر تک‌یاخته‌ای بیش نیستند، ولی در طی حیاتشان رشد کرده و به جنین و در نهایت به موجودی بالغ مبدل می‌شوند. چنین رشدی به واسطه تقسیم یاخته‌ای میسر است. تمامی یاخته‌های یک جاندار پریاخته‌ای، از تک‌یاخته لقاح یافته‌ای نشأت گرفته‌اند.

رشد جانداران تک‌یاخته‌ای - جاندارانی چون باکتری‌ها و آمیب‌ها - به این روشنی نیست. یاخته این جانداران نیز تقسیم می‌شود ولی به جای رشد، یاخته‌های حاصل از تقسیم خود به جاندارانی مستقل تبدیل می‌شوند. می‌توان گفت که در این جانداران، رشد و تولیدمثل دو روی یک سکه‌اند. در نتیجه، رشد را می‌توان توانایی تولید یاخته‌های جدید از یاخته‌های قدیمی‌تر دانست. این مفهوم بنیانی نظریه یاخته‌ای، اساس علوم زیستی را شکل می‌دهد.



تولیدمثل

بقا گاهی به عنوان هدف اصلی زندگی جانداران مطرح می‌شود؛ اما درحقیقت، بقا مسیری است برای رسیدن به هدف اصلی از زندگی موجودات زنده؛ یعنی تولیدمثل، یا دست‌کم می‌توان گفت، اهمیت تولیدمثل همسنگ بقاست. به عبارت دیگر هدف اصلی موجودات زنده تولیدمثل است؛ اقسام مختلف تولیدمثل تفاوتی از این نظر ندارند - از تقسیم دوتایی گرفته تا اعمال پیچیده‌ای چون معاشقه، انتخاب جفت و مراقبت والدین. باوجوداین گستردگی در انواع تولیدمثل، تمامی آنها را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد: جنسی و غیرجنسی. تولیدمثل جنسی نیازمند دو والد است درحالی‌که در تولیدمثل غیرجنسی یک والد کفایت می‌کند.

تنازع بقا و تولیدمثل پیش‌ران فرایند تکامل به واسطه انتخاب طبیعی هستند، فرآیندی که میلیون‌ها گونه ساکن این کره خاکی را شکل داده است. در اصل، فرایند تکامل پیامد تولیدمثل است. هدف تولیدمثل ساخت رونوشت‌های جدید DNA است و طی همین فرایند نسخه‌برداری است که جهش‌ها رخ می‌دهند و DNA تغییر می‌کند.



دفع

همان‌طور که موجود زنده مواد مغذی و خام را از محیط پیرامونش جذب می‌کند، او نیازمند دفع ضایعات سوخت‌وساز است. برخلاف معنای رایج این واژه، معنای زیستی دفع مترادف «اجابت مزاج» نیست. تفاوت مهم میان «دفع» و «اجابت مزاج» این‌جاست که غذای درون دستگاه گوارش - لوله‌ای توخالی که از میانه بدن می‌گذرد - حقیقتاً وارد بدن نشده است، درحالی‌که دفع به معنای دقیق کلمه، فرآیندی است که طی آن مواد زائد - که در صورت انباشته شدن می‌توانند برای بدن زیان‌بخش باشند - از بافت بدن جمع‌آوری شده و بیرون رانده می‌شوند.

شکل اصلی دفع در انسان ادرار است که در طی آن آب اضافی و ضایعات انباشته از نیتروژن به شکل اوره از بدن دفع می‌شوند. تعریق نیز می‌تواند مستقیماً به دفع از طریق پوست منجر شود. به علاوه، آزاد شدن کربن‌دی‌اکسید در حین تنفس یاخته‌ای نیز شکلی از دفع است.



حواس

تمامی اشکال حیات قابلیت درک تغییرات رخ داده در محیط زیست و پاسخ دادن به آنها را دارند. برای یک جاندار تک‌یاخته‌ای، این قابلیت به تشخیص تغییری شیمیایی مانند تغییر در شوری آب یا وجود مواد غذایی یا سموم خلاصه می‌شود. گیاهان به نور، گرانش و گاهی فشار حساس‌اند. گیاهان به سمت منبع نور و دور از جهت گرانش رشد کرده و برخی الگوی رشد خود را تغییر می‌دهند تا به دور شیئی بپیچند. حواس جانوران بسیار پیچیده‌تر است چراکه باید مناسب زندگی فعالانه آنان باشد. حواس خامسه انسانی در میان سایر جانوران نیز تا حدی رایج است: شنوایی، بویایی، چشایی، بینایی و لامسه. حس لامسه مجموعه‌ای پیچیده از گیرنده‌ها در سطح پوست‌اند که به گرمی، سردی، لرزش و فشار حساس‌اند. سایر جانوران حواسی فراتر از حواس انسانی دارند. بسیاری از حشرات و بندپایان طیف فرابنفش را می‌بینند، کوسه‌ها و خویشاوندانشان فعالیت‌های الکتریکی سایر جانداران را حس می‌کنند و برخی دیگر از جانوران ظاهراً توانایی درک میدان مغناطیسی کره زمین را دارند.



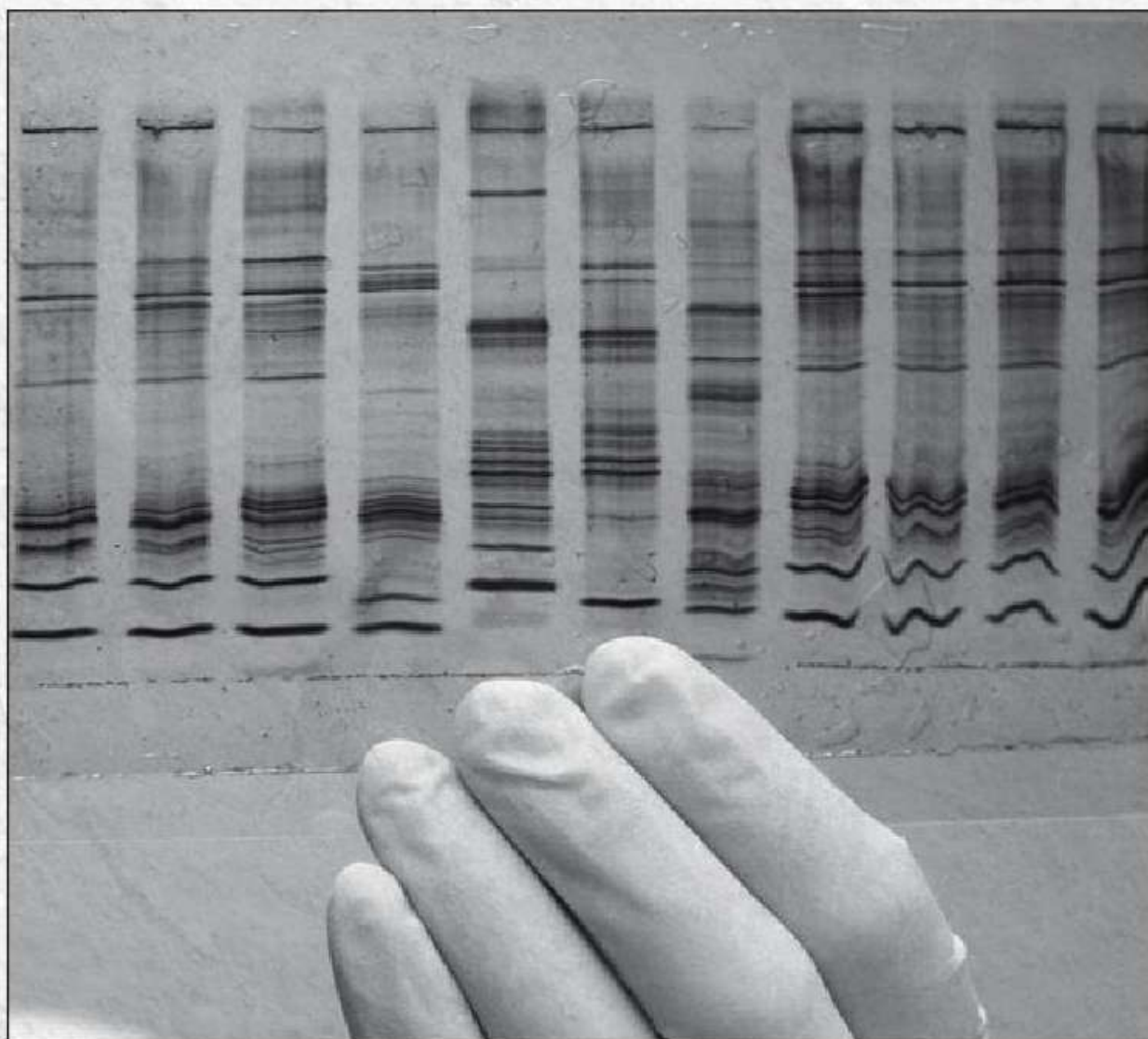
وراثت

ژنتیک دانشی است تقریباً نوپا که در اوایل دهه ۱۸۵۰ پا گرفت، اما واژه ژنتیک تا ۱۹۰۵ وضع نشد. واژه ژنتیک واژه‌ای جدید است که به حوزه‌ای قدیمی، یعنی وراثت، اطلاق می‌شود. از پیش از تاریخ، این که کودکان برخی صفات والدینشان را به ارث می‌برند بر کسی پوشیده نبود. خصوصیات چو رنگ مو، فرم صورت و قد در خانواده‌ها از نسلی به نسل دیگر به ارث می‌رسند. این اصل همان‌گونه در انسان‌ها صادق است در جانوران و گیاهان - خاصه آنان که در کشاورزی استفاده می‌شوند - صدق می‌کند. تلاش برای کشف سازوکار وراثت به دانش ژنتیک و نظریه تکامل منجر شد، اما خاستگاه این شاخه از زیست‌شناسی به مدت‌ها پیش برمی‌گردد. یونانیان باستان نظریه‌ای وراثتی تحت عنوان پیدایش یک‌باره (Pangenesis) ابداع کرده بودند که براساس آن تمامی اجزای بدن اطلاعات زیستی را به منی و خون ماهانه فرستاده تا انسانی خرد (Homunculus) در بدن مادر به وجود آورند. حتی داروین فرضیه‌ای مشابه پیشنهاد داده بود که بر اساس آن صفات وراثتی به واسطه فوجی از بسته‌هایی ریز (gemmules) بین نسل‌ها انتقال می‌یافت.



ژن

واژه ژن را ویلهلم یوهانسن (Wilhelm Johannsen) در ۱۹۰۹ وضع کرد. ریشه این لغت را می‌توان در واژه genesis - به معنای خاستگاه یا زایش - یافت. چارلز داروین و همکارانش در قرن نوزدهم از موادی که تصور می‌شد در وراثت صفات نقش داشته باشند، صحبت می‌کردند، بی‌آن‌که نامی بر آن نهاده باشند. مطالعه فرآیند وراثت در ۱۹۰۵ به مدد زیست‌شناس انگلیسی ویلیام بیتسون (William Bateson) ژنتیک (genetics) نام گرفت و کمی بعدتر یوهانسن مفهوم ژن را معرفی کرد. یوهانسن نمی‌دانست که ژن‌ها از چه ساخته شده‌اند. او صرفاً از این واژه برای اشاره به واحد وراثت استفاده کرد: ژن‌هایی که از والد به ارث می‌رسند حاوی دستورات ضروری برای ساخت بدن یک کودک‌اند. این واژه همچنان برای اشاره به صفات قابل‌اندازه‌گیری استفاده می‌شود - ژنی برای نوع تار مو، رنگ چشم و غیره؛ اما امروزه ما می‌دانیم که ماده ژنتیکی DNA است، بنابراین تکه‌ای از DNA می‌تواند یک ژن باشد. تطبیق مفهوم شیمیایی ژن و مفهوم کالبدشناختی آن از اهداف اصلی علم ژنتیک است.



رسالت بنیادین علم ژنتیک شناسایی ژن‌های موجود در یاخته‌ها و یافتن عملکردشان است |

گرگور مندل

راهبی آلمانی تبار بنیان‌گذار علم ژنتیک بود که در میانه قرن نوزدهم جایی در شمال امپراطوری اتریش-مجارستان زندگی می‌کرد. پژوهش‌های گرگور مندل (Gregor Mendel) - که در عزلت باغ دیر توماس قدیس در برنو، شهری که اکنون در چک واقع است، به انجام رسید- از زمان چاپش در ۱۸۶۶ تا ابتدای قرن بیستم ناشناخته ماند، هرچند پژوهش‌های او حاوی اصول بنیادین دانش ژنتیک بودند. اکتشافات گرگور مندل برپایه آمیزش نخودفرنگی در باغش بود. او چیزی درباره DNA نمی‌دانست و به ندرت به مفاهیم زیست‌شناختی اشاره می‌کرد. مندل به جای واژه ژن از واژه عامل (factor) استفاده می‌کرد. با وجود این، مندل با مطالعه چگونگی وراثت صفات مختلف در نخودفرنگی از نسلی به نسل دیگر برخی اصول جهان‌شمول علم ژنتیک را دریافت. این اصول بنیادین شالوده فرآیند وراثت را تشکیل داده و به افتخار کاشفشان «ژنتیک مندلی» خوانده می‌شوند.

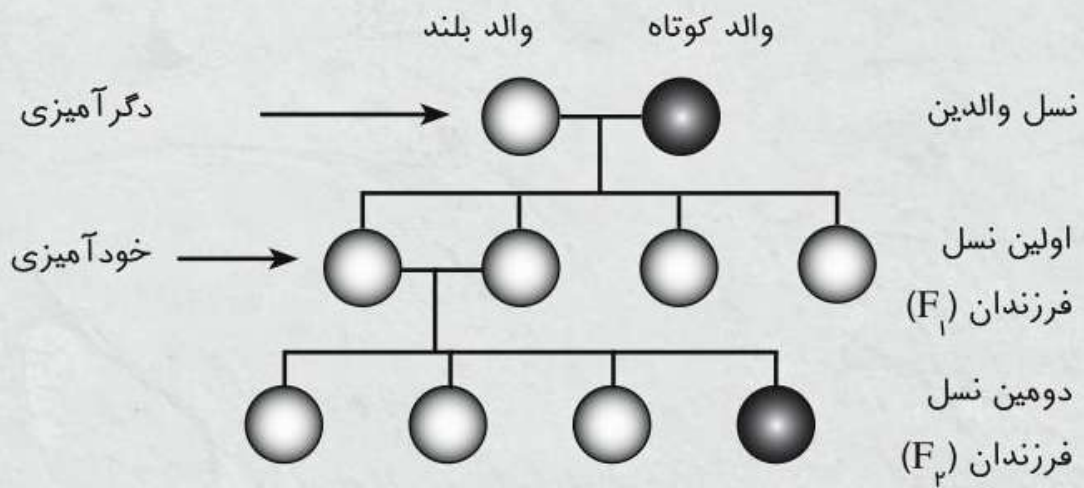


Gregor Mendel

آمیزه‌های مندل

کشفیات مندل حاصل پشنتکار او در تعیین دقیق نخودفرنگی‌هایی بود که می‌بایست باهم می‌آمیختند. گیاه نخودفرنگی توانایی خودآمیزی دارد به این معنا که گرده‌های یک گیاه می‌توانند خود آن گیاه را بارور کنند. این ویژگی نخودفرنگی آزمایش‌های مندل را کمی آسان‌تر کرد. مندل شماری صفت وراثتی - از قبیل رنگ و شکل گل و ارتفاع گیاه - یافت. او روی تمامی این صفات آزمایش کرد، ولی ما اینجا به بحث در باب ارتفاع گیاه اکتفا می‌کنیم. مندل گیاه بلند را که در صورت خودآمیزی همواره فرزندان بلندبالا تولید می‌کرد با گیاه کوتاهی که در صورت خودآمیزی همواره فرزندان کوتاه‌قد تولید می‌کرد، آمیزش داد. او مشاهده کرد که در نسل بعد تمامی گیاهان بلندقد بودند. او یک گیاه را از این نسل وادار به خودآمیزی کرد. سه‌چهارم فرزندان این خودآمیزی بلندقد و یک‌چهارم کوتاه‌قد بودند. این الگوی وراثتی در همه صفاتی که مندل مورد مطالعه قرار داد، صدق کرد. بر مبنای نظریات وراثتی مندل این چنین آزمایش‌هایی که به‌گونه‌ای تعجب‌برانگیز یکپارچه بودند، استنباط شدند.

آزمایش‌های آمیزشی مندلی



نسبت سه به یک فرزندان بلند قامت به فرزندان کوتاه قامت

قوانین مندل

مندل بر اساس هزاران آزمایش آمیزشی که انجامش چندین سال به طول انجامید، اصول جهان‌شمول وراثت را از منظر خود ترسیم کرد. براساس قانون تفکیک مندل، هر گیاه دو نسخه از هر عامل (ژن) دارد. در زمان گرده‌سازی، این دو نسخه یک ژن از هم جدا می‌شوند. هر فرزند تنها یک نسخه از آن ژن را از هر یک از والدینش به ارث می‌برد. قانون دسته‌بندی مستقل بیان می‌کند که هر عامل مستقل از دیگر عوامل وراثتی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. براساس قانون سوم مندل - قانون غلبه - برخی عوامل وراثتی بر عوامل دیگر غلبه دارند به این معنی که عامل غالب صفت ظاهری موجود را تعیین می‌کند، درحالی‌که عامل مغلوب از دیده پنهان است. پژوهش‌های بعدی قانون دوم را به قانونی مشروط مبدأ کرده و برخی قانون سوم را چندان مهم نمی‌دانند چراکه این قانون به همه عوامل وراثتی اختصاص ندارد، باوجوداین این قوانین شالوده علم ژنتیک کلاسیک را تشکیل می‌دهند.

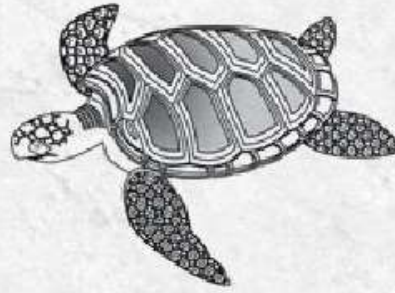
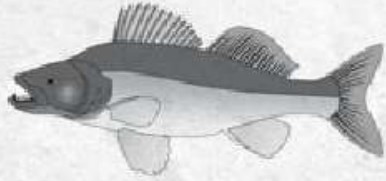


| آزمایش‌های سخت‌کوشانه مندل روی نخودفرنگی به اولین کشفیات در باب عوامل وراثتی و
اثرشان بر تکوین منجر شد |

فنوتیپ

ژنتیک کلاسیک میان دو تعریف ژن، تفاوت قائل می‌شود: ژن را می‌توان به عنوان ماهیتی شیمیایی - تکه‌ای از DNA - یا صفتی وراثتی که لزوماً کالبدشناسانه نیست، در نظر گرفت. مندل نشان داد که این دو مفهوم باهم یکی نیستند. از این رو ژنتیک‌دانان مفهوم «فنوتیپ» را ابداع کردند.

فنوتیپ نمود بیرونی و ماحصل ژن‌هایی است که به ارث می‌رسند. فنوتیپ می‌تواند قد گیاه نخودفرنگی، رنگ موی انسان یا شکل کلی بدن یک حشره باشد. رفتار جانوران را نیز می‌توان شکلی از فنوتیپ تلقی کرد. گاهی به این تعریف فنوتیپ، فنوتیپ گسترده (extended phenotype) می‌گویند. غالباً یادگیری در رفتارهایی چون مهاجرت، شکار و لانه‌سازی نقش دارد، ولی نهایتاً چنین رفتارهایی از والدین به فرزندان به ارث می‌رسند. نبوغ مندل در شناسایی رابطه میان فنوتیپ و نحوه وراثت ماده ژنتیکی بود. ماده ژنتیکی در این بافتار اصطلاح شناختی، نامی متفاوت دارد: ژنوتیپ.



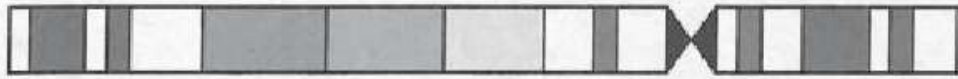
ژنوتیپ

ژنوتیپ را می‌توان صرفاً مترادف با ترکیب ژنتیکی هر جاندار دانست. ژنوتیپ ژن‌های مختلفی را که از والد به ارث رسیدند، توصیف می‌کند. همان‌گونه که گرگور مندل کشف کرد، همه موجودات یک نسخه از هر ژن خود را از یکی از والدین خود می‌گیرند و ژنوتیپ از این جفت‌ها ساخته شده است.

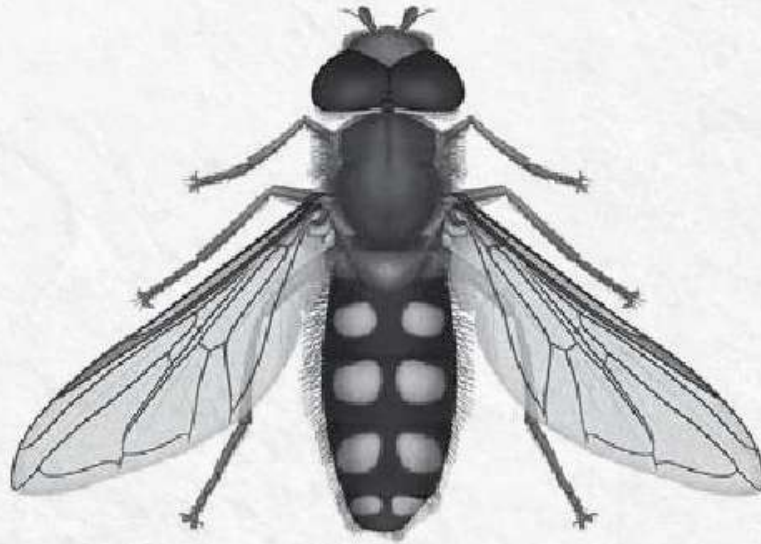
یک ژنوتیپ خاص لزوماً به فنوتیپی خاص منجر نمی‌شود. در واقع برخی فنوتیپ‌ها، مانند قد گیاه نخودفرنگی، تحت تأثیر دریایی از ژنوتیپ‌ها قرار دارند. سازوکار تعیین‌کننده فنوتیپ دو وجه دارد. در وهله اول نسخه‌های مختلف و متفاوت یک ژن که بر هم اثر گذاشته و به شکل‌های مختلف - براساس قانون غلبه یا قانون سوم مندل - باهم ترکیب می‌شوند. پس از آن، محیط‌زیست جاندار نیز به درجات مختلف (که برای ژن‌ها مختلف تفاوت دارد)، بر رشد و تکوین هر جاندار اثر می‌گذارد.



ژنوتیپ

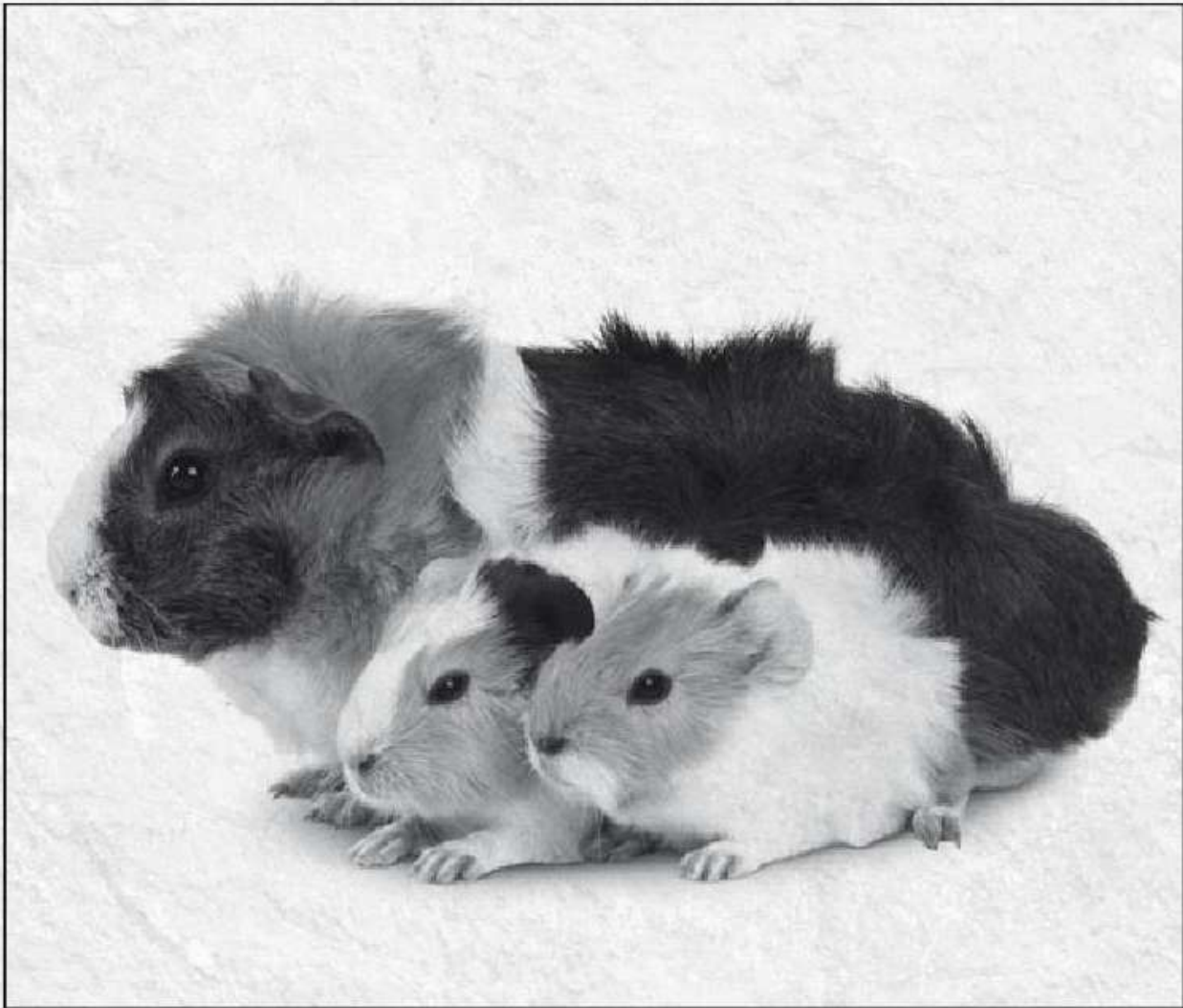


فنوتیپ را تعیین می کند



آلل‌ها

کلمه ناآشنا و اصالتاً آلمانی «آلل» که می‌توان آن را به «مانند یکدیگر» ترجمه کرد، مفهومی است بسیار سودمند در علم ژنتیک: آلل یکی از چندین نسخه ممکن یک ژن است. به عنوان مثال در آزمایش‌های مندل، ژن مربوط به قد گیاه نخودفرنگی دو آلل - یکی برای بلندی و دیگری برای کوتاهی - دارد. این مسأله در مورد رنگ چشم هم صادق است چراکه رنگ چشم آبی، سبز، طوسی، قهوه‌ای و فندق‌ری را می‌توان آلل‌های مختلف ژن تعیین‌کننده رنگ چشم دانست. دو آلل مربوط به یک ژن، ژنوتیپ را شکل می‌دهند. اگر این دو آلل باهم یکسان باشند، ژنوتیپ حاصل را همسان (homozygous) می‌خوانند؛ زیرا در حین تقسیم یاخته‌ای برای تولید یاخته‌های تولیدمثلی (گرده، اسپرم، تخمک و اقسام دیگر یاخته‌های جنسی)، همه یاخته حاصل حاوی یک نوع آلل‌اند. ژنوتیپ ناهمسان (heterozygous) ژنوتیپی است که از دو آلل متفاوت ساخته شده است؛ بنابراین هریک از یاخته‌های جنسی حاصل از ژنوتیپ ناهمسان حامل آلی متفاوت است. با وجود این، ژنوتیپ‌های همسان و ناهمسان، در صورت وجود صفات غالب و مغلوب، می‌توانند منجر به بروز فنوتیپی یکسان شوند.



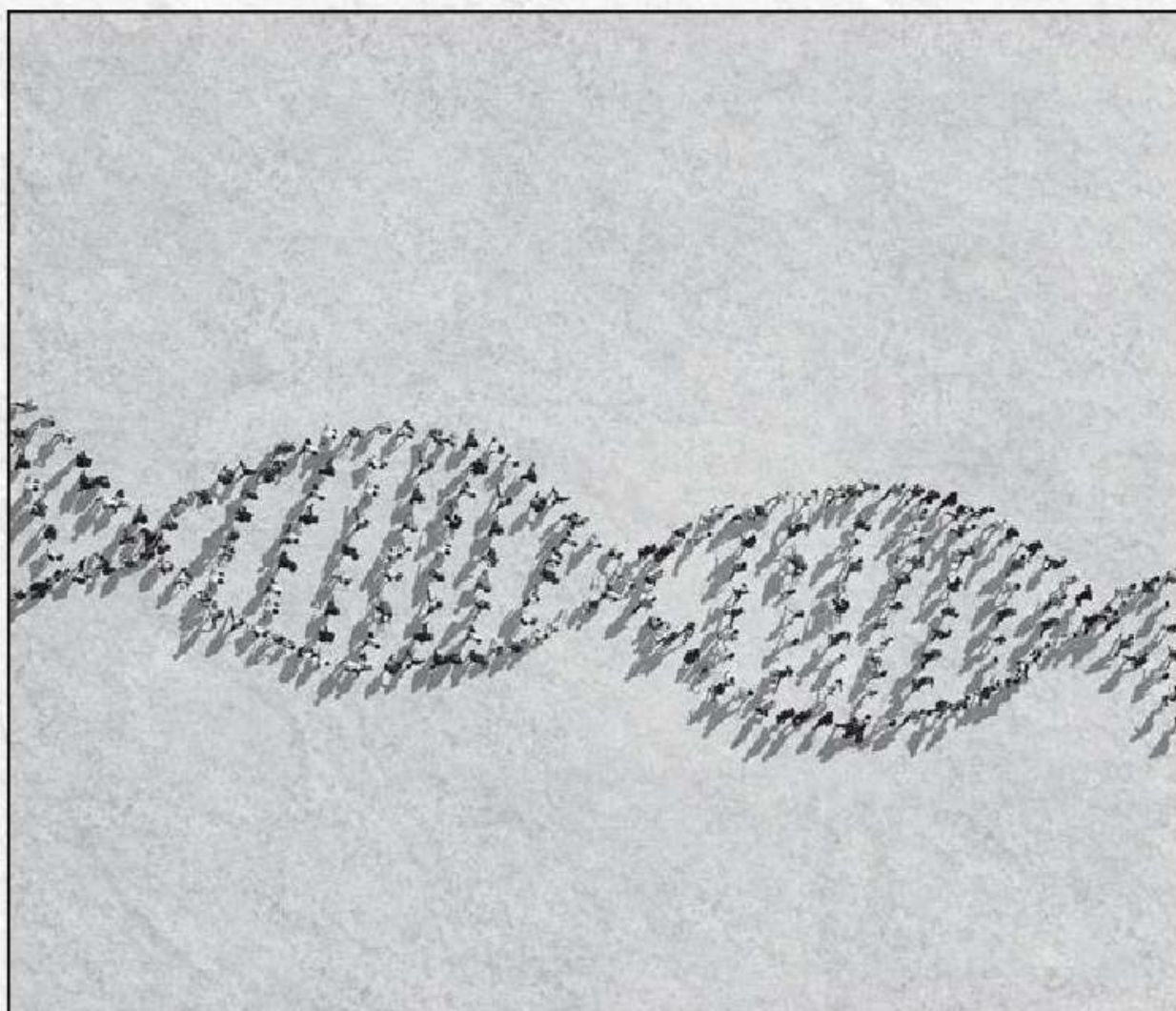
تمامی این خوکچه‌های هندی حامل ژنی هستند که رنگ موی بدن آنها را کنترل می‌کند
ولی هر یک نسخه - یا آلی - متفاوت از آن ژن را از والد خود به ارث برده‌اند

ژنوم و خزانه ژنی

ژنوم تمامی ماده ژنتیکی است که در بدن موجود زنده وجود دارد. از زمان آغاز پروژه ژنوم انسان در ۱۹۹۰، مفهوم ژنوم به مفهومی آشنا بدل گشته است. تلاش برای توالی‌یابی تمامی مواد ژنتیکی مورد نیاز برای ساختن بدن انسان رسماً در ۲۰۰۳ به پایان رسید ولی پژوهش‌ها در خصوص اینکه چگونه این ژنوم به ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ ژن تقسیم می‌شود هنوز به سرانجام نرسیده‌اند.

تاکنون ژنوم جانداران دیگر چون باکتری *Escherichia coli*، کرم *Caenorhabditis elegans* و مگس سرکه هم توالی‌یابی شده‌اند. میزان ماده ژنتیکی موجود در این جانداران و شمار ژن‌های موجود در هر یک با دیگری متفاوت است.

«خزانه ژنی» هم مفهومی آشنا است که معنایی متفاوت از ژنوم دارد. خزانه ژنی به تمامی ژن‌ها و آلل‌هایشان که در جمعیتی از یک جاندار به خصوص وجود دارند اشاره می‌کند. خزانه ژنی یک جمعیت مترادف با تنوع ژنتیکی آن جمعیت است.



ژنتیک‌دانان علاوه بر مطالعه ژن‌ها در سطح افراد، علاقه‌مند به دانستن رفتار ژن‌ها در سطح جوامع، جمعیت‌ها و حتی تمامی اعضای یک گونه‌اند |

دورگه‌ها

دورگه یا هیبرید (hybrid) به طور کل، حاصل آمیزش دو نژاد یا دو گونه متفاوت است. از نظر زیستی و خاصه از منظر ژنتیکی، دورگه جاننداری است دگرگامه‌ای (heterogametic)، به این معنا که او دو نسخه مختلف از یک ژن را از والدینش به ارث برده است.

موفقیت گرگور مندل در رازگشایی معمای وراثت در گروهی توانایی او در آفرینش مدام دورگه‌های موردنیازش بود. گرچه او از سازوکار آنچه در آزمایش‌هایش اتفاق می‌افتاد، ناآگاه بود، مندل به درستی به این نتیجه رسیده بود که حاصل آمیزش میان نخودفرنگی‌هایش دورگه - گیاهانی که دو نسخه متفاوت از یک ژن را از والدین خویش به ارث برده‌اند - بودند.

این کشف به دریافت او از این‌که همه آلل‌ها یکسان نیستند منجر شد. برخی آلل‌ها غالب‌اند و این برهم‌کنش میان آلل‌هاست که به بروز فنوتیپ‌های مختلف منجر می‌شود.



این Žubroń دورگه‌ای است حاصل آمیزش گاو اهلی و گاومیش اروپایی |

چیرگی

تیبین‌کننده اصلی نتایج آزمایش‌های مندلی چیرگی ژنتیکی است. در آمیزش نخودفرنگی بلند با نخودفرنگی کوتاه، نخودفرنگی بلندقد ژنوتیپ TT دارد و آلل T آلل بلندقدی است. ژنوتیپ نخودفرنگی کوتاه tt است چراکه آلل t آلل مربوط به کوتاهی قد است.

در نسل بعد همه زادگان یک آلل T از یک از والدین و یک آلل t از والد دیگر به ارث می‌برند و در نتیجه ژنوتیپ همه این زادگان Tt است. آلل T بر آلل t غالب است و در نتیجه تمامی ژنوتیپ‌های حامل T به گیاهی بلندبالا می‌انجامند. در مرحله بعد، مندل گیاهان Tt را با خودشان آمیزش داد. این آمیزش‌ها به چهار ژنوتیپ می‌انجامد که همگی به یک اندازه محتمل‌اند: TT، Tt، tT و tt. همه ژنوتیپ‌های حامل T گیاهانی بلندقد تولید می‌کنند و تنها ژنوتیپ tt به گیاهان کوتاه‌قامت منتهی می‌شود. با این توضیح واضح است که چرا مندل نسبت ۳:۱ نخودفرنگی‌های بلندقد به کوتاه را در آزمایش‌هایش مشاهده کرد. این توضیح نشان‌گر جهش ذهنی سترگی است که مندل برای کشفیاتش نیاز داشت.

نسل والدین



T
t
Tt

گامت ها

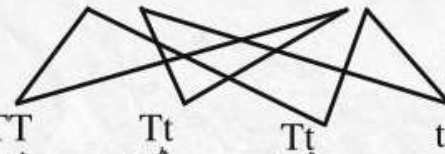


Tt

Tt

همه گیاهان نسل اول ژنوتیپشان

Tt و بلند قامت اند



گامت ها

TT Tt Tt tt



گیاهان نسل دوم به نسبت ۱ : ۲ :

۱ حامل ژنوتیپ های TT/Tt/tt

اند. در این نسل گیاهان بلندقد

به نسبت ۳ : ۱ از کوتاهقدان

رایج ترند

صفات مغلوب

چیرگی ژنتیکی در حضور یک آلل تنها مفهومی ندارد و تنها با وجود دو آلل معنا پیدا می‌کند. یک آلل می‌تواند بر آلل دیگر چیرگی داشته باشد که در آن صورت آلل دیگر را مغلوب می‌خوانند. با اینکه آلل دوم در قیاس با آلل اول مغلوب است، خود می‌تواند بر آلل سوم غالب باشد. به عنوان مثال آلل موی سیاه بر موی بور غالب بوده و آلل موی بور خود بر موی قرمز چیره است.

برخی صفات مغلوب، مانند آلل موی قرمز، در حضور همه آلل‌های دیگر مغلوب‌اند و بر بقای جاندار تأثیر محسوسی ندارند. صفات مغلوب دیگر، چون زالی، می‌توانند برای جاندار بروز دهنده آن مشکل‌ساز باشند. به هر حال صفات مغلوب در جمعیت‌ها نادرند چراکه بر روزشان به حضور دو آلل مغلوب وابسته است. بسیاری از ژنوتیپ‌ها می‌توانند حامل آلی مغلوب باشند که در سایه آلی غالب نهفته است. تنها زمانی که والدین حامل باهم می‌آمیزند احتمال ظهور ناگهانی زاده‌های مغلوب وجود دارد.

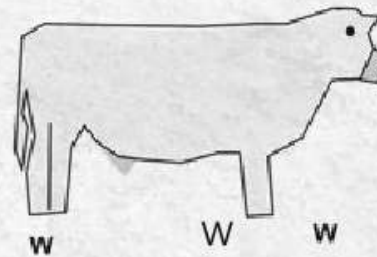


هم‌چیرگی

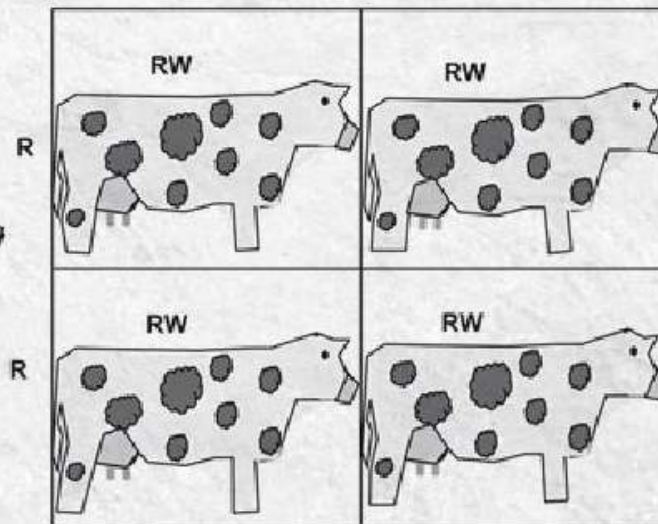
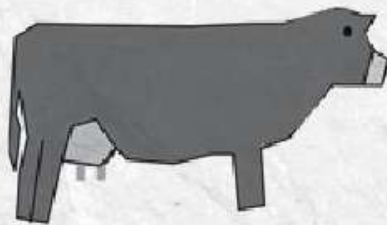
چیرگی ژنتیکی مفهومی ساده، جذاب و آسان فهم دارد؛ اما رابطه ژنوتیپ و فنوتیپ در طبیعت ندرتا به این سادگی است، چراکه آلل‌ها می‌توانند به دو شکل دیگر نیز با یکدیگر برهم‌کنش داشته باشند: هم‌چیرگی و چیرگی ناقص (incomplete dominance). این دو برهم‌کنش زمانی ظاهر می‌شود که هیچ یک از آلل‌ها بر دیگری غالب نیست و در نتیجه ترکیبی از هر دو فنوتیپ بروز می‌کنند.

تفاوت ظریفی میان هم‌چیرگی و چیرگی ناقص وجود دارد. در صورت هم‌چیرگی، هر دو آلل به‌طور تمام و کمال در بخش‌های متفاوت بدن جاندار بیان می‌شوند. آمیزش میان گاوی سیاه و گاوی سفید نمونه‌ای است از هم‌چیرگی؛ چراکه حاصل این آمیزش گاوی است با لکه‌های سفید و سیاه در جاهای مختلف بدن؛ اما در چیرگی ناقص آمیزش به زاده‌ای می‌انجامد که صفتش ترکیبی از صفات والدینش است. برای نمونه در چیرگی ناقص می‌توان آمیزش گلی سرخ با گلی سفید را مثال زد که می‌تواند باعث پیدایش زاده‌هایی صورتی‌رنگ شود.

هم چیرگی در گاو گاو نر سفید



گاو ماده سیاه



لکه‌های سیاه و سفید گاوهای شیری حاصل هم چیرگی آللهایی است که در لکه‌های
مختلف بیان می‌شوند

یاخته

جانداران از یک یا چند یاخته ساخته شده‌اند. یاخته بسته‌ای زنده و مستقل است که با غشائی یاخته‌ای به ضخامتی نانومتری از محیط پیرامونش جدا شده است. در درون غشا، مایعی به نام سیتوپلاسم یاخته را پر می‌کند. سوخت‌وساز یاخته در سیتوپلاسم رخ می‌دهد و در نتیجه سیتوپلاسم از قند، پروتئین و سایر مواد بیوشیمیایی انباشته است. یاخته‌ها حاوی ماده ژنتیکی در قالب DNA هستند. زیست‌شناسی یاخته‌ای تمامی جنبه‌های این دنیای میکروسکوپی را مطالعه کرده و جنبه‌های مشترک و متفاوت میان یاخته‌های مختلف را آشکار ساخته است. رابرت هوک (Robert Hooke) زیست‌شناس انگلیسی واژه یاخته را پس از کشف این ساختارهای خرد، وضع کرد. هوک در ۱۶۶۵ از ورای میکروسکوپش که پیشرفته‌ترین میکروسکوپ زمانه‌اش بود، به ساختار میکروسکوپی حیات نگریست. زمانی که هوک برشی از چوب پنبه را زیر میکروسکوپش قرار داد، اتاقک‌هایی کوچک مشاهده کرد (تصویر مقابل). او این اتاقک‌ها را به حجره‌های راهبان شبیه دانست و نتیجتاً آنها را یاخته نامید.

Fig: 1.

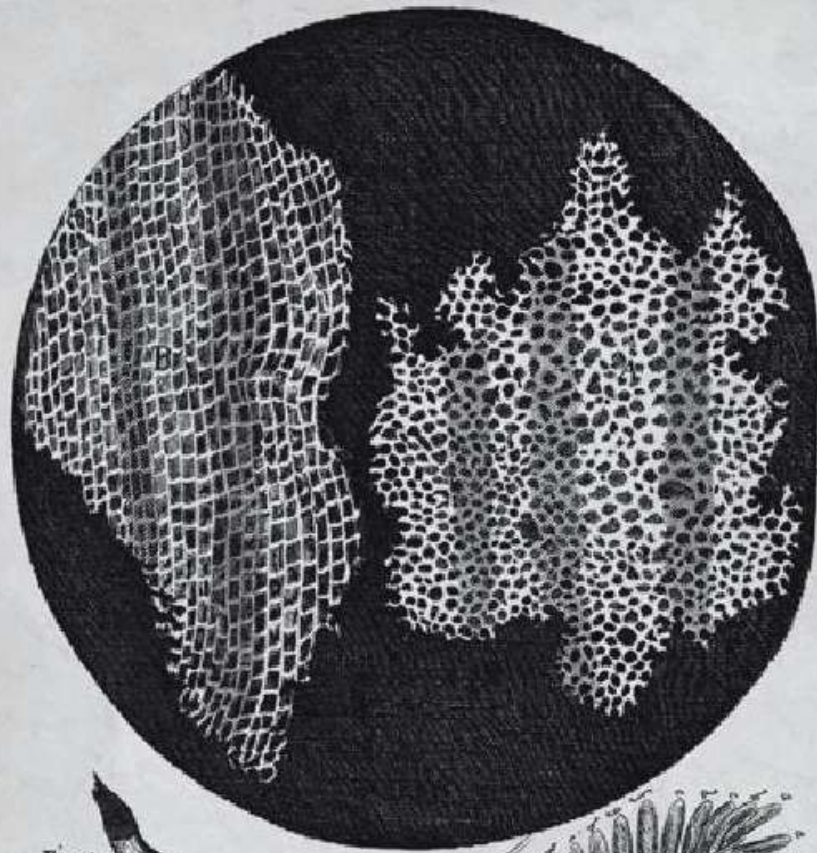
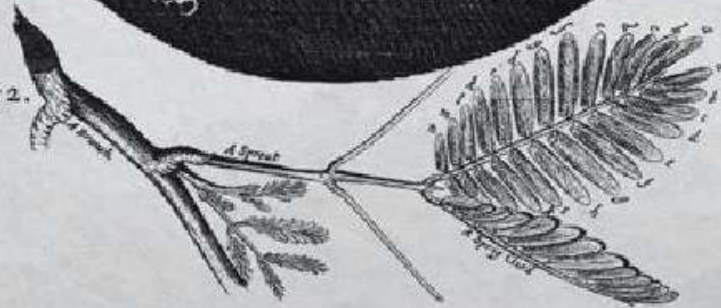


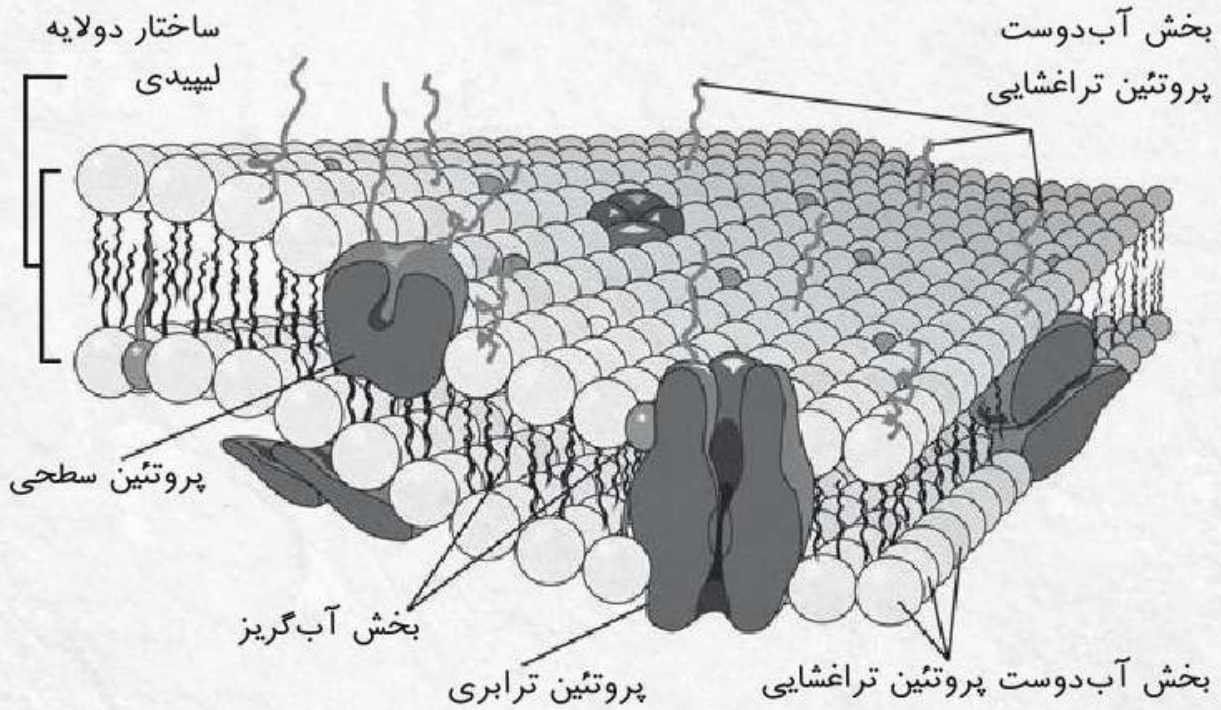
Fig: 2.



غشای یاخته‌ای

پوشش خارجی یاخته غشای پلاسمایی یا غشای یاخته‌ای نامیده می‌شود. غشاهایی مشابه غشای پلاسمایی درون یاخته هم وجود دارند و همگی از جنس گروهی از مواد به نام لیپیدها هستند. چربی‌های حیوانی و روغن‌های گیاهی از جمله لیپیدها هستند. هر مولکول لیپید دارای بخشی آب‌گریز و بخشی آب‌دوست است. غشای یاخته‌ای از دو لایه لیپیدی تشکیل می‌شود، به صورتی که بخش‌های آب‌دوست مولکول‌های لیپید، به سمت خارج غشا قرار گرفته‌اند و بخش‌های آب‌گریز در کنار هم و در میان سرهای آب‌دوست مخفی شده‌اند. این ساختار در مقیاس یاخته‌ای، ساختاری بسیار مستحکم است. آب به راحتی می‌تواند از خلال غشای یاخته‌ای عبور کند ولی مولکول‌های بزرگ‌تر نیازمند انتقال فعال برای عبور از خلال غشا هستند. به منظور انتقال فعال مولکول‌های حجیم، غشای یاخته‌ای پر از حفره‌ها و پمپ‌های پروتئینی است.

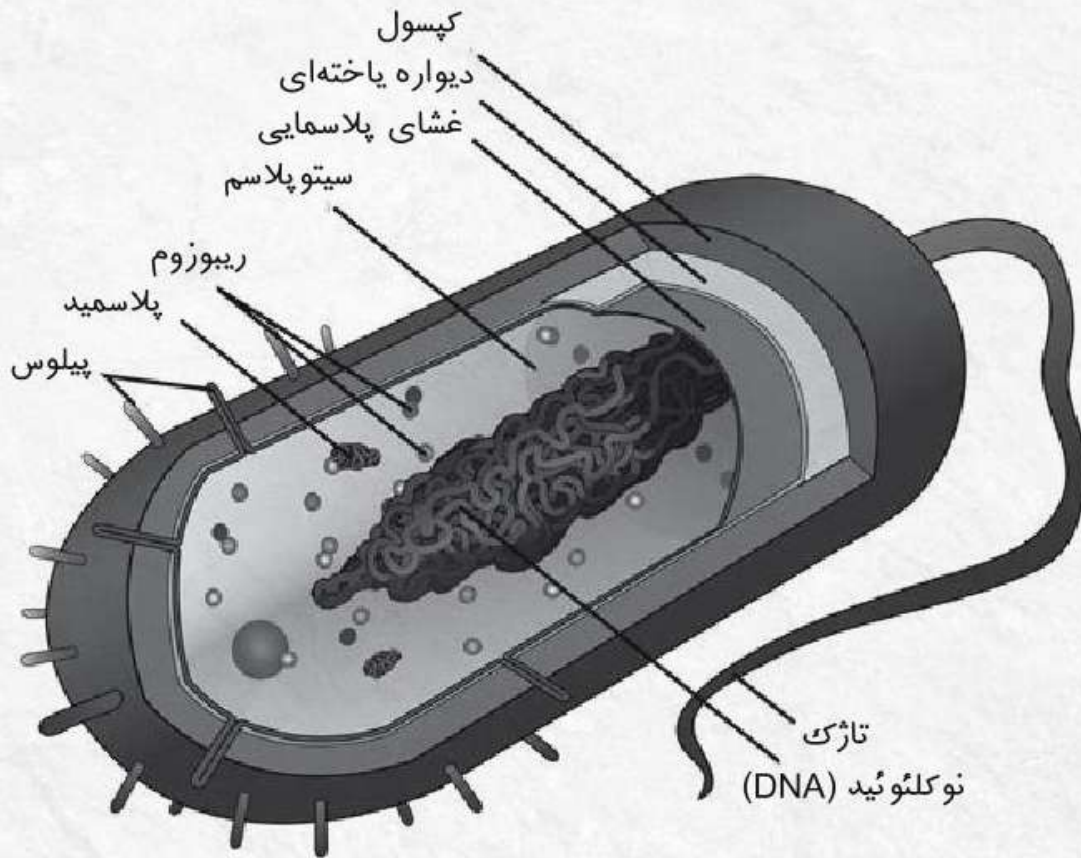
ساختار غشای یاخته‌ای



پروکاریوت‌ها

کوچک‌ترین و ساده‌ترین یاخته‌ها، به باکتری‌ها و آرکی‌ها تعلق دارند، دو گروه متفاوت از جانداران که به خاطر فقدان هسته، «پروکاریوت» خوانده می‌شوند و ساختار یاخته‌ای‌شان از این نظر، با ساختار یاخته‌ای گیاهان، قارچ‌ها و جانوران (یوکاریوت‌ها) بسیار متفاوت است. بیشتر پروکاریوت‌ها طولی بین یک میکرومتر (یک میلیونوم یک متر) تا پنج میکرومتر دارند و این محدودیت اندازه، برخاسته از ساختار غشای یاخته‌ای پروکاریوتی است. در برخی پروکاریوت‌ها دو غشای یاخته‌ای تودرتو دیده می‌شود. برخی پروکاریوت‌های دنباله‌ای انعطاف‌پذیر و پیچ‌خورده شبیه دم دارند که تاژک (flagellum) خوانده می‌شود. حرکت مارپیچ وار تاژک یاخته را به جلو می‌راند. سطح یاخته پروکاریوتی پوشیده از ساختارهایی مو مانند به نام پیلوس (جمع: pili، مفرد: pilus) است که توانایی چسبیدن به سطوح را دارند. یاخته پروکاریوتی داخلی بی‌پیرایه دارد: رشته‌ای درهم‌پیچیده از DNA در سیتوپلاسم آزادانه شناور است و تنها ساختار مشهود دیگر درون یاخته ریبوزوم‌ها (Ribosome) هستند. ریبوزوم‌ها رمز ژنتیکی را خوانده و آن رمز را به پروتئین ترجمه می‌کنند.

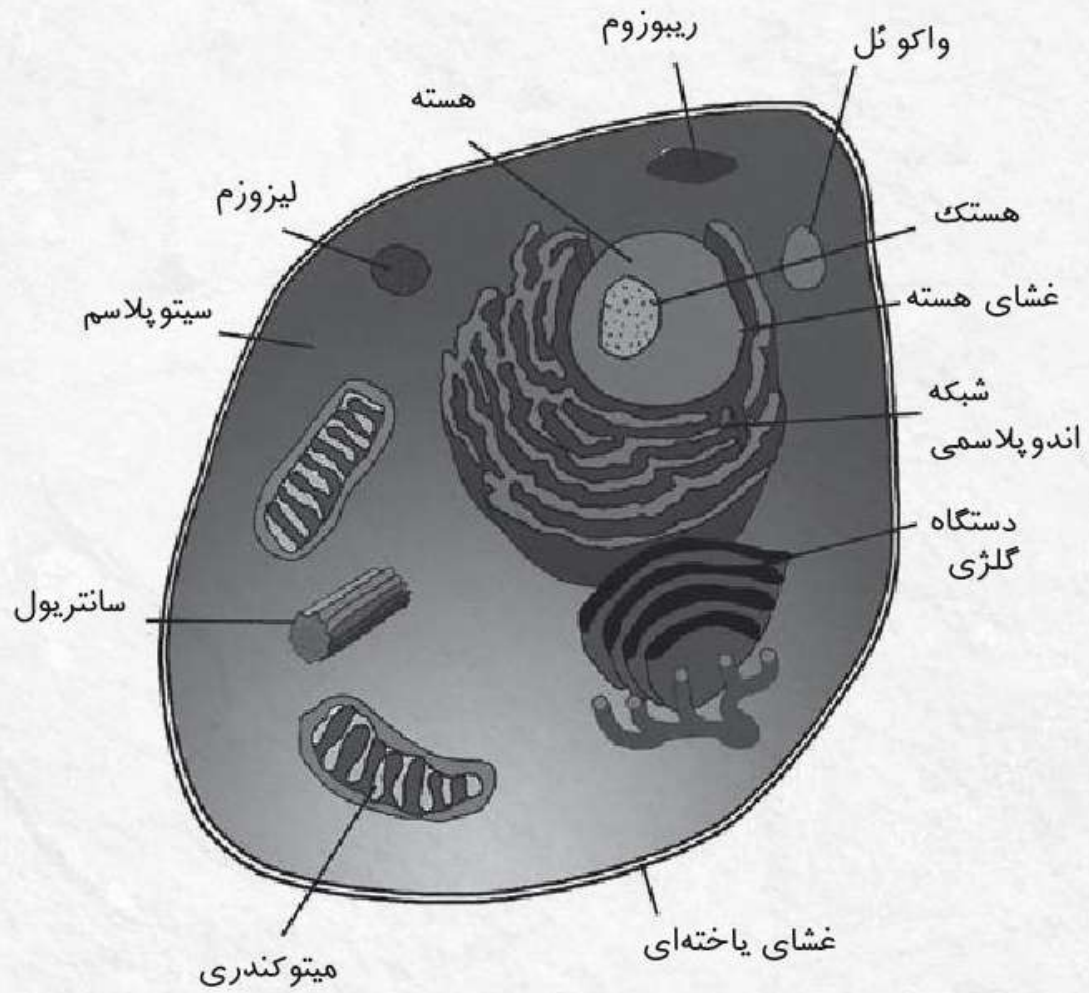
یاخته پروکاریوتی



یاخته‌های جانوری

یاخته‌های بدن ما دارای بسیاری از ساختارهایی است که در همه یاخته‌های جانوری و بسیاری از یوکاریوت‌های تک‌یاخته‌ای، مانند آمیب نیز وجود دارند. یاخته‌های جانوری به‌طور متوسط طولی ۲۰ برابر یاخته‌ای پروکاریوتی (و حجمی بسیار بیشتر) دارند. ابعاد غول‌آسای یاخته‌های یوکاریوتی در قیاس با یاخته‌های پروکاریوتی تا حد زیادی مرهون وجود کلاسترول در غشای یاخته‌ای یوکاریوتی است که به آن استحکام می‌بخشد. یاخته جانوری برای حرکت هم می‌تواند دارای تاژک و هم ساختاری کوتاه‌تر به نام مژک (cilium) باشد. این ساختارها هم به جابه‌جایی یاخته کمک می‌کنند و هم می‌توانند مواد مغذی موجود در محیط را به سمت یاخته جلب کنند. حجم بزرگ یاخته‌های یوکاریوتی نشان می‌دهد که این یاخته‌ها برای توزیع مواد درون خود تنها به انتشار (diffusion) متکی نیستند و شبکه‌ای از میکروتوبول‌ها در درون این یاخته‌ها وظیفه جابه‌جایی مواد موردنیاز را برعهده دارند. یاخته‌های یوکاریوتی دارای ساختارهایی به نام اندامک (Organelle) نیز هستند که بخش‌های مختلفی از سوخت‌وساز یاخته‌ای را اداره می‌کنند. فرق نهایی یاخته یوکاریوتی با یاخته‌های پروکاریوتی این است که DNA در یاخته‌های یوکاریوتی در هسته جای دارد.

درون یاخته جانوری

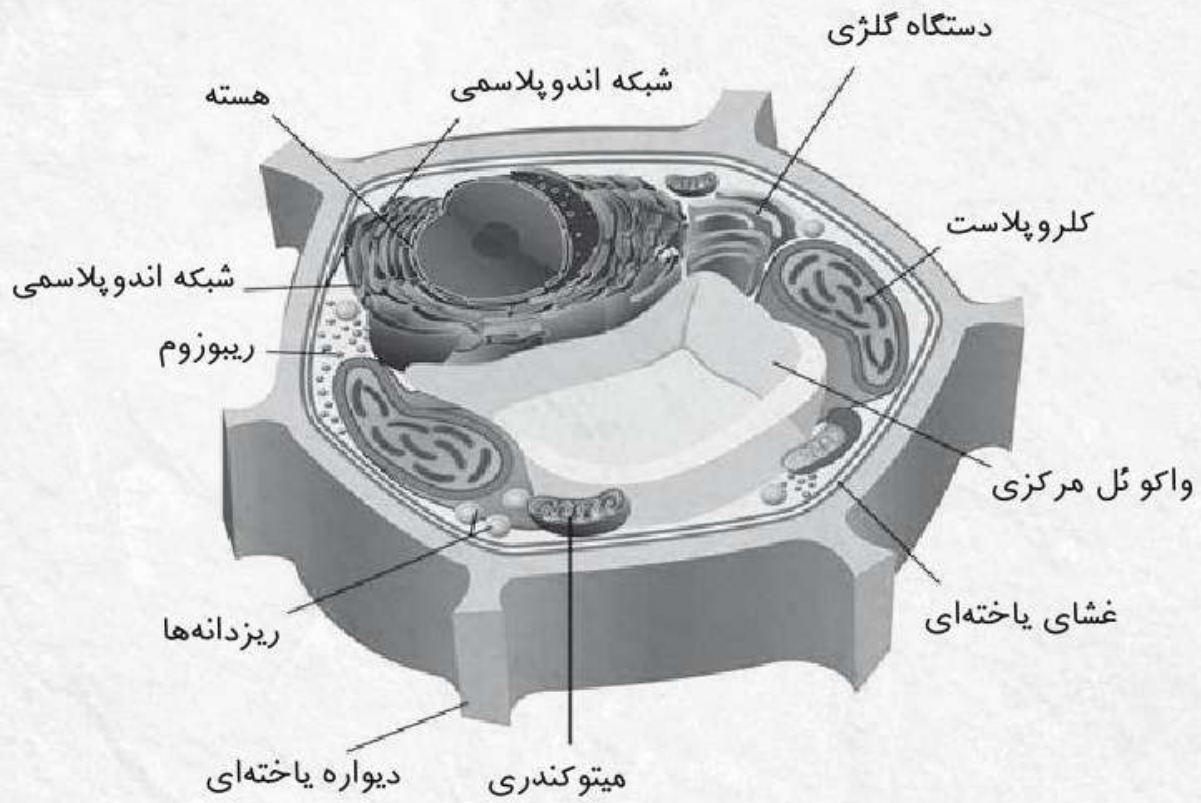


یاخته‌های گیاهی و قارچی

یاخته گیاهی نوعی دیگر از یاخته‌های یوکاریوتی است و در خصوصیات زیادی با یاخته‌های جانوری مشترک است، مثلاً ماده ژنتیکی درون هسته جای دارد و اندامک‌های مشابهی درون یاخته به تسهیل فرایندهای زیستی مشغول‌اند. تفاوت عمده میان یاخته‌های گیاهی و جانوری، وجود کلروپلاست است که در آن فتوسنتز رخ می‌دهد. تفاوت عمده دیگر این است که یاخته‌های گیاهی علاوه بر غشای یاخته‌ای درون دیواره‌ای یاخته‌ای قرار دارند. برخلاف غشای یاخته‌ای که منعطف است و حجمش با ورود و خروج آب تغییر می‌کند، دیواره یاخته‌ای ساختاری ثابت و محکم دارد. دیواره یاخته گیاهی از فیبرهای سلولز - پلیمری از جنس قند که ساختاری رشته‌ای دارد - ساخته شده است.

قارچ‌ها از منظر تکاملی به جانوران نزدیک‌ترند و نیز فاقد کلروپلاست هستند؛ در نتیجه فتوسنتز نمی‌کنند، ولی مانند یاخته‌های گیاهی دیواره یاخته‌ای دارند. در قارچ‌ها به جای سلولز، دیواره یاخته‌ای از جنس نوعی پلی‌مر قندی دیگر به نام کیتین ساخته شده است، پلیمری که در بسیاری از جانوران نیز، به‌ویژه در اسکلت خارجی بدن بندپایان، یافت می‌شود.

درون یاخته گیاهی



جانداران پریاخته‌ای

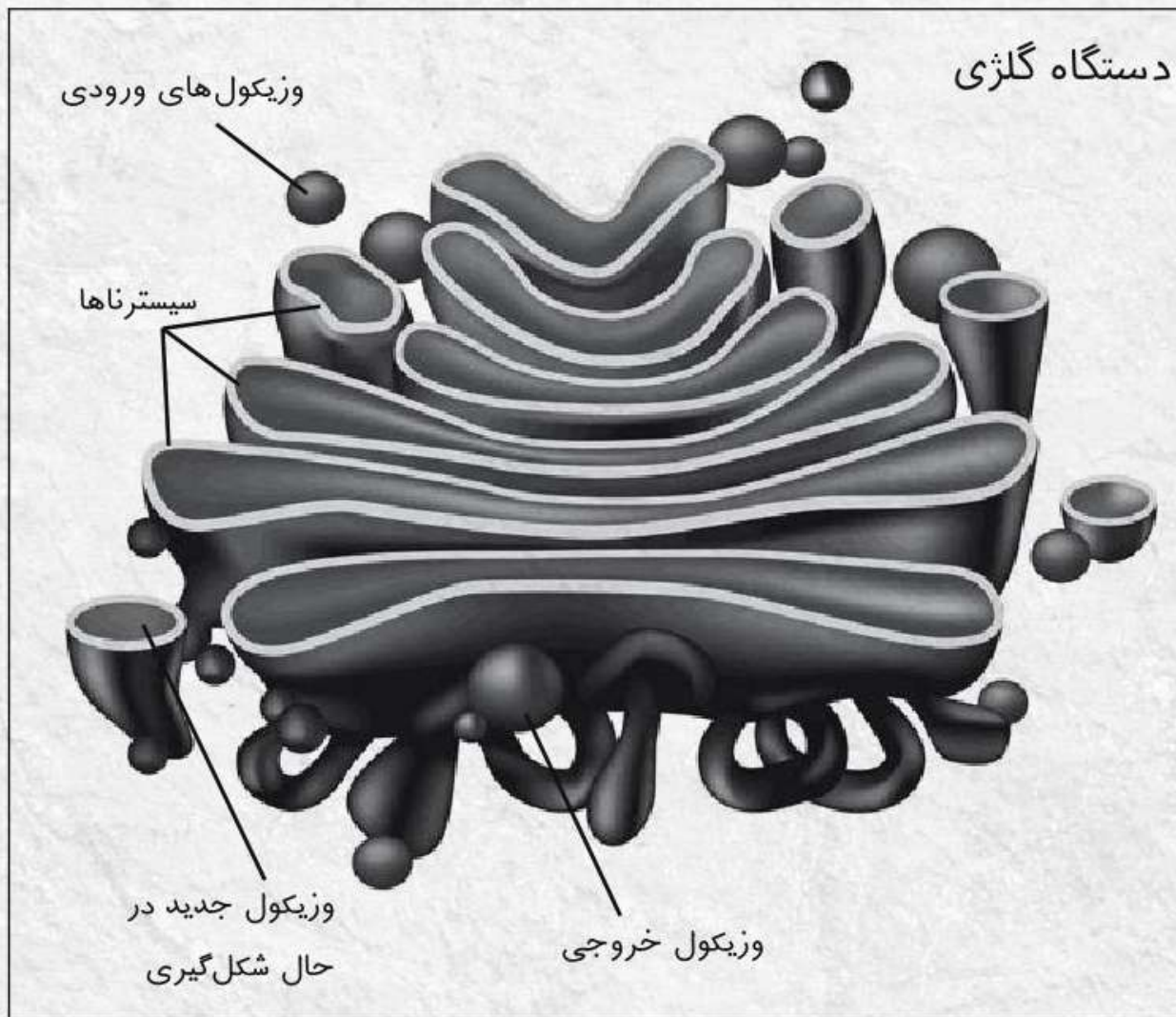
اشناترین جانداران از تعداد پرشماری یاخته (اغلب چند تریلیون یاخته) ساخته شده‌اند. برخلاف جانداران تک‌یاخته‌ای از قبیل باکتری‌ها و یوکاریوت‌های تک‌یاخته‌ای که به تنهایی زندگی می‌کنند، وابستگی اجباری به زندگی گروهی از یاخته‌ها در کنار هم دارد. البته گاهی اوقات، تفاوت جانداران پریاخته‌ای و تک‌یاخته‌ای آن‌چنان هم واضح نیست. بسیاری از جانداران تک‌یاخته‌ای اجتماع تشکیل می‌دهند؛ مثلاً بیماری گلودرد ناشی از زندگی اجتماع باکتری‌ها در حلق شماست. در شماری از جانداران تک‌یاخته‌ای که اجتماعی تشکیل می‌دهند، تقسیم کار مشاهده شده است؛ به این معنی که برخی یاخته‌ها وظایف خاصی بر عهده می‌گیرند و با انجام آن وظایف، به تمام اجتماع سود می‌رسانند. این شیوه تقسیم‌کار در جانداران پریاخته‌ای ارتقا یافته‌است: یاخته‌هایی که از نظر ژنتیکی یکسان‌اند در انجام وظایفی خاص تخصص یافته‌اند تا به بقای جاندار کمک کنند. اسفنج‌ها از ساده‌ترین جانداران پریاخته‌ای‌اند. نه دسته یاخته تخصص یافته در اسفنج‌ها، وظایفی مثل تغذیه، دفاع و تولیدمثل را برعهده دارند.



اولین مراحل تکامل جانوران در اسفنج‌ها و برخی جانداران دریازی ساده دیگر دیده می‌شود که طی آن یاخته‌های مختلف با همکاری یکدیگر در کنار هم جمع شده‌اند |

هسته و اندامک‌ها

ابداع میکروسکوپ الکترونی در دهه ۱۹۳۰ نشان داد که یاخته‌ها از آنچه تا آن زمان تصور می‌شد، بسیار پیچیده‌تر هستند. تا پیش از ابداع میکروسکوپ الکترونی، تنها هسته یاخته در درون یاخته قابل مشاهده بود. وضوح بصری این فن‌آوری جدید نه تنها جزئیات بیشتری از هسته را نشان داد، بلکه به اکتشاف اندامک‌ها منجر شد. مشخص شد که هسته نه یک، بلکه دو غشا پر از منفذ برای ورود و خروج مواد ژنتیکی دارد. مواد ژنتیکی در ناحیه‌ای از هسته به نام هستک متمرکز هستند. یکی از اندامک‌های دیگر شبکه اندوپلاسمی است؛ شبکه‌ای از لوله‌ها که در نقل و انتقال مواد درون یاخته نقش دارد. دستگاه گلژی مواد را برای خروج از یاخته آماده می‌کند درحالی‌که لیزوزم‌ها مواد زائد را جمع‌آوری کرده و از میان می‌برند. تنها یاخته‌های گیاهی و جلبک‌ها حاوی کلروپلاست هستند اما همگی یاخته‌های یوکاریوتی (به جز چند استثنا بی‌هوازی) میتوکندری دارند؛ اندامکی که محل تنفس و کارخانه تولید انرژی یاخته است.



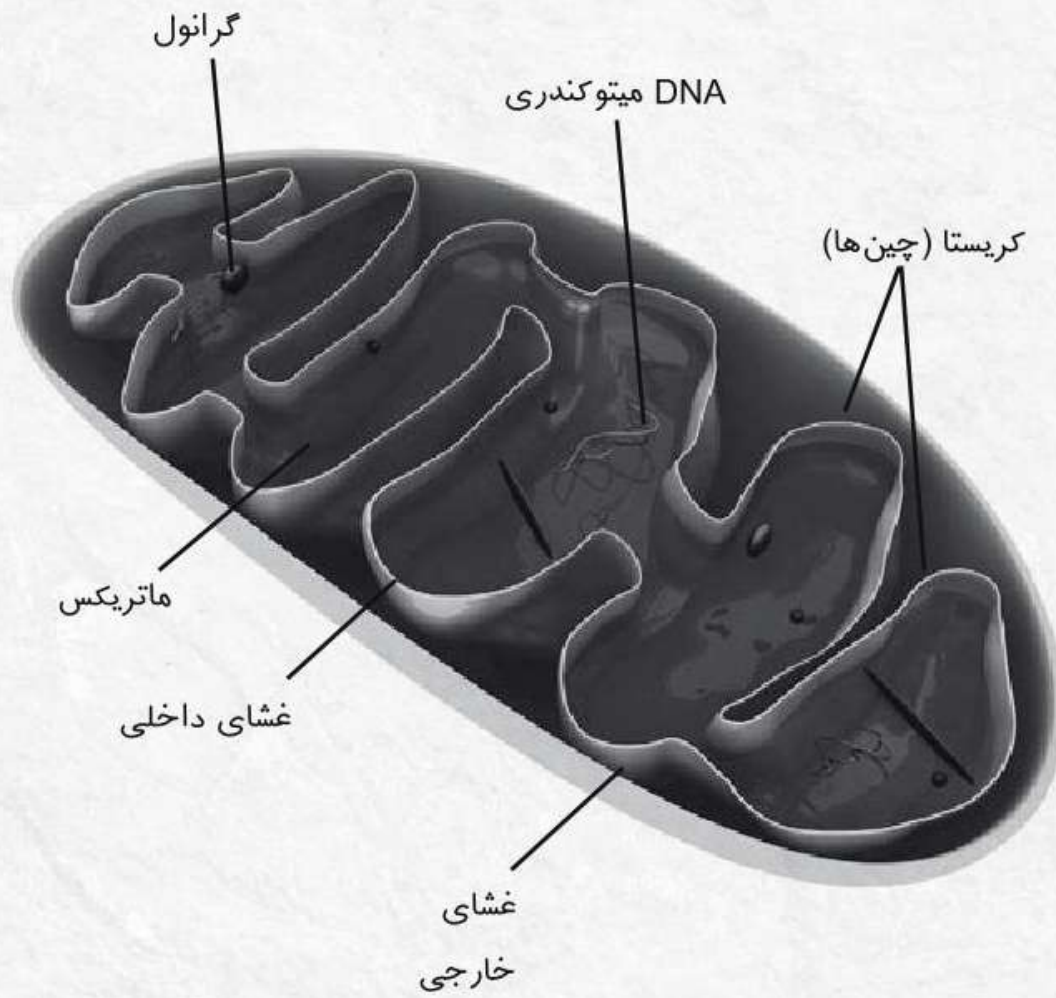
دستگاه گلژی مواد شیمیایی را به صورت وزیکول بسته‌بندی می‌کند. این وزیکول‌ها سپس با غشای یاخته‌ای ادغام شده و محتوای خود را در فضای برون‌یاخته‌ای رها می‌کنند

میتوکندری

میتوکندری‌ها محل تنفس یاخته‌ای‌اند. طی تنفس یاخته‌ای، انرژی به شکل قابل مصرف توسط یاخته از قندها و دیگر سوخت‌ها آزاد می‌شود. هر یاخته یوکاریوتی حاوی شماری از میتوکندری‌هاست. یاخته‌هایی که انرژی زیادی مصرف می‌کنند، مانند یاخته‌های ماهیچه‌ای، صدها میتوکندری دارند.

غشای خارجی میتوکندری مشابه غشای یاخته‌ای است و غشای داخلی اش تاخورده است. این تاخوردگی غشای داخلی به کانال‌هایی باریک و انتها بسته به نام کریستا (Cristae) منتهی می‌شود. تنفس یاخته‌ای در غشای کریستا رخ می‌دهد. واکنش‌هایی که در غشای کریستا رخ می‌دهند گلوکز را به تدریج اکسیده کرده و در هر قدم، انرژی آزادشده توسط ADP (آدنوزین دی فسفات) جذب می‌شود. جذب انرژی فسفات دیگری را به ADP افزوده و آن را به ATP (آدنوزین تری فسفات) مبدل می‌کند. مولکول ATP سپس وارد یاخته شده و می‌تواند در صورت نیاز به انرژی، دوباره به ADP تبدیل شود و با از دست دادن یک فسفات انرژی آزاد می‌کند.

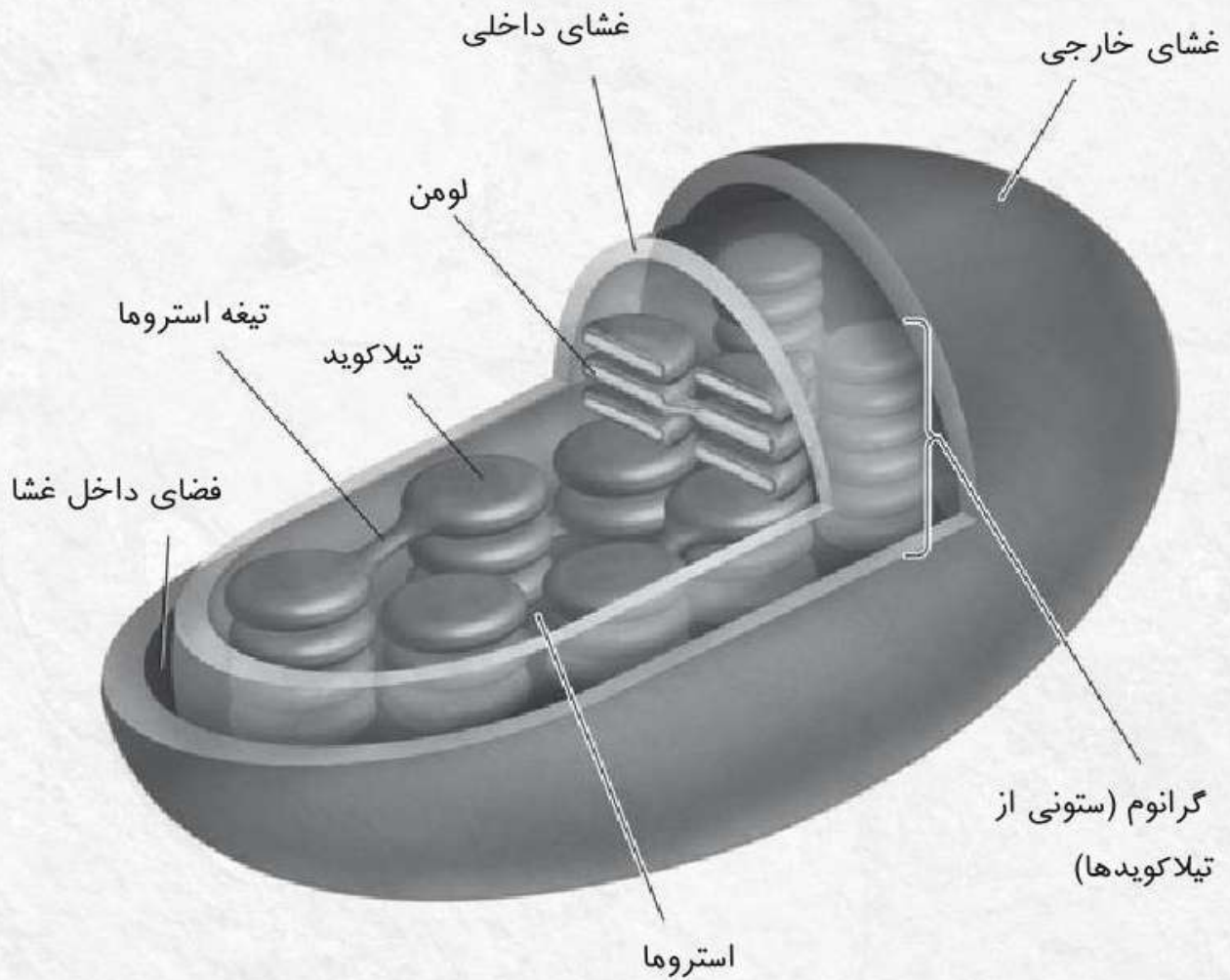
درون میتوکندری



کلروپلاست

این اندامک سبزرنگ محل فتوسنتز در یاخته‌های گیاهی است. بخش‌هایی از گیاه که فتوسنتز نمی‌کنند، مانند ریشه، فاقد کلروپلاست هستند. فرآیند فتوسنتز در باکتری‌ها مشابه گیاهان است، اما این فرآیند در سیتوپلاسم باکتری‌ها انجام می‌شود. در حقیقت ساختار درونی کلروپلاست، هم‌ارز سیتوپلاسم باکتری‌های سبز-آبی فتوسنتزکننده است. کلروپلاست غشای خارجی دارد و درونش انباشته از دیسک‌هایی غشایی به نام تیلاکوید (Thylakoids) است. کلروفیل به تیلاکویدها متصل است. تیلاکویدها روی هم به شکل ستون‌هایی به نام گرانوم (مفرد: Granum، جمع: Grana) قرار دارند. با تابش نور، کلروفیل بخشی از انرژی نور را به ATP مبدل می‌کند. این واکنش قدم اول فتوسنتز است که واکنش نوری نام گرفته است. در مرحله دوم فتوسنتز (واکنش تاریکی) از این ATP تولید شده در مرحله اول استفاده می‌شود. واکنش تاریکی در فضای بین گرانا که استروما (Stroma) خوانده می‌شود، رخ می‌دهد. واکنش تاریکی با ترکیب کربن دی‌اکسید و آب، به تولید گلوکز می‌انجامد.

درون کلروپلاست



نظریه یاخته‌ای

زمانی که نخستین جانداران تک‌یاخته‌ای (که در آن زمان جانداران خُرد (animalcules) خوانده می‌شدند) توسط پیشگامان دید میکروسکوپی کشف شدند، زیست‌شناسان تصور می‌کردند که این جانداران به‌طور خودبه‌خود از بقایای زوال یافته سایر موجودات زنده به وجود می‌آیند. گرچه در آن دوران پیدایش جانداران پریاخته‌ای از جانداران پریاخته‌ای امری بدیهی بود، پیدایش جانداران تک‌یاخته‌ای فرآیندی غیرزیستی به‌شمار می‌آمد.

در ۱۸۳۸، فیزیولوژیست آلمانی تئودور شوآن (Theodor Schwann) با همکاری دیگران و با استفاده از شواهد روزافزونی که با نظریه پیدایش غیرزیستی (abiogenesis) متناقض بودند، علیه این نظریه شورید و به‌جایش نظریه‌ای به نام نظریه یاخته‌ای ارائه داد. بر اساس این نظریه، اولاً همه موجودات از یاخته ساخته شده‌اند، ثانیاً یاخته ساده‌ترین شکل حیات است و ثالثاً، یاخته‌های جدید از یاخته‌های پیشین به وجود می‌آیند. این سه قاعده ساده شالوده زیست‌شناسی نوین را تشکیل داده و در کشف سازوکار وراثت، نقشی حیاتی بازی کردند.

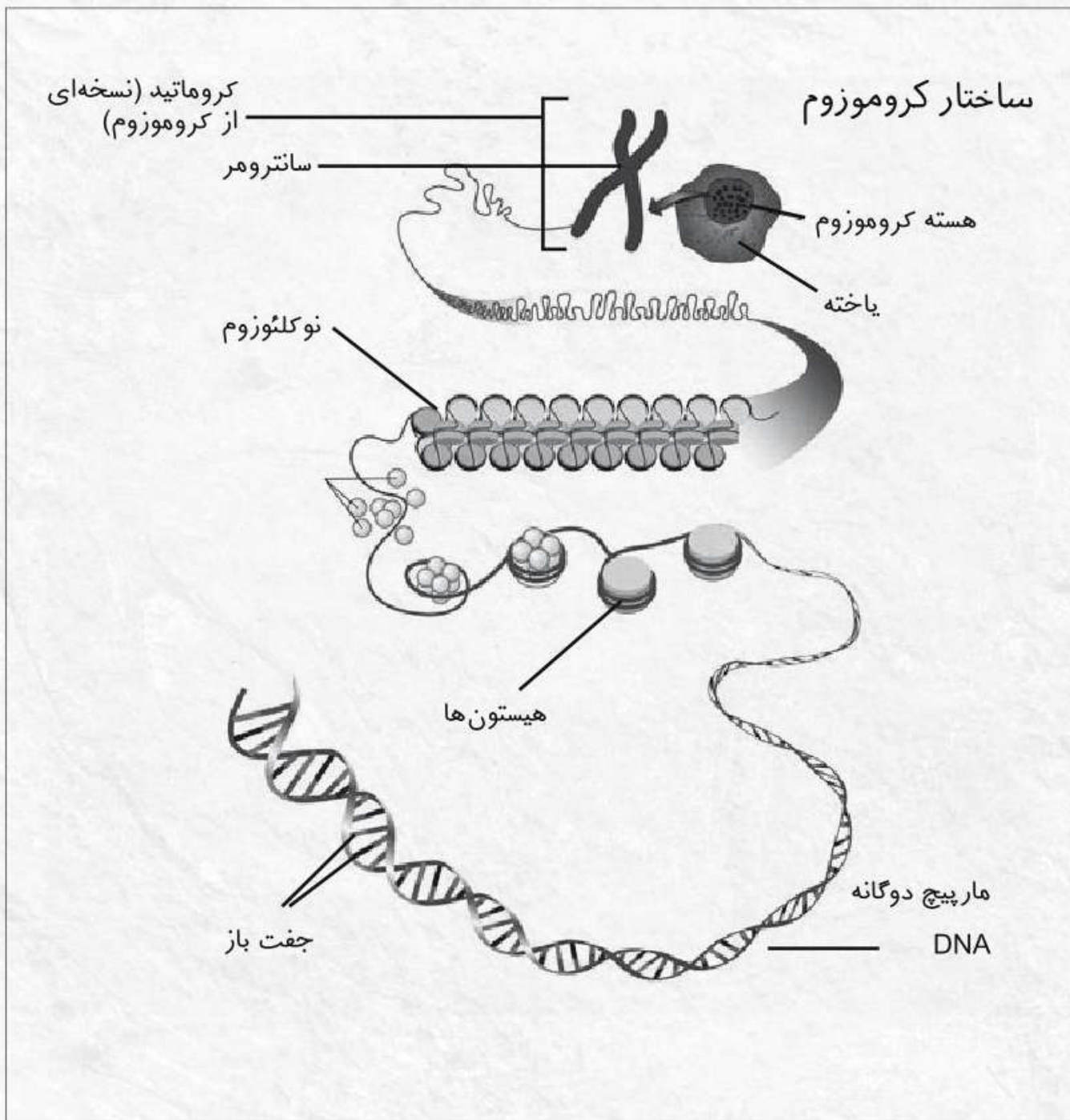


شباہت‌ها میان یاخته‌های عصبی، ماهیچه‌ها و یاخته‌ها الهام‌بخش تئودور شوآن در
برداشتن قدم اولش به سوی نظریه یاخته‌ای بودند |

کروموزوم‌ها

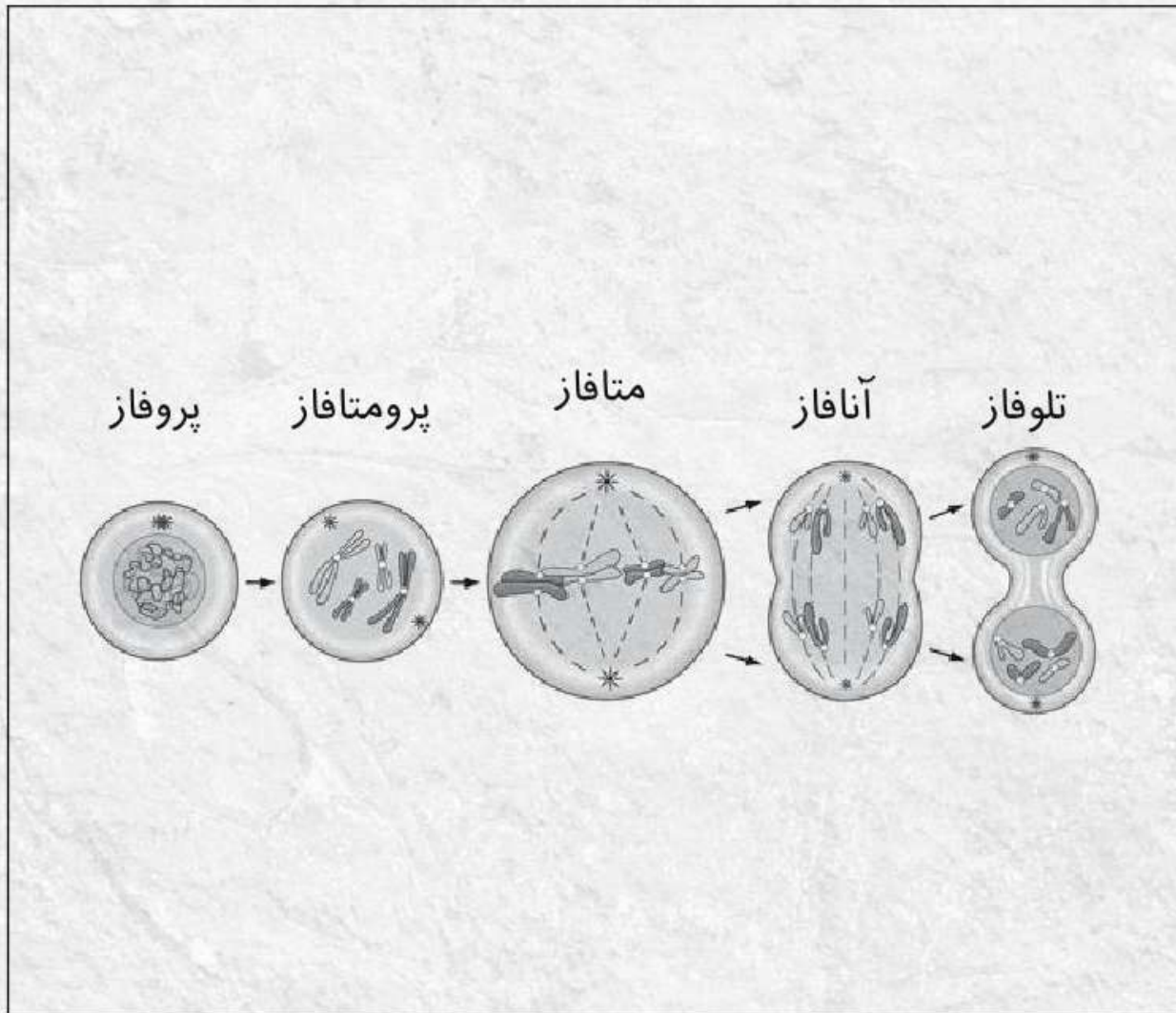
پژوهش‌های نخستین نشان داد که هسته از ماده‌ای به نام کروماتین (Chromatin) پر شده است که برخلاف نامش، به‌خودی‌خود بی‌رنگ است، اما می‌توان آن را با رنگ‌های ویژه رنگ‌آمیزی و زیر میکروسکوپ، مشاهده کرد.

در ۱۸۸۸، هاینریش ویلهلم گتفریت فون والدیر-هارتس (Heinrich Wilhelm Gottfried von Waldeyer-Hartz) مشاهده کرد که کروماتین پیش از تقسیم یاخته‌ای و دو پاره شدنش به رشته‌هایی ضخیم‌تر مبدل می‌شود. او این رشته‌های ضخیم را کروموزوم (Chromosome) نامید. امروزه می‌دانیم که کروموزوم داربستی است که ژنوم را در خود نگه می‌دارد. یاخته‌های انسانی ۴۶ کروموزوم دارند ولی شمار کروموزوم‌ها از گونه‌ای به گونه‌ای دیگر متغیر است. در بیشتر طول زندگی یاخته، هر کروموزوم به شکل توده‌ای کدر از کروماتین وجود دارد که به دور پروتئین‌هایی دوکی‌شکل به نام هیستون پیچیده است و تنها در حین تقسیم یاخته‌ای است که این توده روی خود می‌پیچد و به ساختاری ضخیم مبدل می‌شود که در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده است.



تقسیم یاخته‌ای: میتوز

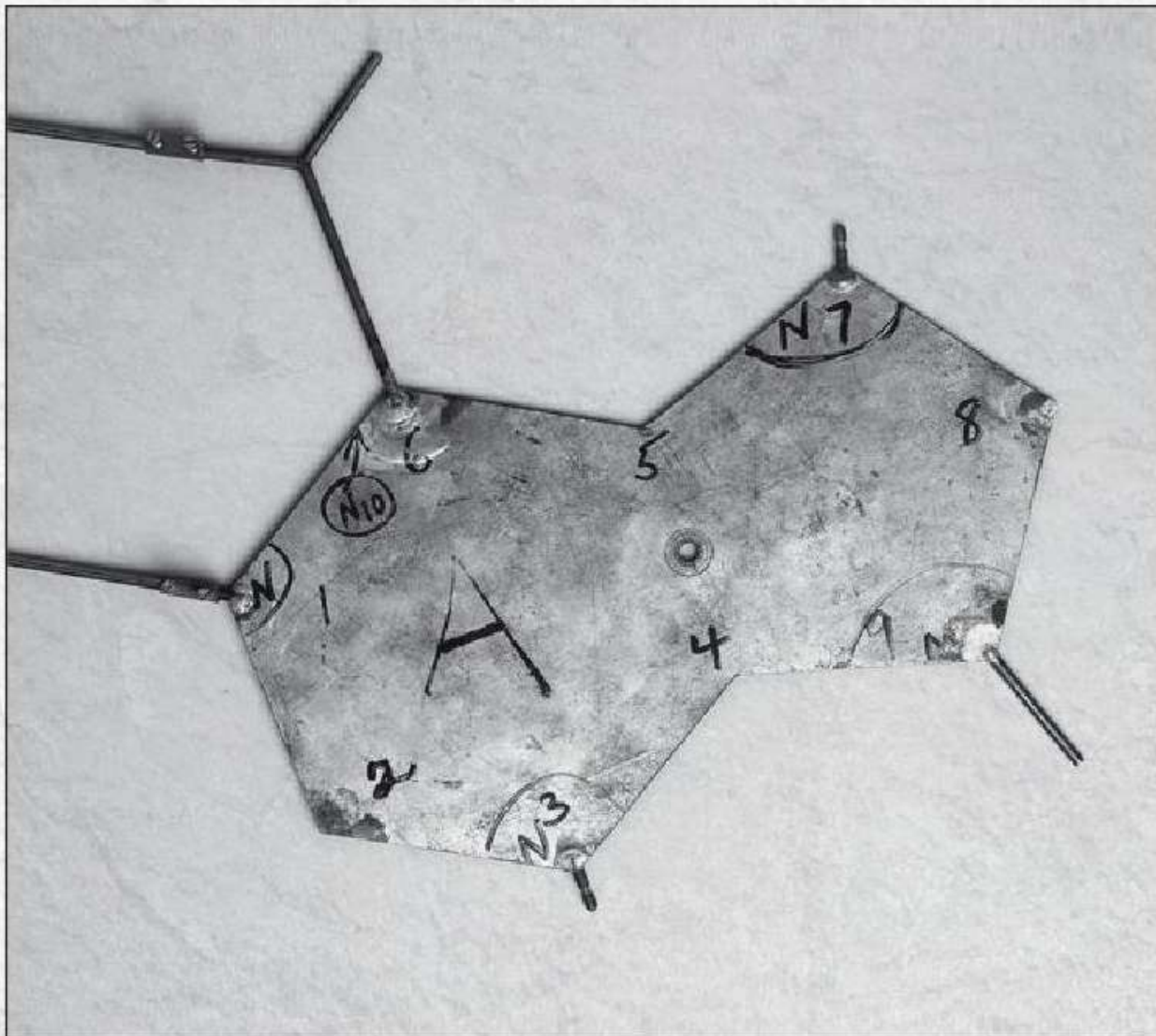
روش اصلی تقسیم یاخته‌ای که برای رشد بدن جانداران به کار می‌رود، میتوز (mitosis) نام دارد. میتوز ریشه‌ای یونانی دارد که بافتن معنا می‌دهد. این نام از این روی بر این روش گذاشته شده است که در طی آن شبکه‌ای از ریزرشته‌ها به نام میکروتوبول (microtubule) کروموزوم‌ها را به دو پاره تقسیم کرده و هر پاره را در خلاف جهت پاره دیگر می‌کشد. میتوز مراحل پیچیده دارد ولی به‌طور خلاصه، مرحله اول آن همانندسازی کروموزوم‌هاست. همانندسازی به ساختاری ضربداری شکل می‌انجامد که تصور همگان از کروموزوم است، ولی در واقع از یک جفت کروماتید تشکیل شده است، یعنی دو نسخه یکسان از یک کروموزوم که به هم چسبیده‌اند. پس از همانندسازی کروموزوم‌ها، دیواره هسته از میان رفته تا به کروموزوم‌ها اجازه به خط شدن در میانه یاخته را دهد. در مرحله بعد میکروتوبول‌ها جفت کروماتیدها را از یکدیگر جدا می‌کنند، عملی که به‌طور موقت به دو برابر شدن عدد کروموزوم‌های یاخته می‌انجامد. در نهایت غشای یاخته‌ای میان این کروماتیدهای از هم دور شده، شکل می‌گیرد. حاصل این فرآیند، دو یاخته دختری است.



میتوز شامل مراحل متعددی است که به تقسیم یاخته‌ای و تشکیل دو یاخته دختری می‌انجامد
 که از لحاظ ژنتیکی با والد خود تفاوتی ندارند

DNA

معروف‌ترین سرنام علم، DNA، کوتاه شده واژه دی اکسی ریبونوکلیک اسید است. DNA مهم‌ترین ماده شیمیایی در علم ژنتیک است چراکه رمزهای ژن‌های ما در ساختار ظریف این مولکول نهفته‌اند. در هر یاخته بدن ما ۲ متر DNA وجود دارد. اگر تمامی DNA موجود در یاخته‌های بدنمان را به هم گره بزنیم، درازای این ریسمان برای ۶۶ مرتبه سفر رفت و برگشت به خورشید کفایت می‌کند. بخش اعظم DNA هر یاخته در هسته آن جای گرفته و تنها کمی DNA در میتوکندری وجود دارد. کشف DNA در ۱۸۶۹ و توسط پزشک سوئیسی، فریدریخ میشر (Friedrich Mischer) انجام شد. او DNA را در حین بررسی بانداژهای چرکینی که برای پوشاندن زخم‌های عفونی استفاده می‌شدند کشف کرد. در بدو امر، دانشمندان دریافتند که DNA حاوی قند ریبوز، فسفات و قندی آلی دارای نیتروژن است. به واسطه رابطه میان DNA و هسته یاخته، این ماده از همان روزهای نخستین کشفش نوکلئیک اسید خوانده می‌شد. در ۱۹۲۸ پژوهشگران دریافتند که کروموزوم حاوی DNA است و به نظر می‌رسید که DNA همان ماده وراثتی باشد که ژنتیک دانان مدت‌های مدیدی در پی‌اش بودند؛ اما DNA چگونه نقش وراثتی خود را ایفا می‌کند؟

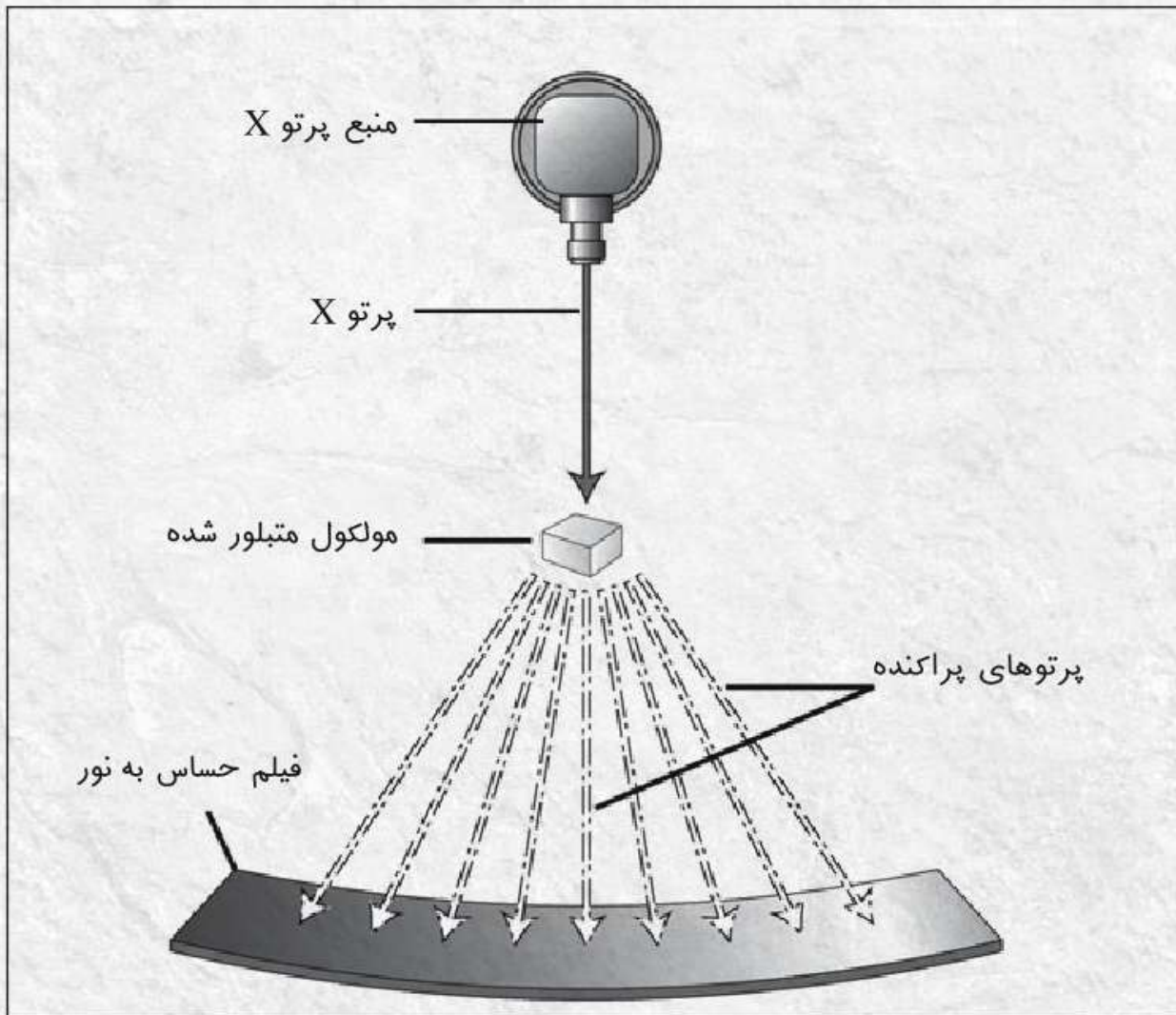


تکه‌هایی از مدل انقلابی مارپیچ دوگانه DNA که واتسون و کریک در ۱۹۵۳ ساختند |

بلورشناسی پرتو X

قدم نخست در دانستن چگونگی عملکرد DNA در وراثت، شناخت ساختار DNA بود. DNA پلیمر است، به این معنا که زنجیره DNA از تکرار واحدهای سازنده یکسانی تشکیل می‌شود. با اینکه واحدهای سازنده زنجیره DNA شناخته شده بودند، چگونگی اتصال این اجزاء به یکدیگر مشخص نبود. چون DNA مولکولی است بسیار ریز، رازگشایی ساختار آن تا دهه ۱۹۵۰ و با استفاده از روش پیشروی بلورشناسی پرتو X ممکن نبود.

اصل روش بلورشناسی بر مبنای پراش یا افتراق پرتو X است. اصل پراش در همه اقسام امواج صادق است. زمانی که موجی از باریکه‌ای عبور کند که باریک‌تر از طول آن موج است، این موج در همه جهات پخش می‌شود، انگار که منشأ موج همان باریکه است. طول موج پرتو X چنان کم است که این پرتو حین عبور از میان ساختاری به خردی یک مولکول نیز دچار پراش می‌شود. این موج پراکنده، تصویری سیاه و سفید را پس از عبور از مولکول شکل می‌دهد که می‌تواند برای تشخیص محل منافذ در مولکول و شناخت ساختارش به کار بسته شود.

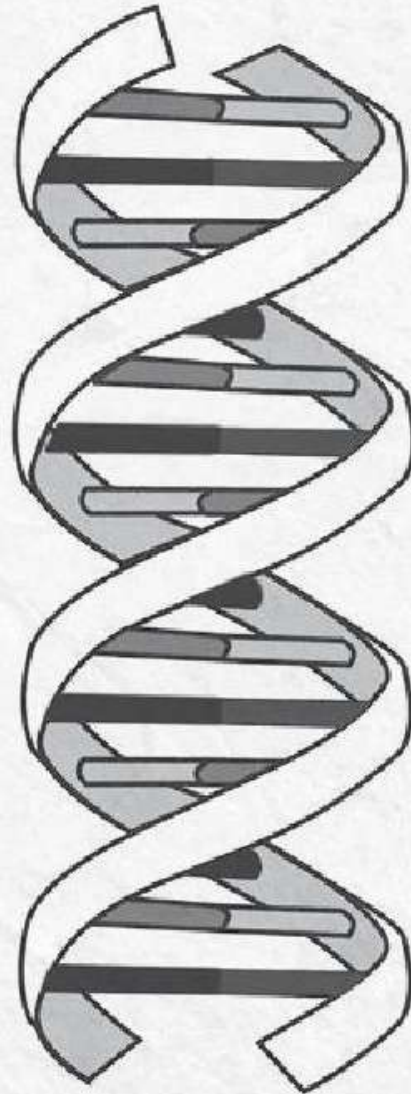


ساختار منظم اتم‌های ساختار بلوری به پراشی منظم می‌انجامد. مطالعه دقیق الگوی پراش
 به شناسایی ساختار مولکول آلی مورد مطالعه، مانند DNA، می‌انجامد

مارپیچ دوگانه

نخستین نتایج حاصل از بلورشناسی DNA در ۱۹۵۱ و توسط لینوس پاولینگ (Linus Pauling)، شیمی‌دان آمریکایی و برنده جایزه نوبل، به انجام رسید. او پیشنهاد کرد که DNA تک‌رشته‌ای مارپیچی است و این ساختار پیشنهادی‌اش را مارپیچ آلفا نامید. اما معلوم شد که DNA دقیقاً ساختاری مشابه ساختار پیشنهادی پاولینگ ندارد و در ۱۹۵۳، دو پژوهشگر از کمبریج، جیمز واتسون (James Watson) و فرانسیس کریک (Francis Crick)، نشان دادند که DNA در حقیقت از دو رشته مارپیچی تشکیل می‌شود.

می‌توان مارپیچ دوگانه DNA را به نردبانی مارپیچی تشبیه کرد. دو دسته این نردبان زنجیره‌هایی از جنس قند ریبوز که به واسطه گروه فسفات به هم متصل‌اند و پلکان این نردبان از جنس نوکلئیک اسیدها (بازها) است. این ساختار خاص به DNA امکان می‌دهد که با شکستن پیوند میان جفت بازها (پلکانش)، به دو رشته مجزا بدل شود. چهار نوع باز در ساختار DNA به کار می‌روند و چگونگی قرارگیری آنها در کنار هم رمز ژنتیکی را می‌سازد.



آدنین



تیمین



سیتوزین



گوآنین

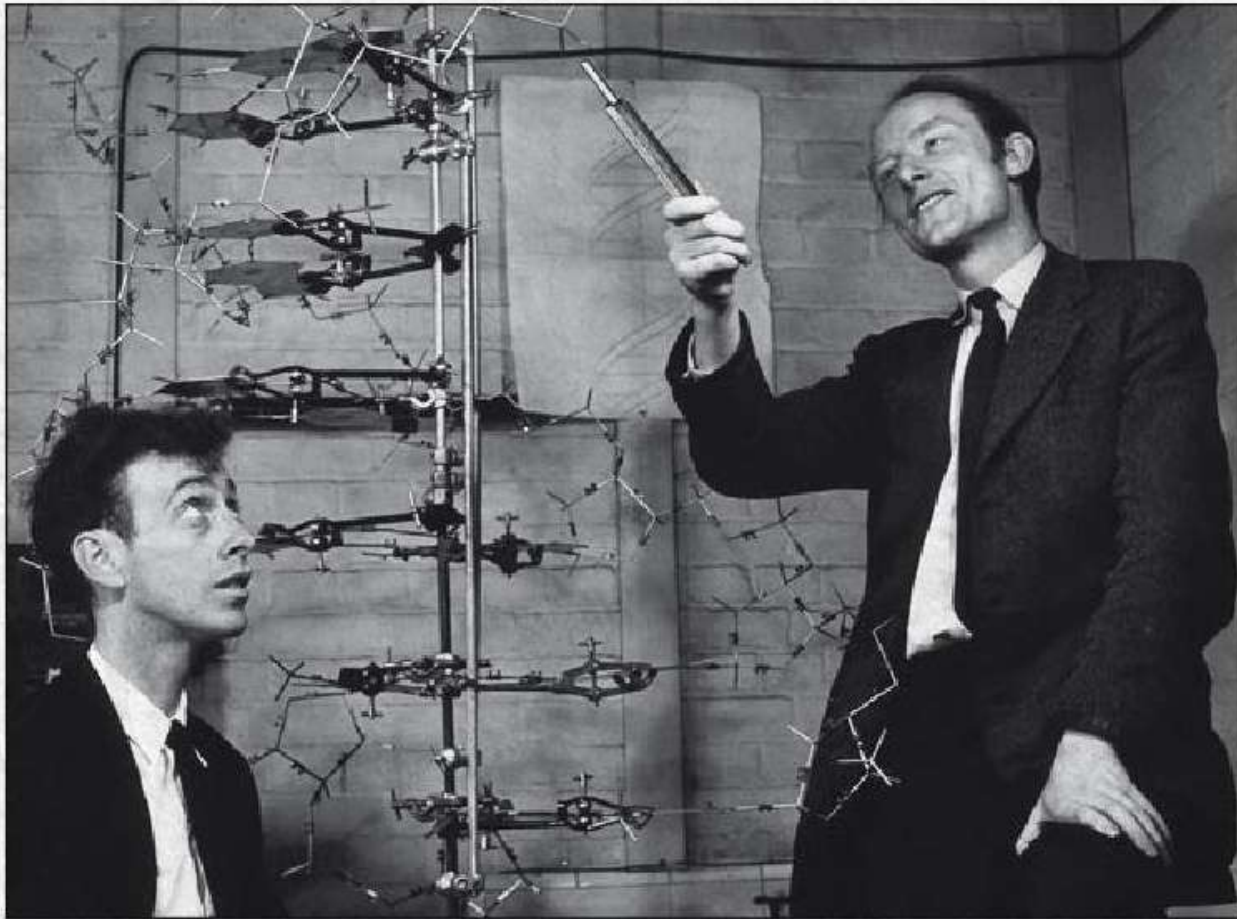


ستون ساخته شده از

قند و فسفات

کریک و واتسون

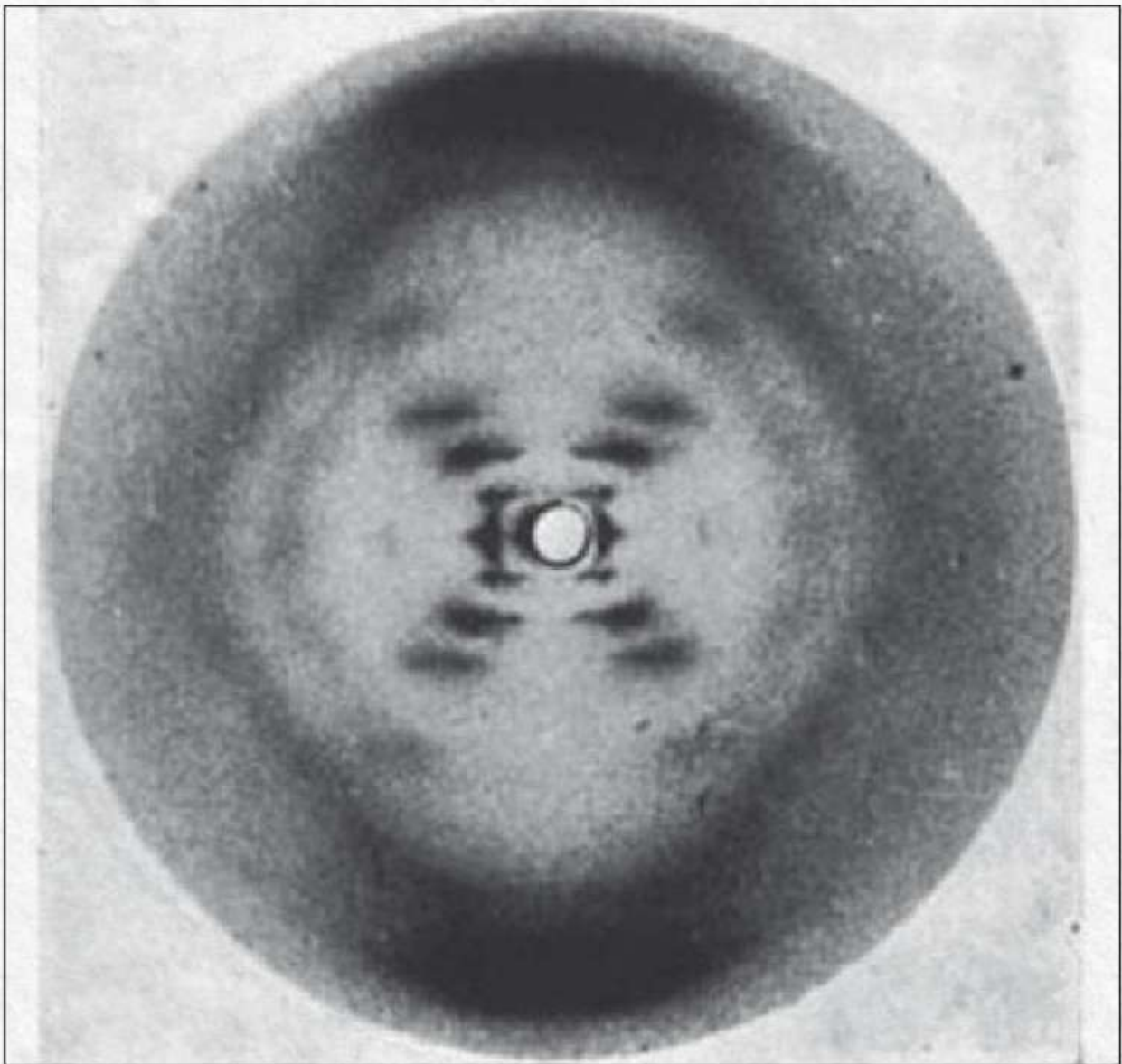
فرانسیس کریک و جیمز واتسون جایزه نوبل پزشکی سال ۱۹۶۲ را به خاطر کشف ساختار مارپیچ دوگانه DNA در دهه ۱۹۵۰ و اثبات اینکه DNA می‌تواند برای ذخیره اطلاعات استفاده شود، دریافت کردند. کریک ملیتی انگلیسی داشت (روبه‌رو، سمت راست)، به‌عنوان یک فیزیکدان و طراح سلاح در طی جنگ جهانی دوم مشغول بود و پس‌از آن توجهش به زیست‌شناسی معطوف شد و به پی‌افکندن مدل‌های ریاضی برای تفسیر تصاویر حاصل از بلورشناسی پرتو X پرداخت. واتسون (چپ)، زیست‌شناسی مولکولی از آمریکا بود که به آزمایشگاه کوندیش (Cavendish) کمبریج پیوست تا به کریک در کشف ساختار اکنون معروف DNA یاری رساند. این دو خودشان دست به آزمایش‌های بلورشناسی پرتو X نزدند، بلکه داده‌های خام مربوطه را از سرپرست یکی از آزمایشگاه‌های کینگز کالج (King's college)، موریس ویلکینز (Maurice Wilkins)، دریافت کردند. ویلکینز سهمی از جایزه نوبل ۱۹۶۲ برد باوجود اینکه خود تصاویر بلورشناسی پرتو X از DNA را تهیه نکرده بود. تصاویر بلورشناسی پرتو X مورد استفاده واتسون و کریک توسط یکی از کارکنان آزمایشگاه ویلکینز، به نام روزالیند فرانکلین (Rosalind Franklin) مهیا شده بود.



| یکی از تصاویر بلورشناسی پرتو X از DNA، نقشی حیاتی در حل راز ساختار این مولکول
به دست واتسون و کریک بازی کرد. الگوی سیاه‌وسفید موجود در تصویری که به تصویر ۵۱
معروف است شاهدهی بود بر فرضیه کریک و واتسون مبنی بر اینکه DNA به صورت مارپیچ
دوگانه در کروموزوم وجود دارد |

تصویر ۵۱

از فرانکلین هرگز برای در میان گذاشتن یافته‌هایش با کریک و واتسون اجازه گرفته نشده بود و بحث پیرامون نقشش در کشف ساختار DNA همچنان داغ است. برخی عقیده دارند او محق دریافت جایزه نوبل بود، اما به خاطر فضای مردسالاران دوره، نادیده گرفته شد. اغلب تصور می‌شود که روزالیند فرانکلین تصویر ۵۱ را خود تهیه کرده بود، ولی در حقیقت دانشجوی دکترایی به نام ریموند گازلینگ (Reymond Gosling) که تحت نظر فرانکلین در کینگز کالج کار می‌کرد خالق این تصویر است. فرانکلین این تصویر را برای مطالعه در آینده در گوشه‌ای نهاد و چند ماه بعد گازلینگ این عکس را به ویلکینز نشان داد. ویلکینز سپس این عکس را به واتسون نشان داد و واتسون از همان لحظه اول به اهمیت این تصویر پی برد. در اواخر دهه ۱۹۴۰، لینوس پاولینگ و گروهش در انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا از بلورشناسی پرتو X استفاده می‌کردند تا نشان دهند بسیاری از پروتئین‌ها، حاوی ساختارهایی مارپیچی‌اند. الگوی ضربدری موجود در تصویر ۵۱ از ساختار مارپیچی DNA حکایت داشت.



روزالیند فرانکلین

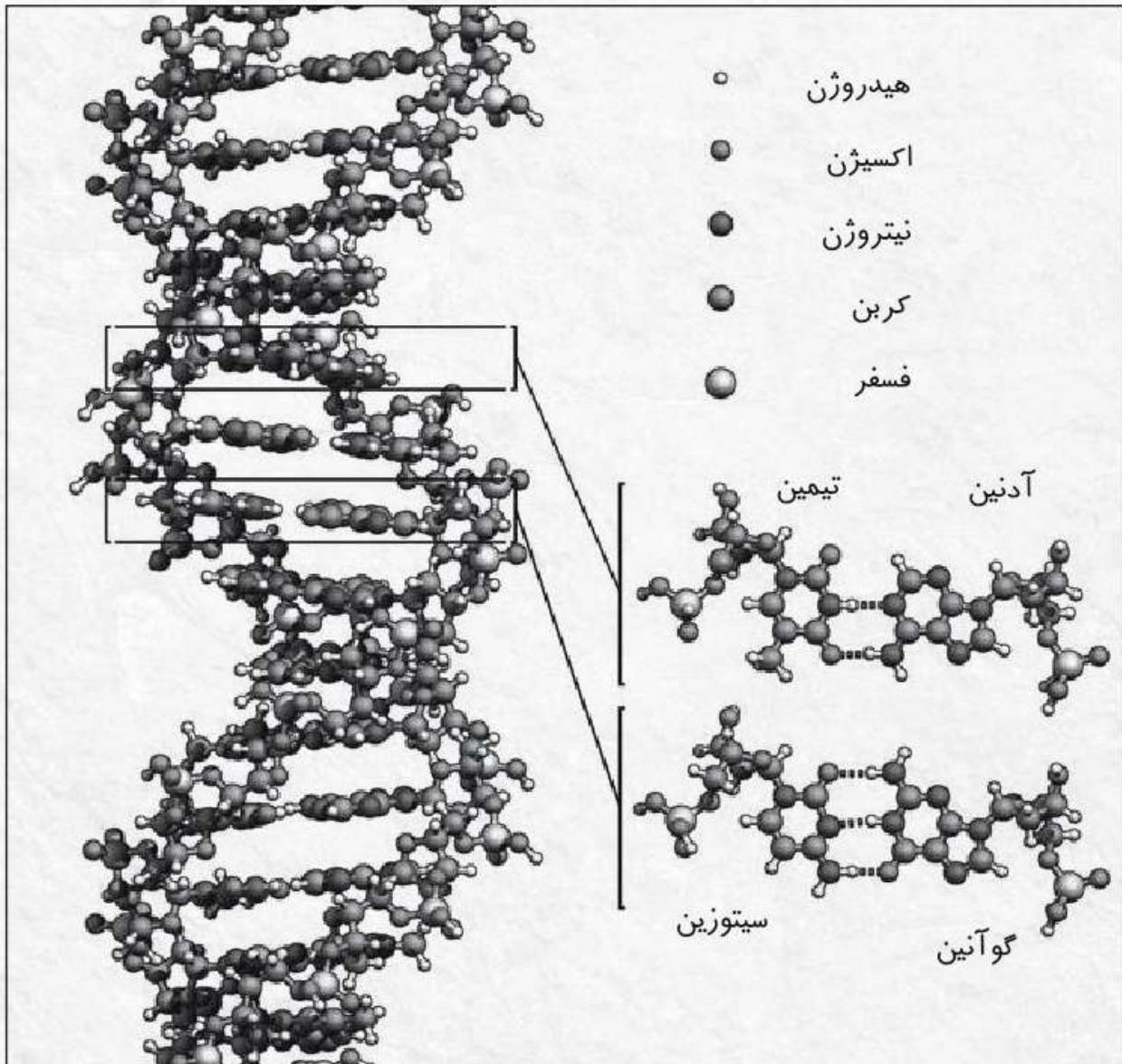
روزالیند فرانکلین پیش از آن که کمیته جایزه نوبل کریک، واتسون و ویلکینز، همکار قدیمی فرانکلین، را برای این جایزه در نظر بگیرد، چشم از جهان فرو بست. او در ۱۹۵۸ در اثر سرطان تخمدان که شاید از تماس روزانه‌اش با درجات خطرناکی از پرتو X نشأت گرفته بود از دنیا رفت. جایزه نوبل هرگز به رفتگان اهدا نمی‌گردد و از این رو هرگز نخواهیم دانست که آیا فرانکلین، در صورت در قید حیات بودن، در جایزه نوبل ۱۹۶۲ سهم می‌شد یا نه.

در سال‌های بعد، نقش فرانکلین در کشف ساختار DNA به شکلی گسترده‌تر مورد قبول واقع شد. تصویر ۵ به خودی خود دستاورد بزرگ فرانکلین نبود، بلکه کشف مهم او این بود که DNA در درون هسته به شکلی هیدراته که او آن را فرم B نامید، یافته می‌شود (فرم A که کمتر از فرم B هیدراته است در سیستم‌های زیستی رایج نیست). شالوده توفیق نهایی کریک و واتسون مدل‌سازی این فرم از DNA بود که ماریچ دوگانه‌ای است راست‌دست.



جفت باز

ماریچ دوگانه DNA از میلیون‌ها جفت باز تشکیل می‌شود. هر جفت از اتصال دو نوکلئیک اسید تشکیل شده و این جفت بازها بخش میانی ماریچ را می‌سازند. کشف کریک و واتسون نشان داد که بازها بر اساس قواعدی ساده با هم جفت می‌شوند. چهار باز در ساختار DNA نقش دارند: آدنین، سیتوزین، گوانین و تیمین. هر یک دارای بخش نیتروژن دار حلقوی است. بخش حلقوی آدنین مشابه گوانین بوده و بخش حلقوی هردو از دو حلقه درست شده‌اند. در سیتوزین و تیمین، بخش حلقوی تک حلقه‌ای بیش نیست. در یک پله ماریچ دوگانه، سه حلقه بیشتر جای نمی‌گیرند. نتیجتاً آدنین همیشه با تیمین جفت می‌شود و گوانین با سیتوزین. این جفت‌ها می‌توانند در هر دو جهت تشکیل شوند (آدنین - تیمین با تیمین - آدنین فرقی ندارد) ولی هر باز باید در مقابل جفت صحیحش قرار گیرد.



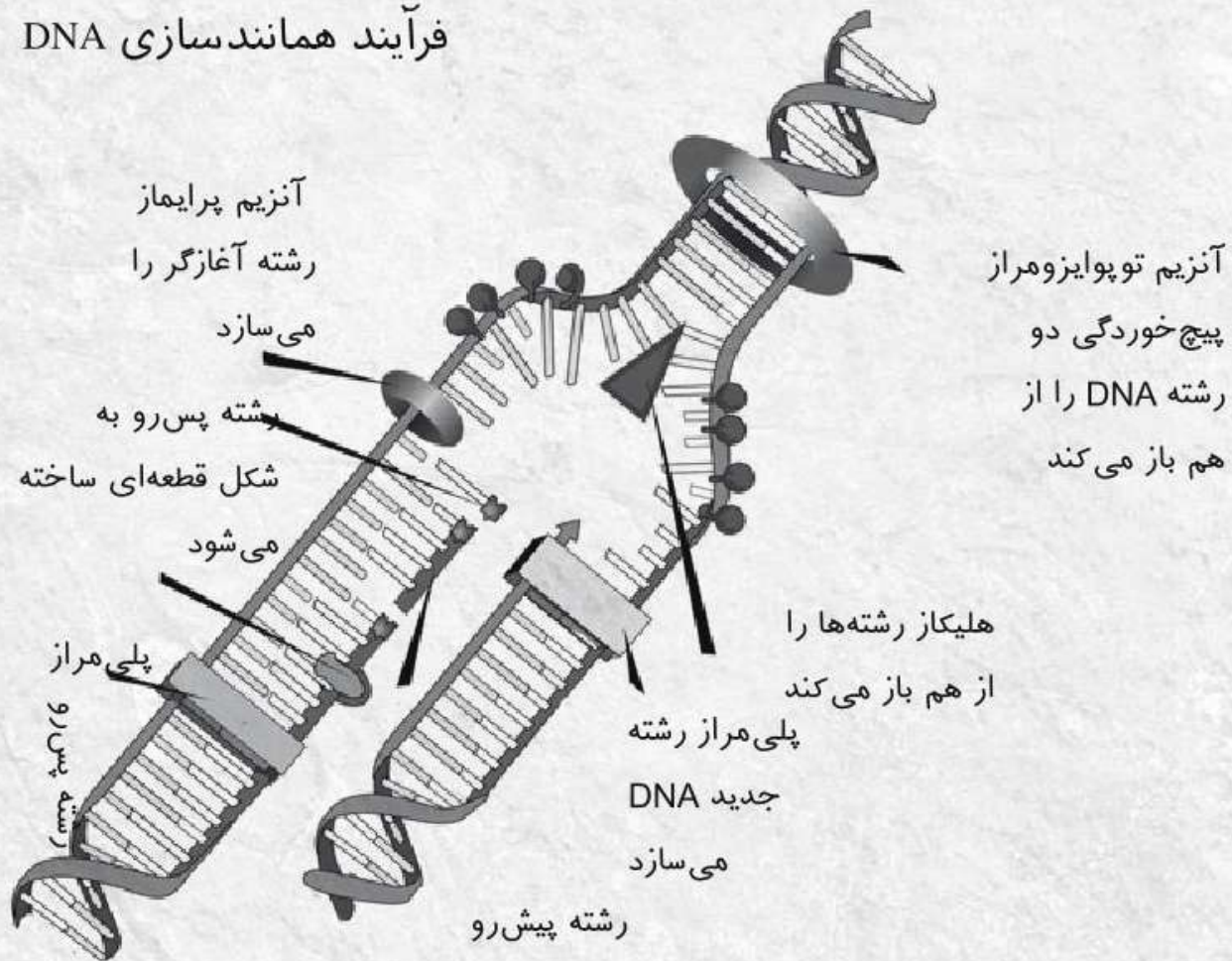
رمز ژنتیکی

زیر واحدهای چهارگانه DNA - آدنین، سیتوزین، گوانین و تیمین - رمزی چهار حرفی می‌سازند که عموماً به صورت ACGT نشان داده می‌شود. پروژه ژنوم انسان نشان می‌دهد که بیش از ۳ میلیارد از این حروف در هر یاخته ما وجود دارند. می‌توان تمامی این حروف را در ۱۳۰ جلد کتاب جای داد. خواندن این اوراق با سرعت یک حرف در ثانیه، ۹۵ سال به طول می‌انجامد و اغلب این اوراق همچنان برای ما رازآلودند. چون DNA به شکل مارپیچی دوگانه است، هر رشته رمزی بر مبنای میلیون‌ها ACGT دارد و هر رشته رمز رشته مقابلش را منعکس می‌کند. تنها یکی از این دو رشته برای رمزگشایی توسط فرایندهای یاخته‌ای استفاده می‌شود. رشته‌ای که برای خواندن رمز ژنتیکی توسط یاخته استفاده می‌شود، رشته بامعنا (sense) و رشته مقابلش رشته پادمعنا (antisense) خوانده می‌شود.

خودهمانندسازی

در حین تقسیم یاخته‌ای، DNA موجود در هسته باید دو برابر شود. فرآیند همانندسازی DNA از این جهت میسر است که یک رشته از ماریچ دوگانه، محتوای رشته مقابلش را منعکس می‌کند. همانندسازی (self-replication) از طریق فرآیندی به نام کاتالیزی خودبه‌خودی (autocatalysis) ممکن است ولی در درون یاخته، آنزیم‌ها این فرآیند را به شدت کنترل می‌کنند تا امکان خطا در همانندسازی را کاهش دهند. در مرحله اول، ماریچ دوگانه از هم باز شده و بازهای هر رشته از بخش آزاد شده با بازهای متناسب خود جفت می‌شوند. در عین حال، ریبوزها به بازهای جدید افزوده می‌شوند تا این بازها را در کنار یکدیگر نگه دارند. نتیجه این فرآیند، دو ماریچ دوگانه [تقریباً] یکسان است، آنزیم‌های ویرایشگر (Proof-reading) نبود جفت نادرست در رشته‌های جدید را بررسی می‌کنند. در سطح کروموزومی، نتیجه این فرآیند دو کروماتید یکسان است. کروماتیدها در محلی به نام سانترومر به هم متصل‌اند. در حین تقسیم یاخته‌ای این کروماتیدها از هم جدا شده و به کروموزوم‌های مستقل بدل می‌شوند.

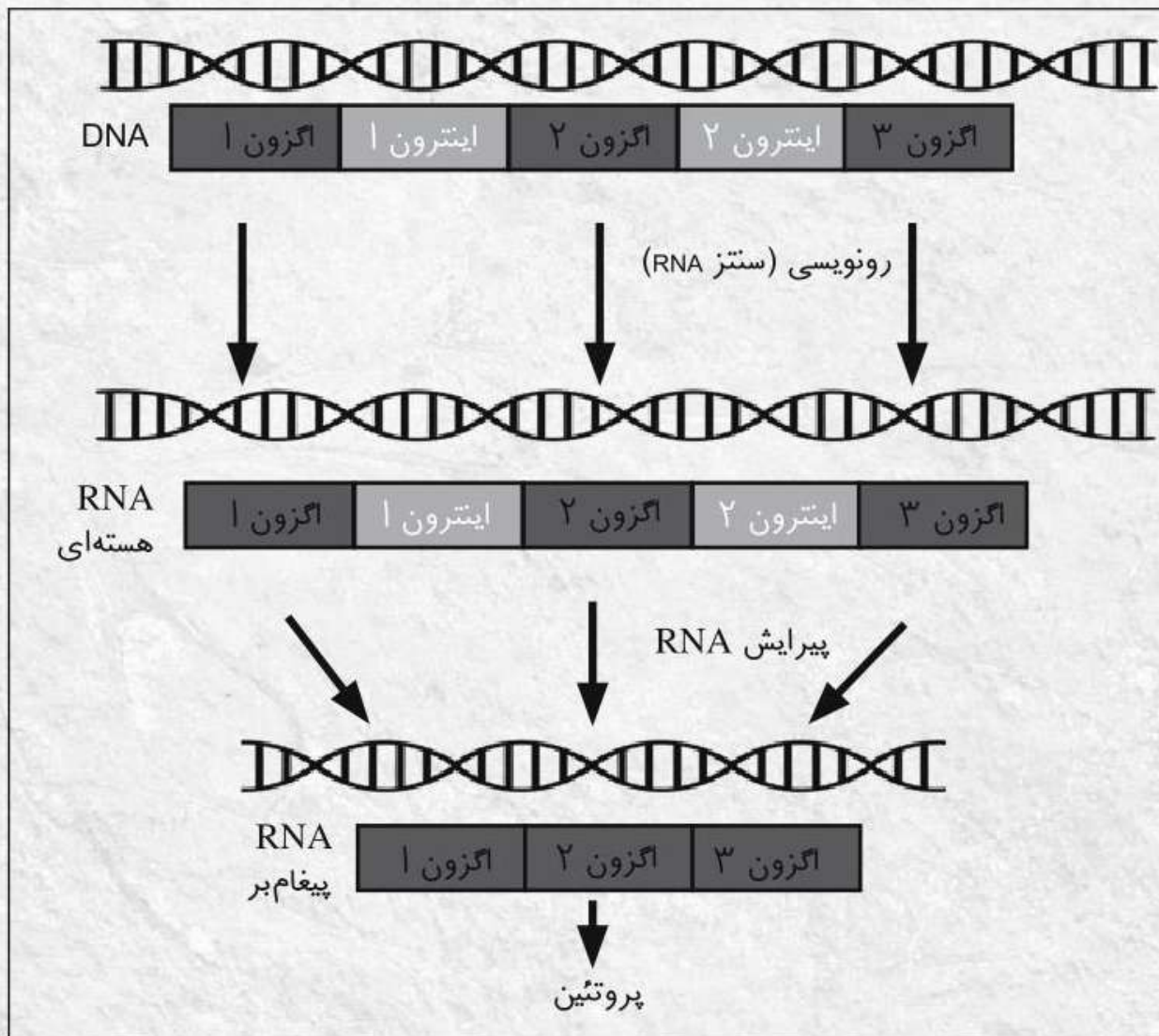
فرآیند همانندسازی DNA



همانندسازی DNA به واسطه مجموعه ای از آنزیم ها ممکن می شود که مارپیچ دوگانه را از هم باز می کنند و از هر رشته به عنوان الگویی برای ساخت رشته ای جدید استفاده می کنند تا در نهایت دو مولکول یکسان DNA را بسازند

DNA بی‌نمود

تمامی DNA درون یاخته در فرآیند همانندسازی شرکت می‌کند، اما وقتی نوبت به خواندن رمز DNA می‌رسد، یاخته تنها بخش‌هایی از DNA را خوانده و به باقی بخش‌های DNA بی‌اعتنا است. بخش‌های حاوی رمز DNA اگزون (exon) و بخش‌های فاقد رمز اینترون (intron) خوانده می‌شوند. اینترون‌ها در فواصل میان اگزون‌ها در طول DNA وجود دارند و طول‌شان متغیر است. اینترون‌ها اغلب DNA بی‌نمود خوانده می‌شوند. ظاهر این نام حاکی از بی‌اهمیت بودن این بخش‌های DNA است؛ گویی تنها عملکردشان رونویسی به همراه اگزون‌ها است؛ اما عنوان علمی‌تر اینترون‌ها، DNA نارمزگذار (non-coding DNA) است؛ زیرا عملکرد حقیقی این قطعات، اگر این قطعات از DNA واقعا نقشی زیستی داشته باشند، برما پوشیده است. بر اساس جدیدترین تخمین‌ها ۹۰ درصد ژنوم ما را اینترون‌های نارمزگذار تشکیل می‌دهند؛ درصد اینترون‌های انسان بیش از جاندارانی ساده‌تر چون باکتری‌هاست؛ هرچند ژنوم پیاز، و نتیجتاً میزان DNA نامودش، حدوداً پنج برابر ژنوم انسان است؛ گرچه پیاز، جانداری ظاهراً ساده‌تر از انسان است. به این ترتیب نمی‌توان حجم و اندازه DNA را لزوماً با موضوعاتی چون پیچیدگی یا تکامل یافتگی مرتبط دانست.



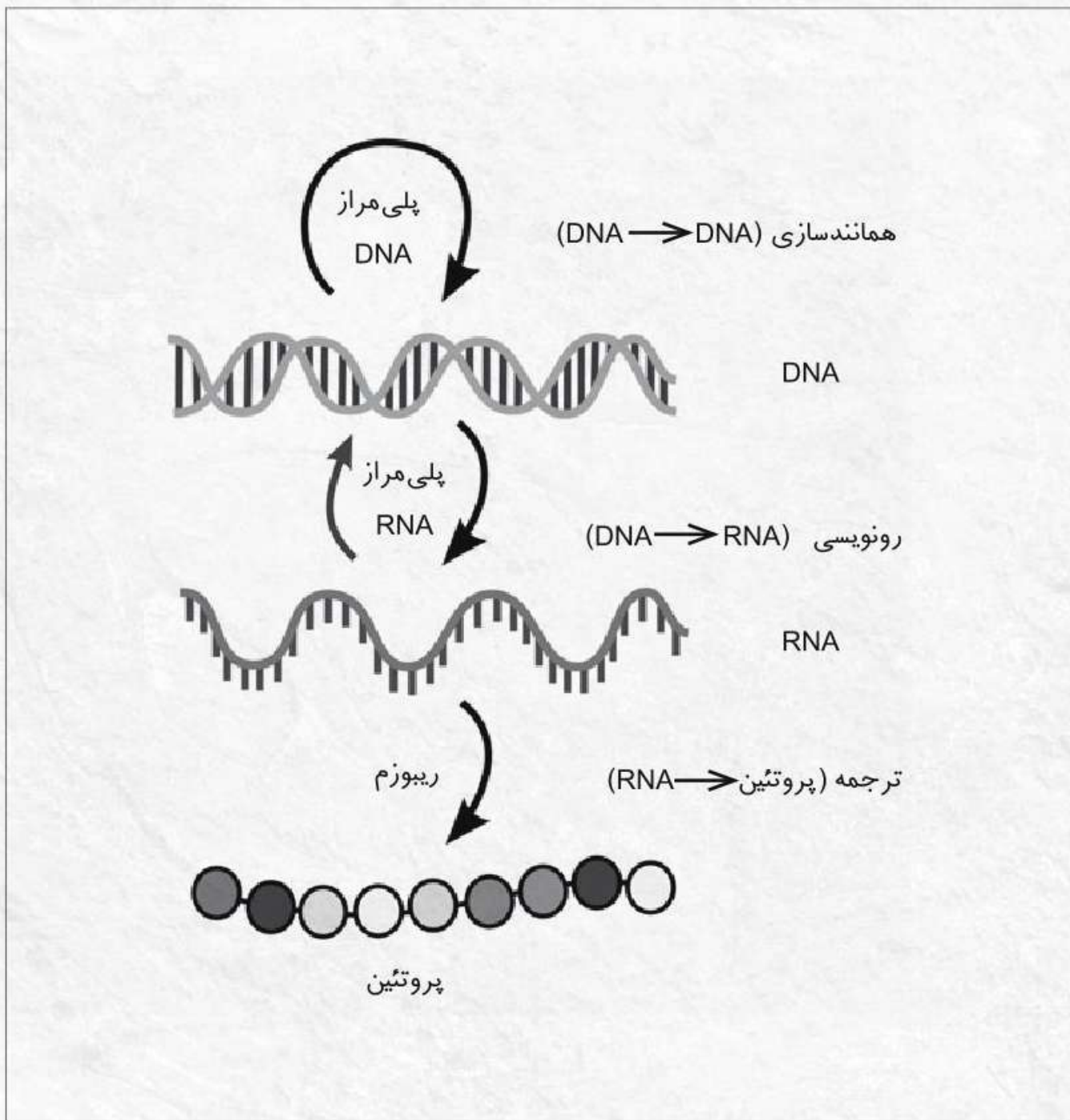
فرآیند رونویسی اطلاعات اضافی موجود در DNA (یعنی اینترون‌ها) را پیرایش می‌کند |

اصل بنیادین

کشف ساختار مارپیچ دوگانه تنها اولین قدم در رمزگشایی راز وراثت بود. به مرور زمان و طی ده‌ها سال پس از کشف مارپیچ دوگانه، درک ما از چگونگی رمزگشایی یاخته از پیام‌های موجود در DNA، کامل‌تر شد. مکانیزم پرشکوهی که اساس رمزگشایی DNA در یاخته است، به نام اصل بنیادین (The central dogma) زیست‌شناسی مولکولی خوانده می‌شود.

بر اساس اصل بنیادین، هر بخش خاص از DNA (سیسترون: cistron) حامل اطلاعات مورد نیاز برای ساخت یک پروتئین خاص در یاخته است. سیسترون و ژن، که هر دو به معنی واحد وراثت اطلاعات‌اند، مترادف یکدیگرند.

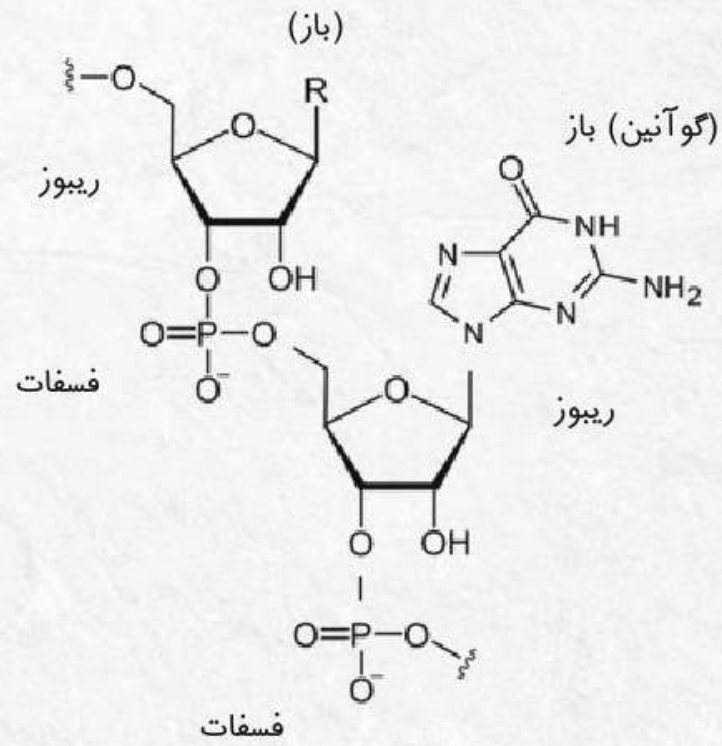
به علاوه، بر اساس اصل بنیادین، جریان اطلاعات ژنتیکی جریانی یک‌طرفه است: اطلاعات موجود در DNA را می‌توان به پروتئین ترجمه کرد و رمز ژن بیان‌کننده یک پروتئین را نمی‌توان بر مبنای ساختار آن پروتئین استنباط کرد.



RNA

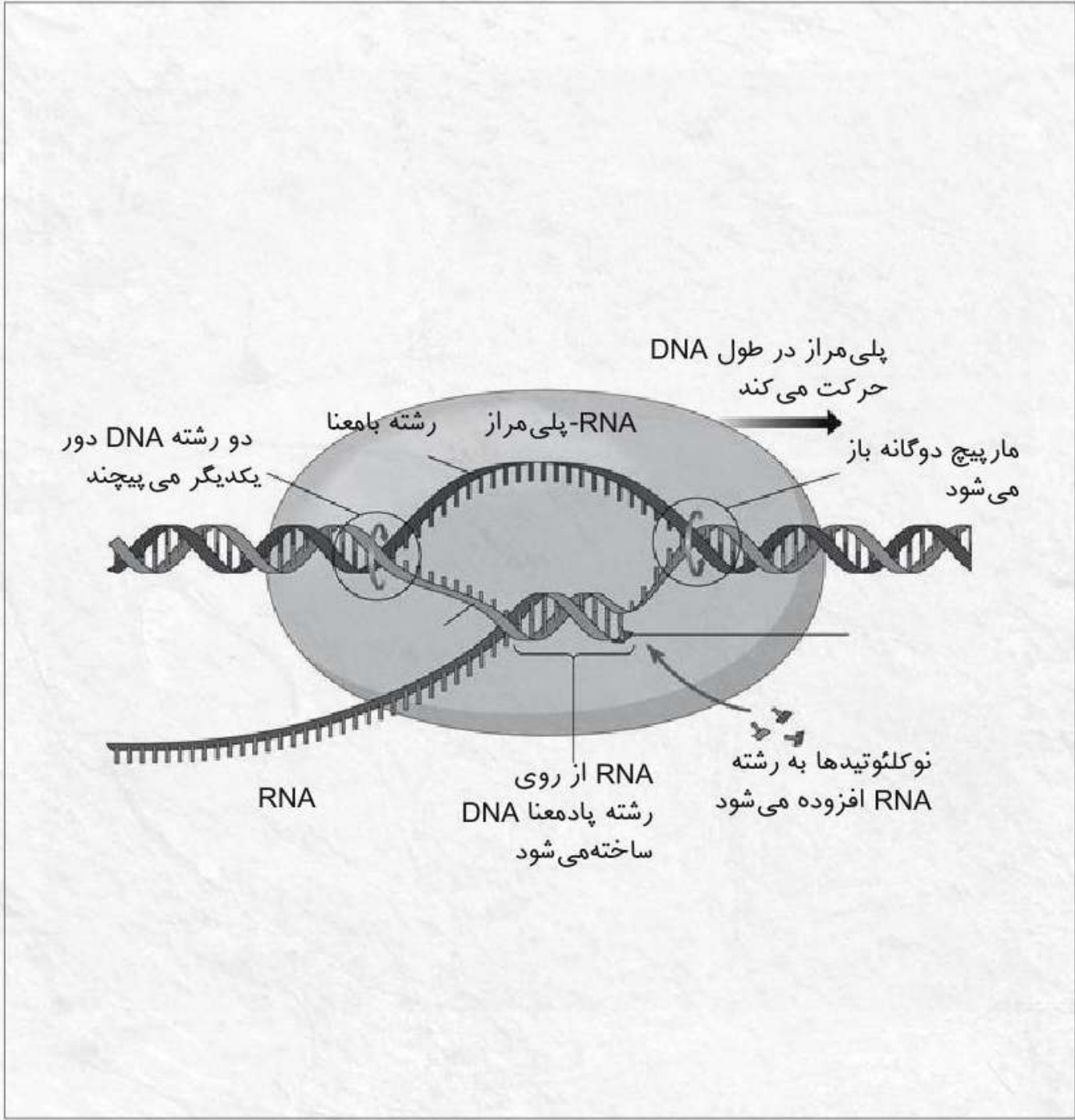
DNA محل نگهداری ژن‌های یاخته است، اما برای خواندن این ژن‌ها، یاخته از یکی از خویشاوندان شیمیایی DNA، یعنی RNA استفاده می‌کند. RNA سرنام ریبونوکلیک اسید است. جدای از ستون فقرات RNA، که از قندهای ریبوزی، که به واسطه فسفات به هم متصل‌اند، تشکیل شده است RNA و DNA ساختاری مشابه یکدیگر دارند. گروه هیدروکسیل (OH-) متصل به ساختار حلقوی ریبوز، جلوی پیچ خوردن دو RNA به دور یکدیگر را می‌گیرد. نتیجتاً، RNA اغلب به شکل مارپیچی تک‌رشته و در میان انبوهی از مارپیچ‌های تک‌رشته‌ای دیگر یافت می‌شود. RNA در ساختار خود از آدنین (A)، سیتوزین (C) و گوانین (G) استفاده می‌کند، ولی برخلاف DNA، به جای تیمین (T) از یوراسیل (U) سود می‌برد. از این رو الفبای ACGT - DNA - در زبان RNA به ACGU ترجمه می‌شود. RNA مولکولی پایدارتر از DNA است و از این رو همانندسازی، انتقال و خواندن اطلاعات ژنتیکی هر یاخته بر اساس اصل بنیادین بر عهده این مولکول است.

فرمول ساختاری RNA



رونویسی

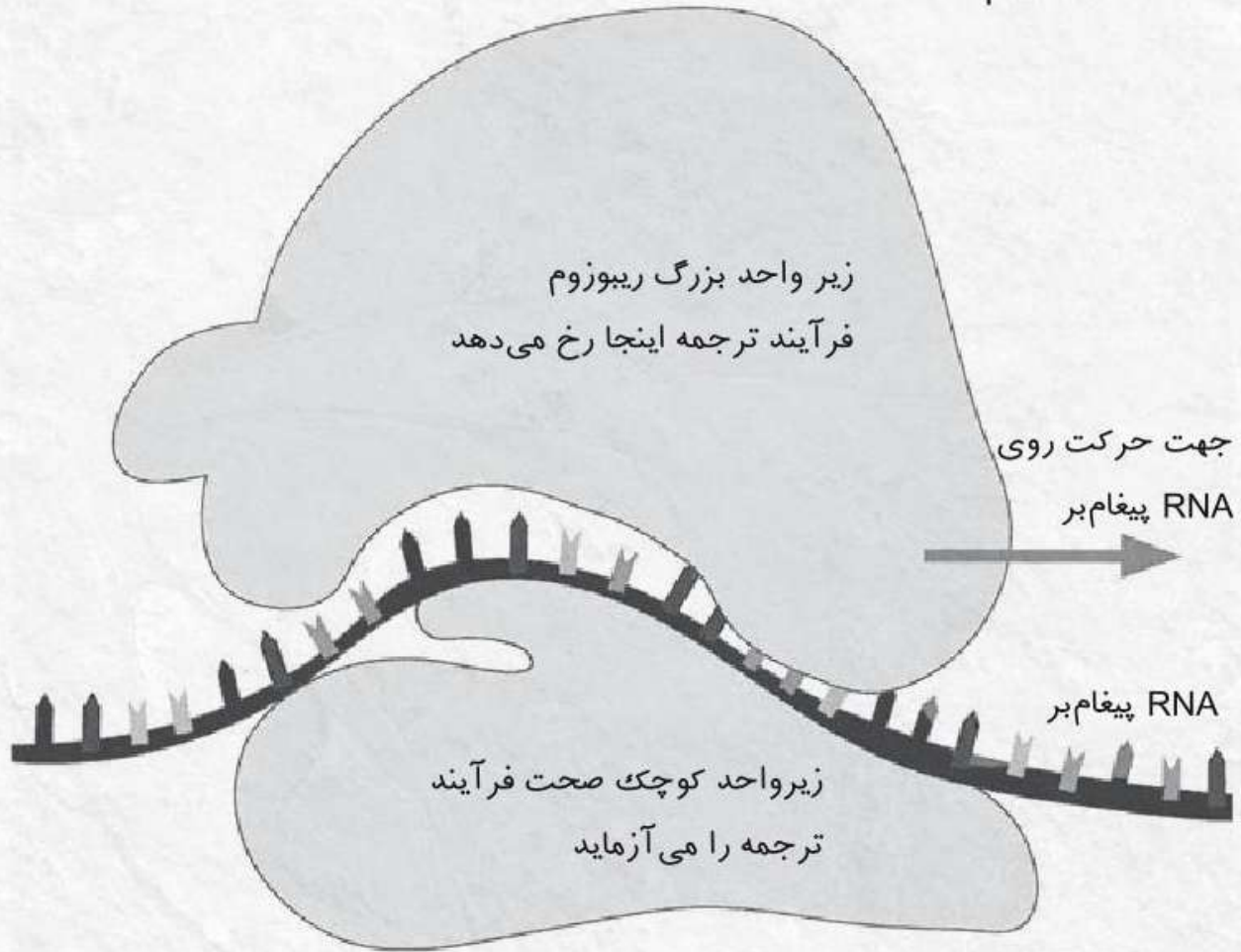
ژن‌ها در درون هسته جای دارند ولی پروتئین‌هایی که توسط این ژن‌ها رمزگذاری می‌شوند در خارج از هسته و در سیتوپلاسم، توسط اندامکی به نام ریبوزوم ساخته می‌شوند. بنابراین، ژن‌ها باید همانندسازی شده و به خارج از هسته منتقل شوند تا امکان ساخت پروتئین در سیتوپلاسم فراهم آید. این فرآیند همانندسازی «رونویسی» (Transcription) خوانده می‌شود چراکه برخلاف همانندسازی که در حین تقسیم یاخته‌ای رخ داده و در آن از روی DNA، DNA دیگری ساخته می‌شود، اما طی رونویسی RNA تک‌رشته‌ای از روی DNA ساخته می‌شود. غایت رونویسی، همانندسازی رشته بامعنای DNA- همان رشته‌ای که پروتئین را رمزگذاری می‌کند- است. بدین منظور، در حین رونویسی مارپیچ دوگانه DNA از هم باز شده و رشته پادمعنا به عنوان رشته الگو برای ساخت RNA مورد استفاده قرار می‌گیرد. RNA حاصل حاوی اگزون‌ها و اینترون‌ها است و در طی مرحله‌ای دیگر اینترون‌ها از ساختار RNA برون رانده می‌شوند. محصول نهایی این فرآیند RNA پیغام‌بر خوانده می‌شود. RNA پیغام‌بر سپس از منافذ هسته به سیتوپلام، و نهایتاً ریبوزوم، منتقل می‌شود.



ریبوزوم

ساختارهای ریزی که ریبوزوم خوانده می‌شوند مانند سایر ساختارهای یاخته‌ای اندامک خوانده می‌شوند ولی در حقیقت با سایر اندامک‌ها بسیار متفاوت‌اند، زیرا ریبوزوم‌ها هم در یاخته‌های یوکاریوتی و هم پروکاریوت‌ها، که به‌عنوان یاخته‌هایی فاقد اندامک تعریف می‌شوند، یافت می‌شوند. وجود ریبوزوم‌ها در اقسام مختلف یاخته‌ای از اهمیت زیستی و منشا باستانی آنها حکایت دارد. تصور بر این است که ریبوزوم‌ها پیش از جدایی یوکاریوت‌ها از پروکاریوتی تکامل یافته بودند. ریبوزوم مکانی است که در آن اطلاعات RNA پیغام‌بر خوانده می‌شود و بر اساس آن نوعی پروتئین تولید می‌شود. بخش اعظم ریبوزوم از نوعی دیگر از RNA، که به‌تناسب RNA ریبوزومی خوانده می‌شود، تشکیل می‌شود. RNA ریبوزومی در زیرواحد ریبوزوم، یکی بزرگ و دیگری کوچک را تشکیل می‌دهد. در حین فرآیند ترجمه، RNA پیغام‌بر باید از میان این دو زیرواحد عبور کند.

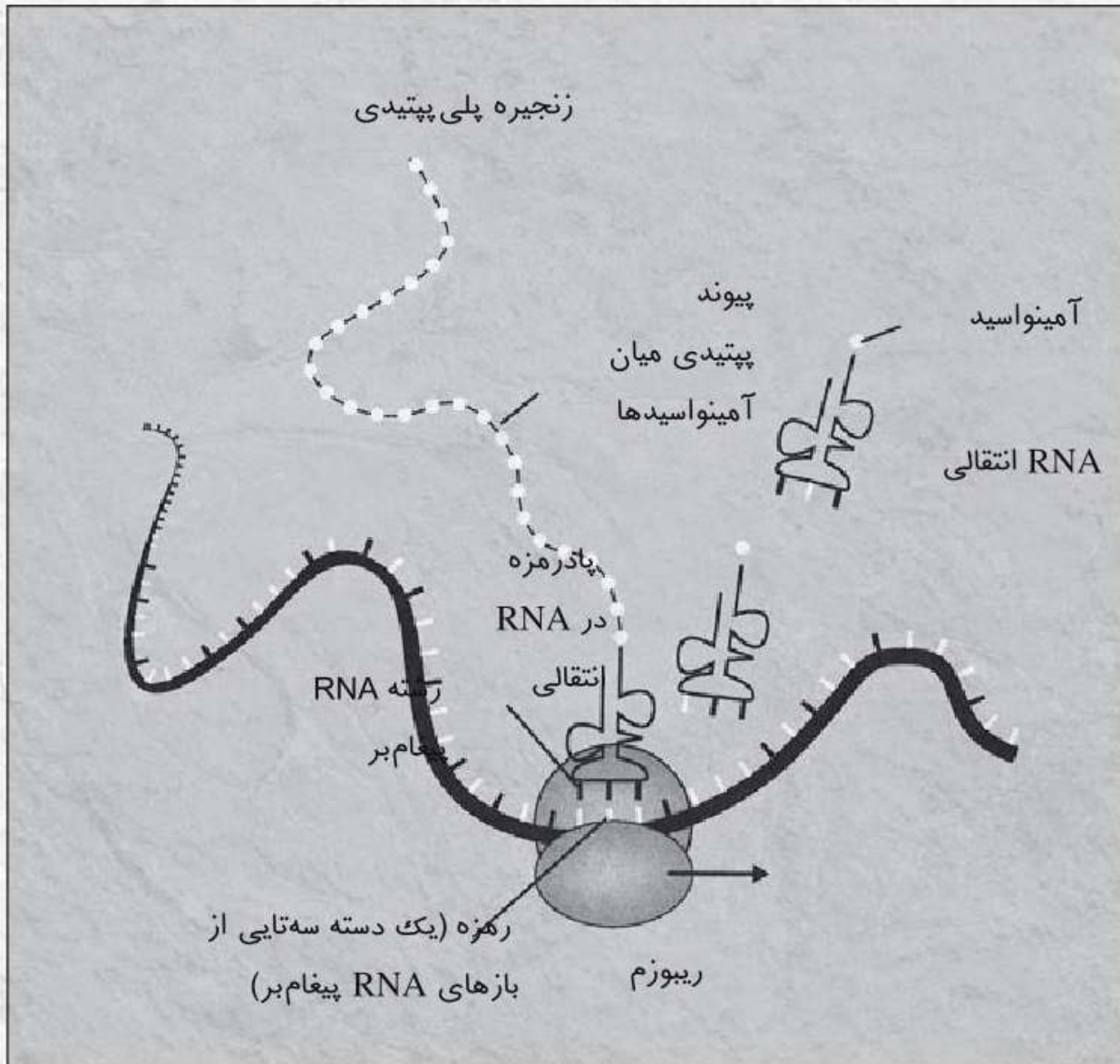
ساختار ریبوزوم



ترجمه

ساخت پروتئین دو مرحله دارد: تبدیل DNA هسته‌ای به RNA پیغام‌بر (رونویسی) و تشکیل پروتئین بر اساس اطلاعات موجود در RNA پیغام‌بر (ترجمه). ریبوزوم RNA پیغام‌بر را در معرض سیستم خوانشی متشکل از RNAهای انتقالی (Transfer RNA) می‌دهد. RNA انتقالی ساختاری حلقوی است که دارای سه باز آشکار در انتهایش است. این سه باز در مقابل سه باز از RNA پیغام‌بر قرار می‌گیرند. هر یک از این دسته‌های سه‌تایی در RNA پیغام‌بر یک‌رمزه (codon)، و دسته سه‌تایی متقابل در RNA انتقالی، پادرمزه (anticodon) خوانده می‌شوند.

RNA پیغام‌بر، رمزه به رمزه وارد ریبوزوم شده و با ورود هر رمزه، RNA انتقالی دارای پادرمز متناسب با آن رمزه جفت می‌شود. آمینواسیدی به انتهای دیگر RNA انتقالی متصل است. هر جفت رمزه - پادرمزه مترادف با آمینواسیدی خاص است و هر یک از این آمینواسیدها واحد سازنده یک پروتئین خاص‌اند. پروتئین با خوانش منظم رمزه‌های موجود در یک RNA پیغام‌بر ساخته می‌شود.



رمزگان ژنتیک

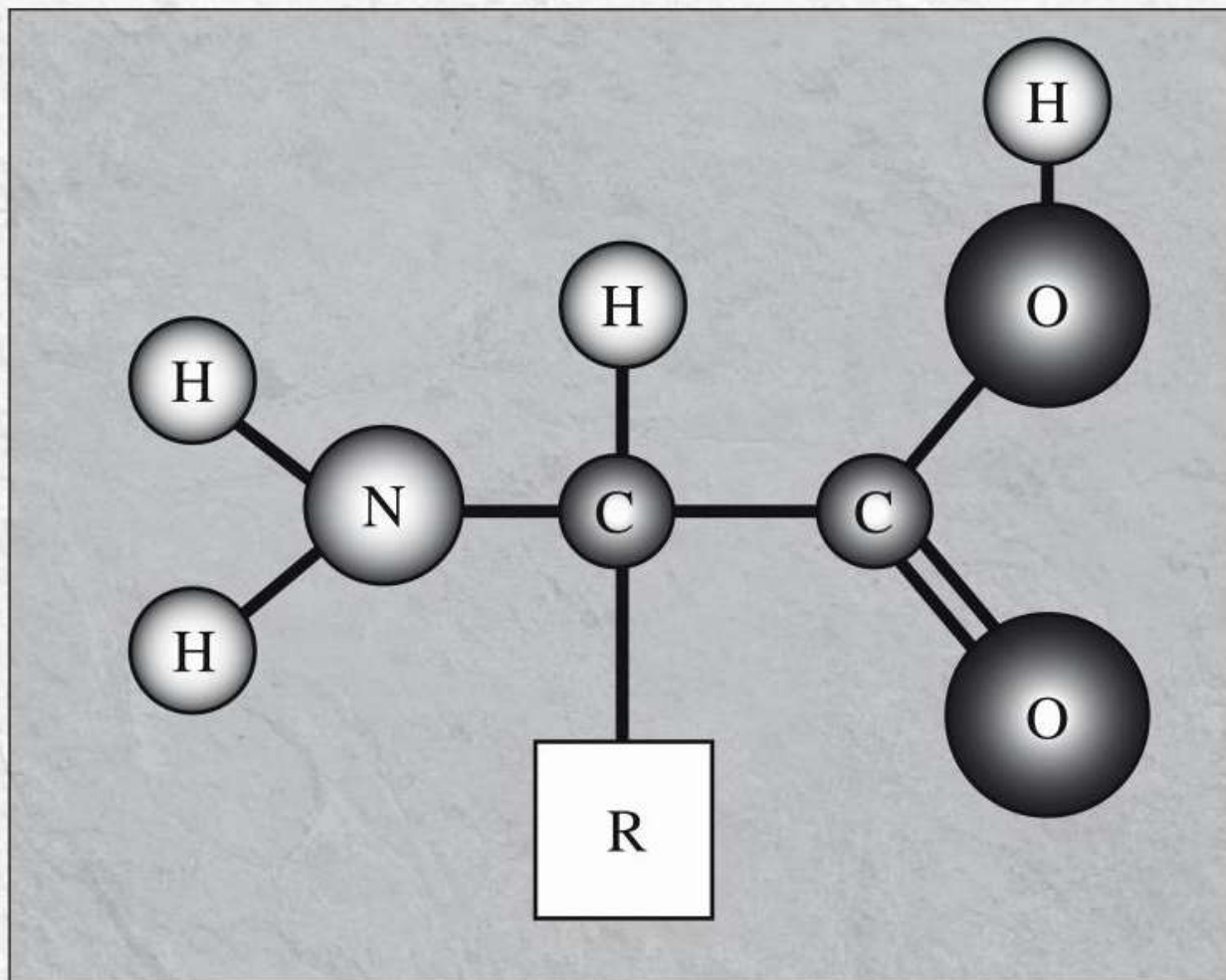
رمزگان ژنتیک واسط دنیای ژنتیک و دنیای سوخت و سازند. هر رمز رشته‌ای سه حرفی از بازها و مترادف با آمینواسیدی خاص است. هر ژن ردیفی منظم از رمزگانی خاص است. طی ترجمه، رشته‌ای از رمزها به رشته‌ای آمینواسیدی بدل می‌شود و رشته آمینواسیدی سازنده پروتئینی خاص است. می‌توان ۶۴ (۴^۳) رمز بر اساس الفبای چهارحرفی رمز ژنتیکی ساخت. با وجود این، جانداران تنها به ۲۳ آمینواسید مختلف نیاز دارند و در نتیجه بیشتر آمینواسیدها مترادف بیش از یک رمز هستند.

شماری از رمزها محل آغاز و اتمام یک ژن را مشخص می‌کنند. رمز آغازگر ATG است که مترادف متیونین نیز هست. تنها رمزهایی که بعد از رمز آغازین باشند، ترجمه می‌شوند، از جمله رمزهای ATG غیرآغازگر که بعد از رمز آغازین می‌آیند. فرآیند ترجمه تا رسیدن به یکی از رمزهای پایانی ادامه می‌یابد.

معنا	رمز	معنا	رمز
لوسین	TTA, TTG, CTT, CTC, CTA, CTG	آغاز	ATG
لیزین	AAA, AAG	آلانین	GCT, GCC, GCA, GCG
سرین	TCT, TCC, TCA, TCG, AGT, AGC	آرژینین	CGT, CGC, CGA, CGG, AGA, AGG
فنیل آلانین	TTT, TTC	آسپارژین	AAT, AAC
پرولین	CCT, CCC, CCA, CCG	آسپارٹیک اسید	GAT, GAC
متیونین	ATG	سیستین	TGT, TGC
ترئونین	ACT, ACC, ACA, ACG	گلوٹامین	CAA, GAG
تریپتوفان	TGG	گلوٹامیک اسید	GAA, GAG
تیروزین	TAT, TAC	گلیسین	GGT, GGC, GGA, GGG
والین	GTT, GTC, GTA, GTG	ہستیدین	CAT, CAC
توقف	TAA, TGA, TAG	ایزولوسین	ATT, ATC, ATA

آمینواسیدها

اغلب گفته می‌شود که آمینواسیدها خشت‌های سازنده پروتئین‌اند. این ادعا تنها تا حدودی درست است؛ زیرا از میان حدود ۵۰۰ آمینواسید شناخته‌شده، تنها ۲۳ عدد توسط موجودات زنده برای ساخت پروتئین به کار می‌روند. معدودی آمینواسید علاوه بر این ۲۳ تا، در فرایندهای سوخت‌وساز که ربطی به ساخت پروتئین ندارند، استفاده می‌شوند. آمینواسیدها گروهی از ترکیبات آلی (آلی یعنی کربن‌دار) هستند که در ساختارشان یک گروه کربوکسیل - ترشی سرکه و لیمو از همین گروه سرچشمه می‌گیرند. و یک گروه آمین (گروهی نیتروژن‌دار) وجود دارد. وجود نیتروژن در آمینواسیدها حیاتی است. باوجوداینکه ۸۰٪ اتمسفر زمین را نیتروژن تشکیل می‌دهد، جانوران از استخراج مستقیم این عنصر عاجزند و نتیجتاً برای تولید آمینواسید باید نیتروژن خود را از جاندارانی که نیتروژن دارند تأمین کنند. گیاهان قادر به ساخت آمینواسید با استخراج نیتروژن از نیترات خاک‌اند (به همین علت است که کشاورزان خاک را کود می‌دهند)، البته گیاهان نیز متکی بر باکتری‌هایی هستند که بتوانند نیتروژن موجود در جو را به نیترات تبدیل کنند.

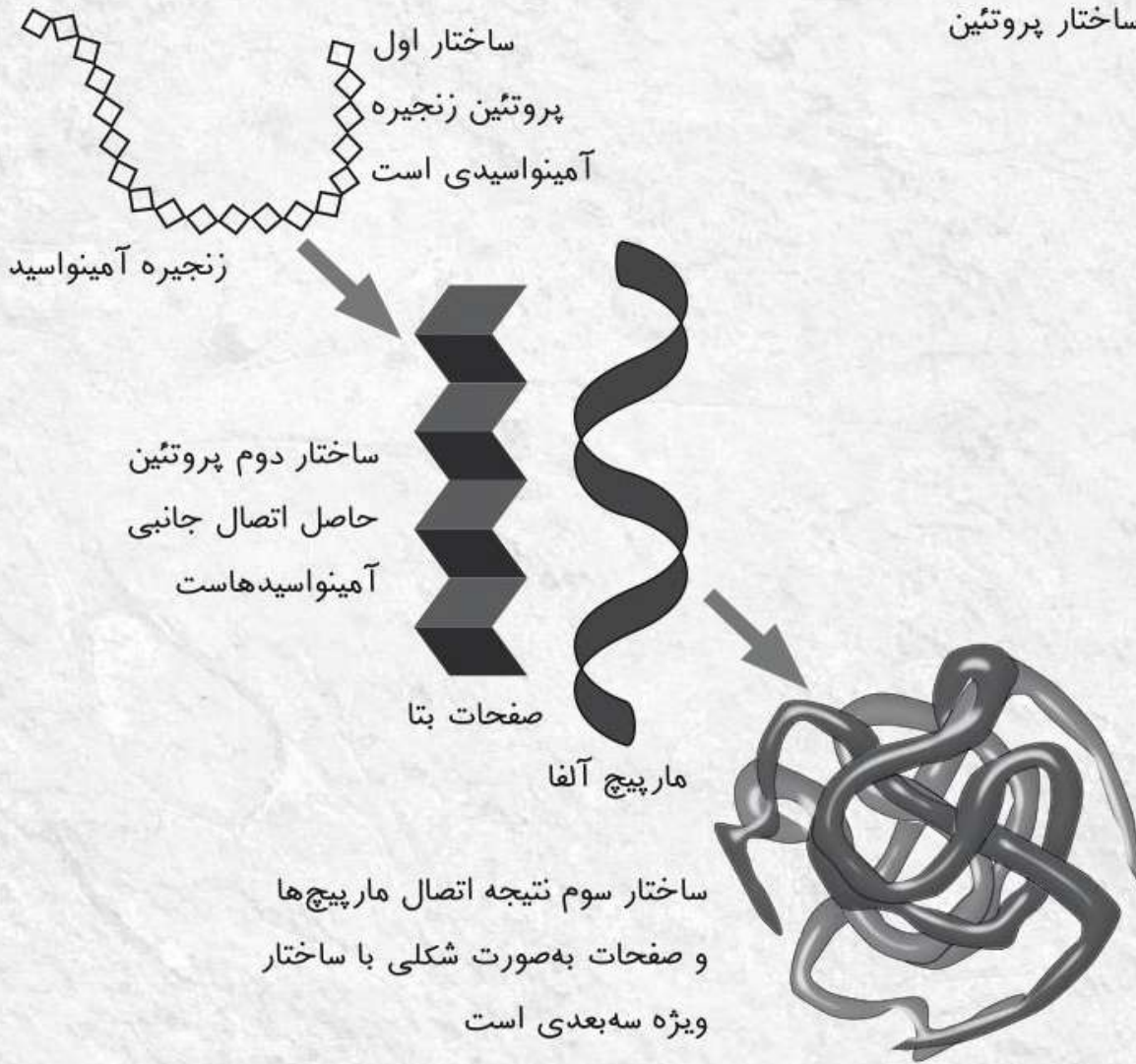


همه آمینواسیدها در ساختار خود یک گروه آمین (NH_2) و یک گروه کربوکسیل (COOH) دارند، به علاوه گروهی جانبی (R) به کربن مرکزی آمینواسید متصل است. ساختار این گروه جانبی از آمینواسیدی به آمینواسید دیگر فرق می‌کند |

پروتئین‌ها

بیش از ۱۰۰۰۰ پروتئین مختلف، که هر یک از زنجیره‌ای طولانی از آمینواسیدها تشکیل می‌شوند، در بدن ما وجود دارند. یک زنجیره آمینواسیدی پلی‌پپتید خوانده می‌شود. یک سیسترون (سیسترون = ژن) یک پلی‌پپتید را رمز می‌کند و یک پروتئین از حداقل یک پلی‌پپتید ساخته می‌شود. بسیاری از پروتئین‌ها از دو یا سه پلی‌پپتید، که هر یک توسط سیسترونی متفاوت رمزگذاری شده‌اند، شکل می‌گیرند. یک پروتئین می‌تواند از ۴۰۰ تا ۲۷۰۰۰ آمینواسید تشکیل شده باشد. شمار ترکیبات مختلف آمینواسیدها در پروتئینی با این ابعاد بی‌انتها است. ترتیب آمینواسیدها به هر پروتئین ساختاری خاص و در نتیجه ویژگی‌های سوخت‌وسازی ویژه می‌بخشد. ترتیب آمینواسیدها همان ساختار اول پروتئین است ولی برهمکنش میان آمینواسیدها در نقاط مختلف این زنجیره آمینواسیدی به ساختار پیچ‌خورده دوم پروتئین می‌انجامد. این ساختار دوم، به خود می‌پیچد و ساختار سوم (یا سه‌بعدی) پروتئین را شکل می‌دهد. تغییری در ساختار اول پروتئین می‌تواند به دگرگونی در ساختار دوم و سوم و در نهایت ساخت پروتئینی جدید منجر شود.

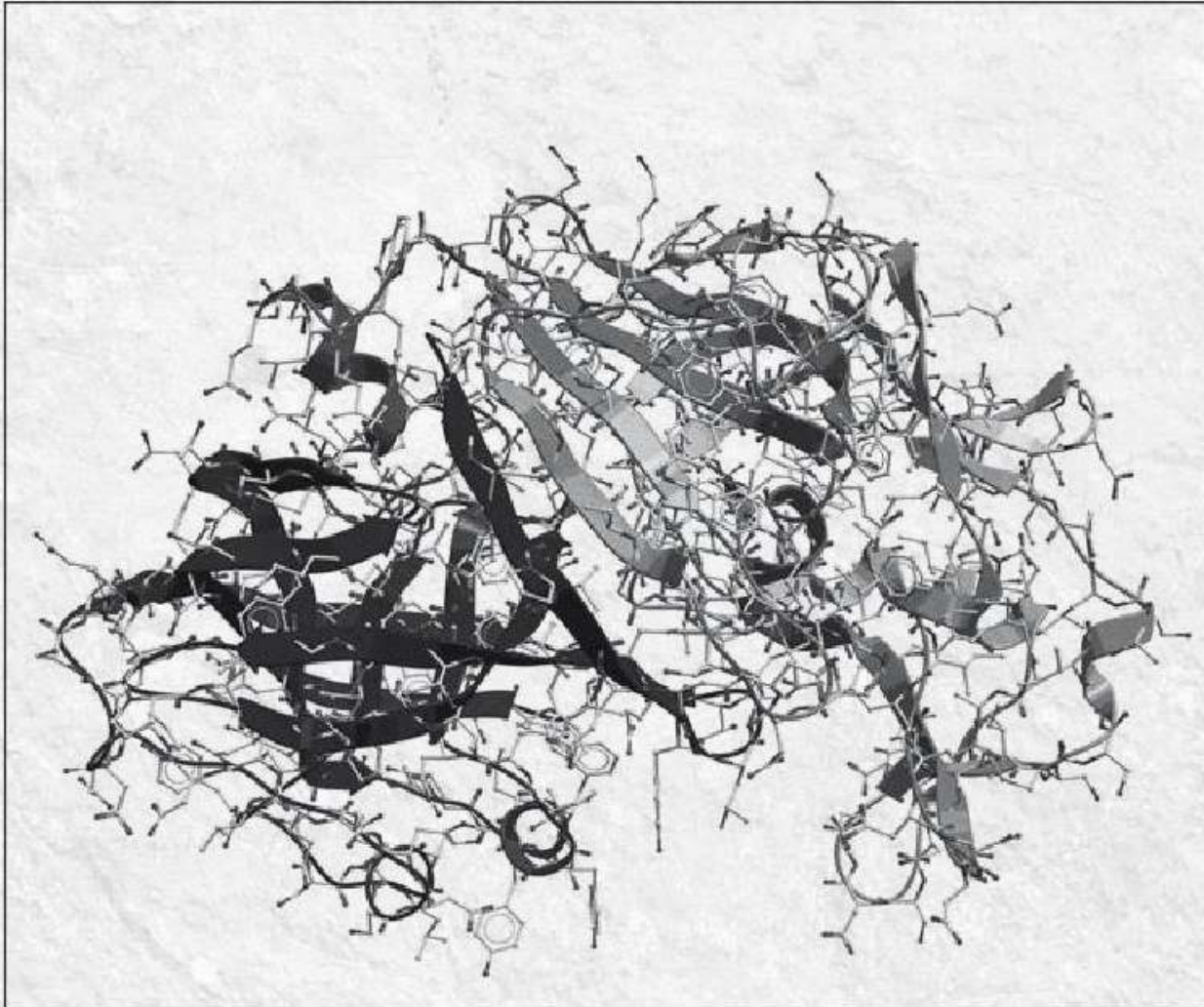
ساختار پروتئین



ساختار پروتئین سه جنبه دارد و شکل خاص يك پروتئین حاصل جمع این جنبه‌ها است

آنزیم‌ها

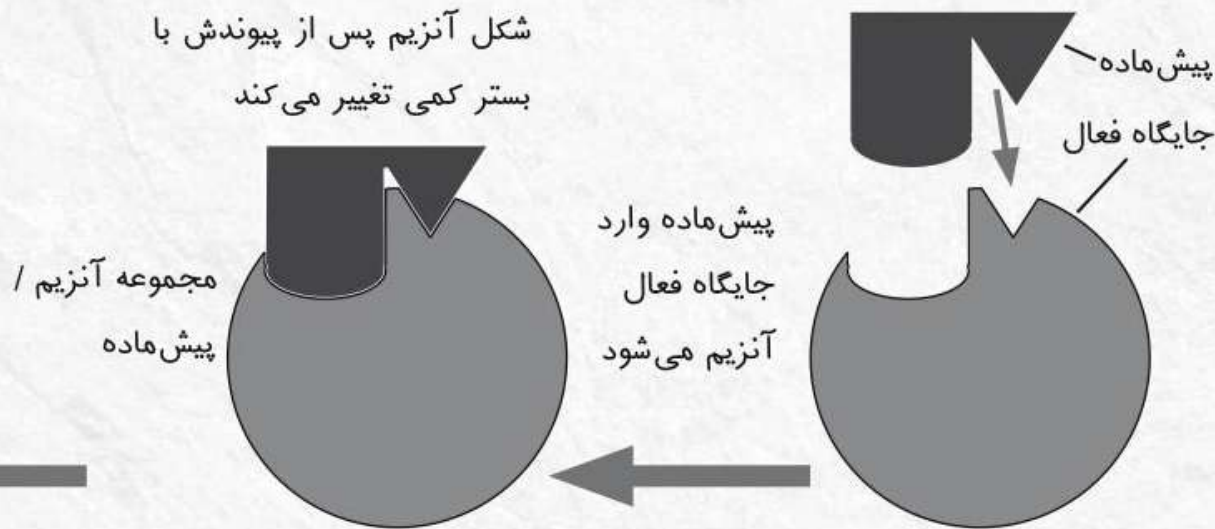
پروتئین‌ها را اغلب با گوشت و خاصه ماهیچه مترادف می‌دانند. گرچه انقباض ماهیچه‌ها حاصل کشش پروتئین‌ها است، اما پروتئین‌ها نقش‌های ساختاری متعدد دیگری نیز در بدن جانوران دارند. به‌عنوان نمونه، کلاژن شالوده پوست و سایر بافت‌های پیوندی را، که ساختار بدن را حفظ می‌کنند، شکل می‌دهد. اما بیشتر پروتئین‌ها نقشی آنزیمی، و نه ساختاری، دارند. آنزیم‌ها مشابه زیستی کاتالیزت‌های شیمیایی‌اند و مانند کاتالیزت‌ها واکنش‌های شیمیایی - که جانداران را زنده نگه می‌دارند - تسهیل می‌کنند. آنزیم‌ها نقشی حیاتی در وقوع این واکنش‌ها دارند ولی در حین واکنش مصرف نمی‌شوند. هر آنزیم قابلیت‌هایی بسته به شکلش دارد و می‌تواند در داخل و خارج از یاخته فعال باشد. به‌عنوان مثال، همانندسازی DNA در درون هسته به‌واسطه آنزیمی به نام DNA پلی‌مراز میسر می‌شود. در مقابل، آمیلاز آنزیمی گوارشی است که در دهان و معده ترشح شده و نشاسته را به قندهایی ساده‌تر مبدل می‌کند.



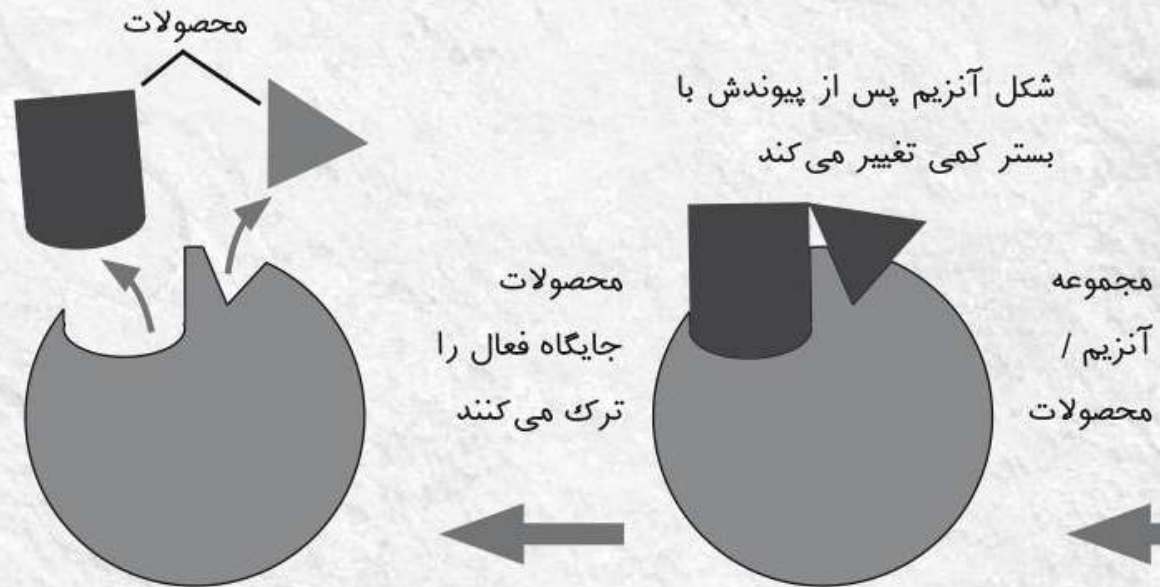
عملکرد يك آنزيم متكى بر شكل آنزيم است. اين مولكول پيچ خورده توانايي گردهم آوردن موادى را كه در نبود آنزيم از هم دور افتاده اند، دارد |

نظریه قفل و کلید

مولکول‌های هدف که پیش ماده (substrate) خوانده می‌شوند تحت تأثیر آنزیم قرار می‌گیرند. پیش ماده می‌تواند مولکولی باشد که توسط آنزیم دوپاره می‌شود و یا می‌تواند شامل دو یا شماری بیشتر از مولکول‌ها باشد که به واسطه آنزیم به هم متصل می‌شوند. انرژی مورد نیاز برای وقوع خود به خودی واکنش‌های زیستی بسیار زیاد است و چنین واکنش‌هایی تنها در حضور آنزیم می‌توانند پیش بروند. آنزیم پیش ماده را دستکاری می‌کند تا انرژی



فعال سازی واکنش کاهش باشد. نظریه ای که به بهترین وجه این فرآیند دستکاری را توضیح می دهد، نظریه قفل و کلید نام دارد. آنزیم در این فرآیند نقش قفل را دارد چراکه آنزیم دارای جایگاهی فعال با شکلی خاص است (که به پیش ماده متصل می شود). کلید پیش ماده دقیقا به قفل می خورد. پس از اتصال پیش ماده به جایگاه فعال، آنزیم با نزدیک کردن بخش هایی از پیش ماده و دور کردن برخی دیگر، شماری از پیوندهای پیش ماده را سست می کند. غالباً مولکول های دیگری (کوآنزیم) برای عملکرد آنزیم نیاز است. اکثر کوآنزیم ها از ویتامین ها مشتق می شوند.



آمیزش جنسی

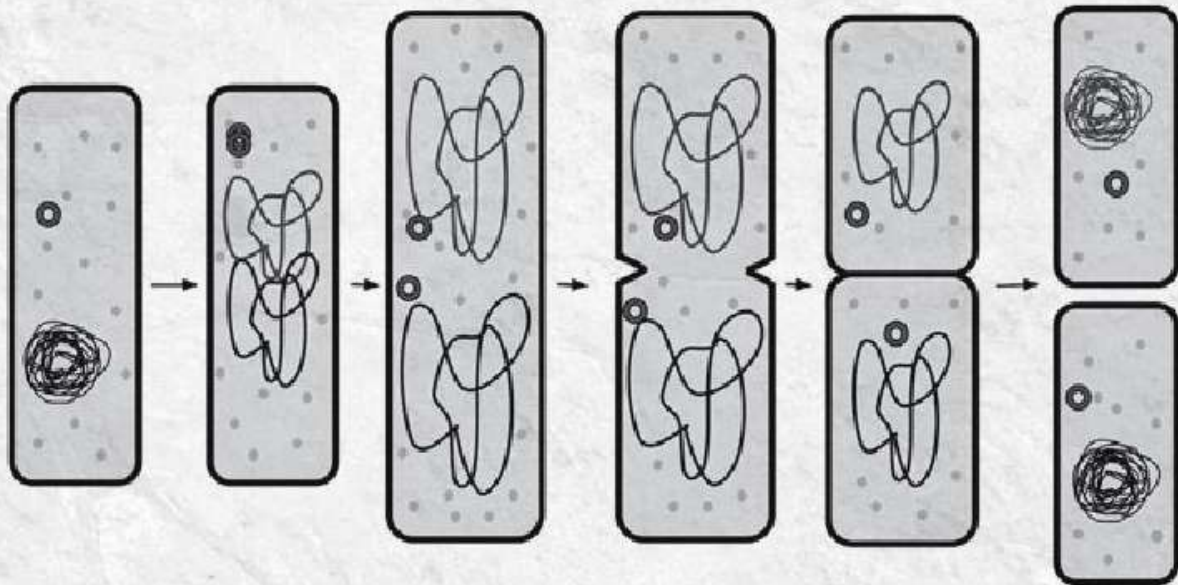
علی رغم اهمیت تولیدمثل جنسی - فرآیندی که تک تک انسان‌های روی این کره خاکی محصولش هستند-، این فرآیند جنبه‌ای معماگونه دارد. اکثر گیاهان و جانوران از تولیدمثل جنسی سود می‌برند و در ظاهر تولیدمثل جنسی آشکارا سودمند است: فرزندان حاصل از تولیدمثل جنسی ترکیبی از ژن‌های والدینشان را به ارث می‌برند و در صورت انتخاب جفت عاقلانه، ژن‌های ضعیف‌تر با ژن‌های قوی‌تر جفت شده و اشکالی خوش‌بنیه که شانس بقای بالاتری دارند حاصل می‌آیند. اما چگونگی تکامل این سیستم تولیدمثلی پرسش برانگیز است: نخستین جانداران جنسی نمی‌توانستند با هم‌تایان غیرجنسی خود رقابت کنند، زیرا برای تولیدمثل غیرجنسی تنها یک والد کفایت می‌کند و در طی آن فرزندان تمامی ژن‌های والد خود را به ارث می‌برند. با وجود این تولیدمثل جنسی شیوه غالب در میان گیاهان و جانوران است؛ در نتیجه اکثر اشکال حیات را می‌توان به مذکر و مؤنث تقسیم کرد. تنها با همیاری دو جنس تولیدمثل جنسی ممکن است.



تقسیم دوتایی

پیش از ظهور تولیدمثل جنسی، تمامی اشکال حیات روی این کره خاکی به شیوه غیرجنسی تولیدمثل می‌کردند. این شیوه تولیدمثل تنها به یک والد نیازمند است و همه فرزندان حاصل این فرآیند نیز خود به تنهایی قادر به تولیدمثل اند. به علاوه، این شیوه به یک موجود اجازه می‌دهد تا به تنهایی جمعیتی را در محیط زیستی تهی پی‌افکند. ساده‌ترین شیوه تولیدمثل غیرجنسی تقسیم دوتایی است.

تنها اشکال تک‌یاخته‌ای قادر به تقسیم دوتایی اند: تمامی باکتری‌ها و سایر پروکاریوت‌ها به علاوه بسیاری از یوکاریوت‌های تک‌یاخته‌ای از این شیوه سود می‌برند. این فرآیند بی‌شبهات به میتوز نیست: ماده ژنتیکی یاخته والد و حجم یاخته‌اش دوبرابر شده و پس از آن یاخته به دو یاخته دختری تقسیم می‌شود. مفاهیم والد و فرزندی در این نوع تقسیم معنایی ندارند. می‌توان یکی از دو یاخته حاصل را یاخته والدی قلمداد کرد، ولی به‌طور کلی می‌توان گفت که یاخته والد به دو یاخته دختری مبدل می‌گردد. در شرایط ایده‌آل، یک باکتری می‌تواند در هر ۲۰ دقیقه دوتا شود، فرآیندی که در طی ۲۴ ساعت پنج سکستیلیون (5×10^3) یاخته تولید می‌کند.

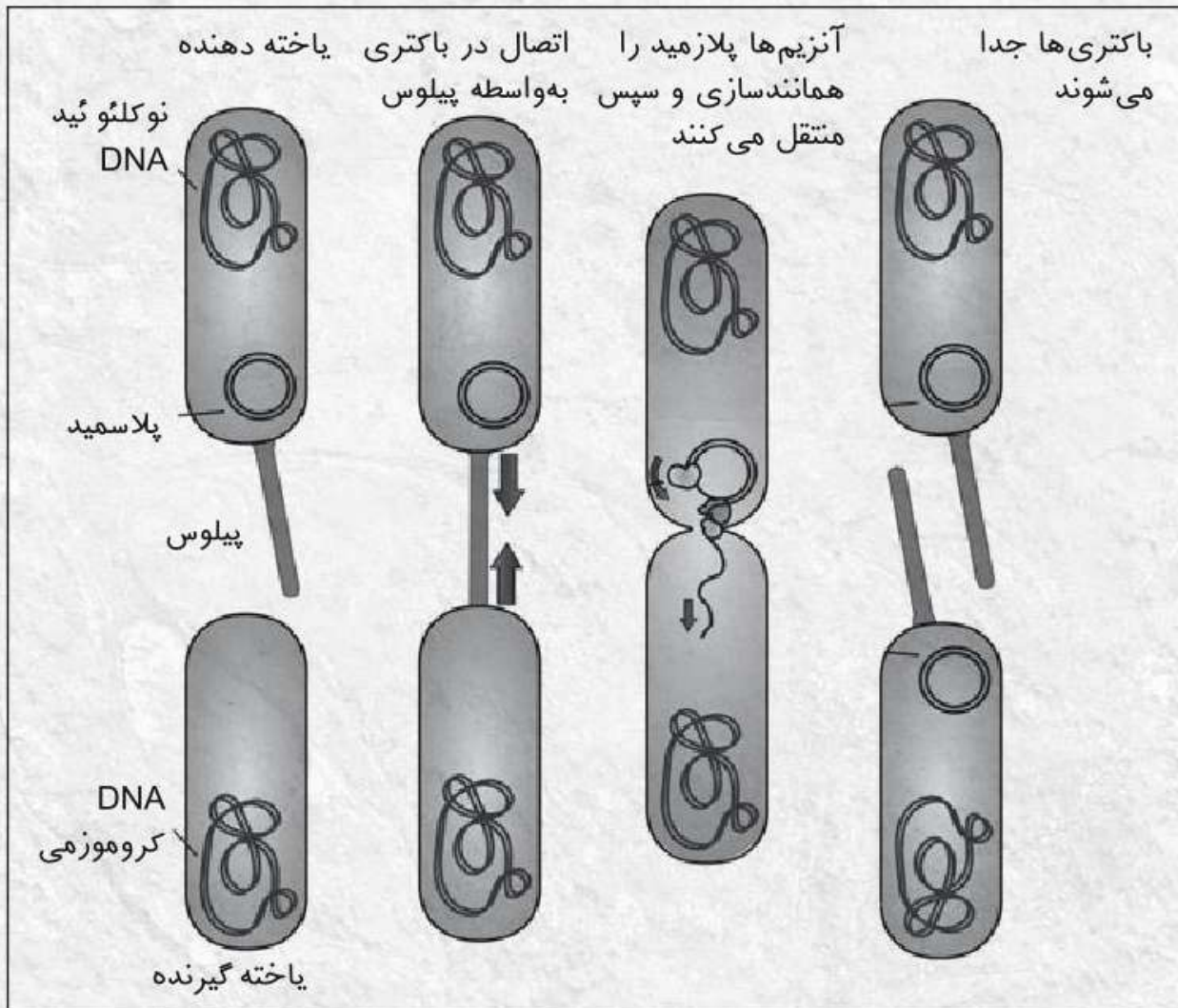


در DNA در همانندسازی DNA مرکز یاخته
 حلقه پروتئینی منقبض شده و غشا و دیواره یاخته را به درون می کشد
 DNA به دو انتهای یاخته مهاجرت کرده و حلقه‌های پروتئینی در میانه یاخته باقی می ماند
 دو یاخته حاصل می شوند

تقسیم دوتایی ساده‌ترین نوع تولیدمثل است و در آن موجودی تک‌یاخته‌ای دو نسخه
 همانند خود را به وجود می آورد |

هم‌یوگی

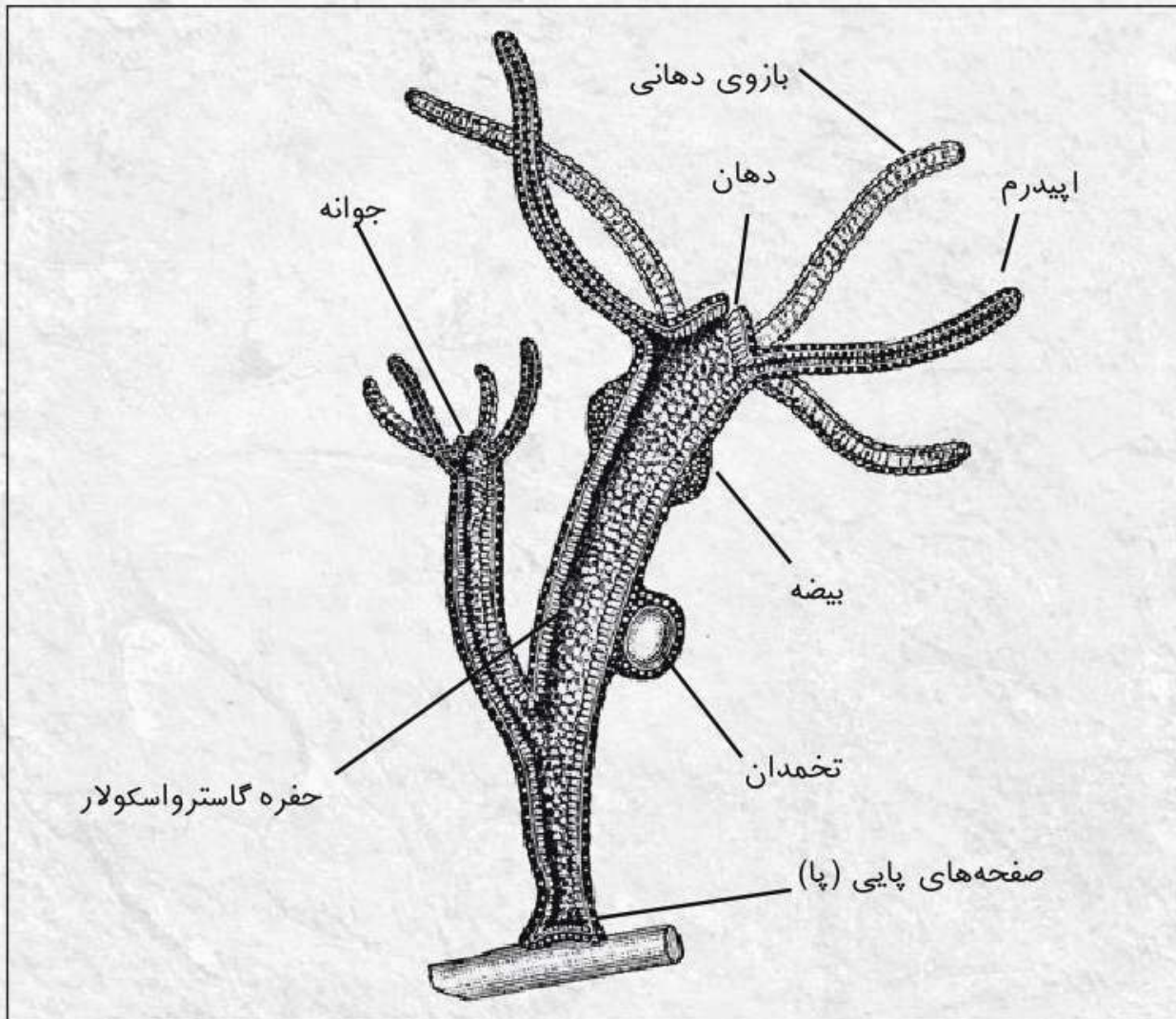
یاخته‌های دختری حاصل تقسیم دوتایی تمامی ژن‌های والد خود را به ارث می‌برند، پس با یاخته والد تفاوت کمی دارند. گرچه تقسیم دوتایی فرآیندی پرسرعت است که می‌تواند، با نرخ تصاعدی، تک‌یاخته‌ای را به جمعیت مبدل کند، نبود تنوع میان زادگان این نوع تقسیم می‌تواند به معنای به‌سرعت از میان رفتن این جمعیت باشد: اگر عاملی به مرگ یک باکتری از این جمعیت بینجامد، تمامی اعضایش نسبت به آن عامل آسیب‌پذیر خواهند بود. برای حل مشکل نبود تنوع، نوعی انتقال ژنتیکی به نام هم‌یوگی (conjugation) در باکتری‌ها تکامل پیدا کرده است. در طی هم‌یوگی، DNA از باکتری (باکتری دهنده) به باکتری دیگر (باکتری دیگر) منتقل می‌شود. این فرآیند تنها به انتقال بخش کوچکی از ژنوم باکتری دهنده - آن هم به شکل DNA حلقوی (پلاسمید) - به باکتری دیگر محدود می‌شود. یاخته‌دهنده به واسطه پلی (پیلوس) از جنس غشای خود به باکتری گیرنده متصل می‌شود. این پلی دو باکتری را به سمت هم می‌کشد تا امکان اتصال موقت آن دو را فراهم کند. هم‌یوگی تنها زمانی رخ می‌دهد که باکتری گیرنده پیش‌تر پلاسمید دریافت نکرده باشد. این شرط به این معناست که هم‌یوگی همواره به پراکندگی ژن‌ها می‌انجامد.



هم یوغی را گاهی آمیزش باکتریایی نیز می‌خوانند. طی این فرآیند حلقه کوچکی از DNA از یاخته‌ای به یاخته‌ای که از خویشاوندانش نیست منتقل می‌شود

جوانه زدن

برخلاف تقسیم دوتایی که به پیدایش دو یاخته دختری یکسان می‌انجامد، شکلی دیگر از تولیدمثل غیرجنسی مرز میان والد و فرزند را، برخلاف تقسیم دوتایی، از میان نمی‌برد. این فرآیند که جوانه‌زنی (Budding) خوانده می‌شود به موجودات تک‌یاخته‌ای محدود نبوده و در جاندارانی پریاخته‌ای چون مرجان‌ها، اسفنج‌ها و کرم‌های پهن نیز دیده می‌شود. همان‌طور که از نام این روش پیداست، جوانه‌زنی برخلاف تقسیم دوتایی والد را به دو یاخته تقسیم نمی‌کند، بلکه نتیجه آن زاده‌ای است که از بدن والد جوانه می‌زند. وقتی که جوانه به اندازه کافی بزرگ می‌شود، از بدن والد جدا می‌شود. پس از جدایی، یاخته دختری کوچک‌تر از والدش بوده و باید به رشد ادامه دهد تا به بلوغ رسیده و توانایی تولیدمثل را داشته باشد. آگاهی ما از این سازوکار شاید به استفاده یاخته‌های بنیادین برای ترمیم جراحات انسانی کمک کند. تکه تکه شدن (fragmentation) نوع دیگری از تولیدمثل غیرجنسی است که کرم‌ها و برخی ستاره‌های دریایی از آن سود می‌برند. در این روش، والد تکه تکه شده و هر تکه نهایتاً به جانداري بالغ مبدل می‌شود.

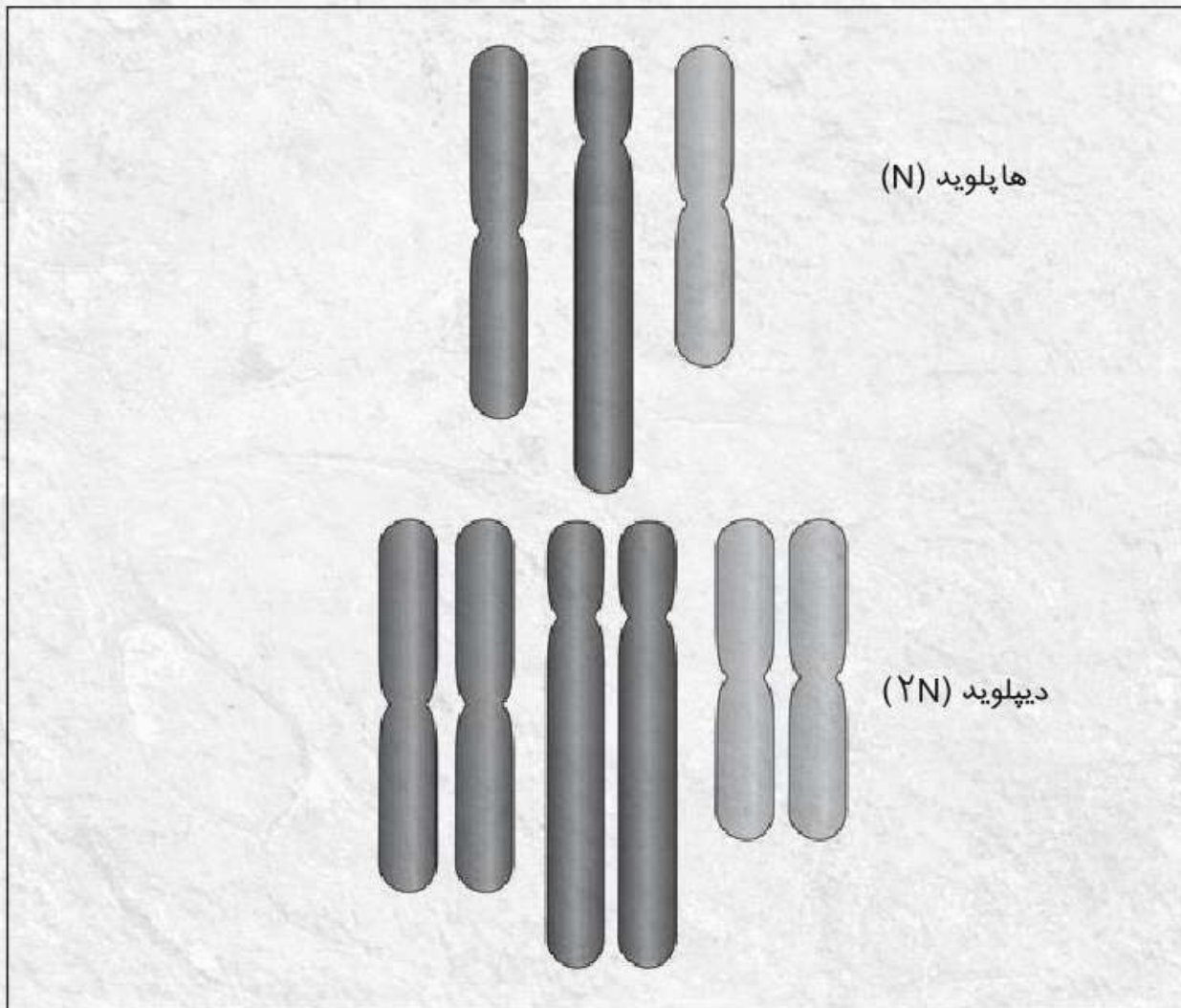


| ثیدروید، یکی از خویشاوندان عروس دریایی، به واسطه جوانه‌زنی تولیدمثل می‌کند. هر
 | جوانه‌ای که در دریا آزاد می‌شود خود به ثیدرویدی بالغ مبدل خواهد شد |

پلویدی

تولید مثل جنسی شامل همانندسازی تمامی ژنوم والدین و وراثت این ژنوم به نسل بعد است. در طی تولیدمثل جنسی، فرزندان می‌بایست ژنوم هر دو والدشان را به ارث ببرند. براساس قانون دسته‌بندی مستقل مندل، تمام آلل‌ها مستقل از یکدیگر به ارث می‌رسند و تمام آلل‌های هر فرد می‌تواند به نسل بعد منتقل شود. در واقع دو جنس، تمامی ژنوم خود را به فرزند منتقل کرده و به همین علت نسل بعد دوبرابر هریک از والدین ماده ژنتیکی دارد.

مفهوم پلویدی (Ploidy) این وضعیت را تبیین می‌کند. جاننداری غیرجنسی مونوپلوید است یعنی تنها یک دست آلل در یاخته‌هایش دارد. جانداران جنسی دیپلوید هستند؛ یعنی دارای دو دست آلل هستند ولی در حین تولیدمثل جنسی، این دو دست به دست‌هایی جداگانه تقسیم می‌شود. حاصل این تقسیم، یاخته‌های جنسی (گامت) اند. هاپلوید خواندن گامت‌ها مسأله را کمی گیج‌کننده‌تر می‌کند؛ زیرا هاپلویدی به معنای داشتن دسته‌ای از آلل‌هاست که نصف دسته‌ای است که در یاخته‌های عادی وجود دارد.

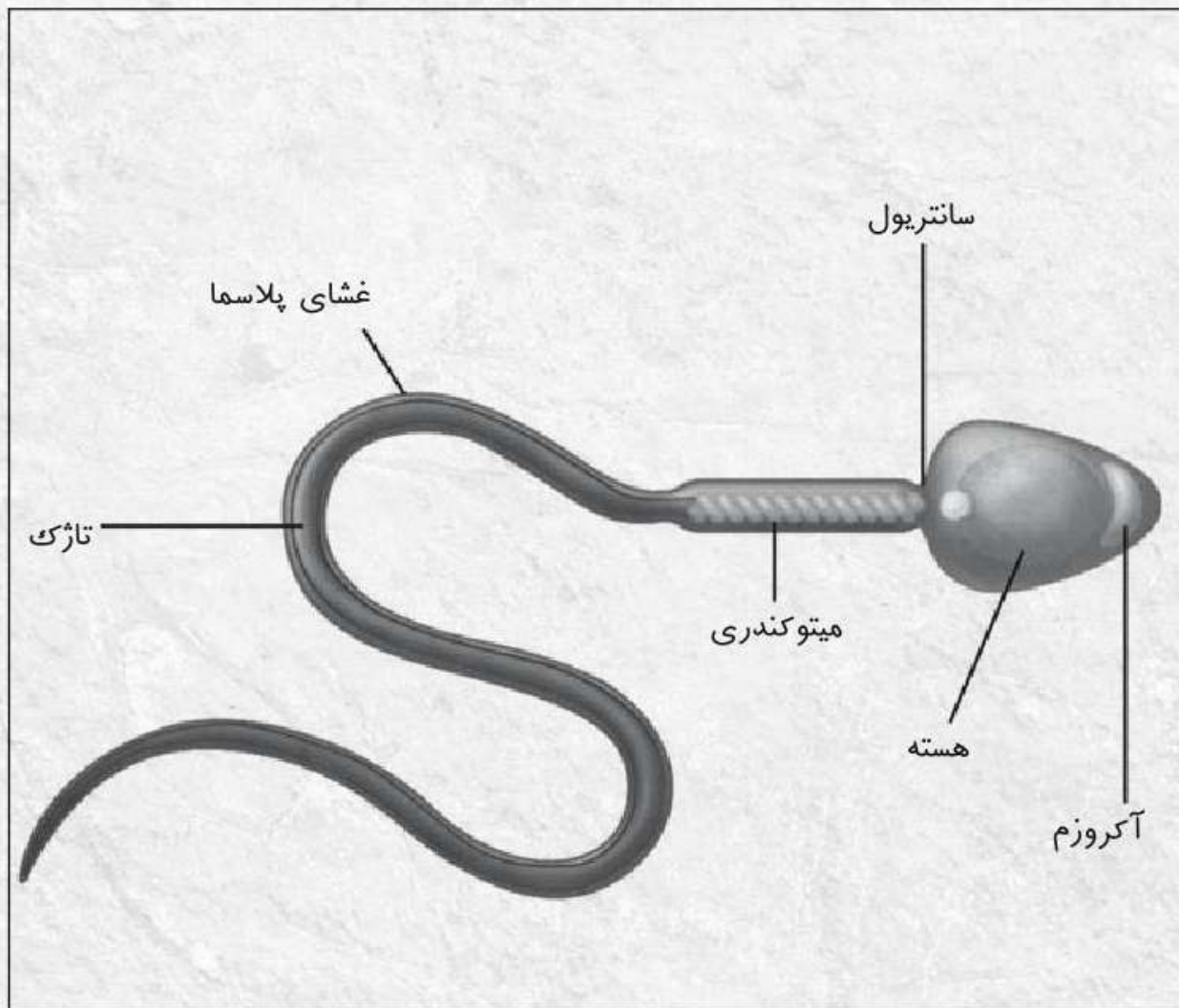


عدد هاپلوئید شمار کروموزم‌هایی است که برای حمل دست کاملی از ژن‌ها نیاز است. اکثر
یاخته‌های بدن دپلوئید (حامل دو دست کروموزم) اند

اسپرم

یاخته جنسی جنس مذکر اسپرم است. این یاخته‌ها عموماً، به واسطه دارا بودن یک تاژک، بسیار متحرک‌اند. بسیاری از جانداران، از جانوران گرفته تا خزه‌ها، سرخس‌ها و برخی از مخروطیان، اسپرم متحرک تولید می‌کنند. گیاهان گل‌دار و قارچ‌ها اسپرم نامتحرک تولید می‌کنند. در گیاهان، اسپرم نامتحرک در درون ساختاری چون دانه گرده بسته‌بندی می‌شود. این اسپرم‌ها هم منتقل می‌شوند، اما با نداشتن تاژک، به شیوه‌های دیگر جابه‌جایی متکی‌اند.

تفاوت میان دو جنس را می‌توان در تفاوت میان اسپرم و همتایش در جنس مؤنث، تخمک، دید. اسپرم می‌تواند در صورت نیاز مدت‌هایی مدید در حرکت باشد در حالی‌که تنها حاوی ژنومی هاپلوئید است. پس از رسیدن به تخمک، اسپرم محموله‌اش را تحویل داده و کارش به پایان می‌رسد. نقش جاندار مذکر در تولیدمثل در اینجا به پایان می‌رسد و به همین دلیل است که جانداران مذکر می‌توانند مقادیر پرشماری از یاخته‌های جنسی را که از منظر زیستی کم‌هزینه‌اند، تولید کنند.

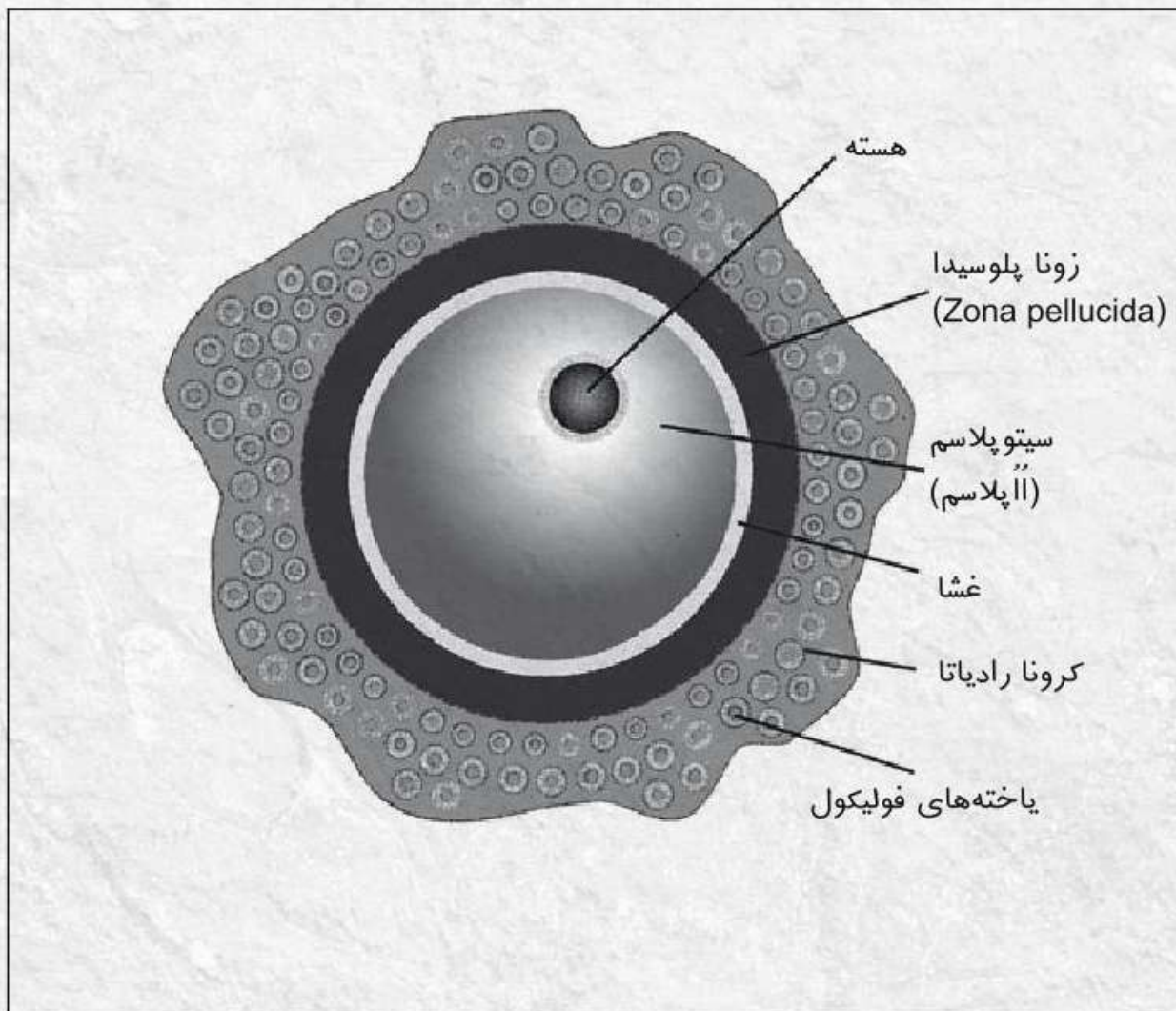


ساختار اسپرم در قلمروی جانوران تنوع کمی دارد و حتی برخی گیاهان نیز یاخته‌های جنسی مشابهی تولید می‌کنند |

تخمک

تخمک گامت جاندار مؤنث است. تخمک کاملاً با اسپرم متفاوت است - اسپرم ۰٫۰۵ میلی‌متر درازا داشته و دارای تاژکی بلند است؛ در مقابل تخمک انسان به‌طور متوسط ۱۰۰ میلی‌متر پهنا داشته و به‌سختی با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است. تخمک پرندگان و خزندگان از تخمک انسان بسیار بزرگ‌تر است.

اندازه تخمک نشان‌دهنده هدف این یاخته است؛ مانند اسپرم، تخمک حامل ژنومی هاپلوئید است. محموله ژنتیکی اسپرم به تخمک منتقل می‌شود. تخمک دارای تمامی مواد مغذی و لوازم یاخته‌ای مورد نیاز برای رشد یک موجود زنده نیز هست. این مواد در سیتوپلاسم حجیم تخمک که اپلاسم (ooplasm) نام دارد، ولی به زرده تخمک مشهور است، جای دارند. اپلاسم را قاعدتاً غشایی احاطه می‌کند ولی به‌علاوه این غشا، لایه محافظ دیگری نیز تخمک را در بر می‌گیرد که از ورود بیش از یک اسپرم به تخمک جلوگیری می‌کند.

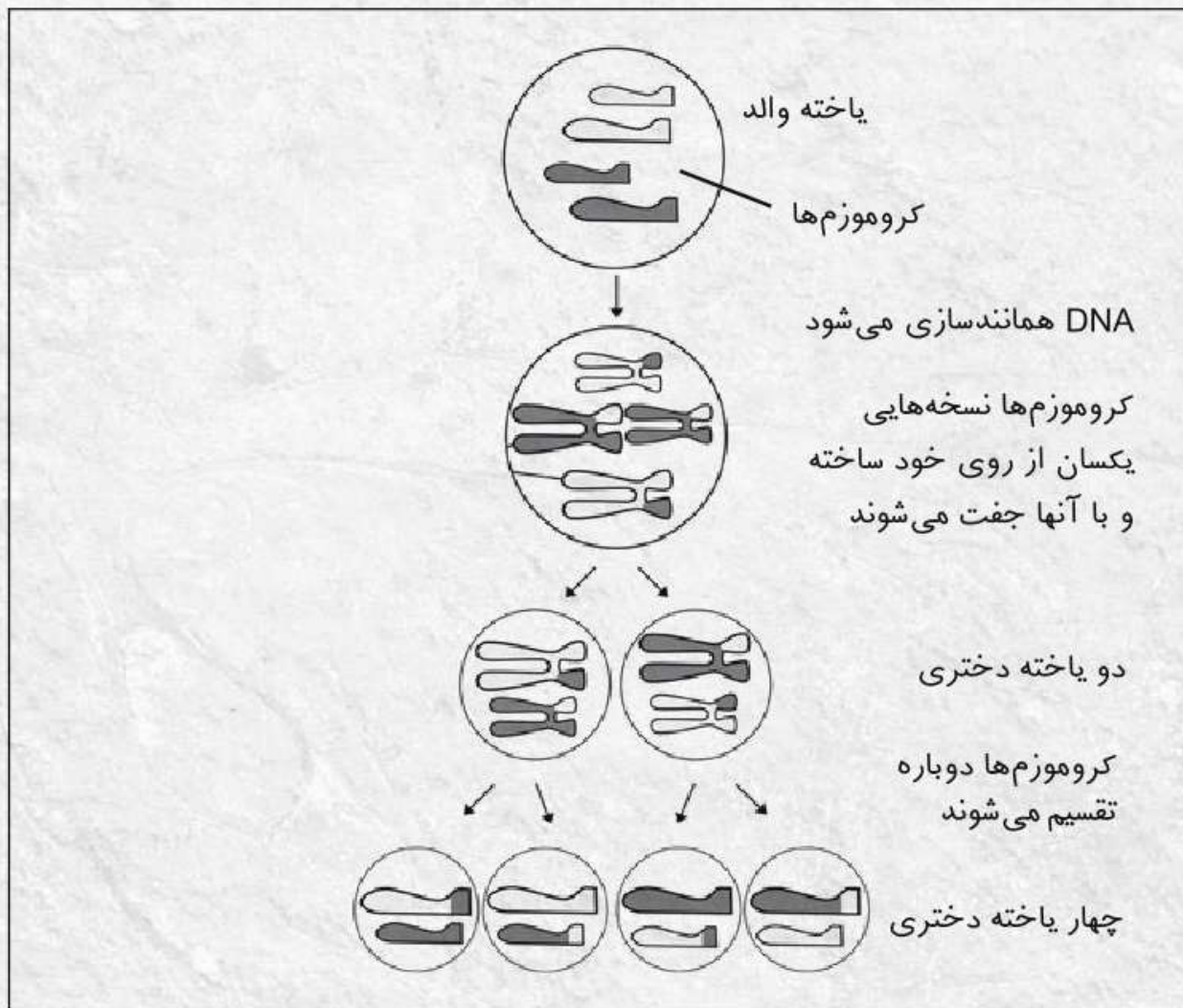


تخمک حاوی مواد مورد نیاز برای مبدل شدن به نخستین یاخته بدن جاندار پس از دریافت
ژنوم اسپرم است

میوز

گامت ها تنها یاخته‌های هاپلوئید موجود در بدن جانوران هستند و به واسطه نوع خاصی از تقسیم یاخته‌ای که میوز خوانده می‌شود، تولید می‌شوند. در میوز، یاخته‌ای دیپلوئید به چهار یاخته هاپلوئید تقسیم می‌شود. میوز در غده‌های جنسی اتفاق می‌افتد. غده جنسی ماده، تخمدان (ovary) خوانده می‌شود و غده جنسی نر معمولاً بیضه خوانده می‌شود.

همان دوک‌هایی که ماده ژنتیکی را در میتوز جابه‌جا می‌کنند در میوز نقش دارند، با این تفاوت مهم که میوز در حقیقت متشکل از دو تقسیم یاخته‌ای است. اولین تقسیم، دو یاخته هاپلوئید تولید می‌کند. در طی این تقسیم، کروموزم‌های هومولوگ - جفت کروموزم‌هایی که آلل‌هایی یکسان حمل می‌کنند و هر کدام از یکی از والدین به ارث رسیده‌اند - گردهم می‌آیند. اولین تقسیم این جفت کروموزم‌ها را از هم جدا می‌کند و در تقسیم دوم که مشابه میتوز است، کروماتیدها از هم جدا می‌شوند. نتیجه این دو تقسیم چهار یاخته دخترانی است که شماره کروموزم‌هایشان نصف والد است.

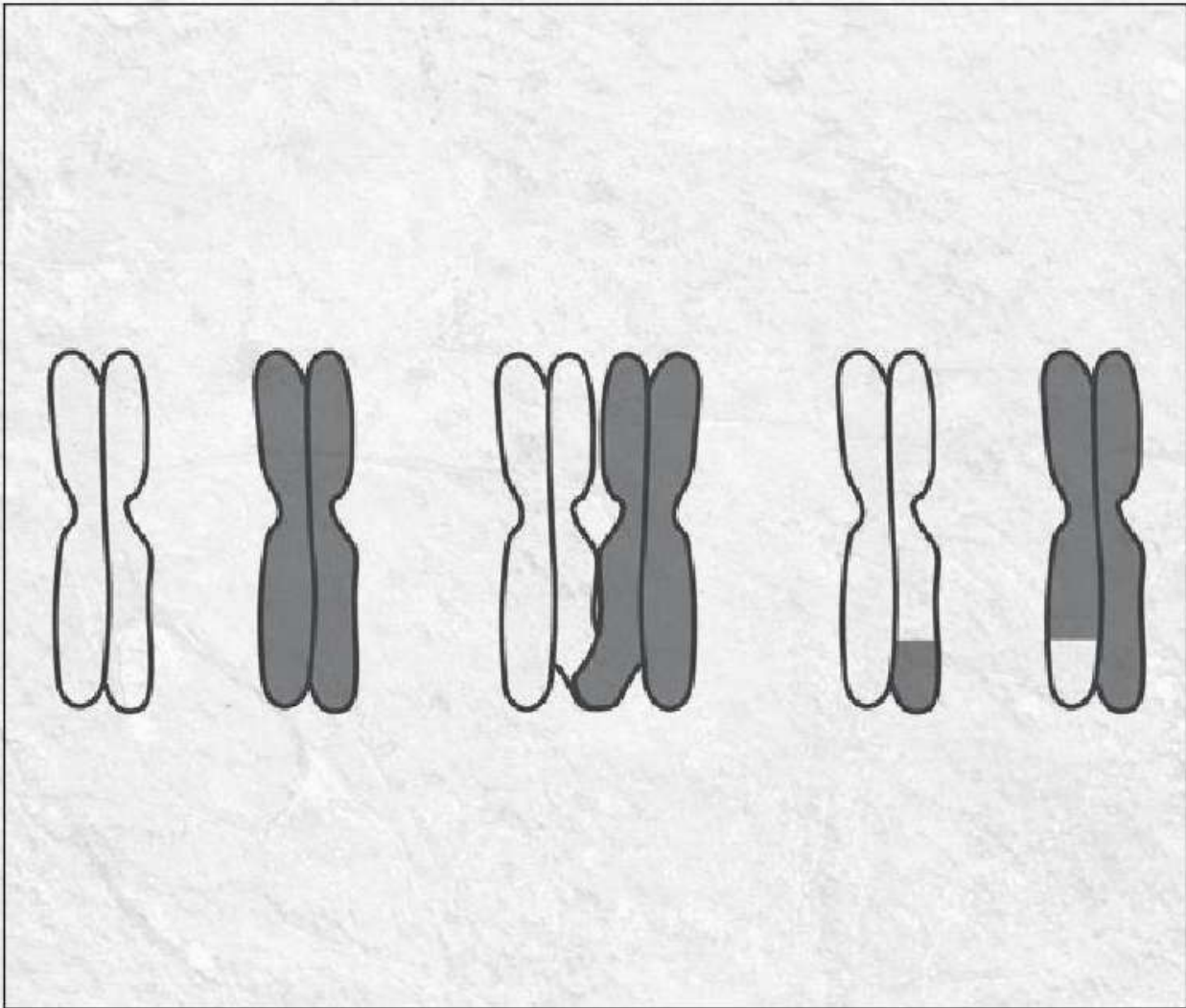


یاخته‌های جنسی حاصل میوز هستند. تفاوت میوز با میتوز این است که میوز شمار کروموزم‌ها را درون یاخته نصف می‌کند

کراسینگ آور

میوز منجر به جابه‌جا شدن قطعات DNA بین کروموزم‌هایی که والدین متفاوتی دارند، می‌شود. این بُرزدن ژنتیکی در مرحله اول تقسیم میوز رخ می‌دهد. جفت‌های هومولوگ به صورت تصادفی از هم جدا می‌شوند و در نتیجه کروموزم‌های پدری و مادری می‌توانند در کنار هم قرار گیرند. به علاوه این جفت شدن تصادفی، ژن‌ها بین کروموزم‌های هومولوگ، طی فرآیندی که «کراسینگ‌آور» (Crossing over) کروموزمی خوانده می‌شود، بُر می‌خورند.

کراسینگ‌آور زمانی رخ می‌دهد که کروموزم‌های هومولوگ به‌صاف شده و آماده اولین تقسیم یاخته‌ای میوز می‌شوند. در این مرحله هر کروموزم از دو کروماتید خواهری تشکیل شده و کروماتیدهای کروموزم‌هایی که در همسایگی یکدیگر قرار دارند، دورهم پیچ می‌خورند. در محل پیچ خوردگی، بخش‌هایی از کروموزم بین کروماتیدهای غیرخواهری جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه کراسینگ‌آور کروماتیدهایی که در بدو امر یکسان بودند اکنون حاوی ژن‌هایی متفاوت‌اند. در پایان میوز، چهار یاخته‌ها پلویدی که هرکدام کروموزمی متفاوت از یکدیگر دارند، تولید می‌شوند.

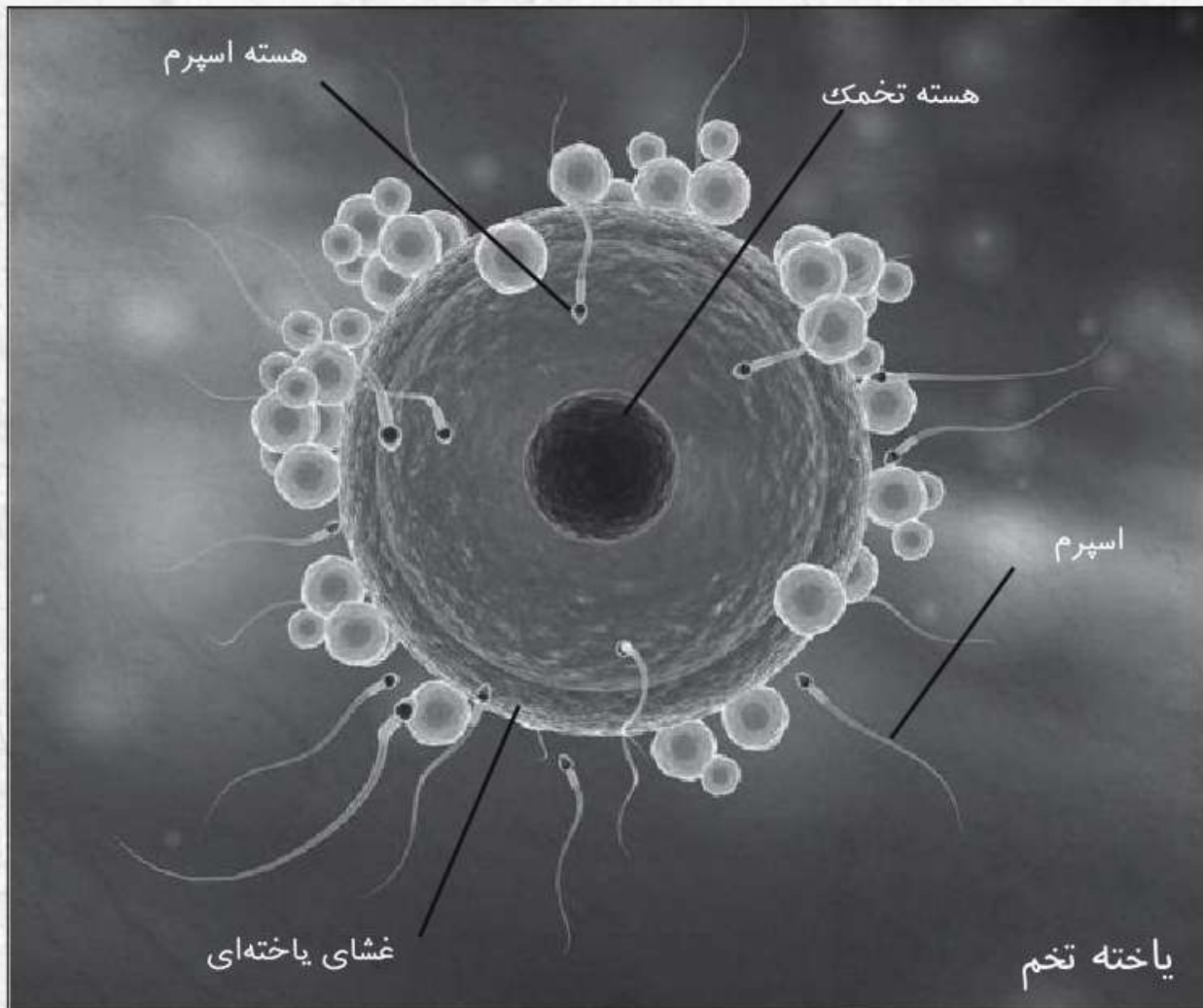


کراسینگ آور که طی میوز رخ می دهد کروموزم هایی ایجاد می کند که ژن هایشان بر خورده است و در نتیجه حاوی ترکیبی خاص از ژن های والدی اند که به نسل بعد منتقل می شوند |

حاملگی

تشکیل گامت نخستین قدم در تولیدمثل جنسی نسل بعدی است. برای شکل‌گیری یک جاندار جدید، گامت‌های نر و ماده باید طی فرآیندی که حاملگی یا لقاح نامیده می‌شود، باهم ترکیب شوند. برای لقاح، گامت‌ها باید در زمانی خاص در مکانی خاص باشند. لقاح در انسان داخلی است و از طریق روش آزموده و مطمئن جفت‌گیری ممکن است (بسیاری از جانداران دیگر از روش‌های بسیار متفاوتی برای لقاح استفاده می‌کنند). ماهی‌ها، قورباغه‌ها و بسیاری از بی‌مهرگان از لقاح خارجی - آمیزش اسپرم و تخمک خارج از بدن جانور - سود می‌برند. گیاهان عالی گامت‌های خود را طی گرده‌افشانی منتقل می‌کنند.

در سطح یاخته‌ای، یک اسپرم می‌تواند یک تخمک را بارور کند. اسپرم غشای خارجی تخمک را می‌کاود و کروموزم‌های خود را به تخمک منتقل کرده و آن را به یاخته‌ای دیپلوید مبدل می‌کند. یاخته حاصل که زیگوت نام دارد، اولین یاخته فردی جدید است.



اسپرم‌ها باهم رقابت می‌کنند تا پیش از همه به تخمک رسیده و سپس غشای تخمک را می‌کاوند تا به درون تخمک برسند. تنها یک اسپرم در این رقابت پیروز می‌شود |

جنین

جنین اولین قدم در تکوین یک جاندار است. در طی مرحله جنینی جاندار به سرعت رشد می‌کند تا بتواند مستقل زندگی کند - در پایان این مرحله جاندار یا از تخم یا از بدن مادرش خارج می‌شود. مرحله جنینی گیاهان متفاوت بوده و در دانه رخ می‌دهد. فاز اصلی رشد و تکوین گیاهان که در نهایت به پیدایش گیاهی مستقل منتهی می‌شود، تنها پس از جوانه زنی دانه آغاز می‌شود.

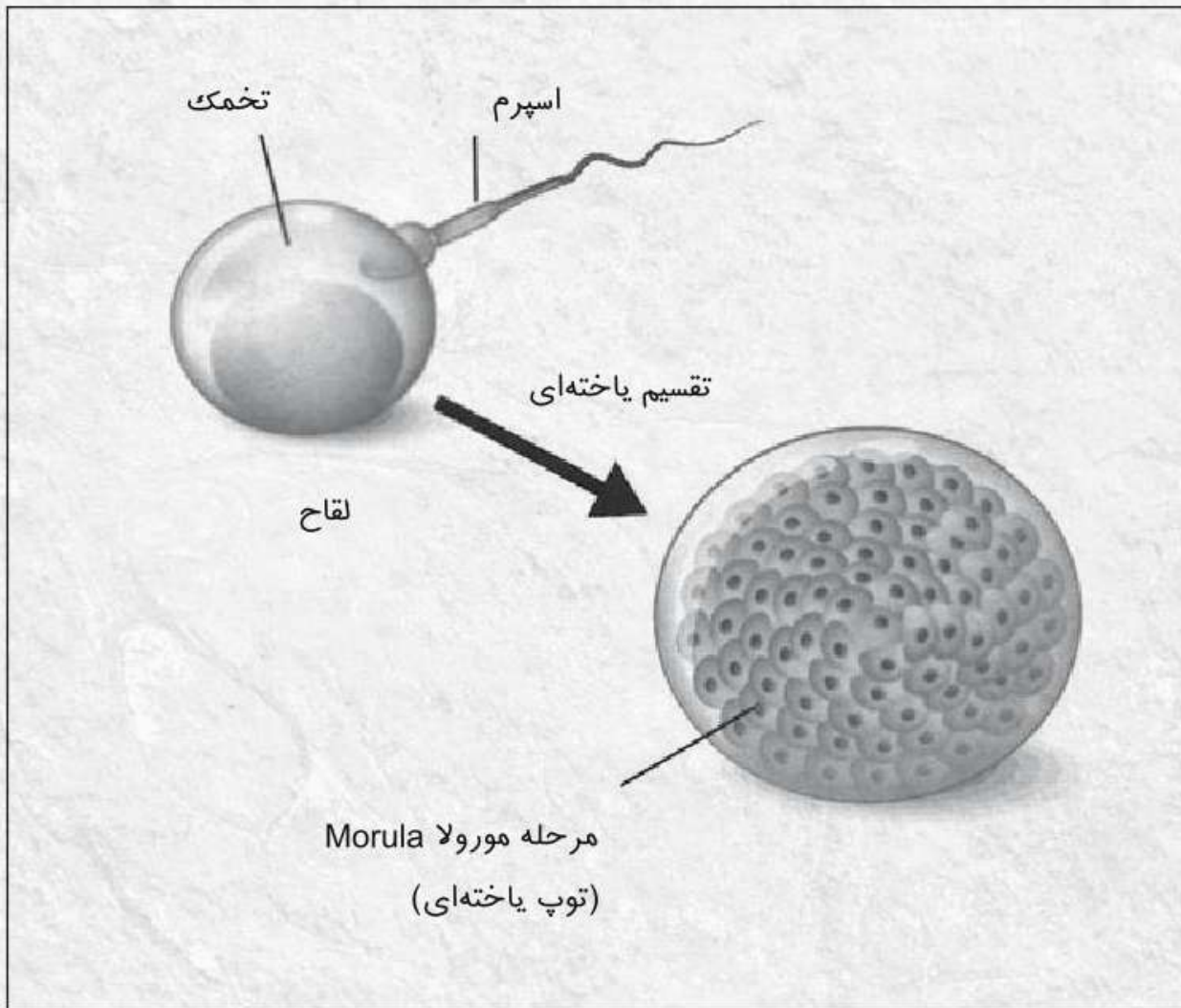
مرحله جنینی در همه جانوران از تک‌یاخته‌ای‌ای به نام زیگوت آغاز می‌شود. زیگوت حاصل آمیزش دو یاخته جنسی هاپلوید است. زیگوت با استفاده از انرژی موجود در اپلاسم و یا زرده به سرعت تقسیم میتوزی می‌شود و به تویی از یاخته‌ها مبدل می‌شود. در جانوران این توپ بلاستولا (blastula) خوانده می‌شود و در این مرحله است که یاخته‌های مختلف از یکدیگر تفکیک شده و به لایه‌ها و بافت‌هایی که نهایتاً بدن جانور بالغ را می‌سازند مبدل می‌شوند. جنین گیاهی حاوی ساقه‌ای جنینی به نام هیپوکوتیل (hypocotyl)، ریشه و یک یا دو برگ مغذی است که لپه (cotyledon) خوانده می‌شوند.



یاخته‌های بنیادین

مفهوم یاخته‌های بنیادین به آرامی به مفهومی آشنا مبدل گشته است، چراکه از آن به عنوان روش درمانی نوین که قابلیت بازسازی اعضای بیمار و آسیب دیده بدن را دارد یاد می‌شود. چنین قابلیتی از آن رو ممکن است که همه بدن‌ها در بدو امر از یاخته‌های بنیادین پدید آمده‌اند. هر جاندار پیچیده‌ای از انواع مختلف یاخته‌ها ساخته می‌شود. هر نوع از این یاخته‌ها برای انجام کاری خاص در بدن تخصص یافته‌اند. پس از تخصص، یاخته و زادگانش نمی‌توانند کاری غیر از آنچه تخصصشان است بکنند. یاخته بنیادین تنها یاخته‌ای است که می‌تواند تخصصش را تغییر دهد.

زیگوت یاخته‌ای است تمام‌توان (totipotent)، به این معنا که زیگوت به هر نوع یاخته‌ای تبدیل می‌شود یا حتی می‌تواند یاخته‌های تمام‌توان بیشتری تولید کند. جنین از یاخته‌های تمام‌توان این جنینی به وجود آمده که با تفرق یاخته‌ای مدام به انواع مختلف یاخته‌ها تخصص می‌یابد. یاخته‌های بنیادین در بدن یک جاندار بالغ هم یافت می‌شوند. این یاخته‌های بنیادین از نوع یاخته‌های پرتوان (pluripotent) هستند؛ چراکه از آنها نمی‌توان جنینی تازه خلق کرد ولی این یاخته‌ها می‌توانند تخصصی شده و به همه انواع یاخته‌های بدن تبدیل شوند.



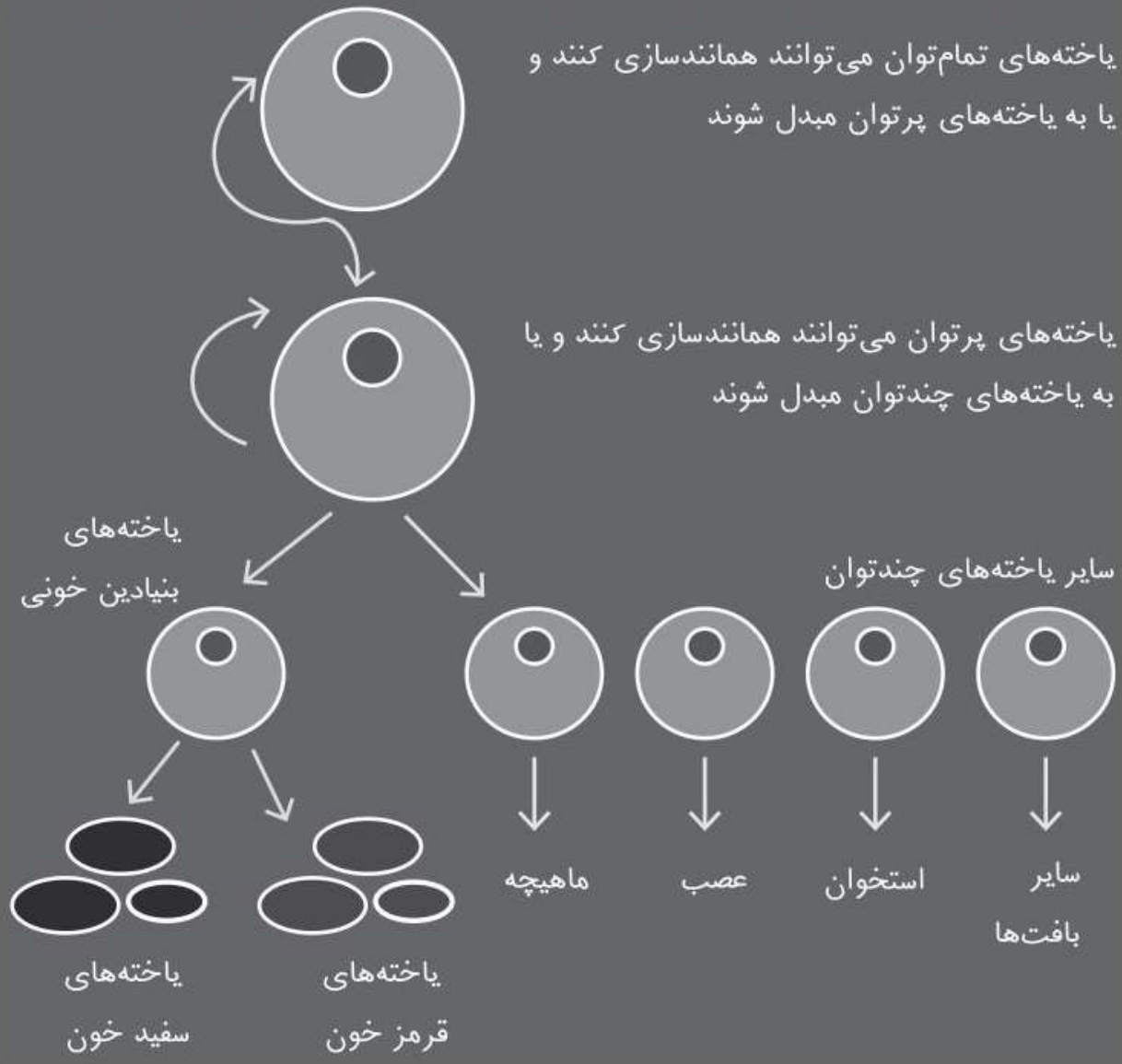
یک بدن بالغ زندگانی‌اش را به شکل توپی یاخته‌ای آغاز می‌کند. هر یک از یاخته‌های موجود در آن توپ قابلیت تکوین به هر عضو از بدن را دارند |

تمایز یاخته‌ای

بدن پریاخته‌ای توده‌ای است حاصل از همکاری یاخته‌هایی که از نظر ژنتیکی یکسان‌اند. هر یاخته با استفاده از شماری از ژن‌هایش برای انجام وظیفه‌ای خاص تخصص یافته است. یاخته‌های بدن را می‌توان به سه دسته عمده تقسیم کرد: یاخته‌های جنسی، یاخته‌های پیکری و یاخته‌های بنیادین. یاخته‌های بنیادین دو دسته دیگر را تولید می‌کنند، یاخته‌های جنسی به گامت‌ها مبدل می‌شوند و هر یاخته دیگر در بدن جاندار یاخته‌ای پیکری است. یاخته‌های پیکری در پی شماری از تقسیم‌های یاخته‌های بنیادین پدید می‌آیند: یاخته‌ای تمام‌توان به یاخته‌ای پرتوان تقسیم شده و یاخته پرتوان نیز خود به یاخته‌ای چندتوان (multipotent). یاخته‌های چندتوان می‌توانند به گروهی از یاخته‌های پیکری - مانند یاخته‌های خونی - تمایز یابند. تمایز بیشتر توان یاخته را به مرور کاهش داده تا جایی که یاخته به نوع خاصی از یاخته‌های پیکری (به عنوان مثال یاخته قرمز خون) مبدل می‌شود. غالب یاخته‌های پیکری از تقسیم ناتوان‌اند (یاخته‌های کبدی از این قاعده مستثنا هستند) و در نتیجه تنها یاخته‌های بنیادین می‌توانند یاخته‌های پیکری جدید را به وجود آورند.

یاخته‌های تمام‌توان می‌توانند همانندسازی کنند و
یا به یاخته‌های پرتوان مبدل شوند

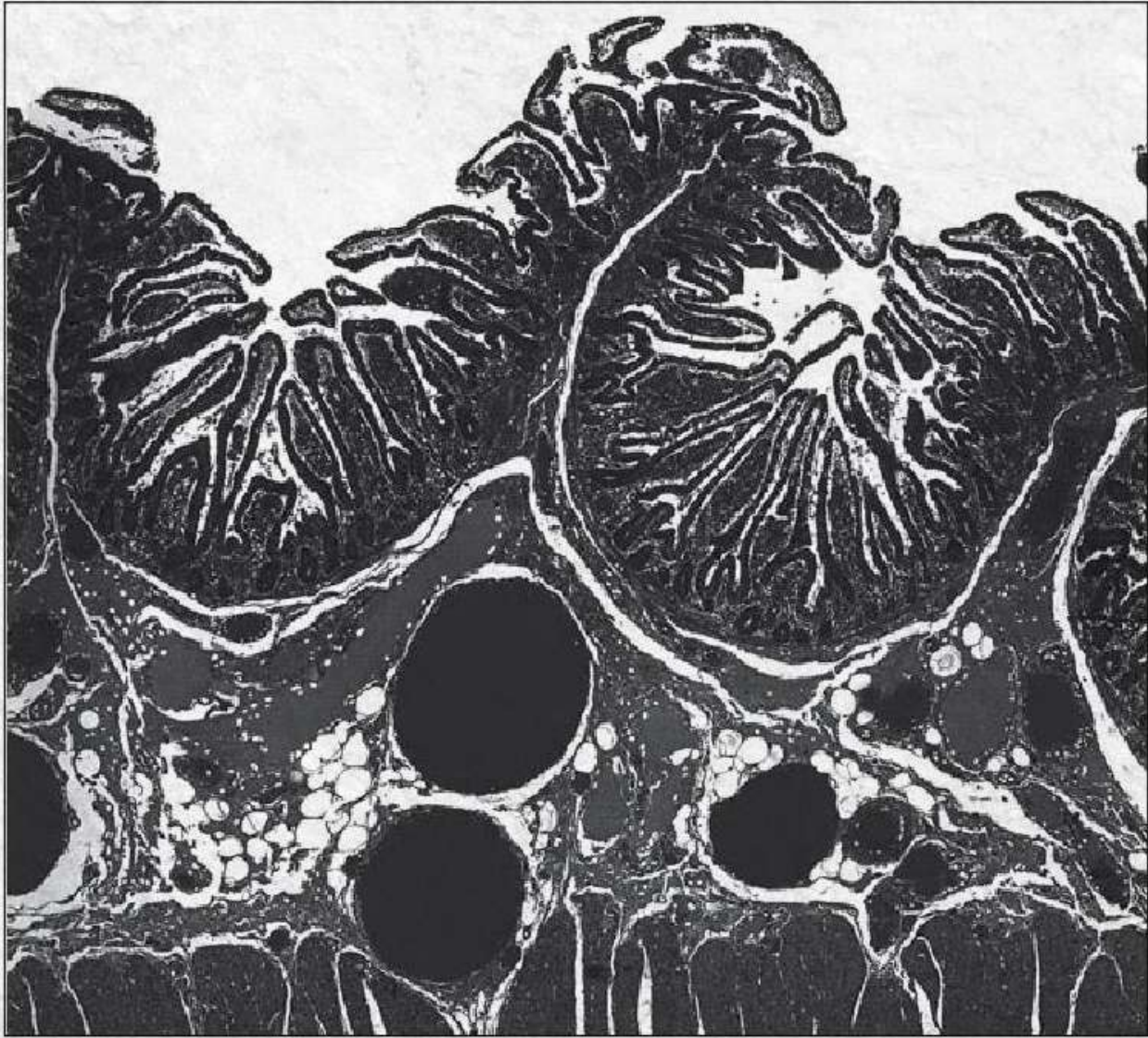
یاخته‌های پرتوان می‌توانند همانندسازی کنند و یا
به یاخته‌های چندتوان مبدل شوند



بافت

از منظر زیستی، یکی از راه‌های فهم سیستم‌های مختلفی که در بدن فعالیت می‌کنند بافت‌ها هستند. بافت مجموعه‌ای از یاخته‌هاست که خاستگاه یکسان دارند - نوع خاصی از یاخته‌های بنیادین - و همگی از دستورات ژنتیکی یکسان برای انجام وظیفه‌ای همانند استفاده می‌کنند. ماهیچه‌ها، بافت پوششی دستگاه گوارشی و آوندهایی که در ساقه و برگ گیاهان وجود دارند، نمونه‌هایی از بافت هستند.

همه بافت‌های جانوری، غیر بافت‌های موجود جانوران ساده‌ای چون اسفنج‌ها، از سه لایه یاخته‌ای که در بدو تکوین جنین شکل می‌گیرند نشأت می‌گیرند (گیاهان نیز سه لایه جنینی دارند، ولی لایه‌های سه‌گانه گیاهان و جانوران ربطی به هم ندارند). لایه خارجی یاخته‌ها، اکتودرم، به یاخته‌های عصبی، مغز، پوست، دندان، موها و غده‌های عرقی تمایز می‌یابد. لایه میانه، مزودرم، به بافت‌های پیوندی چون استخوان، رگ‌های خونی، غضروف و ماهیچه مبدل می‌شود. لایه داخلی، اکتودرم نیز به اندام‌های داخلی چون شش‌ها، ناحیه گوارشی و کبد تکوین می‌یابد.

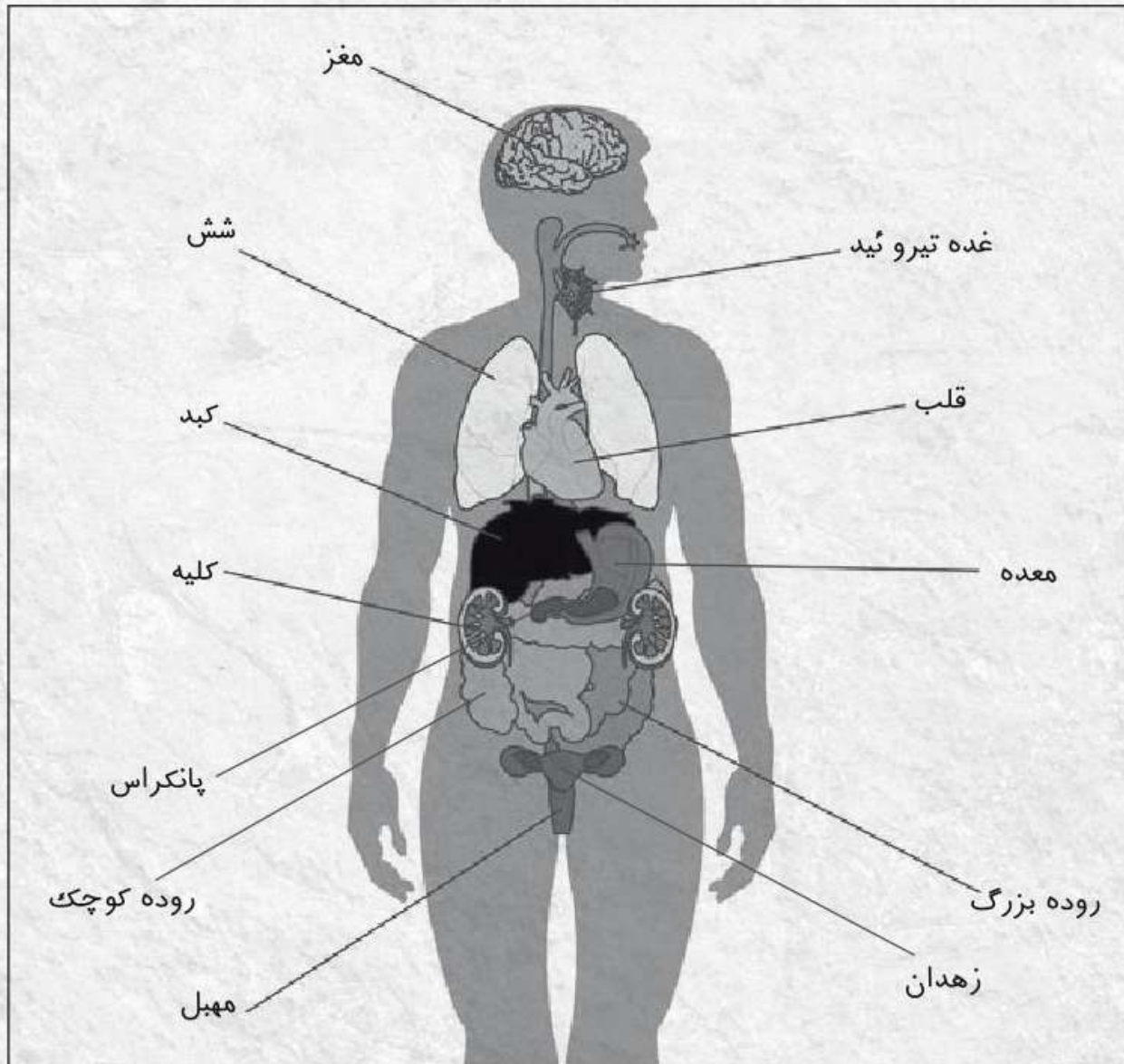


برای مطالعه بافت‌ها، باید آنها را به برش‌های نازک میکروسکوپی تبدیل کرد |

اندام‌ها

اندام‌ها ساختارهایی پیچیده‌تر از بافت‌اند. اندام صرفاً مجموعه‌ای از بافت‌های مشخص است که در کنار هم جمع شده‌اند تا وظیفه‌ای اساسی را برای بدن به انجام برسانند. بر اساس این تعریف، اندام‌های یک گیاه ریشه، ساقه، برگ و گل‌هایش هستند که هرکدام از بافت‌های متفاوت تشکیل می‌شوند. ما اغلب درباره اندام‌های حیاتی انسان صحبت می‌کنیم - مغز، قلب، شش‌ها، کبد و کلیه‌ها؛ زیرا ادامه حیات بدون وجود تمامی آنها امکان‌پذیر نخواهد بود. تمامی جانوران اندام‌هایی مشابه اندام‌های حیاتی ما یا اندام‌هایی متفاوت اما با عملکردی مشابه دارند، برای مثال ماهی‌ها، آب‌شش دارند و دفع در حشرات نه به واسطه کلیه‌ها بلکه از طریق ریزلوله‌های مالپیگی (malpighian tubules) انجام می‌شود.

علاوه بر اندام‌های به اصطلاح حیاتی، بدن بسیاری از اندام‌های دیگر هم دارد، از جمله اندام‌های حسی و غده‌های مختلف ترشحی و جنسی. برخی اندام‌ها را به عنوان اجزای دستگاه‌های بدن، مانند دستگاه عصبی، دستگاه گوارش، دستگاه گردش خون و غیره مطالعه می‌کنیم.



تخم‌گذاری

تخم‌گذاری (oviparicity) بخشی از چرخه حیات بسیاری از جانوران است. جانوران تخم‌گذار به تمامی در خارج از بدن مادر تکوین می‌یابند. آشناترین جانداران تخم‌گذار پرندگان و خزندگانند که پس از لقاح داخلی تخم می‌گذارند. جنین تنها پس از خروج از بدن مادر است که شروع به رشد می‌کند. نوعی ساده‌تر و کهنه‌تر از تخم‌گذاری را می‌توان در ماهی‌ها، قورباغه‌ها و بی‌مهرگان آبی یافت. در این روش، جانور ماده تخم‌هایش را آزاد می‌کند و جانور نر نیز در موقع مناسبی اسپرم‌هایش را آزاد می‌کند تا امکان آمیزش اسپرم‌هایش با تخم‌ها را تا حد ممکن افزایش دهد. تخم لقاح یافته یا به غوطه خوردن ادامه می‌دهد یا توسط والدینش در جایی امن قرار داده می‌شود. اغلب یکی از والدین یا هر دوی آنها تا حدی از تخم‌های لقاح یافته حراست می‌کنند. در لقاح خارجی، والد نر در انتهای لقاح حاضر است و در نتیجه والد ماده می‌تواند به سرعت از آنجا برود و پدر و بچگان را به حال خودشان رها کند؛ در نتیجه، در ماهی‌ها و قورباغه‌ها این والد نر است که غالباً از تخم‌ها مراقبت می‌کند، الگویی که در مورد جانوران تخم‌گذاری که لقاح داخلی دارند، صدق نمی‌کند.



تخم‌ها

تکوین جنین یک جانور تخم‌گذار به تمامی در درون ساختاری مستقل به نام تخم به وقوع می‌پیوندد. واژگان مورد استفاده در این بخش ممکن است کمی گیج‌کننده به نظر آید: تخم مورد بحث از لحاظ اجزاء مشابه تخمک است ولی برخلاف تخمک، حاوی زیگوت می‌باشد. بیشتر خزندگان و زادگان تکاملی آنها (شامل تک سوراخانی (monotreme) چون پلاتیپوس) تخم‌هایی می‌گذارند که می‌توان به سادگی آنها را تخم خواند: پوسته‌ای سفید حاوی زرده. پوسته دوره یاخته تخم یا تخمک و در نتیجه تمامی تخم یک یاخته عظیم، در قیاس با یاخته‌های عادی بدن را تشکیل می‌دهد. پوسته تخم را ضدآب نموده و در نتیجه مواد مغذی موجود در زرده را از گزند آب و هوای خشک حفظ می‌کند. پوسته قابلیت نفوذ هوا را دارد؛ چراکه جنین نیاز به تنفس دارد و از این روست که تخم‌ها زیر آب دوام نمی‌آورند. تخم‌های بدون پوسته شرایطی متضاد را می‌طلبند. حشرات تخم‌های خود را با پوششی مومی می‌پوشانند تا تخم‌ها خشک نشوند و عموماً تخم‌های بدون پوسته باید یا زیر آب یا در جایی مرطوب قرار داده شوند تا با موفقیت رشد کنند.



زنده‌زایی

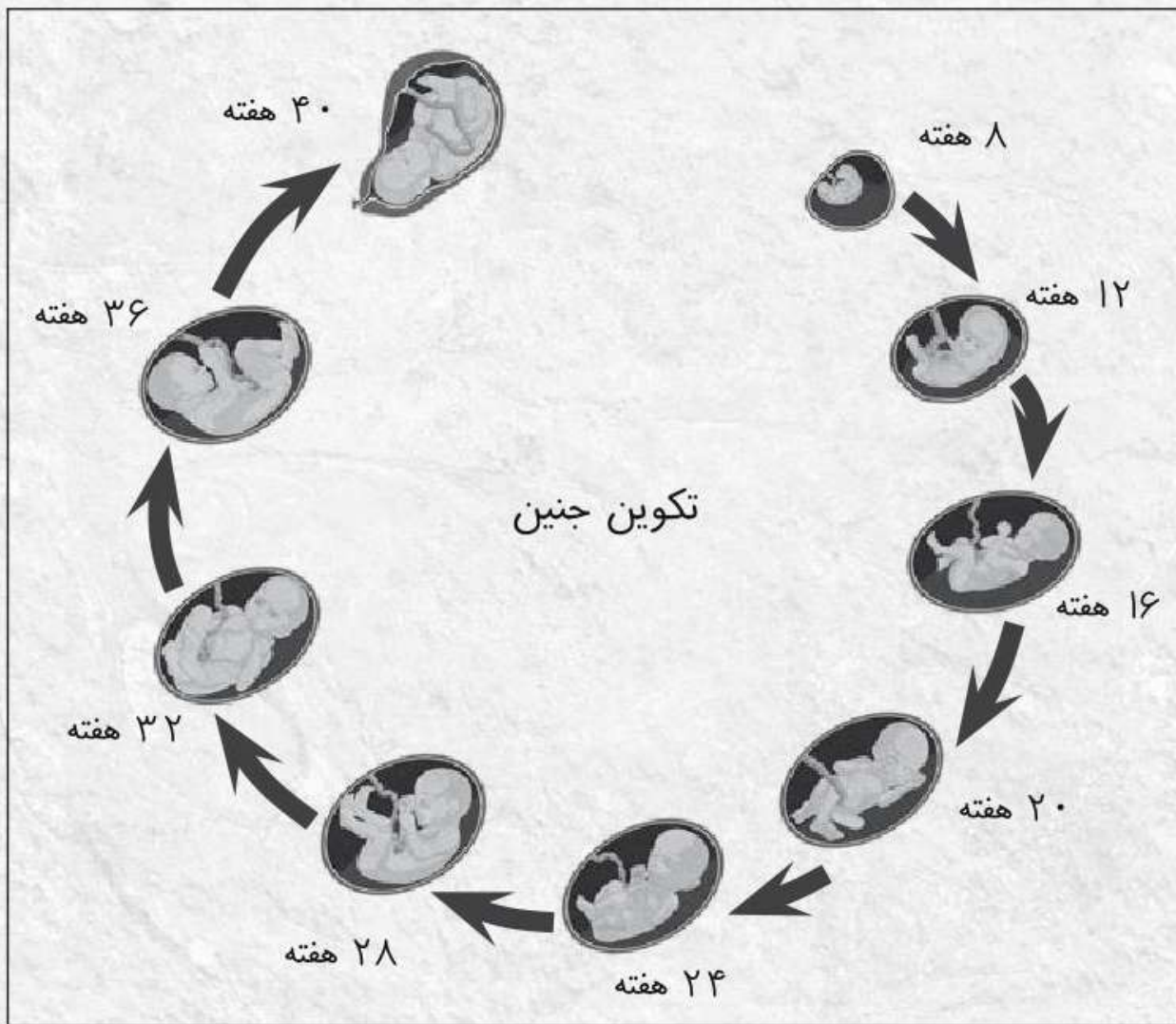
زنده‌زایی (viviparity) جایگزینی برای تخم‌گذاری است که در آن جنین در بدن مادر تکوین یافته و به شکلی نسبتاً بالغ و بدون حفاظ چون تخم متولد می‌شود. پستانداران از استادان زنده‌زایی‌اند، گرچه عقرب‌ها، کوسه‌ها و برخی مارمولک‌ها هم به شیوه متفاوت زنده می‌زایند. در حقیقت تفاوتی اساسی میان تخم‌گذاری و زنده‌زایی وجود دارد، شکلی میانی که در آن تخم‌ها برای حفاظت در بدن مادر نگاه داشته می‌شوند ولی مستقیماً از مادر غذا دریافت نمی‌کنند. گاهی اوقات نوزاد در بدن مادر از تخم خارج شده و ممکن است برادران و خواهرانش را بخورد. این شکل از زنده‌زایی هم‌نوع خوارانه در کوسه‌های بزرگ دیده می‌شود. نوزاد می‌تواند از تخم‌های لقاح‌نیافته موجود در تخمدان مادر نیز برای تأمین انرژی سود ببرد (این روش اُفاژی نام دارد). در شکل نهایی زنده‌زایی، آن‌گونه که در انسان هم دیده می‌شود، مواد مغذی از بدن مادر و به واسطه جفت یا اندامی مشابه به جنین می‌رسد.



باروری

دوره‌ای که طی آن جنین در بدن مادری زنده‌زا تکوین می‌یابد باروری (gestation) خوانده می‌شود. این مرحله در پستانداران بارداری (pregnancy) نامیده می‌شود گرچه بارداری به وضعیت مادر اشاره می‌کند، در حالی که باروری فعالیت جنین را توصیف می‌کند. غیرپستاندارانی را که جنین خویش را در بدن خود حمل می‌کنند نه باردار بلکه بارمند (gravid) می‌خوانند.

جنین در فضایی که رحم نام دارد بارور می‌شود. رحم عموماً بخشی متورم از لوله تخم‌بر (oviduct)، لوله‌ای که تخمدان را به واژن متصل می‌کند، است. نیازهای غذایی جنین را مادر تأمین می‌کند. عقرب‌ها رویشی در رحم ایجاد می‌کنند که دیورتیکولا (diverticula) خوانده می‌شود و مستقیماً به روده مادر متصل شده و مواد غذایی را از روده جذب کرده و در دیواره رحم ترشح می‌کند تا جنین از آن استفاده کند. در بیشتر پستانداران جنین به واسطه جفت به جریان خون مادر متصل می‌شود. رحم کیسه‌داران کوچک‌تر از آن است که اجازه وجود جفت را بدهد و از این رو جنین کیسه‌داران بارداری‌اش را در کیسه مادر به اتمام می‌رساند.



در طی ۴۰ هفته بارداری انسان، توپی کوچک از یاخته‌ها به جاننداری که قابلیت بقا در خارج از بدن مادر دارد، مبدل می‌شود |

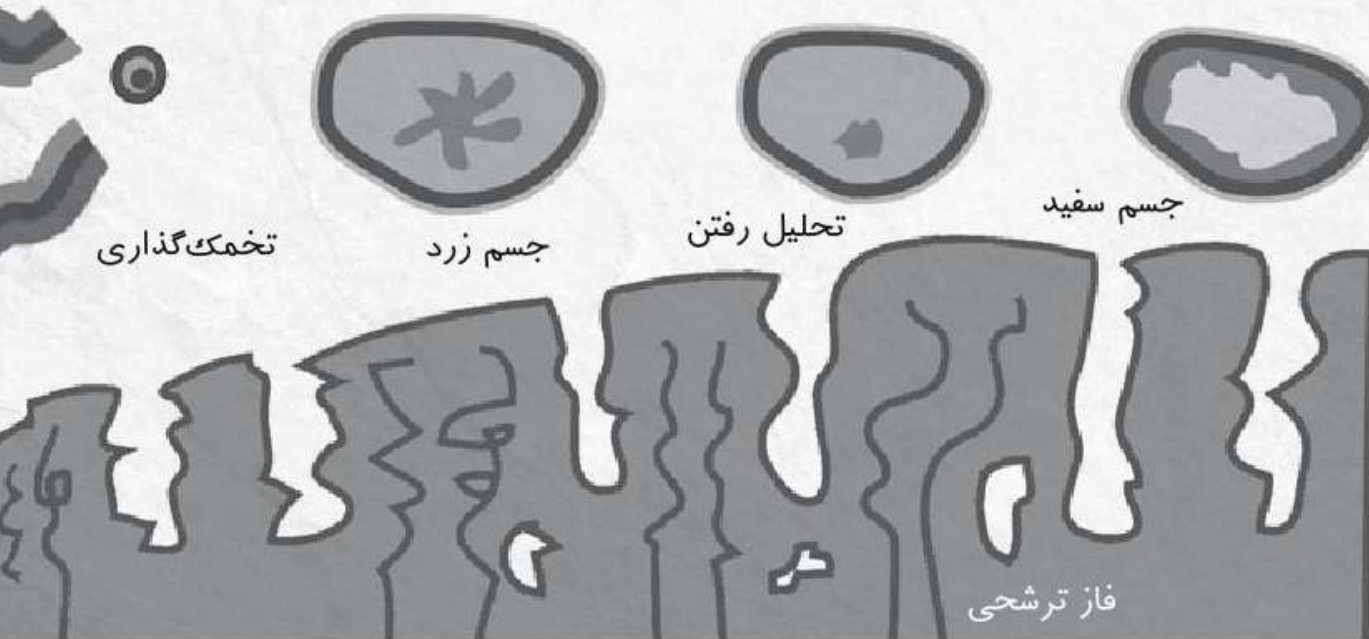
چندقلویی

یک بارداری می‌تواند چندین باروری و در نتیجه چندین نوزاد را به بار آورد. چندقلویی در پستانداران کوچک عادی است و مادگان چندین تخم را هم‌زمان از تخمدان رها می‌کنند. صاریخ‌های ویرجینیا هر بار ۵۰ قلو یا بیشتر را به دنیا می‌آورند گرچه صاریخ مادر می‌تواند تنها به ۱۳ نوزاد شیر دهد و در نتیجه اکثر نوزادان که متولد می‌شوند به سرعت از دنیا می‌روند. چندقلوها در چنین شرایطی از نظر خویشاوندان پدری‌اند، زیرا هریک از زیگوتی متفاوت منشا می‌گیرند. نزدیکی ژنتیکی چنین نوزادانی و برادران و خواهرانی که در زمان‌های متفاوت متولد می‌شوند یکسان‌اند. از منظر انسان، دو نوزادی که این‌گونه متولد می‌شوند دوقلوهای پدری‌اند - گرچه آنها ممکن است برادر و خواهر باشند! ممکن است چندین نوزاد از یک تخم لقاح یافته به وجود آیند. به‌عنوان مثال، آرمادیلوها طبق عادت چهارقلو به دنیا می‌آورند که از یک زیگوت که در مراحل اولیه تکوین تقسیم می‌شود، نشأت می‌گیرند. چنین رخدادی در انسان دوقلوهای همسان به وجود می‌آورد که از منظر ژنتیکی یکسان بوده و در نتیجه هم‌جنس‌اند.

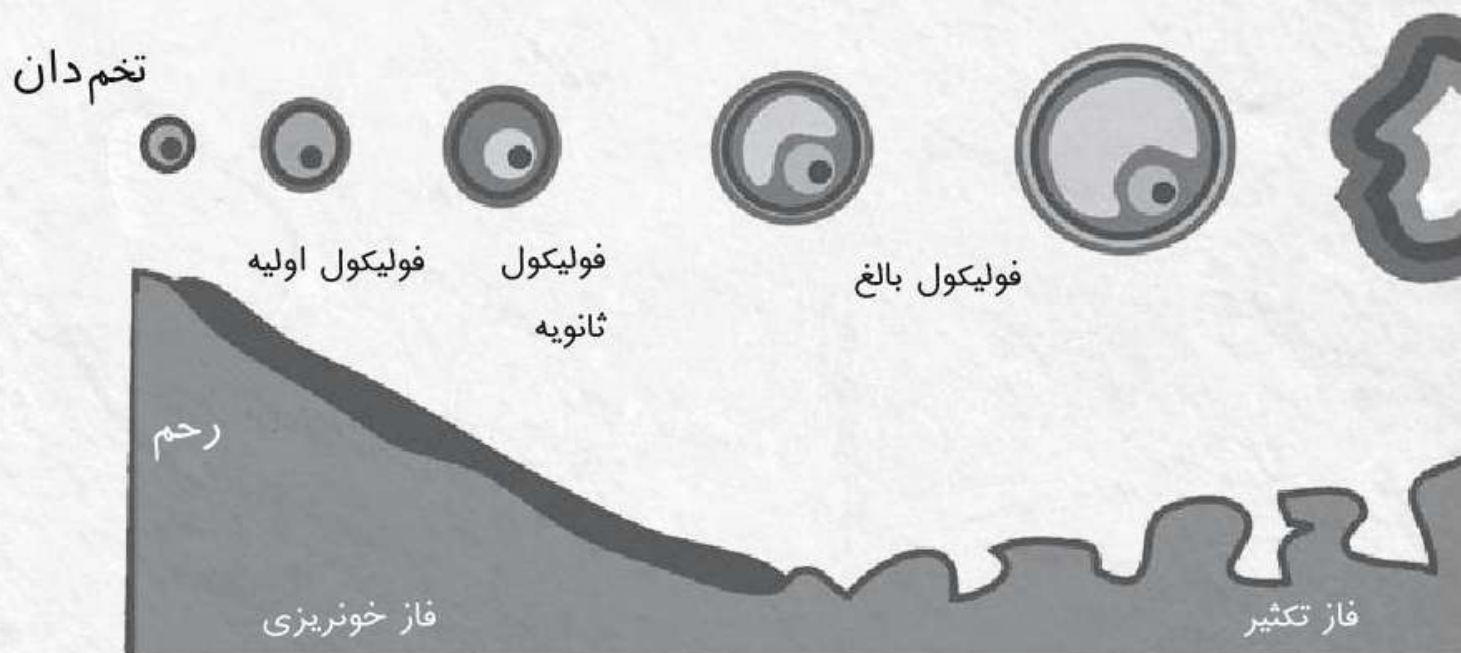


چرخه قاعدگی

هدف چرخه قاعدگی (Oestrus cycle) که در مادگان همه پستانداران جفت‌دار دیده می‌شود، آماده کردن رحم برای پذیرش و پشتیبانی تخمی لقاح یافته است. در هفته اول تکوین، زیگوت و بلاستولا در رحم غوطه‌ورند. پس از این مرحله، جنین که به توپی پریاخته‌ای می‌ماند به دیواره رحم چسبیده و با جریان خونی مادر به واسطه جفت ارتباط برقرار می‌کند.



چرخه قاعدگی تضمین می‌کند که در زمان تخم‌گذاری (رهاسازی تخمک بالغ از تخم‌دان)، دیواره رحم ضخیم و آماده پذیرش تخمک است. اگر تخمک پس از آزاد شدن از تخم‌دان با اسپرمی برخورد کند، زیگوت حاصل دوره پذیرش را متوقف می‌سازد تا همه چیز را برای جنین آماده کند. اگر لقاح اتفاق نیفتد، تخمک از هم می‌پاشد و پوشش رحم طی خون‌ریزی ماهانه از میان می‌رود. سپس، چرخه قاعدگی دوباره با بلوغ تخمک در تخم‌دان و ضخیم شدن دیواره رحم آغاز می‌شود.

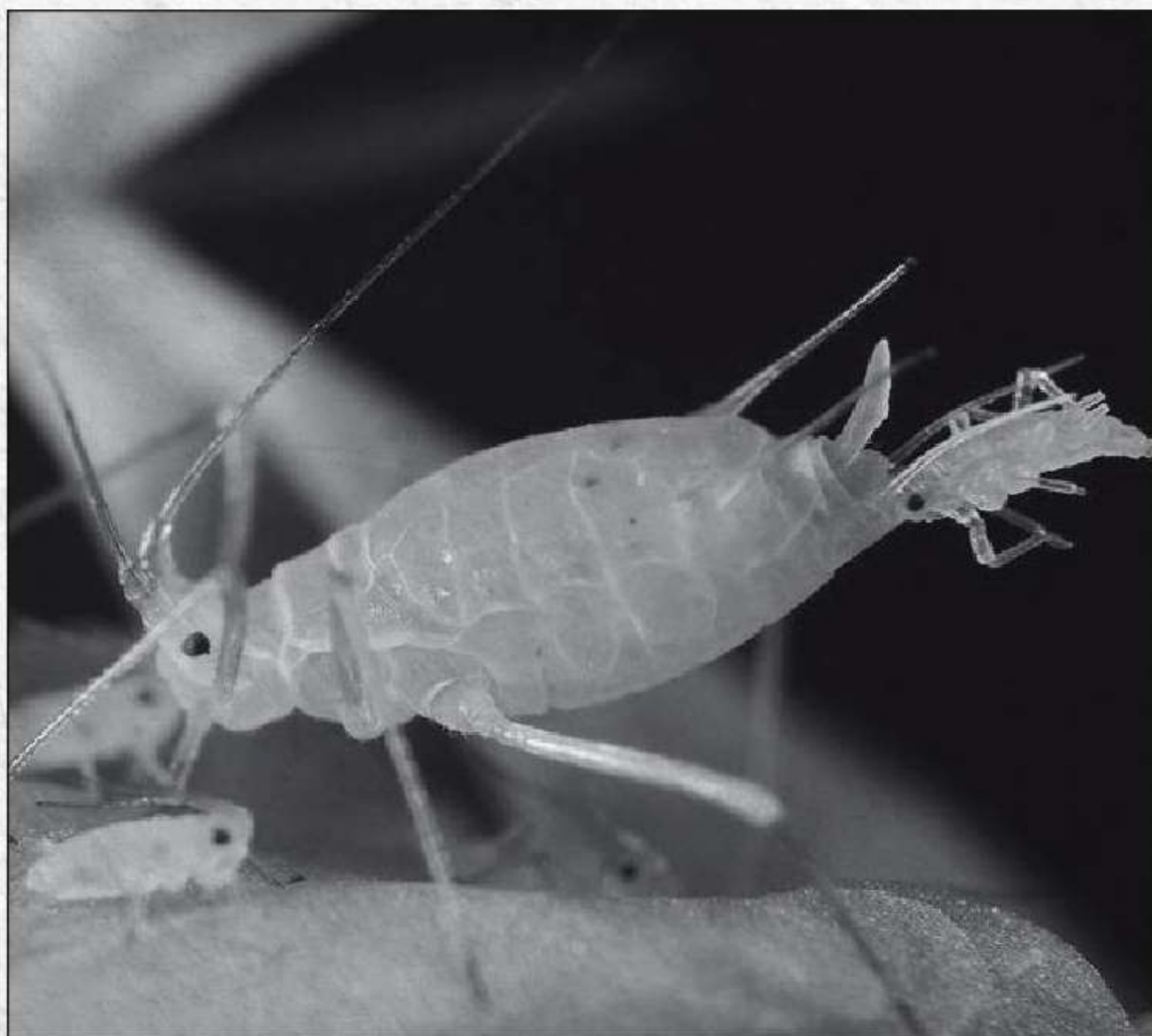


آمیزش جنسی ۱۶۳

بکرزایی

این واژه که ریشه یونانی دارد به معنای تولد از باکره است، شکلی از تولیدمثل غیرجنسی است که در گیاهان، بسیاری از بی مهرگان، ماهی‌ها، دوزیستان و خزندگان دیده می‌شود. گزارش‌های عجیب الخلقه از بکرزایی (Parthenogenesis) در پرندگان موجود است، ولی چنین روشی در پستانداران هرگز به ثبت نرسیده است. بکرزایی از سازوکاری مشابه تولیدمثل جنسی سود می‌برد، با این فرق که در بکرزایی نیاز به لقاح نیست. عدم نیاز به لقاح از آن رو ممکن است که در جاندار بکرزا، میوز دو یاخته دختر دیپلوید به وجود می‌آورد. این فرآیند به شکل‌های مختلف می‌تواند رخ دهد، ولی در همه این اشکال در مرحله‌ای یاخته‌های هاپلوید با هم ترکیب شده و به یاخته‌ای دیپلوید مبدل می‌شوند.

برای برخی گونه‌ها بکرزایی تنها راه تولیدمثل است. تمامی اعضای این گونه‌ها ضرورتاً ماده‌اند. گونه‌های دیگر تحت شرایطی خاص بکرزایی را ترجیح داده ولی در شرایط دیگر تولیدمثل جنسی می‌کنند. در برخی، اسپرم (یا گرده) برای فعال کردن تخمک مورد نیاز است ولی نیازی به ژن‌های اسپرم نیست.



شته دختری را به دنیا می‌رود که خود حامل دختران یکسان بیشتری است |

نرماده‌ها

کژفهمی‌هایی در مورد واژه نرماده (Hermaphrodites) وجود دارد و بسیاری از مردم تصور می‌کنند که نرماده‌ها می‌توانند بدون نیاز به آمیزش جنسی تولیدمثل کنند. این سوءتفاهم احتمالا از توانایی برخی نرماده‌ها در خودآمیزی منشا می‌گیرد. نرماده جاننداری است که هم غده‌های جنسی ماده دارد و هم غده‌های جنسی نر. نرمادگی در میان گیاهان گل‌دار معمول و تقریبا قاعده است، اما در جانوران نادر است. حلزون‌ها، لیسه و کرم خاکی از جمله نمونه‌های نرمادگی متقارن‌اند - به این معنا که آنها نه تنها اندام‌های جنسی نر و ماده را دارند بلکه برخی می‌توانند تخمک‌هایشان را با اسپرم‌های خود تلقیح کنند. نرمادگی دیگر جانوران از نوع متوالی است به این معنا که آنها از یک جنس به دنیا آمده و پس از رشد سنی و جسمی جنسشان را تغییر می‌دهند. دلقک ماهی‌ها حیاتشان را به عنوان ماهی نر آغاز می‌کنند و بعدها به ماده مبدل می‌شوند. برخی ماهی‌های دیگر، برعکس دلقک ماهی، ابتدا به عنوان ماهی ماده متولد می‌شوند ولی با حذف یا مرگ ماهی نر گله، یکی از ماده‌های ماده و پیر، به نر تبدیل می‌شود.



يك جفت ليسه پلنگي با پيچاندين قضيپ هایشان به دور يکديگر جفت گيري می کنند |

گرده افشانی

گیاهان عالی - مخروطیان و گیاهان گل دار - از گرده افشانی برای انتقال گامت سود می جویند. یاخته های جنسی نر در درون دانه گرده جای دارند و این دانه گرده است که از گیاهی به گیاه دیگر سفر می کند. مخروطیان برای انتقال گرده های میکروسکوپی خود از مخروط های نر به مخروط های ماده نزدیک به خود به باد متکی اند. بسیاری گیاهان گل دار چون گندمیان و بلوط نیز از باد برای انتقال گرده های خود سود می برند. گل های این گیاهان غالباً دراز و ریش ریش اند و چشم نواز هم نیستند، به این سبب آنها برای جلب باد و نه چشم تکامل یافته اند. گل هایی که متکی به حشرات یا سایر جانوران برای انتقال گرده اند رنگین، خوشبو و انباشته از شهدند تا گرده افشانان را اغوا کنند. گرده پس از رسیدن به گل توسط گیرنده ای بلند و چسبناک به نام کلاله جمع شده و سپس برای رسیدن به یاخته های جنسی، گرده به سمت تخم دان نقب می زند. پس از لقاح، هر تخم به جنینی مبدل می شود که درون دانه حفاظت می شود. دانه اغلب حاوی بخشی گوشتی است که از تخم دان و بقایای گل نشأت می گیرد.



تناوب نسل

در جانوران گامت‌ها تنها یاخته‌های هاپلویداند، ولی چنین قاعده‌ای در گیاهان صدق نمی‌کند. پیکر گیاهان بین مرحله‌ای هاپلویدی و مرحله‌ای دیپلویدی در نوسان است. به این پدیده تناوب نسل می‌گویند. شکل دیپلوید را اسپوروفیت (sporophyte) و شکل هاپلوید را گامتوفیت (gametophyte) می‌خوانند.

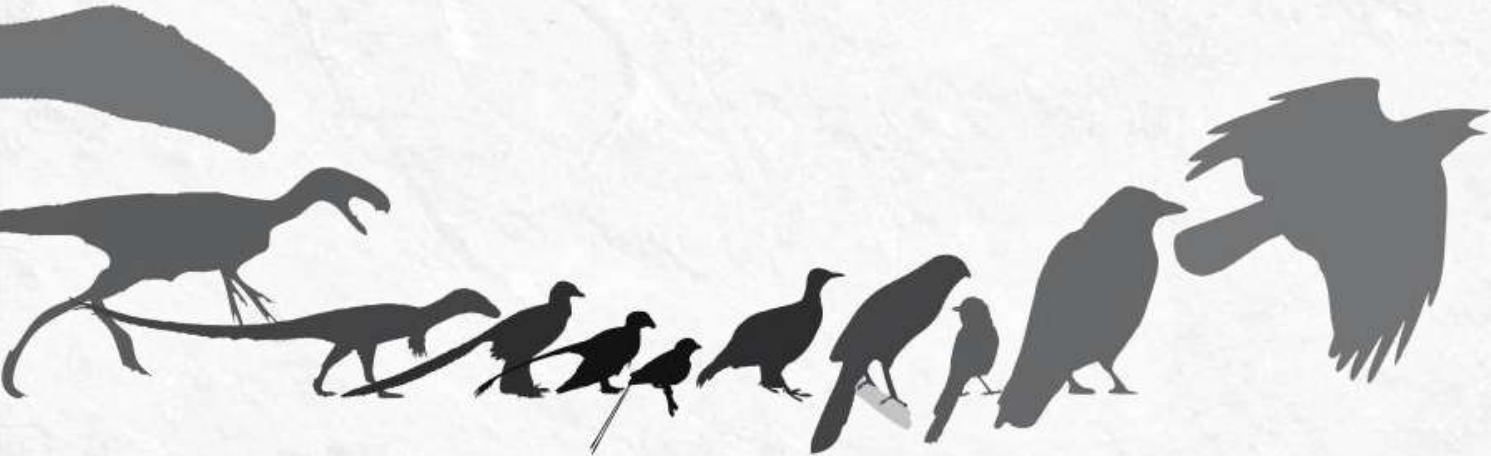
در گیاهان عالی، گامتوفیت کوچک است و به تمامی متکی بر اسپوروفیت: دانه‌گرده و تخمک گیاهی (تخم‌دانی در عمق گل)؛ اما در گیاهان پست‌تر، مانند خزه‌ها و سرخس‌ها، او دونسل ساختارهای بزرگ‌تر را می‌سازند. در خزه‌ها، گامتوفیت شکل غالب بود ولی در سرخس‌ها - نیای گیاهان عالی - اسپوروفیت ساختار اصلی است. میوز در اسپوروفیت‌ها گرده‌هایی هاپلوید را آزاد کرده و این گرده‌ها رشد کرده و به گامتوفیت بدل می‌شوند. گامتوفیت‌ها یاخته‌های جنسی - اسپرم و تخمک - را تولید می‌کنند. در حین بارشی سنگین، اسپرم به گیاهان همسایه شنا کرده و با تخمک می‌آمیزد تا اسپوروفیت‌های نسل آینده را به وجود آورد.



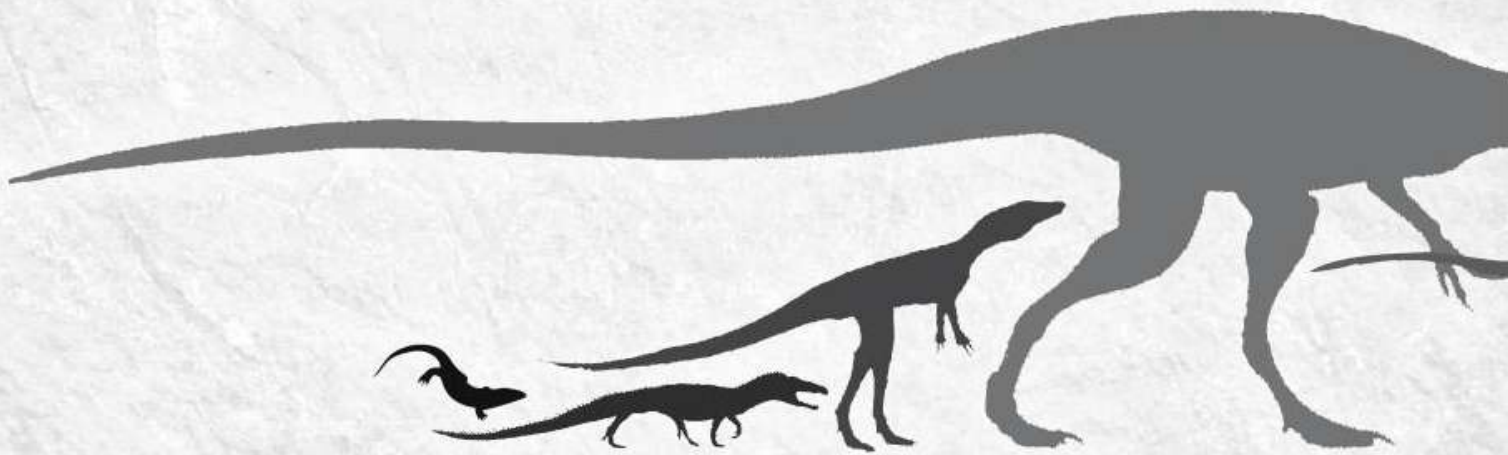
شکل آشنای سرخس‌ها تنها یکی از دو شکل این گیاه است |

تکامل

ایده تغییر یا تکامل جانداران در طول زمان را غالباً به داروین نسبت می‌دهند. ایده‌های او به پذیرش ایده تکامل منجر شدند ولی او اولین کسی نبود که این فرضیه را ارائه داد. ارسطو بر این نظر بود که اشیاء طبیعی به سوی غایتی در حرکت‌اند و این ایده دانه‌ای بود که تغییر تدریجی موجودات برای رسیدن به غایتشان از آن روید. با پیشرفت روش نوین علمی در قرن هژدهم، دو ایده متضاد تفکر طبیعی‌دانان را



شکل دادند. برخی از طبیعی دانان گمان می‌کردند که همه موجودات به‌گونه‌ای خاص تعلق داشته و لایتنیرند. برخی دیگر بر این باور بودند که سن شگرف زمین (واقعیتی که در آن روزها قابل فهم‌تر شده بود)، شاهدهی است بر این مدعا که جانداران می‌توانستند در گذشته اشکالی دیگر داشته باشند. اراسموس داروین (Erasmus Darwin) (پدر بزرگ داروین) پیشنهاد کرد که جانداران بزرگ‌تر از نیاکان میکروسکوپی به وجود آمده‌اند. چالش پیش رو یافتن سازوکاری بود که تغییر جانداران در طول زمان را توضیح دهد.



تکامل ۱۷۳

پیدایش خودبه‌خودی

پیدایش موجودات زنده از اشیاء غیر زنده تا اواسط سده نوزدهم، موضوعی بدیهی و روشن بود. بر اساس ایده پیدایش خودبه‌خودی، جانداران کوچک از لاشه جانداران و فضولات آنها پدید می‌آیند. چند دهه پیش از ارائه نظریه یاخته‌ای، پیدایش خودبه‌خودی بهترین توضیح برای چگونگی پیداشدن کپک از (ظاهرا) هیچ درون لاشه در حال تجزیه بود؛ حتی جانداران پیچیده‌تری چون کرم، مگس و سوسک ظاهرا از مواد غیرآلی درون فضولات خلق می‌شدند. تصور بر این بود که پیدایش خودبه‌خودی، سرآغاز زندگی بود و موجودات پست (البته از نظر زیست‌شناسان آن دوره) خودبه‌خود پیدا می‌شدند. این نگاه غایت‌باورانه (Teleological imperative) که جانداران از پستی پیدا می‌شوند و به سوی کمال می‌روند، از فلسفه ارسطویی سرچشمه می‌گرفت و این روند به عنوان پیش‌ران تکامل شمرده می‌شد. با این وجود، شواهد تجربی نشان داده‌اند که کرم‌ها، حشره‌ها و حتی میکروب‌ها از تکثیر تخم یا هاگ یا یاخته‌های نسل قبلی پیدا می‌شوند و از همه مهم‌تر، هیچ جاننداری «پست» یا «ابتدایی‌تر» از دیگری نیست.



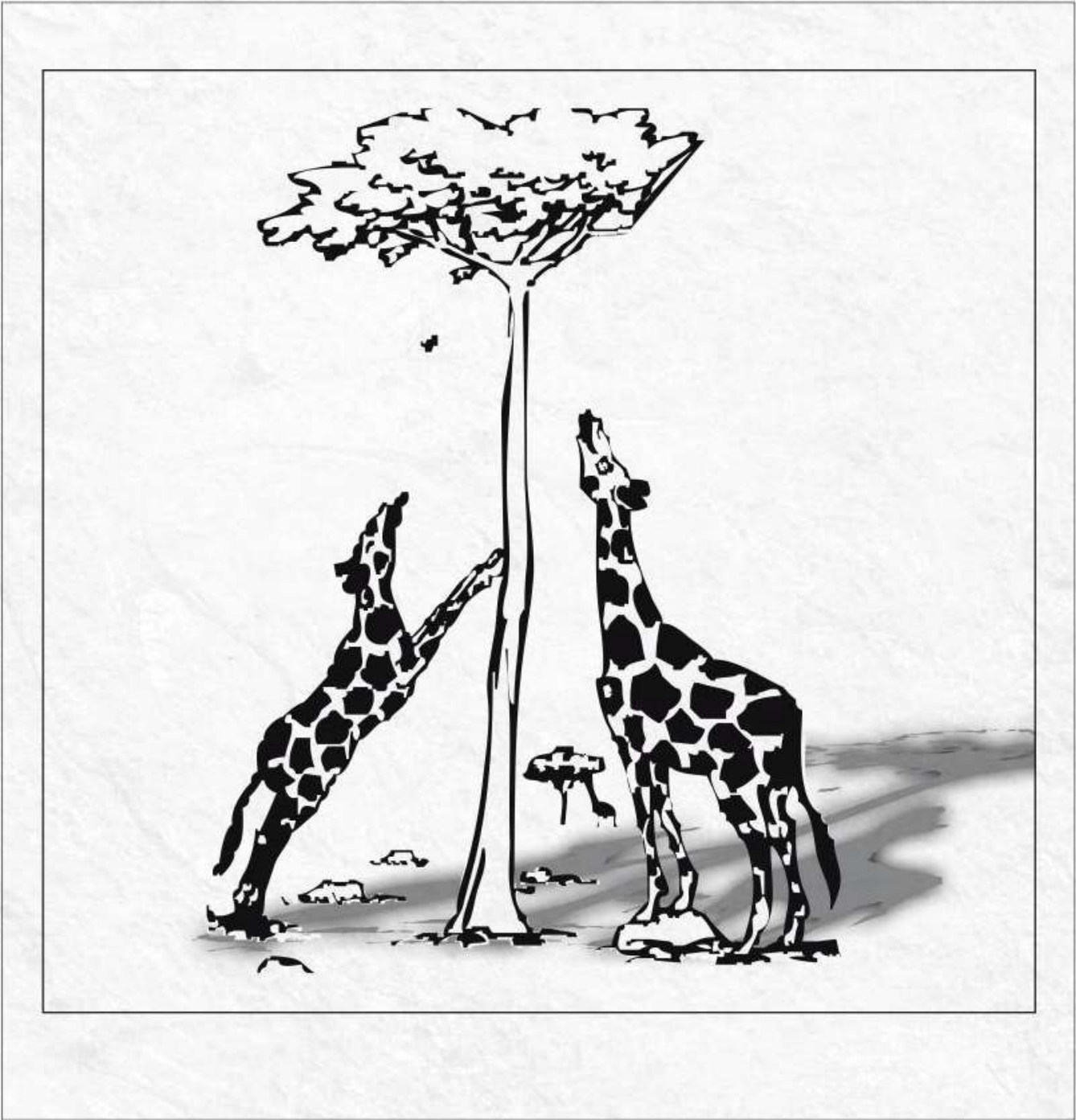
صفات اکتسابی

دانش نوین زیست‌شناسی از کارهای طبیعی دانان سرچشمه گرفت. اینان عاشقان طبیعت در قرن هژدهم بودند که به مستندسازی و مهم‌تر از همه، فهرست بندی جهان زنده پرداختند. هر جاننداری به گروه یا گونه‌ای خاص که همگی دارای ویژگی به‌خصوص بودند، تعلق داشت. تصور بر این بود که این خصوصیات ذاتی و لایتنغیرند. استدلال علیه این ایده پیش از فهم وراثت کاری دشوار بود. پس وقتی احتیاج به یافتن راهی بود که می‌توانستند مسبب تغییری تکاملی شوند، طبیعی دانان نظر به سوی صفات اکتسابی، به‌جای صفات ویژه هرگونه گرداندند. این صفات تغییرات پیکری ناشی از محیط و فعالیت جانورند؛ از اثر بدن‌سازی بر ماهیچه‌ها گرفته تا پینه بستن دستان در اثر کار یدی. بر اساس نخستین نظریات تکاملی، صفات اکتسابی وراثتی بوده و چنین صفاتی تکامل گونه‌ها را ممکن می‌ساختند.



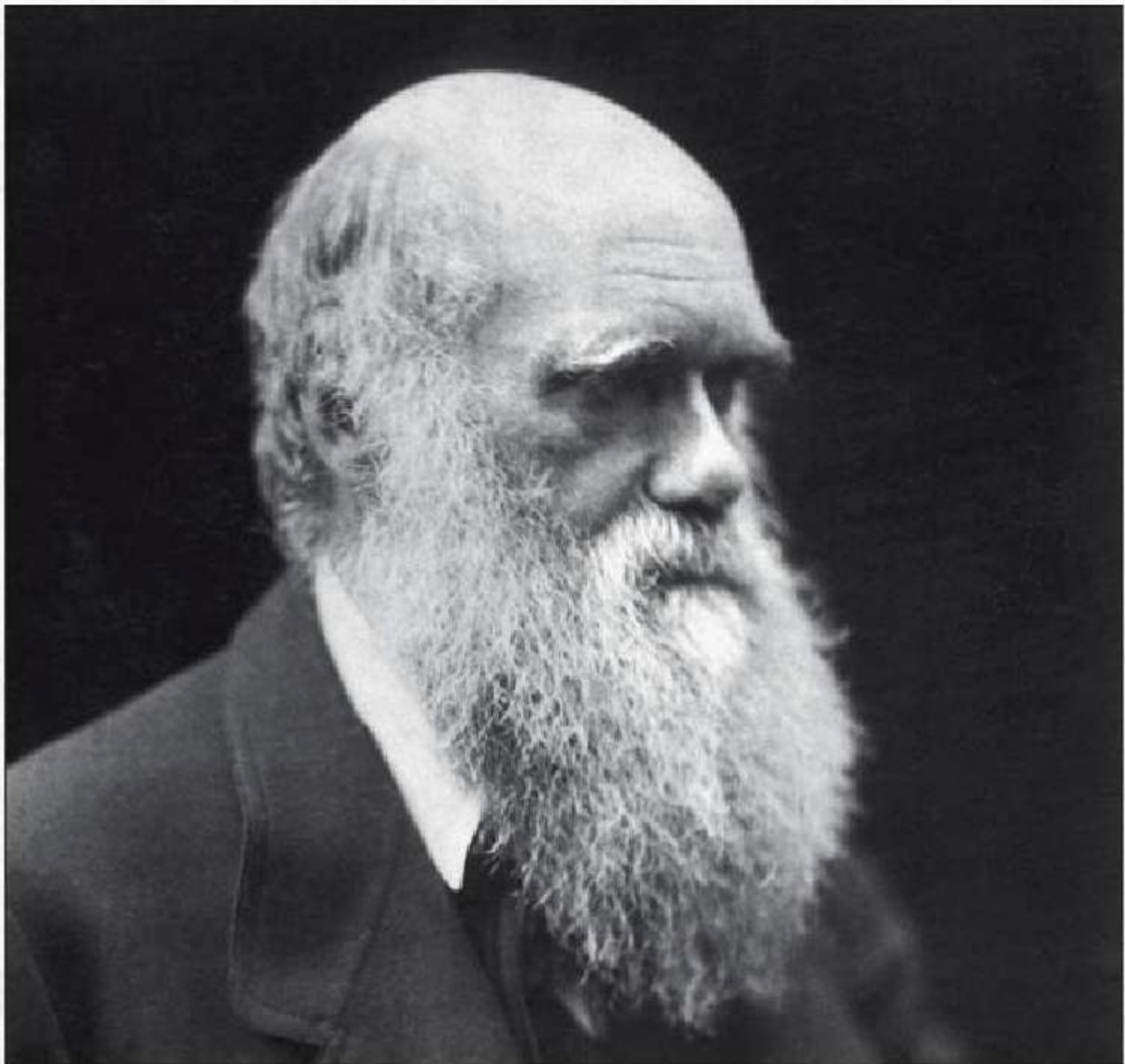
لامارکیسم

نخستین نظریه تکاملی توسط طبیعی‌دان فرانسوی، ژان باتیست لامارک (Jean-Baptiste Lamarck) در ۱۸۰۹ ارائه شد. او از واژه تراجهش (transmutation) برای توصیف تغییر گونه‌ها در طی نسل‌ها استفاده کرد. نظریه داروین نهایتاً جای لامارکیسم را گرفت، اما ایده بنیادین لامارک، با کشف اپیژنتیک حیاتی دوباره یافته است. لامارک بر این تصور بود که تکامل در جهت پیشرفت و پیچیده‌تر شدن جانداران حرکت می‌کند، اما او این ایده را هم مطرح کرد که تکامل سازگاری جاندار با محیطش را نسبت به اجدادش افزایش می‌دهد. تغییرات تکاملی از دید لامارک ناشی از صفات کسب‌شده طی حیات فردی جاندار است. براساس معروف‌ترین مثال مغلوط از لامارکیسم، هر نسل از زرافه‌ها برای رسیدن به شاخه‌های بالاتر تلاش کرده و به این منظور گردنش را دراز می‌کند. زادگان این زرافه‌ها گردنی درازتر را به ارث برده و در طی تکرار این فرآیند، گردن زرافه به اندازه کنونی‌اش دراز شده، سپس زرافه‌های کنونی به اندازه کافی دراز بوده‌اند؛ پس این روند رشد متوقف شده است. امروزه می‌دانیم که اغلب صفات اکتسابی (به جز اندکی صفات مرتبط با اپی‌ژنتیک) نمی‌توانند به نسل بعد منتقل شوند.



چارلز داروین

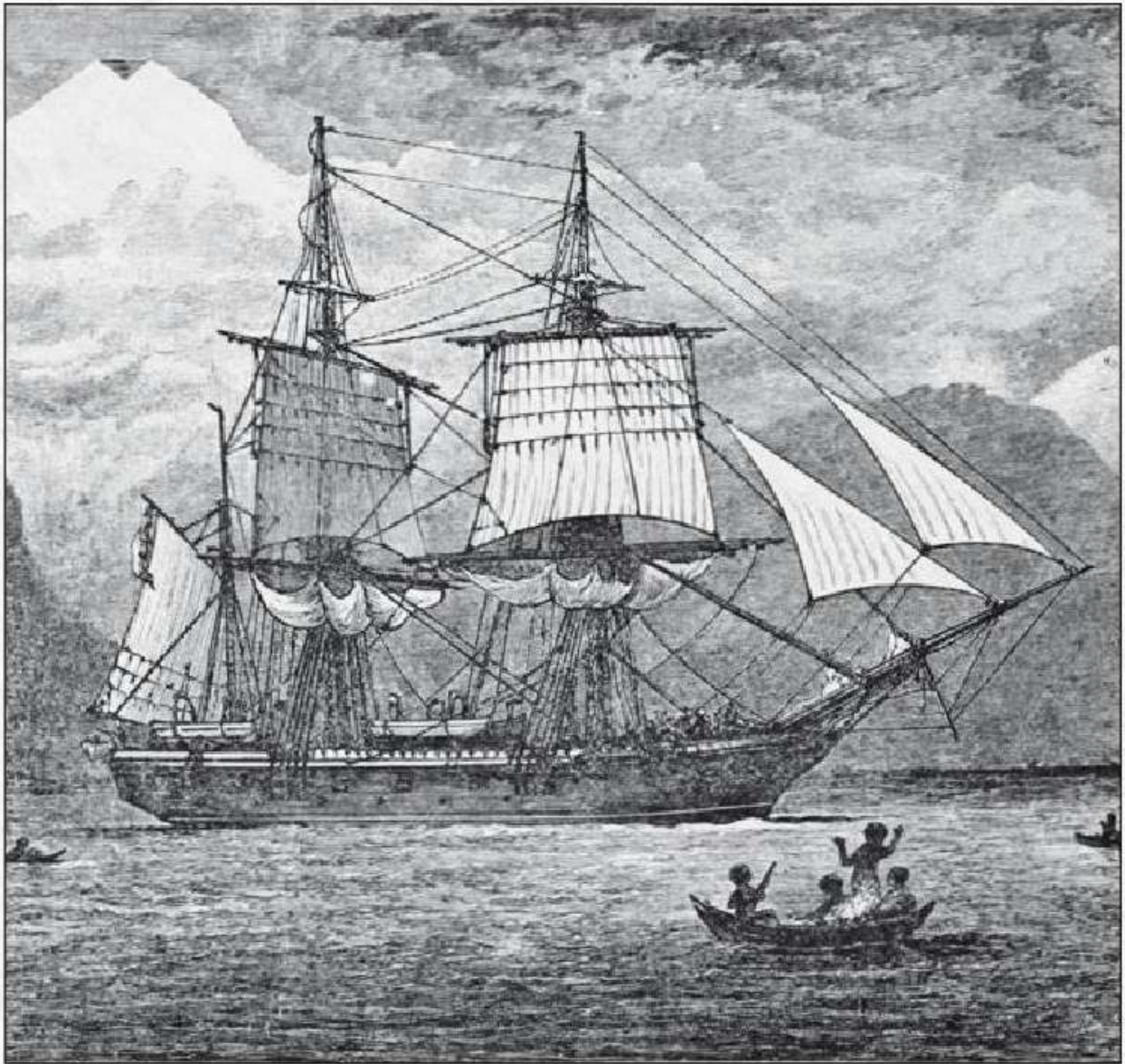
چارلز داروین (Charles Darwin) (۱۸۰۹-۸۲) از بزرگ‌ترین دانشمندان تمامی اعصار بود و نظریه تکامل به واسطه انتخاب طبیعی‌اش منجر به یکی از بزرگ‌ترین دگرگونی‌ها در تفکر علمی شد. داروین در خصوص نقشش به عنوان غولی علمی محتاط بود و اغلب دیگران از نظریه او در برابر عقاید مخالف - خصوصا عقاید آباء کلیسا - دفاع می‌کردند. داروین در شراپشایر (Shropshire) متولد شد. پدرش پزشک بود و مادرش وارث ثروت خانواده وجود (Wedgwood) که از طریق چینی‌سازی حاصل شده بود. داروین ابتدا برای کسب پزشکی به ادینبرا (Edinburgh) رفت اما راه به جایی نبرد و پدرش او را برای کشیش شدن به کمبریج (Cambridge) فرستاد. در آنجا داروین بیش‌ازپیش به علوم طبیعی علاقه‌مند شد و بررسی دقیق سوسک‌های اطراف محل اقامتش را آغاز کرد. او به مطالعه آثار ویلیام پیلی (William Paley)، خداشناسی که علوم طبیعی را شاهدهی بر وجود خدا می‌دانست، پرداخت. پس از فارغ‌التحصیلی، آموزش التقاطی داروین، او را آماده تفکر در باب آنچه غیرقابل تعمق است، نمود.



سفر بیگل

بسیاری از مهم‌ترین مشاهداتی که داروین را به صورت‌بندی نظریه تکاملش واداشت در طی جهانگردی‌اش بر عرشه اِچِ اِمِ اسِ بیگل به وقوع پیوست. مأموریت بیگل مأموریتی صلح‌آمیز به منظور نقشه‌برداری از آمریکای جنوبی و جزایر اقیانوس آرام بود. کاپیتان فیتزروی Robert FitzRoy (کسی که بعدها اداره هواشناسی ملی بریتانیا را بنیان گذاشت) در پی یافتن فردی علمی و غیرنظامی برای همراهی‌اش در طول این سفر بود. داروین که چندین ماه قبل فارغ‌التحصیل شده بود، این پیشنهاد را پذیرفت؛ باوجوداینکه باید خود هزینه سفرش را تقبل می‌کرد.

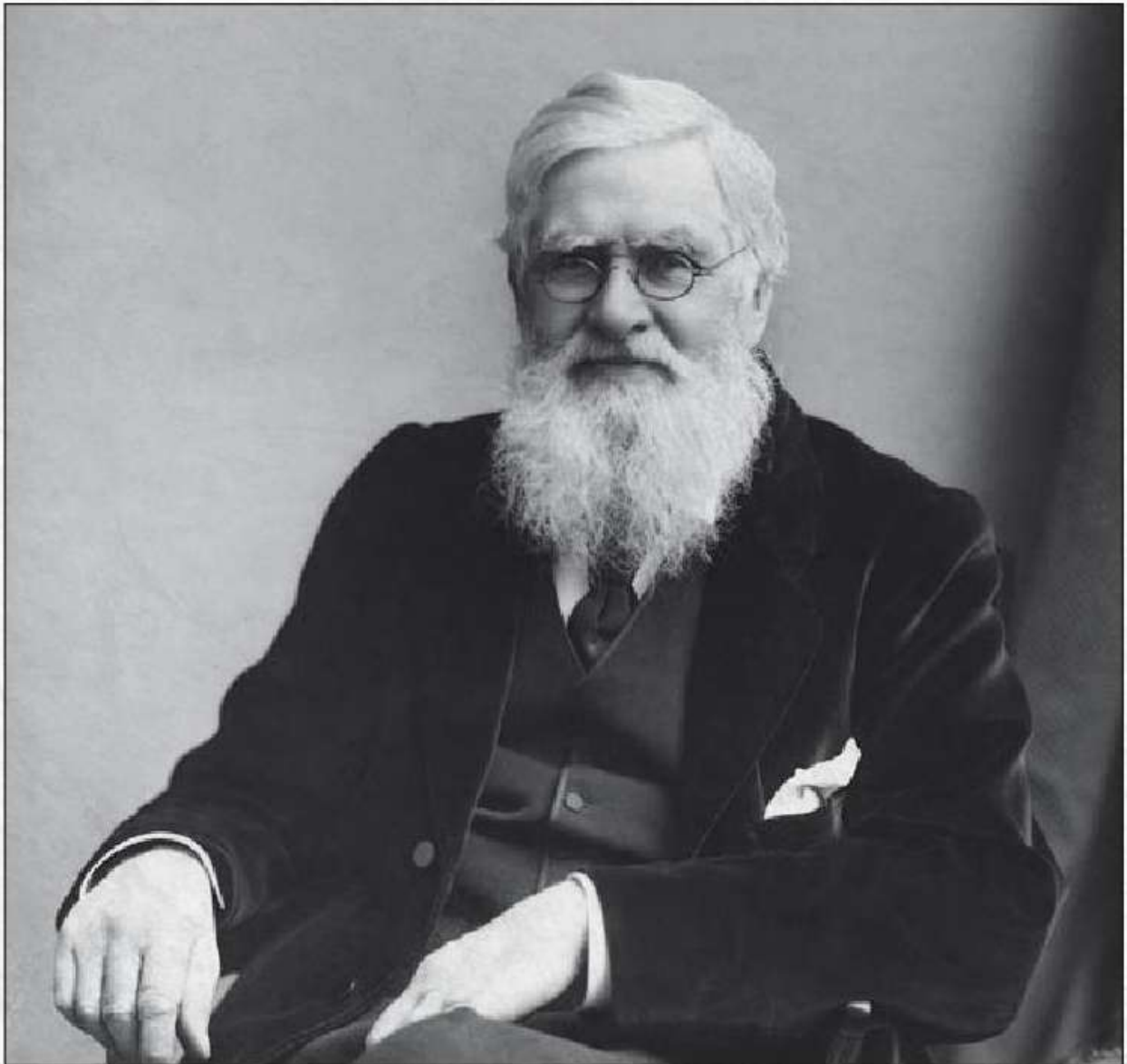
داروین طی این سفر از آفریقا، آمریکای جنوبی، نیوزیلند و جزایر بسیاری چون گالاپاگوس دیدن کرد. این سفر پنج سال طول کشید. در بیشتر این مدت، داروین بر سواحل مختلف به جمع‌آوری و مقایسه جانداران مختلف پرداخت. شباهت‌های میان این گونه‌های ظاهراً نامرتب در قاره‌های مختلف آغاز نظریه تکامل او بود.



آلفرد راسل والس

داروین تنها طبیعی‌دانی نبود که در میانه قرن نوزدهم در باب چگونگی شکل دادن پیکر جانداران با تکامل غور می‌کرد. در حالی که داروین در انزوای نسبی در باب عظمت نظریه‌اش تفکر می‌کرد، کاوشگر ولزی، آلفرد راسل والس (Alfred Russel Wallace) (۱۸۲۳-۱۹۱۳) در میانه سفرش به جزایر مالزی و اندونزی بود. این ناحیه مرزی است میان جانورانی که از استرالیا قدیم منشا گرفته و جانورانی که نیاکانشان از آسیا آمده بودند. امروز این مرز را که از میان دریای سلبس (Celebes) و تنگه لامباک (Lombok) می‌گذرد، حدود والاس می‌خوانند.

والس مشاهده کرد که گونه‌های خویشاوند در همسایگی یکدیگر یافت شده و تفاوت‌هایشان به شکل تدریجی تغییر می‌کرد، گویی هرگونه از گونه همسایه‌اش منتج شده است. والس در دهه ۱۸۵۰ به داروین نامه‌ای نوشت تا نظر داروین را در باب ایده خود درباره جانداران بداند. در نتیجه، داروین نهایتاً نظریه‌اش را که مدت‌ها مشغولش بود به عموم معرفی کرد.



درباره خاستگاه گونه‌ها

پس از بازگشت به انگلیس از عرشه بیگل، داروین با دختردایی‌اش، اما و ج‌وود، ازدواج کرد و زندگی راحتی را آغاز نمود، اما غم مرگ سه فرزند از نه فرزند و نتایج نظریه تکامل که او طی سال‌ها آفریده بود بر شانه‌هایش سنگینی می‌کرد. او با شمار معدودی از همکارانش در باب نظریه گفت‌وگو کرده بود ولی نهایتاً تصمیم گرفت که آن را در قالب اثری عظیم به نام «انتخاب طبیعی» به چاپ رساند. در ۱۸۵۸، داروین نامه‌ای از الفرد راسل والس دریافت کرد که حاوی توصیفی موجز بود که به نظر مشابه نظریه او می‌آمد. داروین و والس در همان سال مقاله‌ای پیرامون یافته‌هایشان به انجمن لینه‌ای ارائه کردند. نه داروین و نه والس در جلسه ارائه مقاله فوق‌الذکر حضور نداشتند. داروین به سرعت شروع به آماده سازی خلاصه‌ای از نظریاتش کرد. نتیجه این تلاش خاستگاه گونه‌ها (*On the Origin of Species*) بود که در ۱۸۵۹ منتشر شد. با استفاده از شواهد فراوان، این کتاب توضیح می‌دهد که چگونه همه جانداران، از جمله انسان، به نیایی مشترک در گذشته دور مرتبط بوده‌اند. کمتر کتاب‌هایی بوده‌اند که بر دید بشر نسبت به خودش اثری همسنگ خاستگاه گونه‌ها داشته باشند.

ON
THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE
PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE
FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,

FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNEAN, ETC., SOCIETIES;
AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H. M. S. BEAGLE'S VOYAGE
ROUND THE WORLD.'

انتخاب طبیعی

نظریه تکامل داروین به اصل انتخاب طبیعی استناد می‌کند - ایده‌ای که یکی از ریشه‌هایش را باید در انشائی در باب اصل جمعیت (*Essay on the Principle of Population*)، به قلم تامس مالتوس Thomas Malthus (۱۷۶۶-۱۸۳۴) به سال ۱۷۹۸، جست‌وجو کرد که هم داروین و هم والس خوانده بودند. اثر مالتوس هشدار می‌دهد که رشد جمعیت انسان از توانایی ما در تولید غذا پیشی خواهد گرفت و در نتیجه قحطی در سرتاسر جهان به وقوع خواهد پیوست. پیشرفت‌های اخیر از بروز این بلای مالتوسی جلوگیری کرده‌اند، ولی این ایده داروین را به پرسش در زمینه چگونگی تنظیم جوامع غیرانسانی کشاند. او استدلال کرد که جمعیتی طبیعی منابعی محدود دارد - منابعی چون غذا، فضای زندگی و غیره - که تنها می‌تواند جمعیتی محدود را پشتیبانی کند. برخی اعضای جمعیت زنده می‌مانند و برخی دیگر می‌میرند ولی چنین نبردی برای بقا تصادفی نیست. این طبیعت است که برندگان را برمی‌گزیند: کسانی که به بهترین نحو از منابع در دسترس‌شان استفاده کنند، زنده خواهند ماند و باقی افراد از میان می‌روند. نوع داروین شناسایی توانایی انتخاب طبیعی در تغییر دادن گونه بود.



رقابت

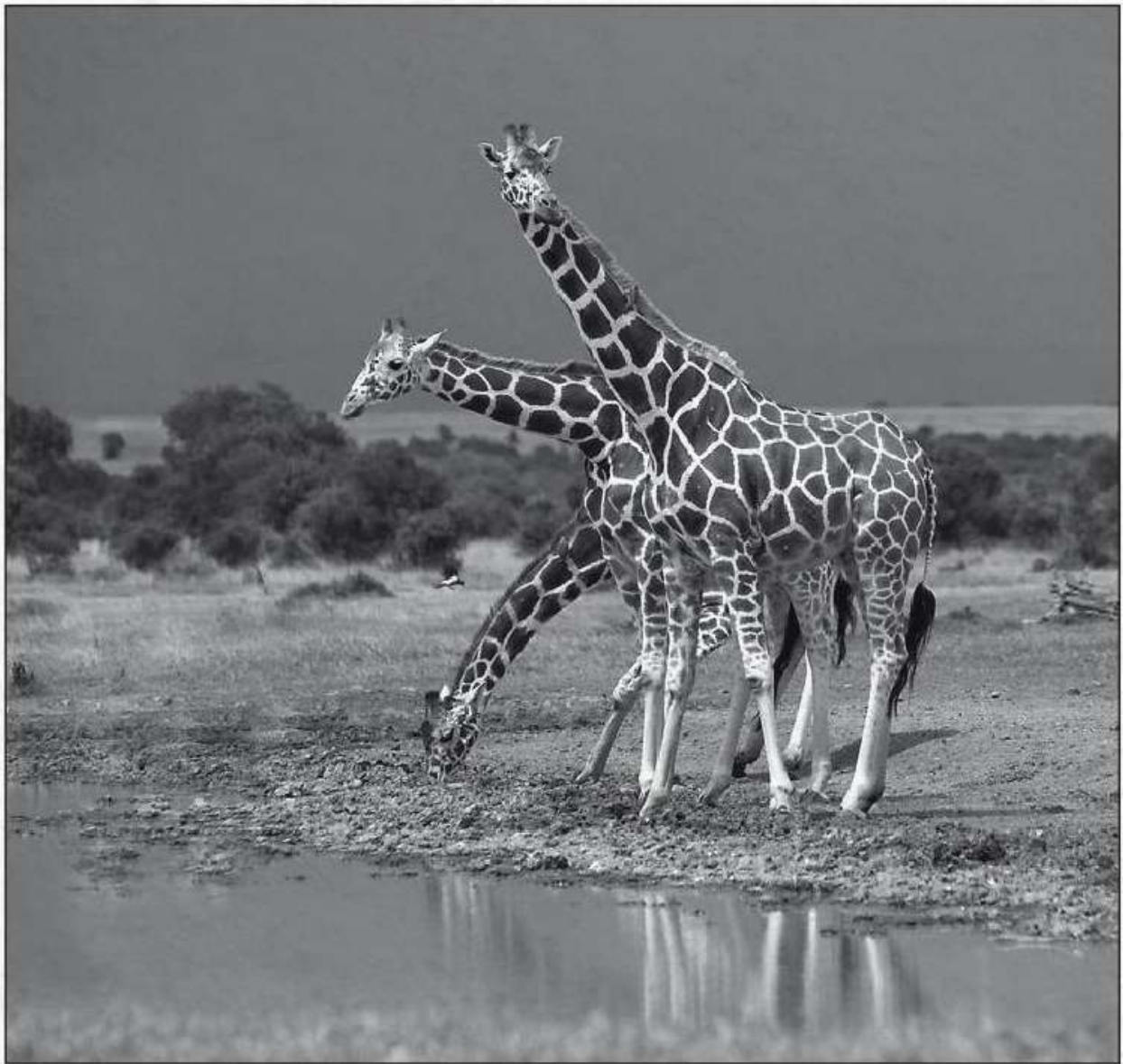
فیلسوف شهیر تامس هابز Thomas Hobbes (۱۶۷۹ - ۱۵۸۸) گفته بود که زندگی «کریه، ددمنش و کوتاه» است. این گفته خصوصا در مورد جمعیت‌ها در طبیعت صدق می‌کند، جایی که مرگ پس از زندگی طولانی به ندرت رخ می‌دهد. درحالی‌که نظریات پیشین تکاملی بر پایه هدفی فوق طبیعی بودند که موجب بهبود جانداران می‌شود، داروین متوجه شد که تنها نیروی مورد نیاز برای به جریان درآوردن تکامل، رقابت برای بقا است.

تمامی حیات در رقابت برای بقاست، رقابت بر سر منبع انرژی، غذا، اکسیژن، آب و فضای مورد نیاز برای استفاده از این منابع. قوی‌ترین شکل این رقابت بین اعضای یک گونه است؛ زیرا آنها نیازهایی یکسان و روش‌هایی یکسان برای برآوردن این نیازها دارند. به علاوه، گزینه بقا تنها مسیری است برای رسیدن به یک غایت. هدف بقا تولیدمثل است و افراد رقابت می‌کنند تا شانس تولیدمثل خود را تا حد ممکن افزایش دهند. انتخاب طبیعی نه تنها منجر به مرگ افراد ضعیف‌تر می‌شود، بلکه آنها را از تولیدمثل و انتقال ژن‌هایشان به نسل بعد، باز می‌دارد.



تنوع

انتخاب طبیعی به ماده خامی نیاز دارد، اگر تمامی اعضای جمعیتی از جانوران یکسان باشند، هیچ کدام رجحانی بر دیگران ندارد؛ اما طبیعت این طور نیست - هر جمعیت درجه‌ای از تنوع را داراست و این تفاوت‌ها هستند که موفقیت یا شکست هر فرد را مشخص می‌کنند. لامارک پیشنهاد کرد که درازی گردن زرافه‌ها نتیجه تلاش آنان برای رسیدن به برگ‌های روی نوک درختان طی نسل‌ها است (البته او چیزی درباره سازوکار دقیق این فرآیند نگفت). توضیح داروین با واقعیت‌ها بیشتر سازگار است. برخی زرافه‌ها گردنی درازتر از بقیه دارند و این صفت به آنها مزیتی می‌دهد زیرا آنها، نسبت به همسایگان کوتاه‌ترشان، غذای بیشتری می‌خورند و در نتیجه بیشتر تولیدمثل می‌کنند. احتمال مرگ زرافه‌های کوتاه از گرسنگی و برجای نگذاشتن فرزند در آنها بالاست. داروین دریافت که زرافه‌های بلند فرزندان بلند دارند و در نتیجه انتخاب طبیعی به تولد زرافه‌های بلندتر می‌انجامد - و به این خاطر زرافه گونه‌ای است بلند. زرافه‌ها اما هرگز به یک شکل بلند نیستند، همیشه تنوع در میانشان وجود دارد.



جهش

داروین می‌دانست که درستی نظریه‌اش به وراثت نوعی ماده ژنتیکی محتاج است. مزیت‌های والدین - صفاتی که طبیعت برگزیده است - به واسطه این ماده به نسل بعد منتقل می‌شود. با کشف DNA و اصل بنیادین، ما در باب چستی این ماده و چگونگی وراثت آن بسیار می‌دانیم. تنوعی هم که ماده خام انتخاب طبیعی است حاصل وجود آل‌های مختلف در خزانه ژنی است. این آل‌های مختلف به صورت تصادفی براساس جهش - اشتباهاتی که در طی همانندسازی DNA رخ می‌دهند - سر برمی‌کنند. بدون چنین اشتباهاتی تکامل به وقوع نمی‌پیوندد. جهش در اینترون هیچ اثری ندارد. جهش در اگزون موجب تغییر در ساختار پروتئینی که ژن رمزگذاری می‌کند، می‌شود. احتمال اینکه این جهش به صفتی نامطلوب منجر شود، زیاد است و انتخاب طبیعی این جهش را به سرعت از خزانه ژنی حذف می‌کند. ولی گاهی جهش به صفتی مطلوب می‌انجامد و تکامل رخ می‌دهد.



گوسفند ژاکوب به دلیل جهش، صاحب چهار شاخ است |

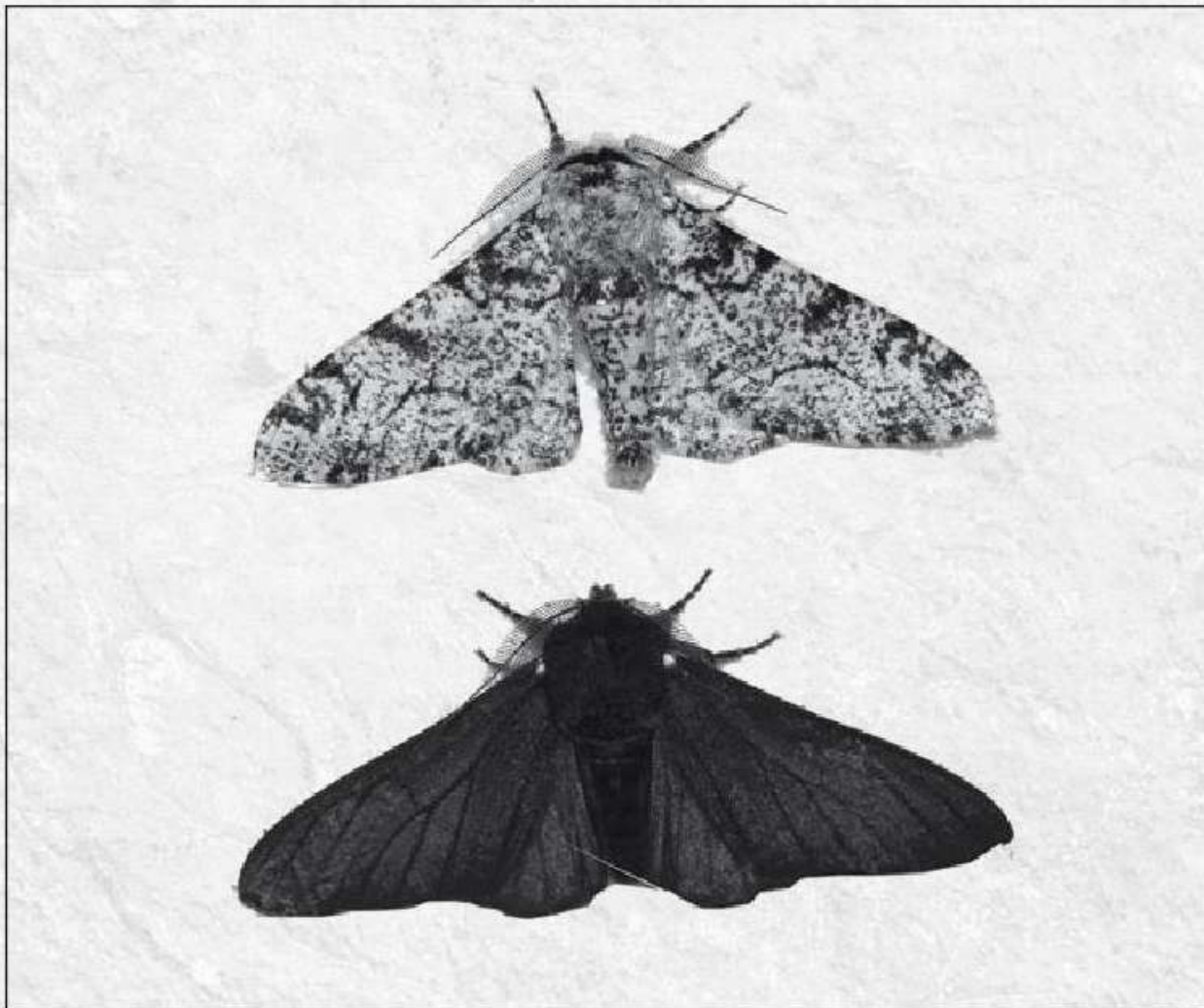
بقای اصلح

گرچه داروین این عبارت را وضع نکرد، او آن را برای توصیف نظریه تکامل به واسطه انتخاب طبیعی‌اش به سرعت به کار بست. در این بستر، برازنش (fitness) جمع صفات وراثتی نیک و بد یک فرد است. اگر شمار صفات نیکو از صفات بد بیشتر باشد، فرد برازنده است و در نبرد برای بقا بر افرادی با برازندگی کم‌تر غالب می‌شود. انتخاب طبیعی اطمینان حاصل می‌کند که برازنده‌ترین فرد باقی‌مانده و بیشتر از همه فرزند به جای می‌گذارد. این فرزندان هم احتمالاً برازنده‌اند چراکه ژن‌های مربوطه را از والدینشان به ارث بردند. اگر جهشی پیدا شود که از اشکال پیشین برازنده‌تر بوده، حامل این جهش از همسایگانش برازنده‌تر است. طی نسل‌ها، این جهش در جمعیت گسترش یافته و آلل‌های پست‌تر نادر شده یا از جمعیت خارج می‌شوند. این تغییری ناچیز است اما با گذر نسل‌های متمادی این تغییرات جزئی انباشته شده و می‌توانند گونه را تماماً دگرگون کنند.



سازش

تکامل از جهاتی فرآیندی است ظریف. انتخاب طبیعی ژن‌های نابرازنده را حذف کرده و قابلیت بقا جمعیت را در مجموع افزایش می‌دهد، اما این معادله وجهی دیگر نیز دارد. برازندگی یک جاندار تنها در رابطه با محیط جاندار معنا دارد. ماهی قابلیت زندگی در رودخانه را دارد اما نمی‌تواند با گله‌ای از شترها برای گذر از صحرا رقابت کند (و بالعکس). محیط یک جمعیت ثابت نیست. شخصیت می‌تواند گاهی آرام و گاهی ناگهان دستخوش تغییر شود. این تغییرات، بقا را دشوارتر می‌کنند. هر تغییری برازندگی فرد را دگرگون می‌کند، ژن‌هایی که پیشتر مفید بوده دیگر مفید نیستند. انتخاب طبیعی به پیش می‌رود و آلل‌هایی را که در محیط جدید مفیدند برمی‌گزیند. نتیجه این امر سازش جانداران با محیط جدید است. انتخاب توانایی خلق سازش برای محیط‌های مختلف را دارد. توانایی که تنوع حیات به گونه‌هایی فراوان را سبب شده است.



شکل سیاه شاپرک فلفلی از اقسام روشن‌تر پرشمارتر است چراکه این شکل برای پنهان شدن روی تنه درختانی که به واسطه ملانیسم صنعتی سیاه شده‌اند، سازش یافته است |

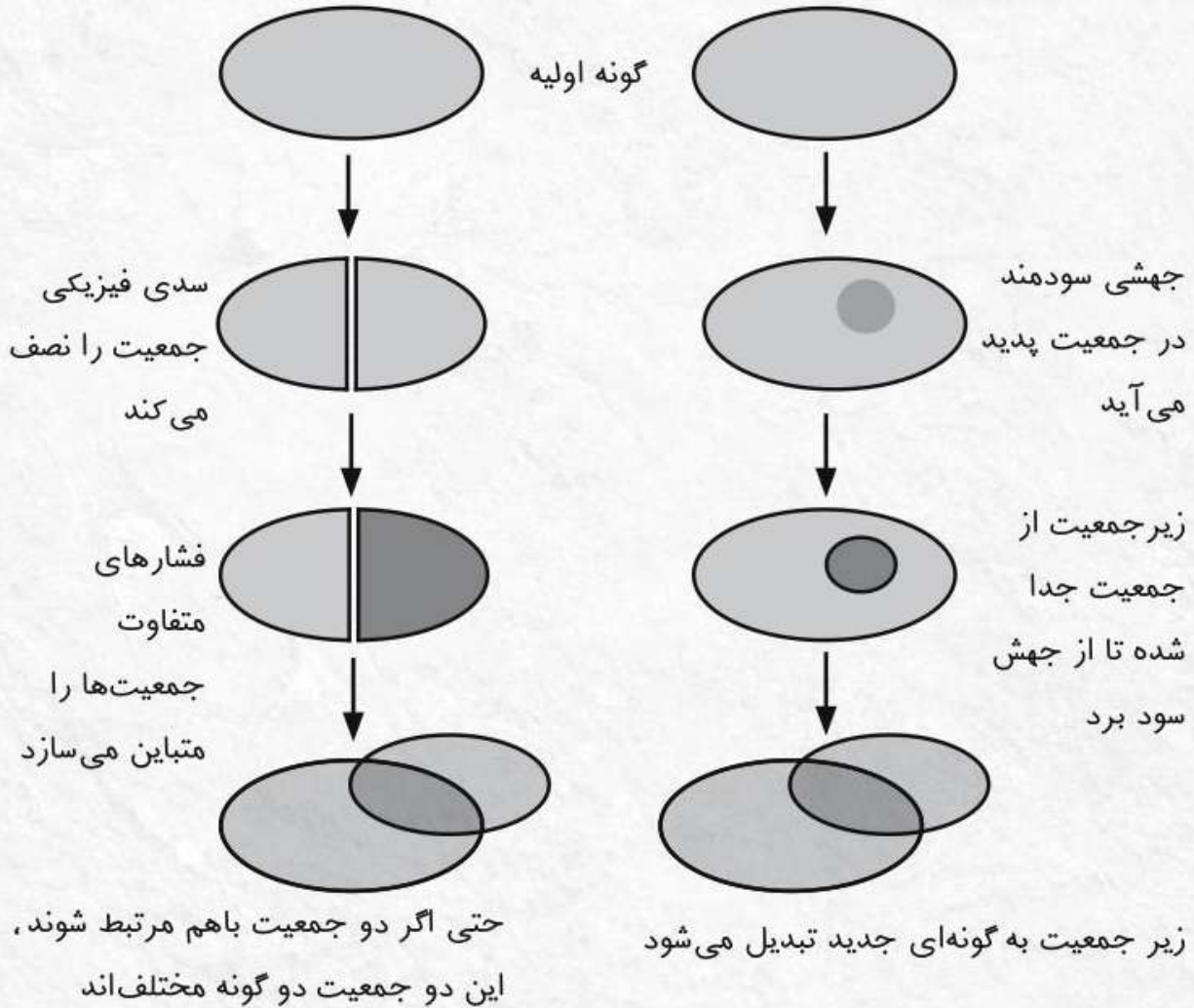
گونه‌زایی

انتخاب طبیعی جانداران را بر اساس محیط تغییر می‌دهد. طی میلیون‌ها سال و تغییراتی جزئی، گروهی از جانداران که اعضای یک گونه شناخته می‌شدند آن قدر تغییر می‌کنند که به گونه‌ای جدید مبدل می‌شوند. این فرآیند دگرگونی گونه‌زایی خوانده می‌شود و به دو شکل عمده روی می‌دهد.

در ساده‌ترین سازوکار، جمعیتی از یک گونه توسط سدی فیزیکی به دو بخش تقسیم می‌شود. شاید تابستانی طاقت‌فرسا برف کوهستانی را آب کرده و به بزها اجازه رفت‌وآمد بین دو دره را داده بود، ولی برف دوباره این راه را بسته است. در این دو زیست‌گاه مواد غذایی و شکارچیان متفاوت وجود دارند. در نتیجه این دو جمعیت به اشکال مختلف تکامل یافته و به دو گونه مختلف بدل می‌گردند. شکل دوم گونه‌زایی (speciation) درون یک جمعیت رخ می‌دهد: یک بز جهش یافته می‌تواند غذایی را که برای باقی بزها سمی است، بخورد. این جهش زیرجمعیتی را به وجود می‌آورد که از این منبع جدید سود می‌برند. آنها با بزهای جهش نیافته درنیامیخته و جمعیت را به دو گونه تبدیل می‌کنند.

گونه زایی دگرمیهنی

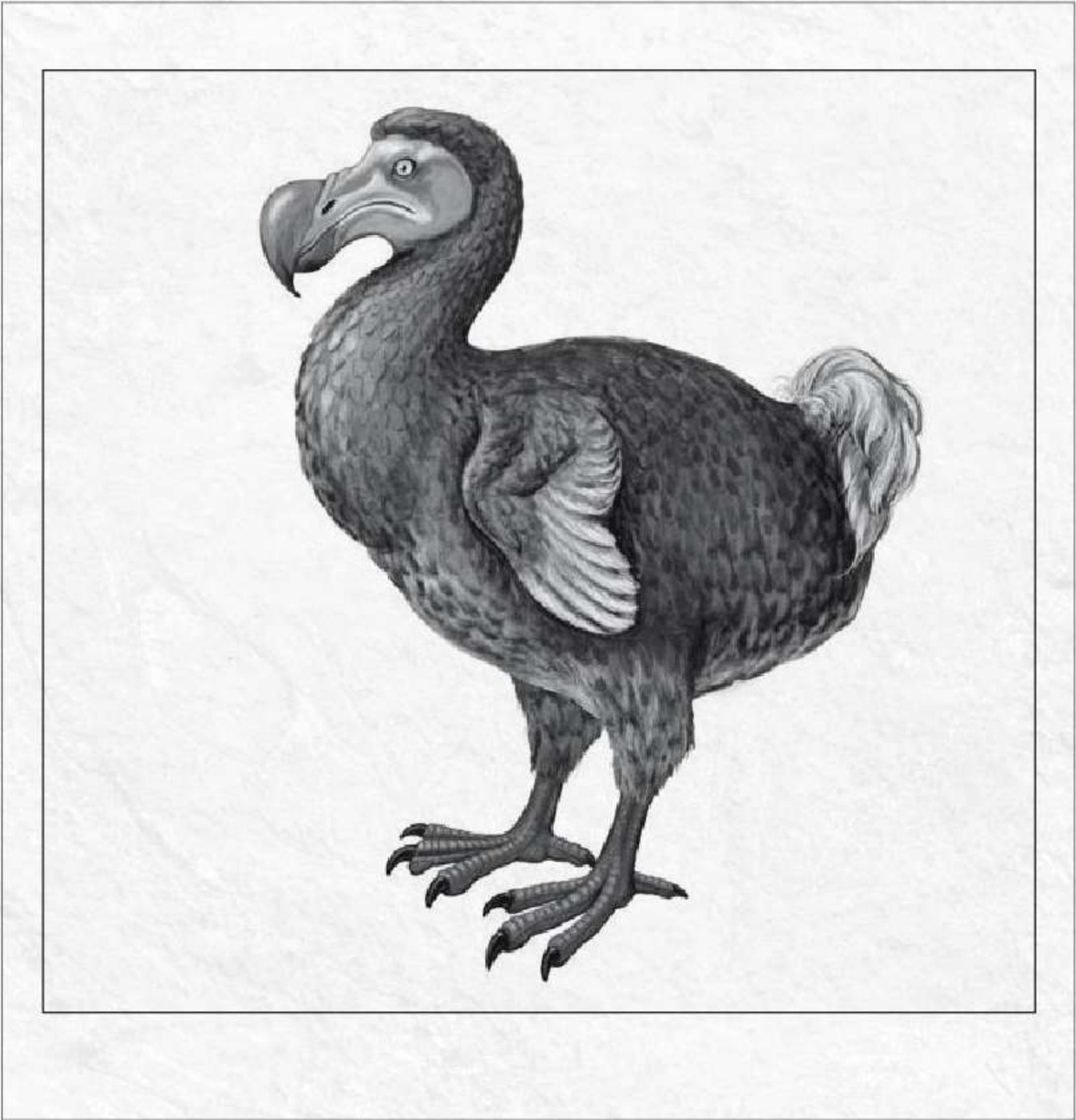
گونه زایی هم میهنی



انقراض

شاید مفهوم انقراض از آن رو که می‌دانیم دایناسورها و جانداران جالب دیگری در گذشته زندگی می‌کرده‌اند مفهومی آشنا و همه‌فهم است. پیش از انقراض «دودو» در جزیره موریس بر اثر شکار بیش از حد در ۱۶۸۸، ایده انقراض یک گونه ایده‌ای دور از ذهن بود. در ۱۸۱۳، آناتومیست فرانسوی ژرژ کویه Georges Cuvier (۱۷۶۹-۱۸۳۲) نشان داد که انقراض رخدادی غیرطبیعی نیست که تنها مسببش انسان‌ها باشند. او نشان داد که بقایای سنگواره‌ای ماستودون با فیل امروزی فرق داشته و گونه‌ای دیگر بوده است. با گذر زمان گونه‌ها منقرض شده و گونه‌های جدید پدید می‌آیند.

بر اساس آماری که اغلب نقل می‌شود، ۹۹ درصد گونه‌هایی که از بدو خلقت پدید آمده بودند منقرض شده‌اند. این آمار نیازمند توضیح بیشتری است. دودو و ماستودون حقیقتاً انقراض یافته‌اند زیرا نه خودشان و نه گونه‌های دختری آنها باقی مانده‌اند، اما در مقیاس بزرگ‌تر می‌توان گفت که دایناسورها تنها شبه‌منقرض شده‌اند چراکه پرندگان کنونی از آنها تکامل یافته و لااقل شماری از ژن‌های دایناسور را حمل می‌کنند.



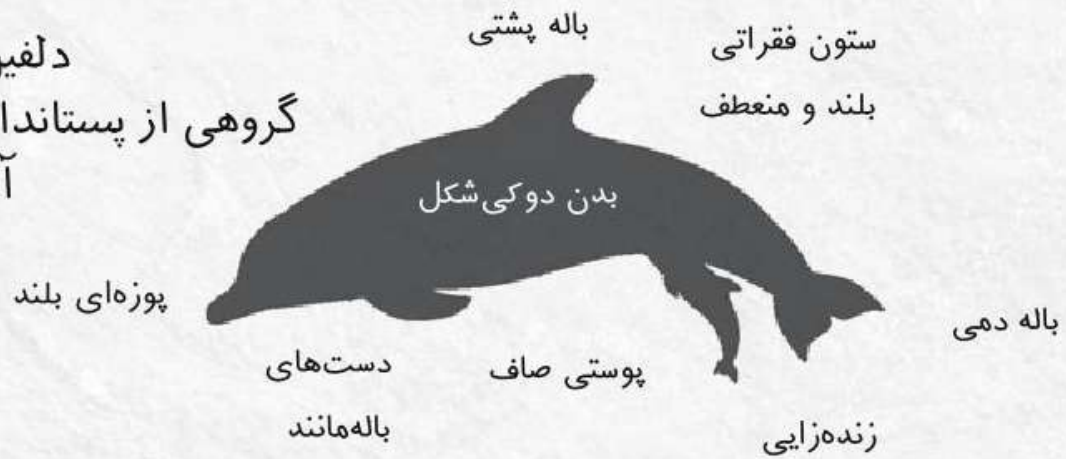
تکامل همگرا

یکی از قوی‌ترین شواهد عملکرد تکامل، تکامل همگراست. در تکامل همگرا (Convergent evolution)، جانورانی با نیاکان بسیار متفاوت به شکل‌هایی مشابه با محیطی یکسان سازش پیدا می‌کنند. مثالی خوبی از تکامل همگرا شکارچیان دریامیانی‌اند؛ جانورانی که در آب‌های آزاد شکار می‌کنند. کوسه‌ها از قدیمی‌ترین این جانوران‌اند: آنها بدنی دوکی‌شکل برای شنا با باله‌های تثبیت‌کننده و دمی عریض برای حرکت به جلو دارند. اکتیوزورها (ichthyosaur)، خزندگانی دریازی که ۹۰ میلیون سال پیش در اقیانوس‌ها شکار می‌کردند، بدنی مشابه کوسه‌ها داشتند. امروزه دلفین‌ها جایگاه مشابه (کنام) را اشغال می‌کنند و آنان نیز بدنی مشابه دارند. ماهی، خزنده و پستاندار همگی مستقلاً تکامل یافتند ولی در نهایت به واسطه فشار تکاملی شکلی مشابه به خود گرفتند. دست نایب‌ای انتخاب طبیعی اغلب تکامل را به یک جهت می‌راند، در نتیجه جانداران نامرتبب سازش‌هایی یکسان را برای بقا در کنامی خاص کسب می‌کنند.

ایکتیوسورها
گروهی از خزندگان
آبی



دلفین‌ها
گروهی از پستانداران
آبی



ژنتیک جمعیت

ژنتیک جمعیت با چگونگی تغییر کثرت آلل‌ها در خزانه ژنی سروکار دارد.

بزرگ‌ترین نیروی دگرگونی خزانه ژنی انتخاب طبیعی است، اما این تنها علت نیست. جهش عامل دیگری است. نرخ پیدایش جهش‌های زیستا بسیار کم است، اما پس از دوره‌های طولانی این جهش‌ها سبب تغییراتی منظم در خزانه ژنی می‌شوند. تغییرات سریع‌تر حاصل رانش ژنی (genetic drift) و شارش ژنی (gene flow) هستند.

رانش ژنی حاصل اقبال است. اتفاقی عجیب می‌تواند بخشی عمده از جمعیت را به همراه آلل‌هایشان از میان ببرد. امکان محتمل‌تر این است که آلل‌ها، نه به خاطر انتخاب طبیعی بلکه به واسطه جنبه‌های تصادفی وراثت، اساساً به نسل بعد منتقل نشوند. شارش ژنی حاصل ورود ژنی جدید به خزانه ژنی است. این ژن در قالب فردی از جمعیتی ناشناس از همان‌گونه از راه می‌رسد.



انتخاب ماده

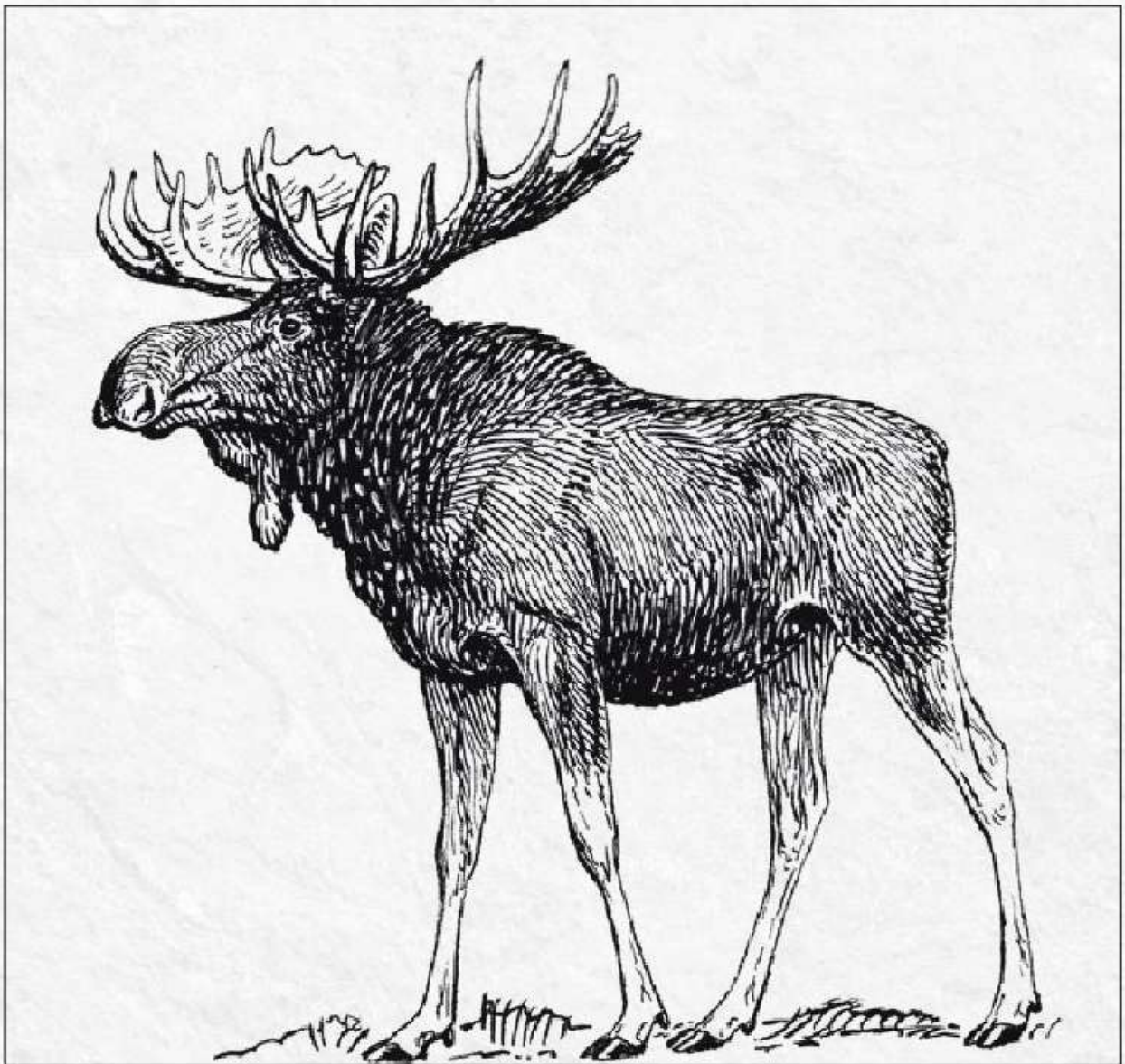
انتخاب طبیعی به مدد نیاز برای تولیدمثل به جریان می‌افتد، اما نرها و ماده‌ها روش‌هایی مختلف برای رسیدن به اهداف تولیدمثلی خود دارند. این تفاوت به تفاوت میان یاخته‌های جنسی یا آنیزوگامی (anisogamy) برمی‌گردد. اسپرم‌ها فقط حاوی نیمی از ژنوم بوده و می‌توان شمار زیادی از آنها تولید کرد. بهترین راه برای جاندار نر پخش این اسپرم‌ها تا جای ممکن برای تولید بیشترین تعداد فرزند است. گزینه‌های ماده بسیار متفاوت‌اند. تخمک‌ها انرژی لازم برای تولید جنین را دارند و از این رو تنها می‌توان شمار اندکی از آنها را ساخت. بعد از لقاح، جاندار ماده باید وقت زیادی را به فرزندش اختصاص دهد تا شانس بقای فرزند افزایش یابد و او در این زمینه نمی‌تواند از نر انتظاری داشته باشد. در نتیجه، ماده‌ها از تخمک‌های اندک خود به واسطه انتخاب ماده به نحو احسن سود می‌برند: ماده باید با دقت برای سرمایه‌گذاری منابع تولیدمثلی گرانبهای خود دست به انتخاب بزند. این انتخاب به رقابت میان نرها منجر شده و اثراتی شگرف بر تکاملشان دارد.



سیاه خروس‌ها بر سر بهترین مکان فخر فروشی باهم رقابت می‌کنند. موفقیت تولیدمثلی
آنها به انتخابشان توسط يك ماده بستگی دارد |

انتخاب جنسی

در ۱۸۷۱، داروین تبارانسان و انتخاب در رابطه با جنس (*The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*) را منتشر کرد و در آن مفهوم انتخاب جنسی را بسط داد. این شکل از انتخاب که عامل جفت (غالباً جفت ماده) است لزوماً به سازش و بقا منجر نمی‌شود، بلکه می‌تواند نتیجه عکس هم داشته باشد. بسیاری از زینت‌های چشمگیر جانوران، چون شاخ‌های گوزن و یا دم طاووس، حاصل انتخاب جنسی‌اند. داروین می‌دانست که انتخاب جنسی می‌تواند از انتخاب طبیعی پیشی گرفته و به صفاتی منجر شود که بقا را مختل می‌کنند. به عنوان نمونه، ماده شاخ‌های بلندتر را می‌پسندد. فرزندان نر نیز شاخ بزرگ درآورده و فرزندان ماده نیز خواهان شاخ‌های بلندند. این مسأله چرخه بازخورد مثبتی را به وجود می‌آورد که به شاخ‌های بزرگ و بزرگ‌تر می‌انجامد - بزرگ‌تر از آن چه برای دفاع نیاز است. نتیجه این فرآیند انتخاب جنس‌هایی به صورت‌های متفاوت است که به دوریختی جنسی (*sexual dimorphism*) می‌انجامند. چنین ساختارهای اغراق‌آمیزی زندگی همه افراد حامل آنها را به صورتی بی‌رحمانه در معرض آسیب و خطر قرار می‌دهند، اما در عوض تنها قوی‌ترین و سالم‌ترین افراد برای تولیدمثل زنده می‌مانند. مثلاً دم بلند طاووس نر نه تنها مزاحم پرواز پرنده نر است، بلکه شکار آنها را برای ببرها آسان می‌کند.



اثر ملکه سرخ

انتخاب جفت در جانوران غالباً شامل پیام‌هایی چون شاخ، دمی با رنگ روشن یا زینتی دیگر است. این پیام‌ها به واسطه انتخاب جنسی به افراط گرویده می‌شوند، ولی در عین حال پیام‌هایی صادقانه‌اند. هزینه تولید یک جفت شاخ بزرگ و متقارن زیاد بوده و این هزینه خود شاهدهی است بر ژن‌های خوب و توانا برای حل مشکلات روزمره و داشتن انرژی اضافه برای رشد شاخ‌هایی بزرگ و اغلب بی‌فایده. فردی با شاخ‌هایی ناخوش و ناقص، ژن‌هایی مناسب بقا ندارد.

عامل دیگری نیز بر صادقانه بودن پیام شاخ اثر دارد. جمعیت گوزن‌ها (و یا هرگونه دیگری) دائماً تحت حمله انگل‌ها و عوامل بیماری‌زایی است که برای رد شدن از حدود دفاعی چاندار تکامل می‌یابند. گوزن برای مقابله با این حملات تکامل می‌یابد و آنهایی که موفق‌اند، سلامت خود را با شاخ‌هایشان به رخ می‌کشند. گرچه گونه در ظاهر تغییر نمی‌کند، اما رقابت تسلیحاتی دائمی میان شکار و شکارچی و میان انگل و میزبان وجود دارد که هرگز پایان نمی‌پذیرد. این پویایی همیشگی، اثر ملکه سرخ نامیده می‌شود؛ در کتاب *ورای آینه (Through the looking glass)* ملکه سرخ به آلیس می‌گوید برای اینکه بر سر جای بایستی، باید همواره در حال دویدن باشی!



لوسی

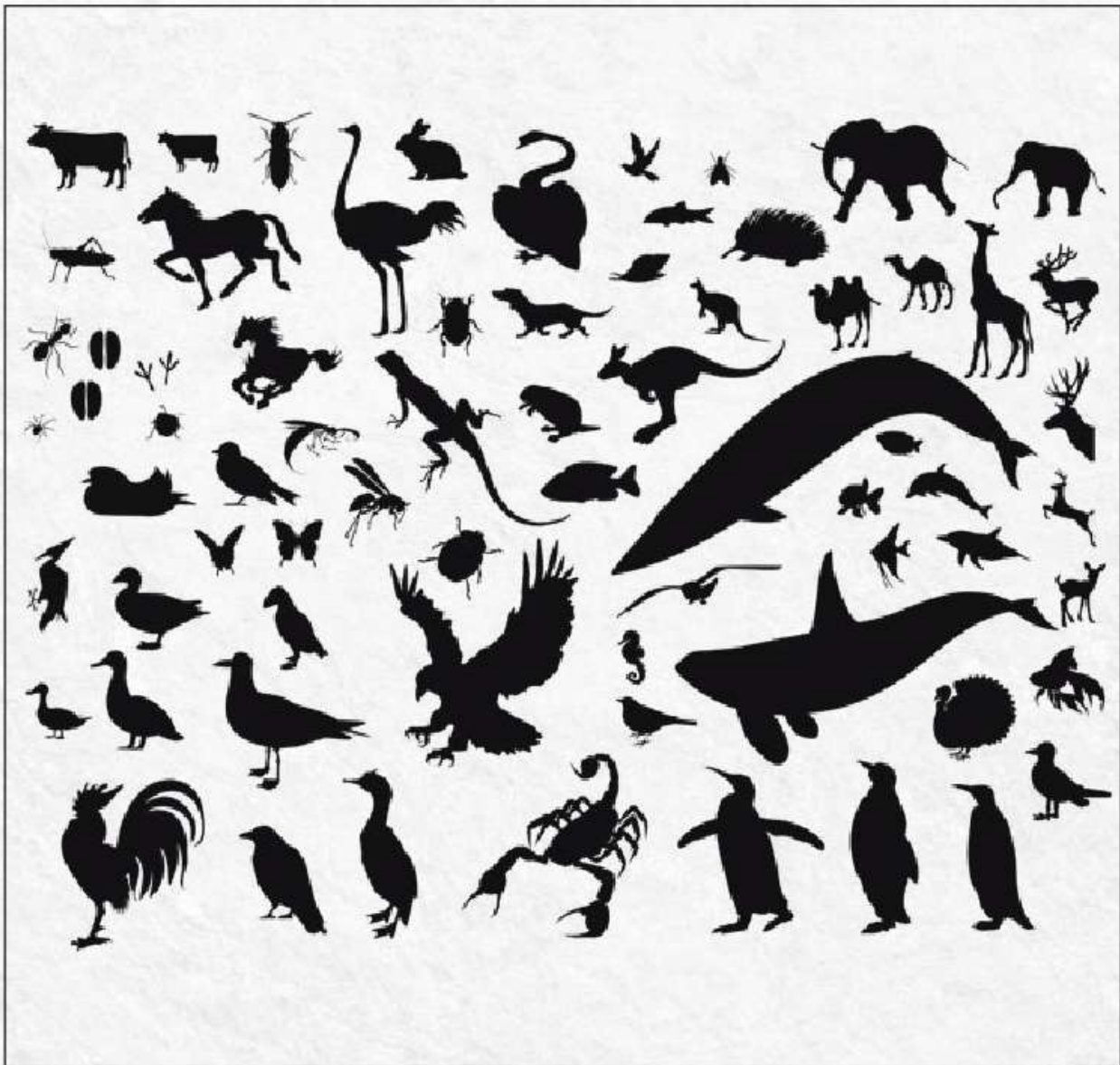
قدیمی‌ترین سنگواره انسان ریخت *Sahelanthropus tchadensis* است. انسان ریختی دوپا که در جنگل‌های چاد می‌زیست، اما هیچ سندی نیست که بتوان آن را نیای مستقیم انسان دانست. لوسی نام سنگواره فردی ماده است از گونه *Australopithecus afarensis*، خویشاوند نزدیک‌تر سرده *Homo* و انسان ریختی دوپا که ۳/۲ میلیون سال پیش در شرق آفریقا می‌زیست. لوسی زمانی که روی دوپا می‌ایستاد کمی بیش از یک متر قد داشت. دستان و انگشتانش به نسبت بدنش بلندتر از دستان و انگشتان ما بودند. این مسأله به این معنی است که او به راحتی از درخت بالا می‌رفت و احتمالاً در درخت‌زارهای باز زندگی می‌کرد. پس از سرده *Australopithecus* سرده *Homo* پیدا شد. گونه‌هایی چون *Homo habilis* (۲/۵ میلیون سال پیش، همه چیزخواری که ابزارهای ساده می‌ساخت) و *Homo erectus* (۱/۹ میلیون سال پیش، اولین گونه‌ای که آتش را تحت فرمان درآورد و از آفریقا خارج شد) به گونه انسان امروزی شبیه‌تر بودند. برخی گونه‌های انسان ریخت دیگر نیز پس از *Homo erectus* در آسیا و اروپا گسترش یافتند؛ نیاندرتال‌ها مهم‌ترین آنها بودند که موهایی بور، پوستی روشن و چشمانی آبی داشتند. گونه انسان امروزی یا *Homo sapiens* حدود ۲۰۰ هزار سال پیش در آفریقا پیدا شد و ۱۰۰ هزار سال پیش به اوراسیا رفت.



قطعات سیاه مجموعه لوسی برای ساخت مدلی کامل استفاده شده‌اند |

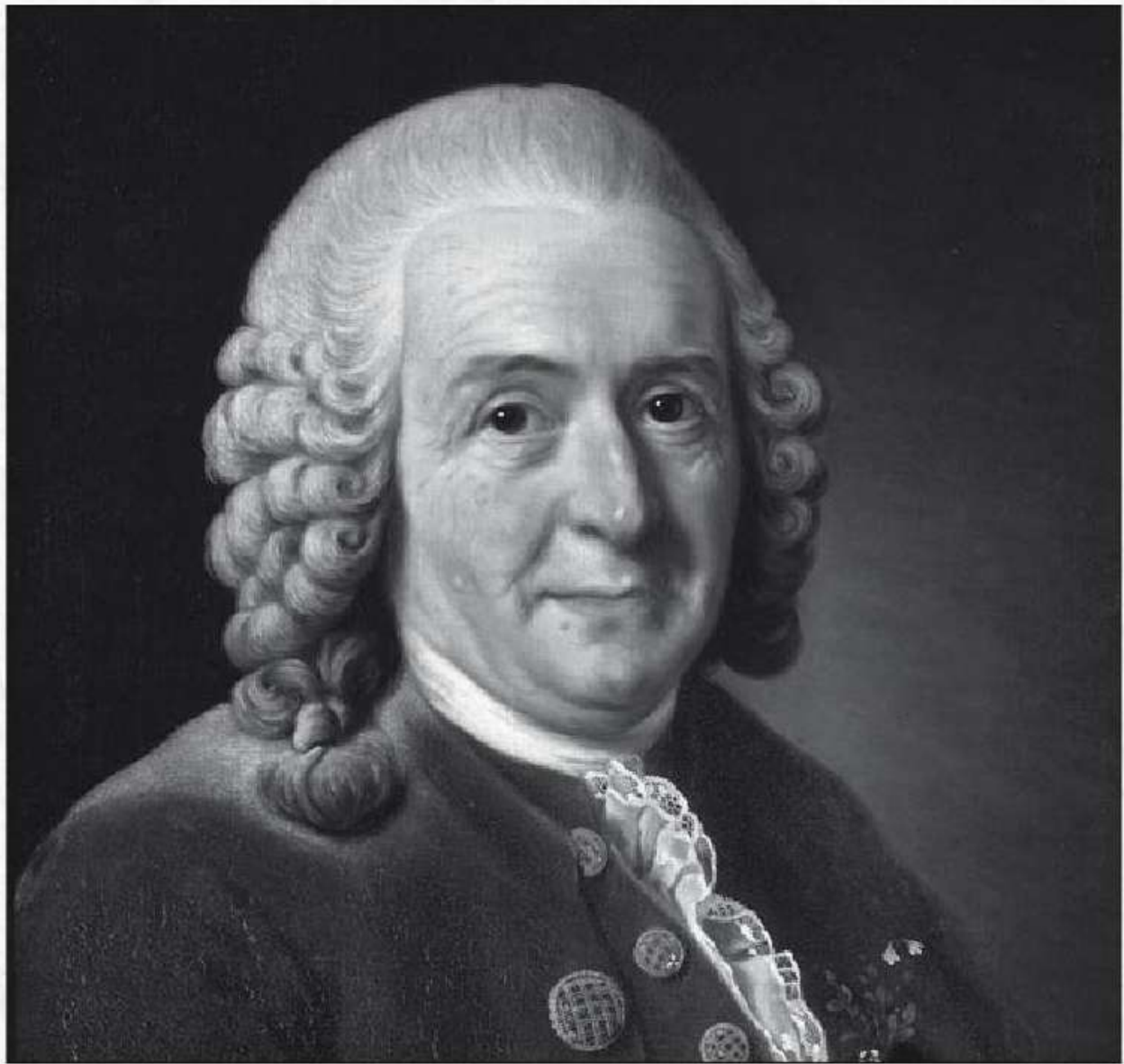
رده‌بندی

علم جدید زیست‌شناسی و ژنتیک از آگاهی روزافزون ما درباره تنوع حیات روی این کره خاکی منشا می‌گیرد. اولین زیست‌شناسان درصدد دسته‌بندی حیات در گروه‌هایی معنادار بودند. این فرآیند رده‌بندی - به شکلی علمی‌تر تاکسونومی (taxonomy) - خوانده می‌شود. در شکل نوین‌اش، به تاکسونومی اغلب به‌عنوان بخشی خسته‌کننده از زیست‌شناسی نگاه می‌شود، حوزه‌ای پیچیده از جزئیات آناتومی و اسامی ملال‌آور لاتین. آرایه‌شناسان در حدود یک میلیون گونه را رده‌بندی کرده‌اند و تخمین زده می‌شود که این یک میلیون تنها ۱۰ درصد کل جاندارانی باشند که روی این کره خاکی زندگی می‌کنند. شکل جدید این حوزه سنخیتی با دوره‌ای که در آن کشیدن طرحی از جانداران و نام نهادن بر آنها هدف رده‌بندی بود، ندارد. امروزه این حوزه به همان میزان سرگرم یافتن نیاکان جانداران در درازنای تاریخ طبیعی است که معطوف به دسته‌بندی بیش‌ازپیش حیات است.



کارل لینه

بنیان‌گذار تاکسونومی یا آرایه‌شناسی، کارل فون لینه (Carl von Linné) (۱۷۰۷-۷۸) طبیعی‌دان سوئدی است که بیشتر با ضبط لاتین نامش (Carolus Linnaeus) شناخته می‌شود. لینه اولین کسی نبود که دست به رده‌بندی موجودات بر اساس اسلوبي مشخص زد. ارسطو پیش از او چنین هدفی را دنبال کرده بود، گرچه او اشتباهات بزرگی نیز مرتکب شد. برای مثال، او فرض کرد دلفین‌ها (دلفین به یونانی «ماهی رحم دار» معنی می‌دهد) نوعی ماهی‌اند. اشتباه ارسطو گروه‌بندی موجودات تنها بر اساس محیط‌زیست و نحوه زندگی آنها بود. لینه مسأله تلقی دلفین به‌عنوان ماهی را در کتاب *Systema Naturae* (سیستماتورای به معنی نظام طبیعت) حل کرد. سیستم لینه بر خصوصیات آناتومیک مبتنی بود و جانداران را بر اساس صفات مشترکشان در گروه‌هایی تو در تو، قرار می‌داد. فهرست کامل لینه حاوی ۱۰۰۰۰ جاندار بود که ۶۰ درصدشان گیاهان بودند؛ تعجبی ندارد، چون او گیاه‌شناس و باغبانی خیره بود. با وجود تغییرات و بازبینی‌های بسیار، هنوز هم شمار زیادی از روش‌ها و نظام‌هایی که لینه در *Systema Naturae* مطرح کرد، در آرایه‌شناسی امروز کاربرد دارند.



نام‌گذاری لینه‌ای

لینه از آن‌رو از ضبط لاتین اسمش استفاده می‌کرد که لاتین در آن زمان زبان مشترک دانشمندان اروپایی بود. هر اثر بزرگی به لاتین نگاشته می‌شد تا دانش با گذر از مرزهای زبانی گسترش یابد. بنابراین جای تعجب نیست که او از لاتین و یونانی برای نام‌گذاری جانداران در کتاب *Systema Naturae* سود جست. این سنت تا به امروز باقی مانده چراکه از کژفهمی جلوگیری می‌کند. از این مهم‌تر، لینه سیستمی دونا می را برای نامیدن گونه‌ها برگزید. مثلاً نام شیر در سیستم لینه *Panthera leo* است. در نظام دونا می، تنها واژه اول با حرف بزرگ نوشته می‌شود، چون از نظر دستور زبان لاتین، «اسم» است، در حالی که واژه بعدی «صفت» است و باید با حرف کوچک آغاز شود. هر دو این واژه‌ها باید ایتالیک یا کژنویس باشند، مگر اینکه در بافتار متنی کژنویس قرار بگیرند؛ در این صورت باید برخلاف بقیه متن و به صورت معمولی نوشته شوند. *Panthera* نام سرده است و *leo* صفت آن. خود *leo* به تنهایی نام علمی نیست، بلکه در کنار نام سرده، نام علمی گونه را می‌سازد. در سرده *Panthera* به جز شیر، گونه‌هایی چون ببر (*Panthera tigris*) و پلنگ (*P. pardus*) هم قرار دارند که در نام سرده مشترک ولی در صفت گونه‌ای، متفاوت‌اند.

CAROLI LINNÆI

I. QUADRUPEDIA.

Corpus quadrupes. Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo

II. AVES.

Corpus plumosum. Alæ duæ. Pedes duo. Nares albas. Fimem virgatum.

III. AMPHIBIA.

Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.

	I. QUADRUPEDIA.	II. AVES.	III. AMPHIBIA.
ANTHROPOMORPHICA Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo	<p>Homo Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Simia Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Brodypus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>Pinnacus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Strix Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Falco Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>Tritudo Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.</p> <p>Rana Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.</p> <p>Lacerta Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.</p> <p>Anguis Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.</p>
MAMMALIA Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo	<p>Ursus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Leo Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Tigris Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Felis Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Mustela Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Dulopha Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Lama Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Odobenus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Phoca Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Hyena Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Canis Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Urocyon Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Talpa Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Eriacus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Vulpes Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>Parus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Coccyus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Corvus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Cuculus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Picus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Corchia Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Sitta Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Upupa Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Ipseus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Grus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Ciconia Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Ardea Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>Amphibia Corpus nudum, vel squamosum. Quatuor pedes. Nares albas. Fimem virgatum.</p>
ORNITHES Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo	<p>Hyrcus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Sciurus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Castor Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Mus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Lepus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Sorex Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Equus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Hippopotamus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Elephas Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Sus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Camelus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>Planctus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Pelecanus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Cygnus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Anas Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Mergus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Graculus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Colymbus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Larus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Hemipterus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Chiropterus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Vandus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Tringa Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Nematodes Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Fulica Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Scolopax Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Cathartes Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Oria Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Favo Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Nidagria Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Grallina Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p> <p>Ternus Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo</p>	<p>PARADOXA</p> <p>Hyrcus corpus argenteo, pedibus dextris, collis et pennis, et tricornibus capibus, alaribus capris, adhaerentibus. Habitat in insulis. Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo.</p> <p>RANA - Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo.</p> <p>LACERTA - Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo.</p> <p>ANGUIS - Fides quatuor. Fimem virgatum. Latitudo.</p>

گونه

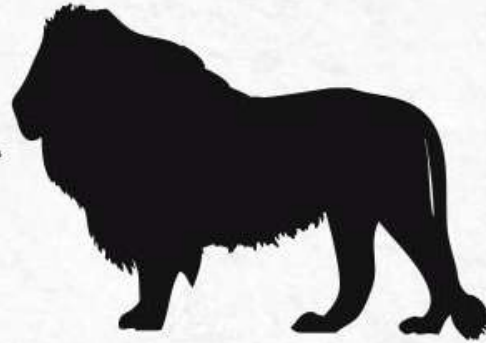
گونه کوچک‌ترین واحد در نظام رده‌بندی است. گونه به گروهی از جانداران گفته می‌شود که در خصوصیات فیزیکی پرشماری باهم سهیم‌اند و خزانه ژنی مشترکی دارند. شاید تصور کنید که اعضای یک گونه به این دلیل در یک گونه قرار گرفته‌اند که ویژگی‌های مشترک فراوانی باهم دارند و به یکدیگر شبیه‌ترند تا به افراد گونه‌های دیگر؛ تصوری که غالباً درست است، ولی نه همیشه. در اصل، مهم‌ترین عامل تعریف یک گونه این است که اعضایش می‌توانند باهم آمیخته و زاده‌هایی زیستا و زایا به وجود آورند. این مسأله در مطالعه گونه‌های همزاد (cryptic species) اهمیت زیادی دارد. گونه‌های همزاد دو جمعیت از جانوران‌اند - اغلب پرندگان، ماهی‌ها یا خفاش‌ها - که از منظر آناتومی نمی‌توان از یکدیگر تمیزشان داد، لیکن این دو جمعیت باهم نیامیخته و در نتیجه باوجود شباهت ظاهری، به دو گونه مختلف متعلق‌اند. به علاوه بسیاری از گونه‌ها شامل زیرگونه‌ها و جمعیت‌هایی می‌شوند که ممکن است تفاوت‌های ظاهری بسیار باهم داشته، ولی می‌توانند باهم بیامیزند. گونه‌های حلقوی شامل جمعیت‌هایی است که به گرد عارضه‌ای جغرافیایی یا کره زمین پراکنده‌اند؛ هر جمعیت با جمعیت مجاور خود قادر به تولیدمثل است، اما جمعیت‌هایی که در دو سوی عارضه جغرافیایی به هم می‌رسند، آنقدر تفاوت یافته‌اند که دیگر قادر به تولیدمثل باهم نیستند.



آرایه

گونه و سرده مثال‌هایی از آرایه یا تاکسون اند. تاکسون (Taxon) برگرفته از واژه‌ای یونانی به معنای نظم است. در نظام رده‌بندی هر جاننداری درون گونه‌ای قرار دارد که خزانه ژنی مشترکی با اعضای دیگر آن گونه دارد. گونه‌ها نیز در گروه‌هایی فراگیرتر قرار می‌گیرند. هر گونه درون سرده‌ای قرار دارد و هر سرده دست‌کم شامل یک گونه است. هر سرده نیز زیرمجموعه خانواده‌ای است. برای مثال سرده گربه‌های بزرگ (*Panthera*) به خانواده گربه‌سانان (*Felidae*) تعلق دارد. نام لاتین سرده و گونه ایتالیک نوشته می‌شود، اما نام خانواده و آرایه‌های بالاتر ایتالیک نیست. آرایه بعدی راسته است. *Felidae* به همراه سگ‌سانان (*Canidae*)، خرس‌سانان (*Ursidae*) و سایر خویشاوندان نزدیکشان به راسته گوشتخواران (*Carnivora*) تعلق دارند. این راسته عضو رده پستانداران (*Mammalia*) است. پستانداران خود به شاخه طناب‌داران (*Chordata*) تعلق دارند. مهره‌داران دیگر چون خزندگان و ماهی‌ها هم عضو این شاخه‌اند. در رده‌بندی گیاهی به جای شاخه از بخش (*division*) استفاده می‌شود. در نهایت چند شاخه درون یک فرمان‌رو (*kingdom*) قرار می‌گیرند. فرمان‌روهای گیاهان، جانوران، قارچ‌ها و چندین فرمان‌رو دیگر، در دامنه (*Domain*) یوکاریوت‌ها قرار می‌گیرند که یکی از سه دامنه جانداران است.

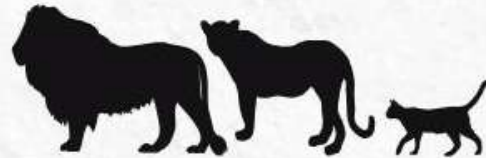
Panthera leo گونه



Panthera سرده



خانواده گربه سانان



راسته گوشتخواران



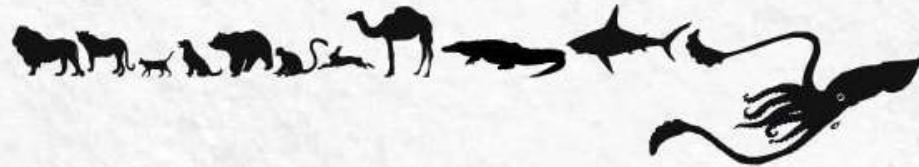
رده پستانداران



شاخه طنابداران

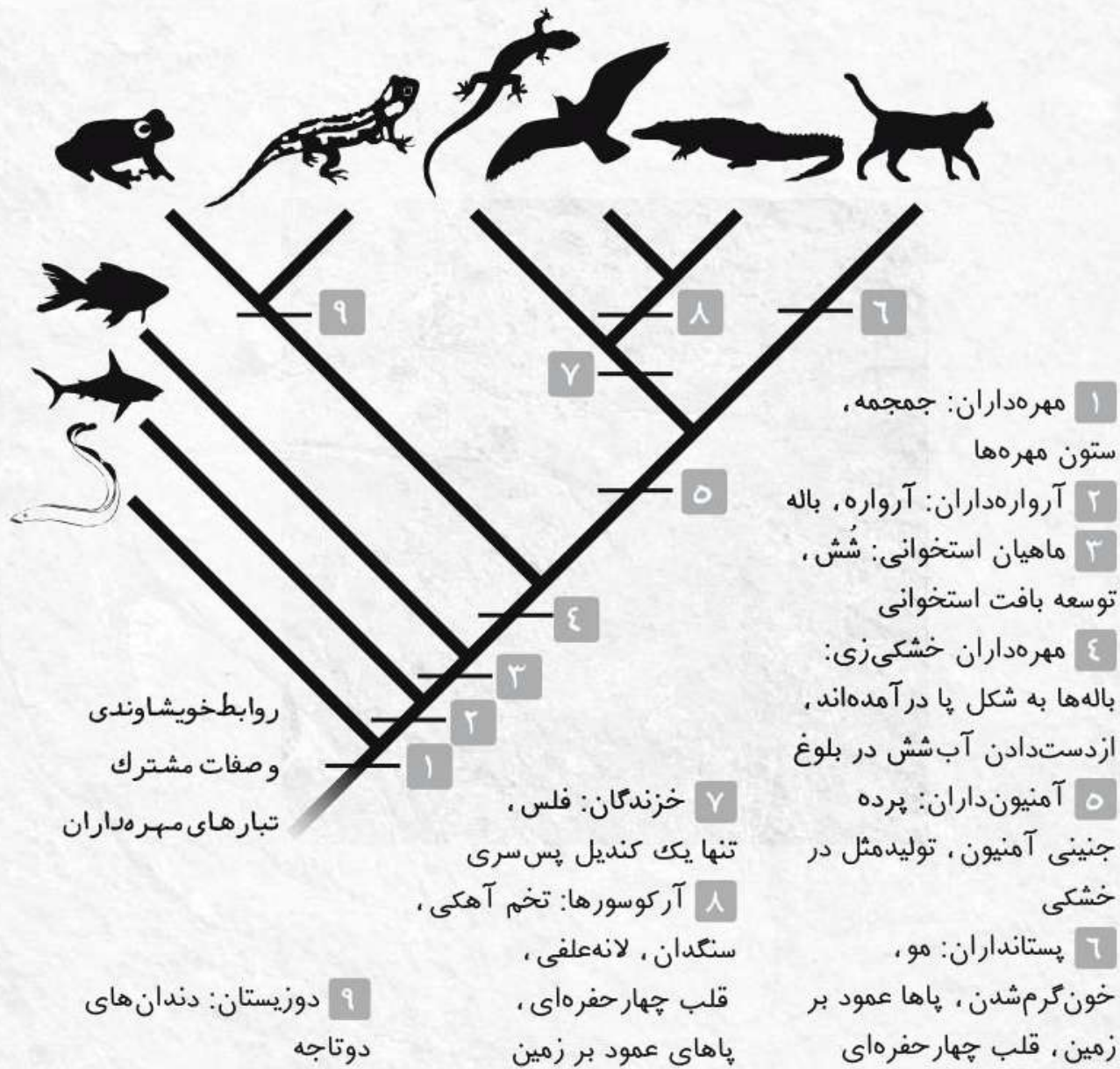


فرمان رو جانوران



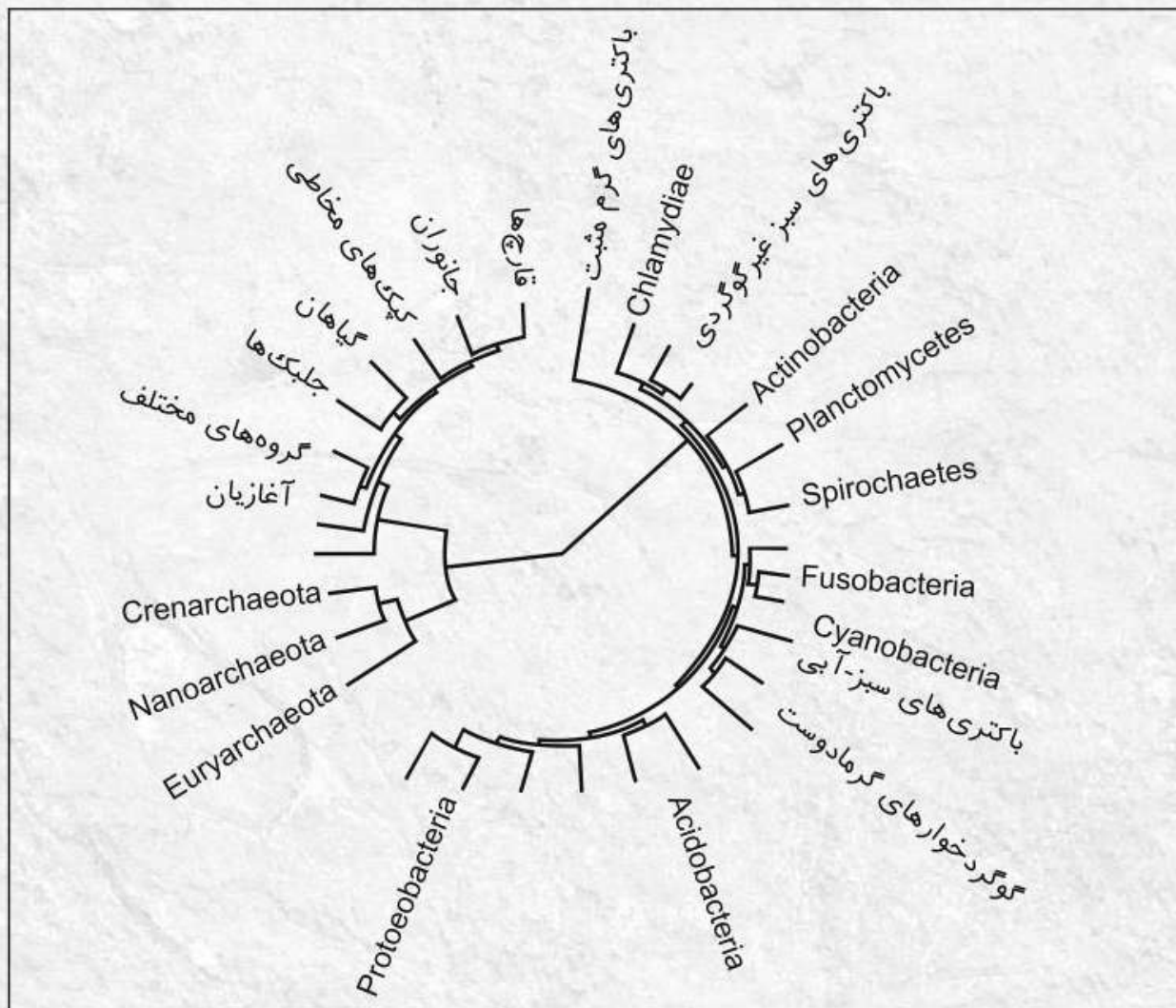
کلادیستیک

در وهله اول، این گونه به نظر می‌رسد که رده‌بندی امروزی بر همان اسلوبی استوار است که لینه در دهه ۱۷۵۰ ابداع کرد. امروزه همچنان از نظام دونا می و رده‌بندی آرایه‌ها که میراث لینه‌اند، سود می‌بریم اما در قرن بیستم، روشی نو برای رده‌بندی موجودات به‌مرور غالب شد. بر اساس این روش، که کلادیستیک (Cladistics) خوانده می‌شود، گونه‌ها نه بر اساس شباهت‌های ظاهری، بلکه بر مبنای خویشاوندی تکاملی‌شان رده‌بندی می‌شوند. هر گروهی از موجودات زنده که نیایی مشترک دارد تبار (clade) نامیده می‌شود. روش کلادیستیک مطالعه و رده‌بندی گونه‌های منقرض به‌علاوه گونه‌های زنده را ممکن می‌کند. در نبود DNA، دانشمندان از مطالعه آماری صفات تشریحی برای یافتن محتمل‌ترین رابطه میان جانداران سود می‌برند. رده‌بندی کلادیستیک بسیار عینی‌تر و علمی‌تر از رده‌بندی سنتی است، به‌همین دلیل به‌سادگی با کشف شواهد جدید، تغییر می‌کند. مثال خوبی از تغییرات رده‌بندی که از روش کلادیستیک ناشی شده، رده‌بندی خزندگان و پرندگان است: به‌طور سنتی پرندگان رده‌ای جدا از خزندگان هستند، ولی طبق شواهد تکاملی، پرنده‌ها و تمساح‌ها نزدیک‌ترین خویشاوندان یکدیگرند، بنابراین در رده‌بندی‌های نوین، پرنده‌ها، مانند تمساح‌ها، زیرگروهی از خزندگان هستند.



فرمان‌روها و دامنه‌ها

یکی از اهداف رده‌بندی ارائه تصویر کلی از حالات روی این سیاره است. لینه از آرایه‌ای به نام فرمان‌رو به این منظور سود جست. بر اساس بندی رده لینه، همه جانداران یا به فرمان‌روی جانوران تعلق دارند و یا به فرمان‌روی گیاهان. با کشف جانداران میکروسکوپی تک‌یاخته‌ای، پرسش این بود که آیا این جانداران گیاه‌اند و یا جانور. قارچ‌ها بعدتر در فرمان‌رویی جدا از گیاهان قرار داده شدند. ساده‌ترین این سیستم‌های رده‌بندی پنج فرمان‌رو داشت: جانوران، گیاهان، قارچ‌ها، آغازیان (آمیب‌ها و غیره) و باکتری‌ها. سپس در ۱۹۷۷، تحلیل‌های DNA نشان داد که بسیاری از یاخته‌هایی که به باکتری می‌مانند در حقیقت جاندارانی متفاوت به نام آرکی (Archaea) هستند. تحلیل‌های بیشتر نشان داد کل جانداران را می‌توان به سه دامنه تقسیم کرد: آرکی‌ها، باکتری‌ها و دامنه سومی که شامل تمامی یوکاریوت‌ها است. امروز دامنه یوکاریوت‌ها به جز فرمان‌روهایی از قبیل جانوران، گیاهان و قارچ‌ها، شامل حدود بیست فرمان‌رو دیگر است که در گذشته همه را به سادگی «آغازی» می‌نامیدند، اما تحلیل‌های کلادیستیک نشان داده که آنها تبارهایی جداگانه هستند.

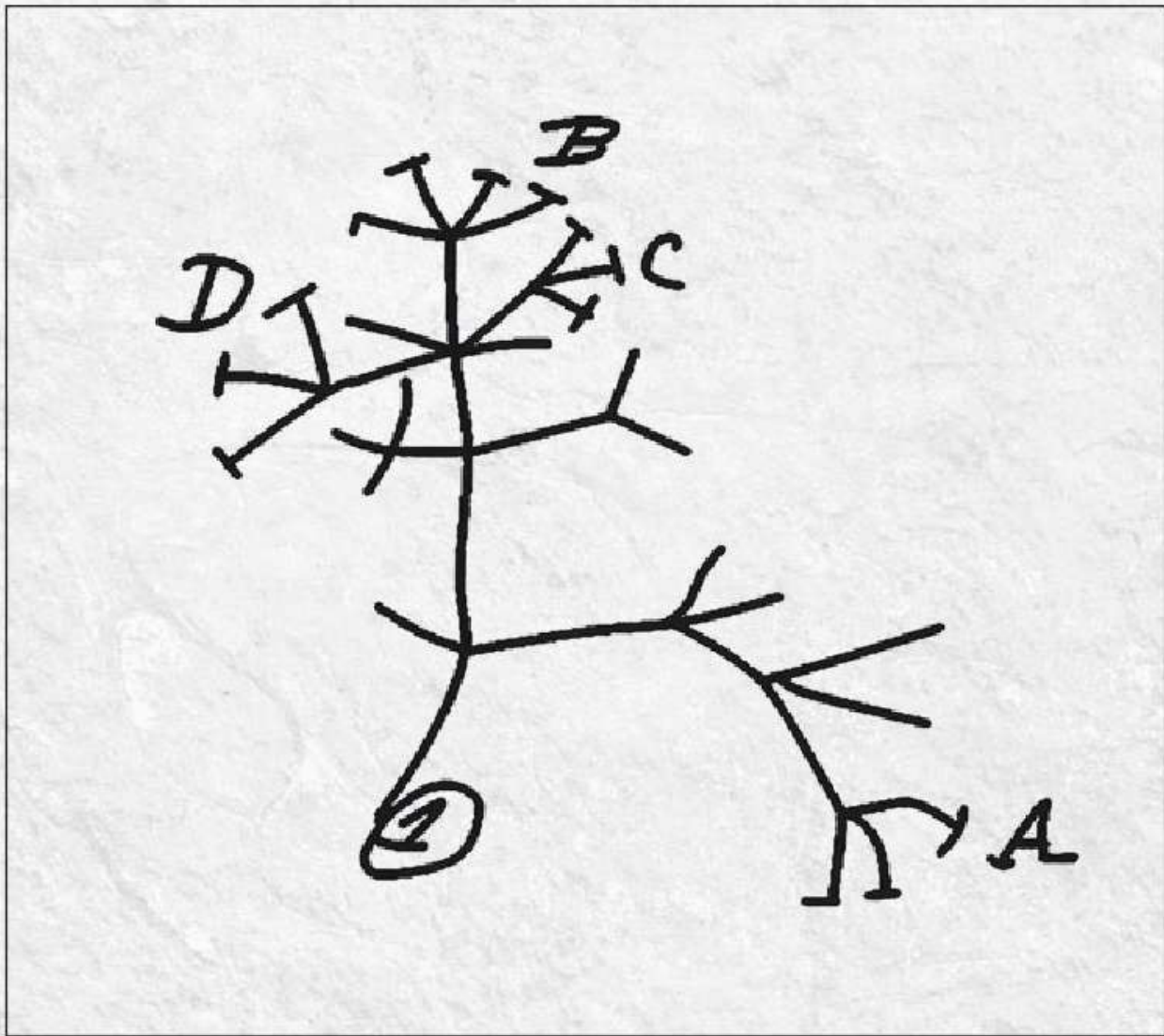


این نمودار نسبت‌های مختلفی از موجودات را که در هر دامنه زندگی می‌کنند نشان می‌دهد. فرمان‌روهای گیاهان، جانوران و قارچ‌ها تنها سه شاخه را اشغال می‌کنند |

درخت حیات

تنها تصویر در کتاب خاستگاه گونه‌های داروین درختی است که نشان می‌دهد چگونه تکامل به واسطه انتخاب طبیعی به گونه‌زایی منجر می‌شود. داروین این فرآیند را به رشد بوته‌ای بر کرانه‌ای شیب‌دار تشبیه می‌کرد، اما این مفهوم را به نام درخت حیات (Tree of Life) می‌شناسند. تا به امروز هم بهترین روش برای نشان دادن تنوع زیستی حاصل از انتخاب طبیعی است.

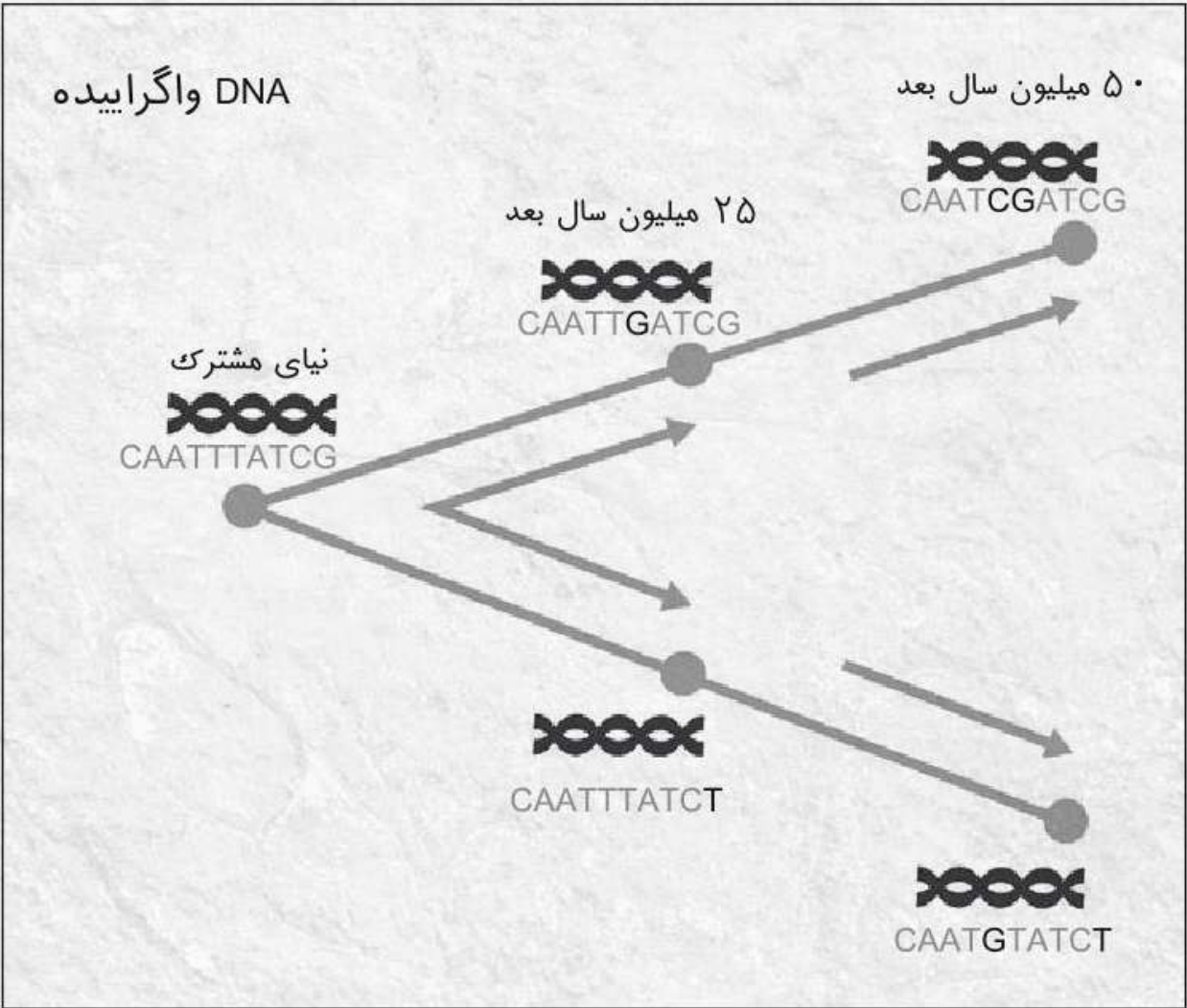
تنه درخت نشانگر نیاکانی قدیمی است که بقیه موجودات از آنان تکامل یافتند. این تنه به سه شاخه (دامنه) تقسیم می‌شود و هرکدام از این شاخه‌ها نیز خود به شاخه‌هایی کوچک‌تر منشعب می‌شوند. کل گیاهان و جانوران و قارچ‌ها، تنها سه شاخه از این درخت را اشغال می‌کنند و پستانداران به‌مثابه جوانه‌ای ناچیز هستند. سرشاخه‌های این درخت را جانداران کنونی روی زمین تشکیل داده و فاصله بین این سرشاخه‌ها، فاصله تکاملی بین آنها را منعکس می‌کند. برخی سرشاخه‌ها نیز گونه‌های منقرض‌شده را نشان می‌دهند و تنه شاخه‌ها نیز روند تکامل و خویشاوندی میان گونه‌های مختلف (چه زنده و چه منقرض‌شده) را نمایش می‌دهند.



این نمودار درختی ساده تفکر داروین در حین صورت‌بندی نظریه تکاملش را نشان می‌دهد |

ساعت مولکولی

سنگواره‌ها ناقص اند و شاید هرگز نتوانیم نمونه‌هایی را بیابیم که نیای مشترک گونه‌های امروزی هستند. اما تحلیل ژنوم روشی متفاوت برای یافتن سن نیاکان مشترک میان جانداران زنده ارائه می‌کند. هرگونه ژنومی خاص دارد که در قالب رشته‌ای از حروف ATGC است. ساعت مولکولی (Molecular clock) تفاوت حروف ژنوم دو گونه (معمولا ژنوم میتوکندری آنها) را بررسی می‌کند. این روش به این دلیل ممکن است که DNA میتوکندری برخلاف DNA هسته، که هر نسل دستخوش نو ترکیبی می‌شود، مستقیما از طرف مادر به ارث می‌رسد. تغییرات در میتوکندری تنها به واسطه جهش و با آهنگی کم و بیش ثابت، مانند تیک‌تاک ساعت، پدید می‌آیند. بنابراین تفاوت‌های میان خویشاوندان نزدیک، کمتر از خویشاوندان دور است و با دانستن نرخ تغییرات و میزان تفاوت ژنوم میتوکندری دو گونه، می‌توان زمان انشقاق آنها از نیای مشترکشان را تخمین زد. برای مثال نیای مشترک اسب و خر ۱۰ میلیون سال پیش می‌زیسته، نیای مشترک اسب و کرگدن (که نیای خر هم هست) ۵۴ میلیون سال پیش می‌زیسته، درحالی که نیای مشترک اسب و پشه (که نیای کرگدن و خر هم هست)، ۷۹۴ میلیون سال پیش می‌زیسته است.



تفاوت‌های انباشته شده در رمز ژنتیکی دو جاندار را که از جهش‌های تصادفی نشأت می‌گیرند، می‌توان برای تخمین زمان واگرایی دو گونه در گذشته به کار برد |

بوم‌شناسی

هیچ جاننداری تنها نیست. ژن‌ها و فنوتیپ‌های حاصل آنها همگی با محیط برهم‌کنش دارند. واژه انگلیسی برای بوم‌شناسی (Ecology) برگرفته از واژه‌ای یونانی است که «مطالعه خانه» معنی می‌دهد. بوم‌شناسی حوزه‌ای علمی است که به اثر این برهم‌کنش‌ها میان جانداران مختلف و محیط زیست آنها می‌پردازد. بوم‌شناسان تنها زیست‌شناس نیستند، بلکه باید از زمین‌شناسی، اقیانوس‌شناسی و اقلیم‌شناسی نیز استفاده کنند.

با این همه و با تمام آنچه گفته شد، پژوهش بوم‌شناختی اگر نگوئیم ناممکن، بیش‌ازپیش پیچیده است. در نتیجه، بوم‌شناسان مدل‌هایی از جوامع زیستی شکل می‌دهند. این مدل‌ها می‌توانند محدود به زیستگاهی خاص باشند یا جهان‌شمول، مانند فرضیه گایا (Gaia Hypothesis) که به زمین به شکل یک سیستم بوم‌شناختی خودتنظیم‌گر می‌نگرد. هدف مدل‌های بوم‌شناختی فهم عواملی است که موفقیت یا شکست جوامع طبیعی را مشخص کرده و مهم‌تر از آن، اثر انسان را بر این جوامع با در نظر گرفتن فعالیت‌هایی چون تخریب زیستگاه و آلودگی پیش‌بینی می‌کنند.

۲۳۴ بوم‌شناسی

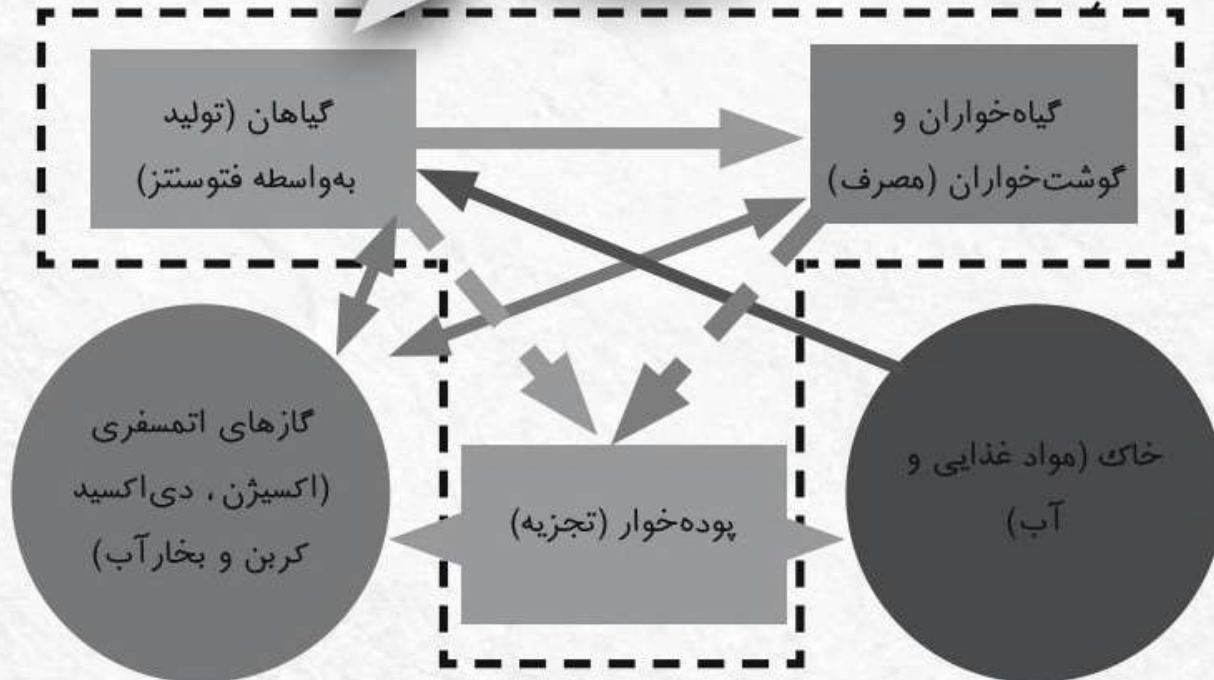


بوم‌سازگان

این واژه احتمالاً واژه‌ای آشنا ولی گنگ است. از منظر علمی بوم‌سازگان (Ecosystem) روشی است برای توصیف جامعه‌ای که در محیطی خاص زندگی می‌کند. در واقع چنین بوم‌سازگان‌هایی وجود خارجی نداشته و مرز مشخصی میان جوامع زیستی نیست. با وجود این، مفهوم بوم‌سازگان برای فهم عوامل بوم‌شناختی کلیدی در یک زیست‌گاه سودمند است. هر بوم‌سازگان را عامل بوم‌شناختی‌اش تعریف می‌کند. این عوامل می‌توانند زنده (biotic) یا غیرزنده (abiotic) باشند، عوامل زنده برهمکنش‌ها (رقابت بر سر غذا، شکار و روابط انگلی) میان گونه‌های مختلف در زیست‌گاه‌اند. عوامل غیرزنده، شیمی خاک، منابع آبی و تغییر آب‌وهوا را شامل می‌شوند. مدل‌های بوم‌شناختی نشان می‌دهند که چگونه یک بوم‌سازگان به تغییر این عوامل یا افزوده شدن عاملی جدید پاسخ می‌دهد.

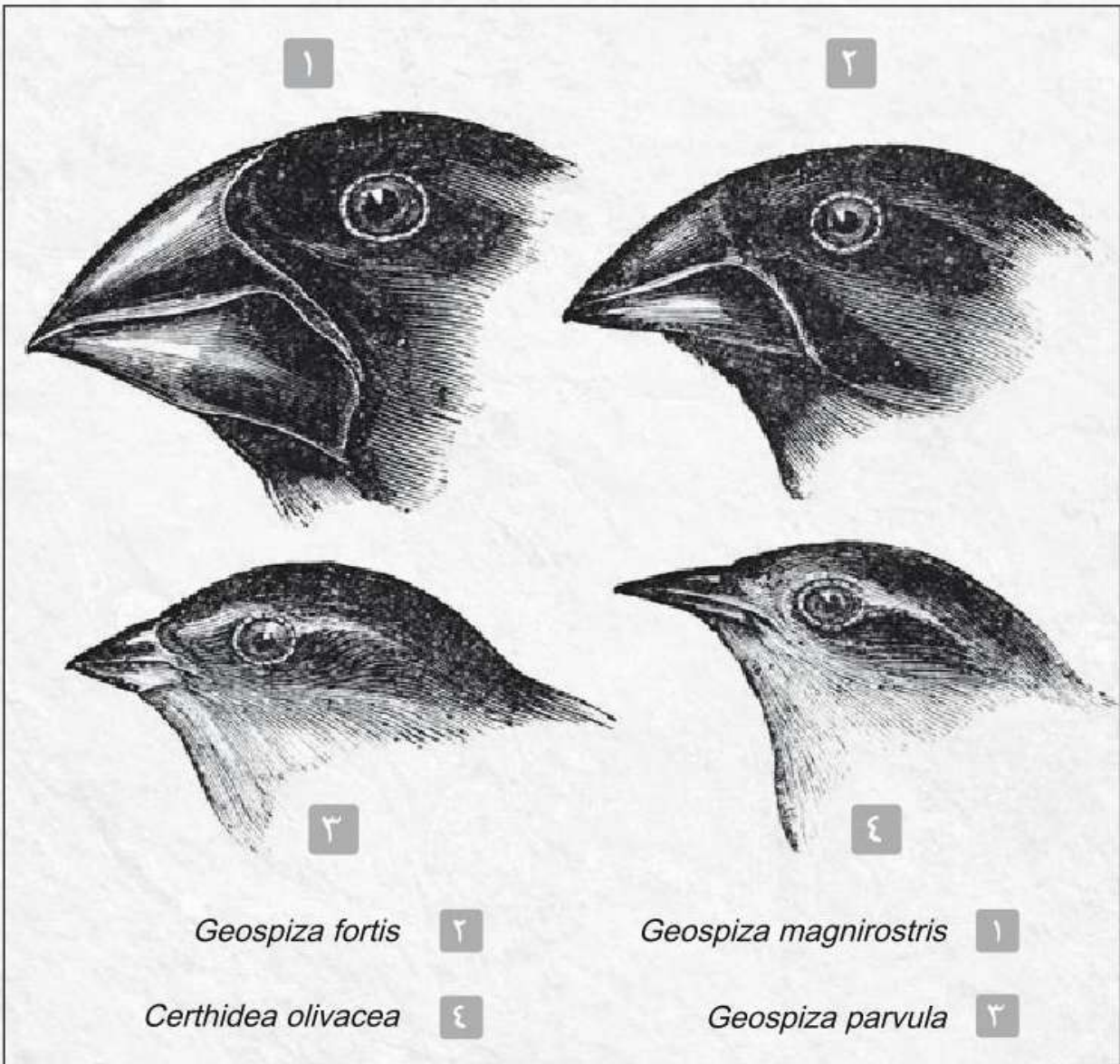
خورشید
(منبع انرژی)

عوامل زنده



کنام بوم‌شناختی

کنام بوم‌شناختی (Ecological niche) هر گونه کنامی را در بوم‌سازگان اشغال می‌کند. کنام نشانگر فرصت در دسترس حیات است. در نتیجه انتخاب طبیعی گونه را برای بقا در کنام، به واسطه صفات آناتومی و رفتاری، شکل می‌دهد. گونه‌زایی حاصل وجود کنامی تهی، به خاطر عوامل غیرزنده (تغییرات اقلیمی) یا دست‌نخورده بودن محیط است. بهترین مثال از جای دادن در کنام، فنچ‌های داروین‌اند. این پرندگان، که در حقیقت فرخنده و نه فنچ‌اند، در جزایر گالاپاگوس زندگی می‌کنند و داروین آنان را طی سفرش مشاهده کرد. نیای همه آن از آمریکای جنوبی نشأت می‌گرفت، ولی اکنون پرندگان برای جای گرفتن در کنام‌های مختلف بوم‌سازگان جزیره تکامل یافته‌اند. تصویر روبه‌رو سازگاری شکل نوک‌های این پرندگان با منبع غذایی خاص را، از حشره گرفته تا دانه رسیده و میوه‌های افتاده، نشان می‌دهد.



زیست‌گاه‌ها

به زبان ساده، زیست‌گاه جایی است که جاندارانی در آن زندگی می‌کنند. می‌شود فهرستی از چندین و چند زیست‌گاه مختلف به دست داد و این سیاهه را با توصیف جزئی هر زیست‌گاه گسترش داد. به هر حال، محدوده‌ای که بوم‌شناسان می‌توانند در آن زیست‌بومی معنی‌دار تعریف کنند، زیست‌گاه به شمار می‌آید؛ یعنی جاهایی مثل آب‌سنگی مرجانی، یا علفزار یا جنگلی گرمسیری. فارغ از این که این زیست‌گاه‌ها در کجای زمین باشند، ویژگی‌های مشترکی میان تمام آنها وجود دارد، همین‌طور میان جاندارانی که حیات وحش این زیست‌گاه‌ها را تشکیل می‌دهند. زیست‌گاه‌ها ثابت و بی‌تغییر نیستند. برای مثال، وقتی که درختی در جنگلی می‌افتد، فضایی خالی به جای می‌گذارد و جانداران دیگر برای اشغال این جای خالی رقابت می‌کنند؛ اول گیاهان زودرس از راه می‌رسند، سپس به تدریج با گیاهانی بزرگ‌تر جایگزین می‌شوند که رشدی کندتر ولی توانایی بیشتری در به دست آوردن منابع دارند. سرانجام فضای خالی کاملاً پر می‌شود و زیست‌گاه به حالت پایدار یا اوج خود بازمی‌گردد.



زیست بوم‌ها

زیست بوم بزرگ‌ترین واحد در بوم‌شناسی است که دربرگیرنده گروهی گسترده از زیست‌گاه‌ها در همه جهان است. تعداد زیست‌بوم‌های محتمل بر اساس دیدگاه‌های علمی مختلف متفاوت است، اما تقریباً همه برآنند که مهم‌ترین زیست‌بوم‌ها این‌ها هستند: زیست‌بوم‌های آبی، جنگلی، علفزارها و بیابان‌ها. می‌توان گفت: همه بیابان‌ها بسیار کم‌آب هستند، اما می‌توانند به بیابان‌های داغ، نیمه‌بیابان‌ها و نواحی قطبی تقسیم شوند. جنگل‌ها در مناطقی با بارش زیاد دیده می‌شوند و به جنگل‌های گرمسیری، جنگل‌های معتدل (با درختان خزان‌کننده) و جنگل‌های شمالی (با درختان سوزنی‌برگ) تقسیم می‌شوند. علفزارها اقلیم‌هایی هستند که برای رشد درختان خشک‌اند، اما نه به خشکی بیابان. این زیست‌بوم‌ها سه نوع‌اند: بوته‌زارهای استوایی یا ساوانا، جلگه‌های بی‌درخت و دشت‌های شمالگانی یا تندرا. سرانجام زیست‌بوم‌های آبی نیز شامل زیست‌بوم‌های آب شور دریایی و زیست‌بوم‌های آب شیرین رودخانه‌ای و دریاچه‌ای می‌شوند. راه‌های دیگری نیز برای فهرست‌کردن و تعریف زیست‌بوم‌ها هست، اما هرکدام به نوعی به تقسیم سطح زمین به نواحی وسیعی منتهی می‌شود که در ویژگی‌های بوم‌شناختی اشتراک دارند.

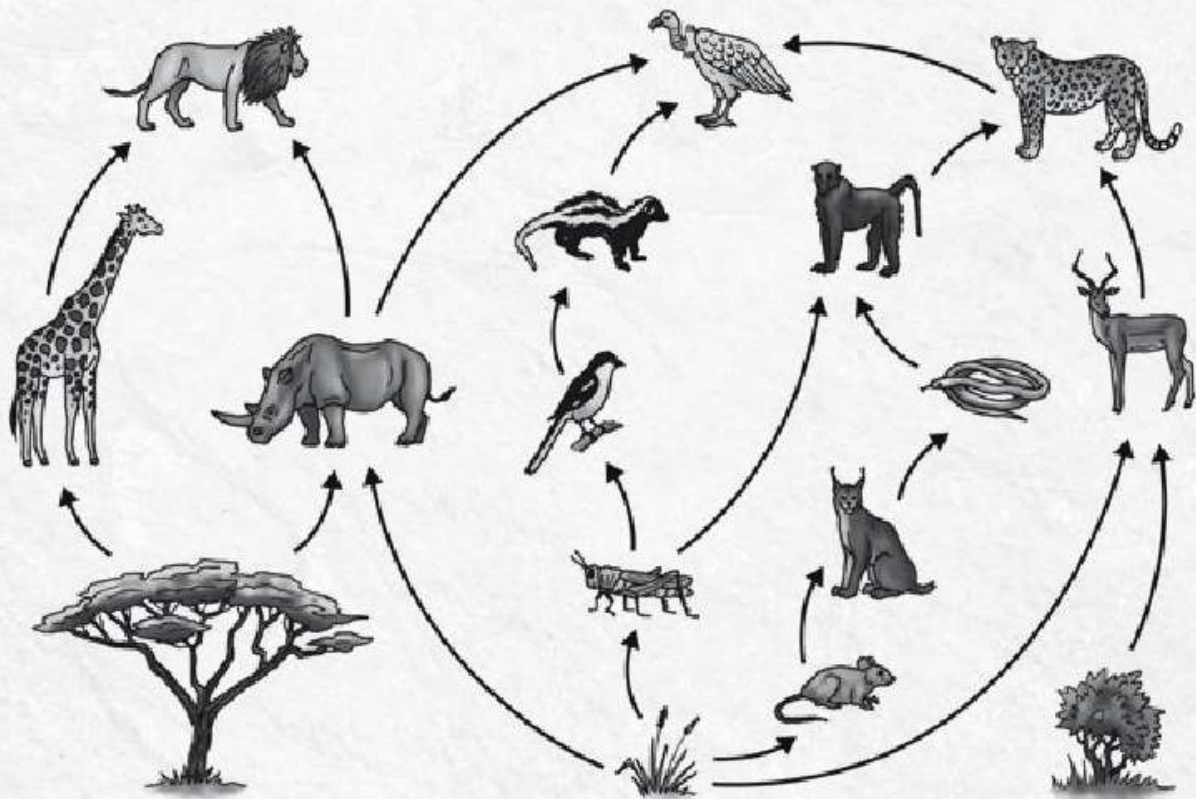
نقشه‌ای از زیست‌بوم‌های اصلی جهان



زنجیره‌ها و شبکه‌های غذایی

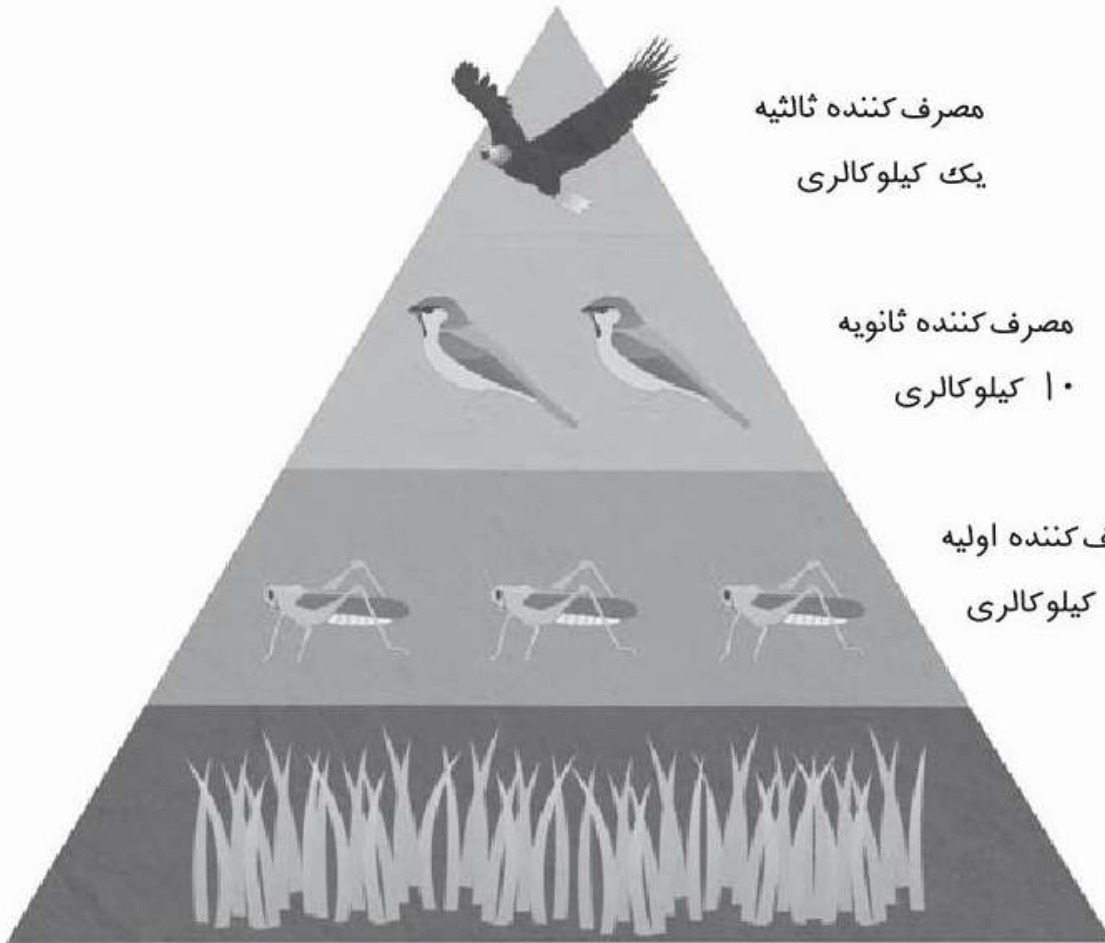
یکی از بارزترین عوامل شکل‌گیری بوم‌سازگان غذایی است که جانداران می‌خورند. رابطه غذایی میان جانداران می‌تواند به عنوان زنجیره‌ای غذایی، یا دقیق‌تر از آن، شبکه‌ای غذایی در نظر گرفته شود. بسیاری از جانوران غذای بالقوه‌ای برای چندین گونه دیگر هستند. زنجیره‌های غذایی شامل همه جانداران یک بوم‌سازگان می‌شود و تقریباً در سراسر جهان، حلقه نخست هر شبکه غذایی جانداری است فتوسنتزکننده از قبیل گیاهان یا جلبک‌ها. این جانداران تولیدکنندگان اولیه نامیده می‌شوند، زیرا انرژی را از منبعی غیرزنده (نور خورشید) جمع‌آوری می‌کنند و به صورت منبعی زیستی در اختیار بقیه جانداران می‌نهند. بقیه جانداران شبکه غذایی مصرف‌کننده هستند. گیاه‌خواران که تنها از گیاهان تغذیه می‌کنند، مصرف‌کنندگان اولیه هستند؛ گیاه‌خواران غذای مصرف‌کنندگان ثانویه می‌شوند و این زنجیره به همین نحو ادامه می‌یابد. بسیاری از مصرف‌کنندگان ثانویه همه‌چیزخوارند، یعنی هم گیاه می‌خورند و هم جانور. مصرف‌کنندگان ثالثیه اغلب اوقات گوشت‌خوارند. در حلقه‌های بالاتر به پوده‌خوارها یا گندخوارها می‌رسیم، از قبیل سوسک‌های سرگین و قارچ‌ها که از مواد دفعی و بازمانده جسد جانداران دیگر تغذیه می‌کنند.

شبکه غذایی ساوانای آفریقا



سطح‌های هرم غذایی

زنجیره غذایی نمادی از مسیر طی شده مواد غذایی و انرژی درون بوم‌سازگان است. مواد غذایی که گیاهان از محیط خارج جذب می‌کنند، از بدن مصرف‌کنندگان می‌گذرند، چرخه‌هایی را طی می‌کنند و سرانجام گندخوارها آنها را به محیط بازمی‌گردانند. انرژی چنین مسیری را طی نمی‌کند، بلکه از طریق تولیدکنندگان اولیه به سامانه وارد می‌شود و همچنان که بدن مصرف‌کنندگان را طی می‌کند، برای همیشه هدر می‌رود و جذب محیط می‌شود. مفهوم سطوح هرم غذایی (Trophic levels) از همین جا می‌آید. واژه انگلیسی trophic برگرفته از واژه‌ای یونانی به معنی خورنده است. هر سطح از هرم غذایی پله‌ای بالاتر از سطح زیرین است، یعنی انرژی کمتری از سطح پایینی دریافت می‌کند. وقتی همه سطوح تغذیه‌ای بر اساس میزان انرژی دریافت‌شده یا جرم توده زنده‌شان مرتب شوند، در مجموع مانند هرمی به نظر خواهند رسید، زیرا تنها ده درصد انرژی هر سطح به سطح رویی خواهد رسید. به همین دلیل است که جرم توده گیاهی (در بوم‌سازگان‌های خشکی) چند برابر توده زنده جانوری است؛ نیز به همین دلیل است که تعداد اندکی شکارچی بزرگ جثه می‌توانند در هر بوم‌سازگان زندگی کنند.



مصرف کننده ثالثیه
يك كيلو كالري

مصرف کننده ثانويه
۱۰ كيلو كالري

مصرف کننده اوليه
۱۰۰ كيلو كالري

اتوتروف‌ها

راه‌های فراوانی برای زنده ماندن وجود دارد و میلیون‌ها گونه مختلف، هر کدام راهی متفاوت را برگزیده‌اند؛ هرچند همه جانداران یا اتوتروف هستند یا هتروتروف. تولیدکنندگان اولیه اتوتروف هستند که یعنی «خویش‌خوار»، یعنی جانداری که می‌تواند غذای خودش را از منبع غیرزنده تولید کند. مشهورترین مثال از هتروتروف‌ها گیاهان، جلبک‌ها و بسیاری باکتری‌های فتوسنتزکننده هستند. به این‌ها می‌گوییم فتوتروف یا «نورخوار». برخی اتوتروف‌های میکروبی نیز کموتروف یا «شیمی‌خوار» هستند، یعنی انرژی خود را از مواد شیمیایی می‌گیرند. کاری که اتوتروف‌ها می‌توانند انجام دهند و هتروتروف‌ها نمی‌توانند «تثبیت کربن» است؛ این موجودات کربن را در قالب مولکول‌های غیرآلی (مثل کربن‌دی‌اکسید) جذب می‌کنند و آن را به قندهای آلی تبدیل می‌کنند. این فرآیند از طریق مسیری شیمیایی به نام «کاهش» (برعکس اکسایش) انجام می‌شود و انرژی موردنیاز برای «کاهش» کربن غیرآلی به کربن آلی، از منبع غیرزنده (نور خورشید یا مواد شیمیایی غیرآلی) جذب می‌شود.



هتروتروف‌ها

واژه هتروتروف یعنی «دیگرخوار» که به ناتوانی آنها در تثبیت کربن اشاره دارد. هتروتروف‌ها باید قندها و مواد دیگر مورد نیاز خود را با تغذیه از جسم دیگر جانداران به دست آورند. تمام جانوران و قارچ‌ها و بسیاری میکروب‌ها (از جمله آمیب‌ها و آغازیان دیگر) هتروتروف هستند. اوگلنا (*Euglena*) که آغازی تاژک‌داری تک‌یاخته‌ای است، می‌تواند هم فتوسنتز کند، هم دیگرخواری.

هتروتروف‌ها برای بقای خویش کاملاً به اتوتروف‌ها وابسته‌اند. حتی شیر که هرگز علف نمی‌خورد، در حقیقت آهوپی می‌خورد که آن آهو باید علف بخورد. مصرف‌کنندگان محدود به شکارچیان و گیاه‌خواران نیستند. پلاکوزوئن‌ها، یکی از ساده‌ترین جانوران جهان که در اصل گروهی یاخته متحرک است، با جذب ذرات غذایی آلی زندگی می‌کند. قارچ‌ها نیز که برخی از آنها بزرگ‌ترین جانداران زمین هستند (و می‌توانند ۱۰ کیلومتر مربع خاک را دربرگیرند) آنزیم‌های گوارشی را مستقیماً به غذای خود تزریق می‌کنند و غذای هضم‌شده را جذب می‌کنند.



کموتروف‌ها

تقریباً تا پایان دهه ۷۰ میلادی تصور می‌شد تمام زنجیره‌های غذایی با تولیدکنندگان فتوتروف آغاز می‌شوند؛ اما سرانجام زیردریایی‌های ژرف‌رو چشمه‌های آب گرمی در قعر اقیانوس‌ها کشف کردند که «دودکش‌های سیاه» نامیده می‌شوند. این چشمه‌های آتش فشانی آبی مملو از مواد شیمیایی به قعر دریا می‌ریزند؛ جایی که نور خورشید به آن جا نمی‌رسد. با این حال، اطراف دودکش‌های سیاه پوشیده از بوم‌سازگانی متشکل از کرم‌های غول‌آسا، صدف‌ها و خرچنگ‌هاست. تولیدکنندگان اولیه این زنجیره غذایی باکتری‌ها و آرکئن‌هایی کموتروف هستند. کموتروف‌ها از انرژی شیمیایی مواد کانی در آب چشمه‌های گرم (یا منابع آتش فشانی درون سنگ‌های آذرین) تغذیه می‌کنند تا با تثبیت کربن قند بسازند. شاید نخستین جانداران زمین چنین شیوه‌ای برای تغذیه داشته‌اند. بسیاری از جانوران در هماهنگی با کموتروف‌های تک‌یاخته‌ای تکامل یافته‌اند. برخی با تصفیه آب دریا از باکتری‌ها تغذیه می‌کنند و کرم‌های لوله‌ای بزرگ، میزبان این باکتری‌ها درون بافت‌های بدن خود هستند و برای باکتری‌ها پناهگاهی مطمئن و جریانی از مواد کانی ضروری تأمین می‌کنند تا در عوض بتوانند قندها و دیگر موادالی موردنیازشان را از باکتری‌ها بگیرند.



افراط‌پسندها

همان‌طور که نام آنها نشان می‌دهد، جانداران افراط‌پسند (Extremophile) عاشق شرایط افراطی هستند. اغلب جانداران در دماهایی میان صفر تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد زندگی می‌کنند؛ اما کشف چشمه‌های آب‌گرم در ژرفای دریاها نشان داد که برخی باکتری‌ها و آرکئن‌ها می‌توانند در آب‌هایی بسیار داغ، حتی داغ‌تر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد زنده بمانند. آنها می‌توانند در آب‌های بسیار داغ چشمه‌های آتش‌فشانی سطح زمین نیز زندگی کنند. رنگ‌های چشمگیر رنگین‌کمانی این چشمه‌ها مدیون همین باکتری‌های افراط‌پسند است. جاندارانی افراط‌پسند نیز هستند که تقریباً بی‌استثنا پروکاریوت‌اند و می‌توانند در جاهایی بسیار خشک، بسیار شور یا بسیار اسیدی زندگی کنند. حتی جاندارانی هستند که داخل سنگ‌ها زنده می‌مانند و در فضاهای بسیار کوچک میان بلورهای کانی جا می‌شوند. تمام این شرایط ممکن است برای ما بسیار افراطی به نظر برسد، اما در عوض نسبت به شرایط زندگی ما که در معرض تغییرات سریع و پیش‌بینی‌ناپذیر است، بسیار پایدارتر هستند. وقتی به شرایط میلیاردها سال پیش زمین جوان می‌نگریم، شرایط افراطی امروز، چندان هم شدید نیست.

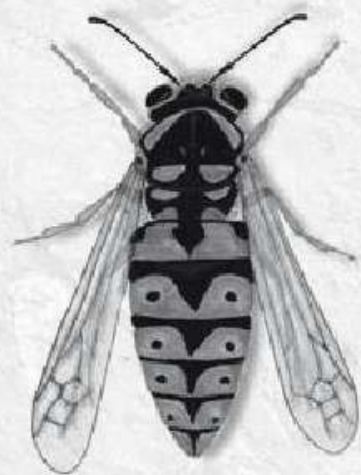


چشمه منشوری بزرگ در پارک ملی یلوستون در ایالت وایومینگ ایالات متحده، پناهگاهی
برای باکتری‌های افراط پسند است |

تقلید

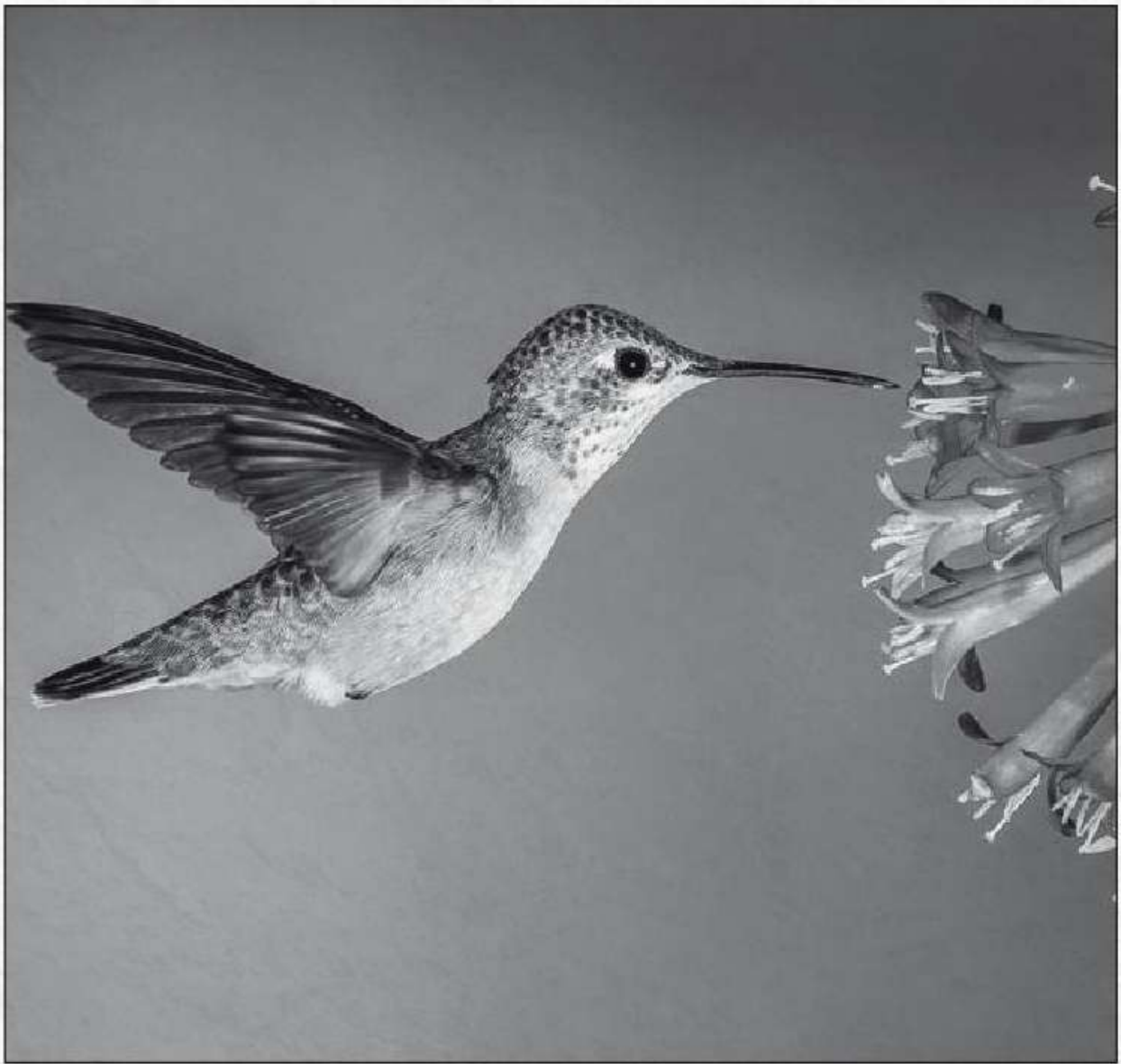
برخی جانوران می‌توانند استادان تغییرقیافه باشند و چنان استتار کنند که از پس زمینه قابل تشخیص نباشند، مثلا شکل بدنشان شبیه برگ یا شاخه باشد یا الگوهایی روی بدنشان باشد که آنها را از تنه درخت یا صخره‌ها تفکیک‌ناپذیر کند. اما جانوران دیگری نیز هستند که درست جلوی چشم ما مخفی می‌شوند، آن‌هم با تقلید از ظاهر یا بو یا صدا یا رفتار دیگر گونه‌های بوم‌سازگان.

دو نوع اصلی تقلید وجود دارد. شایع‌ترین نوع آن شامل تقلیدی بی‌خطر از همسایه‌ای خطرناک است؛ مثلا مگس‌هایی که الگویی رنگی شبیه زنبورها دارند، یا پروانه‌هایی که خال‌هایی رنگی روی بال‌هایشان دارند که آنها را شبیه چشم‌های پرندگان شکاری می‌کند. اما نوع دوم تقلید که مؤثرتر است، در گونه‌هایی دیده می‌شود که همگی برای دشمنان خود خطرناک هستند؛ پروانه‌های سمی از این جمله‌اند. شکارچیان می‌آموزند که باید از شکار سمی پرهیز کنند و چون همه پروانه‌های سمی ظاهری کمابیش مشابه دارند، همه این گونه‌ها از ظاهر مشابهی که پیدا کرده‌اند، به یک اندازه منتفع می‌شوند.



تکامل هم‌بسته

گرچه تصور آن در این زمانه تخریب محیط‌زیست دشوار است، اما برخی بوم‌سازگان‌ها کمابیش میلیون‌ها سال پایدار مانده‌اند. در طی این مدت بلند، گونه‌های مختلف از طریق فرایندی به نام تکامل هم‌بسته یا همراه در هماهنگی با یکدیگر تکامل یافتند. طی تکامل هم‌بسته دو گونه، هر تغییری در یکی از آنها، بر دیگری نیز تأثیر می‌گذارد. این فرآیند منجر به پیدایش سازگاری‌هایی مرتبط با یکدیگر می‌شود که در مجموع بوم‌سازگان را قادر به پشتیبانی از مجموعه بزرگی از جانداران می‌کند. با این حال، این نقطه قوت مثل تیغی دولبه می‌تواند نقطه ضعفی نیز به شمار آید، زیرا تغییرات ناگهانی از خارج سامانه - مثلاً فعالیت انسانی - به سادگی منجر به تخریب تعادل میان جانداران مختلف می‌شود. جنگ تسلیحاتی میان شکارچیان و شکارها، نمونه‌ای کلاسیک از تکامل هم‌بسته است؛ همین‌طور سازگاری‌های گیاهان گلدار و حشره‌ها و پرندگان. با تکامل رابطه‌ای هم‌بسته، هم گیاهان بخت بیشتری برای تولیدمثل به دست می‌آورند، هم حشره‌ها و پرنده‌ها منبعی قابل اعتماد برای غذا می‌یابند.



روابط جانوران

بسیاری جانوران تک‌زی‌اند و ترجیح می‌دهند تنها باشند. برخی موجودات ابتدایی غیرجنسی مانند ئیدرهای غیرجنسی جوانه‌زننده، نیاز به فردی دیگر برای ادامه نسل ندارند. با این حال اغلب جانوران درگیر شکلی از رابطه با دیگر اعضای گونه خود هستند؛ رابطه‌ای با سود دوطرفه. این رابطه ممکن است به‌سادگی شامل پیدا کردن جفتی باشد یا بخشی از روابط جمعیتی پیچیده که اعضا یک‌گونه کمابیش کنار هم ایجاد می‌کنند. برای نمونه، قطعه‌ای مرجان اجتماعی است از هزاران فرد کوچک به نام پولیپ. پولیپ‌ها کنار همدیگر رشد می‌کنند، اما جداگانه غذا می‌خورند و تولیدمثل می‌کنند؛ هرچند در سطح ذره‌بینی، اعضا اجتماع با یکدیگر همکاری می‌کنند تا جلوی پیش‌روی اجتماع‌های مجاور را بگیرند. برای درک اجتماعات جانوری و دیگران روابط میان جانوران، باید فایده‌ها و ضررهای این ارتباط اجتماعی را مقایسه کنیم. برای مثال زندگی گروهی موجب افزایش رقابت بر سر غذا و جفت می‌شود، اما امنیت و دفاع را بهبود می‌بخشد.



هم‌زیستی

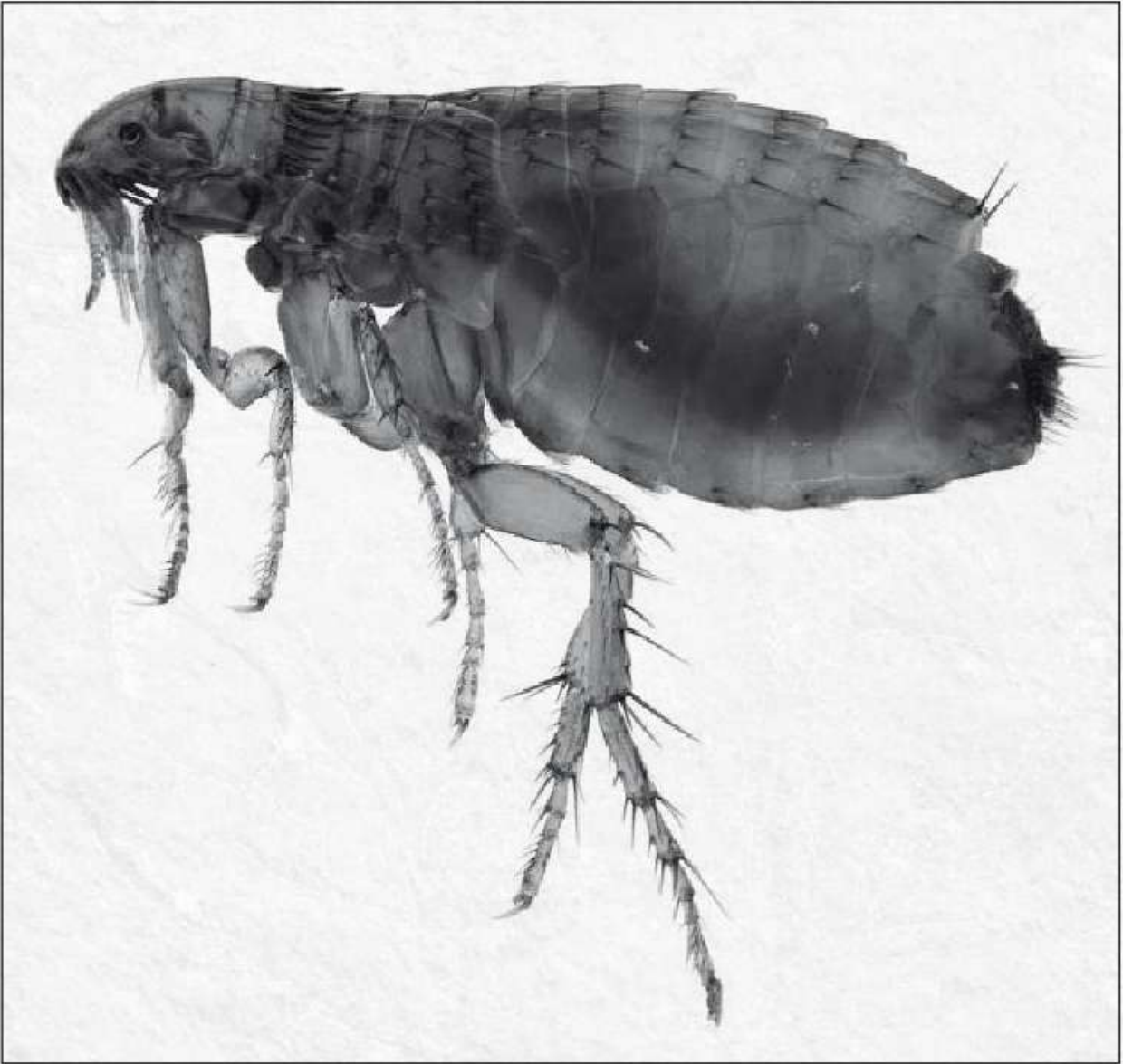
هم‌زیستی عبارت است از رابطه‌ای میان دو گونه مختلف که برای زیستن کنار هم در جهت نفع مشترک تکامل یافته‌اند. گیاهان گل‌دار و زنبورهای عسل با یکدیگر هم‌زیستی دارند، هیچ‌کدام بدون دیگری بقایی ندارد و این شراکت طی تکامل هم‌بسته‌ای شدید پیدا شده است. برخی هم‌زیست‌ها وحدت نزدیک‌تری دارند. مرجان‌ها و صدف‌های غول‌آسا باکتری‌های فتوسنتزکننده و هم‌زیستی درون بافت‌هایشان دارند که زوگزانتلا (Zooxanthellae) نامیده می‌شوند. این درون‌هم‌زیست‌ها برای میزبان‌های خود قند می‌سازند و در عوض محلی امن و باثبات برای زندگی خواهند داشت.

دو نوع هم‌زیستی وجود دارد. نمونه‌های بالا از نوع همیارانه هستند، طوری که هر دو گونه منتفع می‌شوند، اما جفت‌هایی هم‌زیست هم وجود دارند که تنها یک طرف منتفع می‌شود و طرف دیگر نه چیزی می‌برد، نه می‌بازد. این وضعیت همسفرگی نامیده می‌شود. برای مثال حواصیل احشام که گله‌های گیاه‌خواران بزرگ را تعقیب می‌کند تا از حشرات که از خاک‌های شخم‌خورده زیر سم گیاه‌خواران بیرون آمده‌اند، تغذیه کنند.



رابطه انگلی

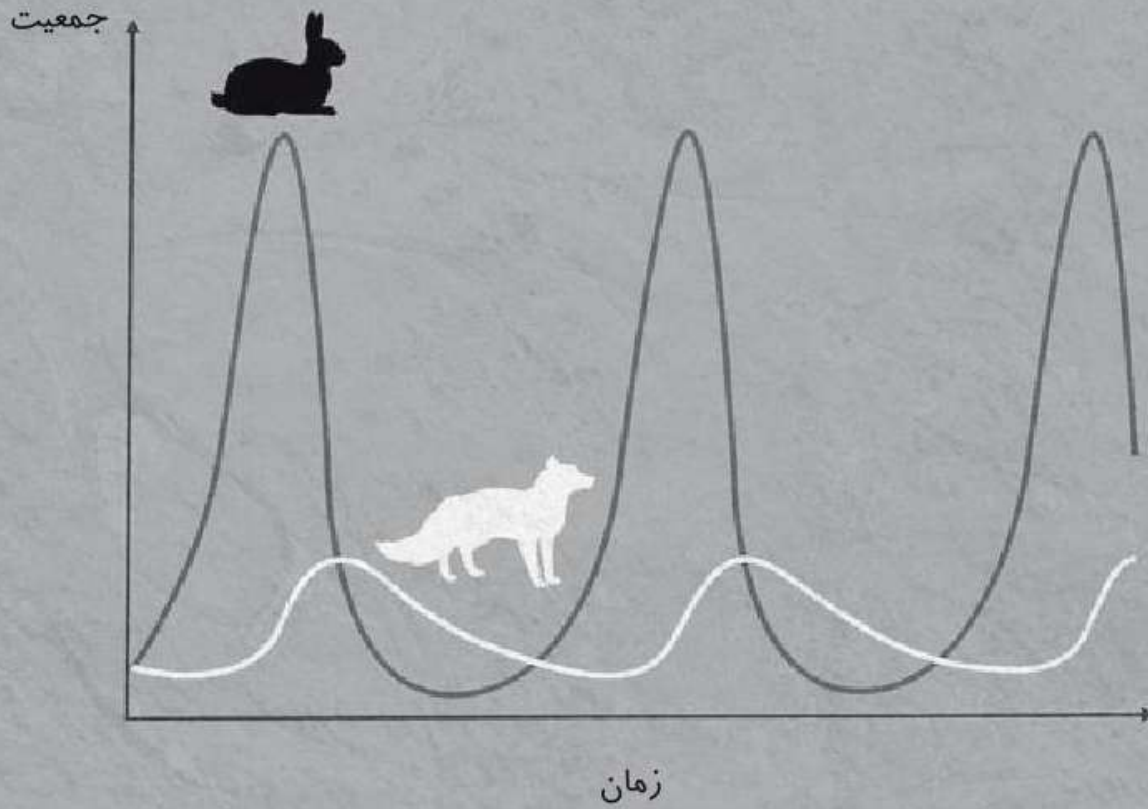
تکامل هم‌گرا می‌تواند منجر به روابطی میان دو گونه نامرتبط شود که به سود یکی و ضرر دیگری باشد؛ این رابطه انگلی است. انگل موجودی است که از این رابطه سود می‌برد و میزبان طرفی است که زیان می‌بیند. انگل‌ها ممکن است درون یا بیرون بدن میزبان زندگی کنند. کک‌ها انگل خارجی هستند و روی پوست میزبان‌های پشمالو زندگی می‌کنند، اما کرم‌های پهن انگل درونی هستند و درون روده میزبان خود زندگی می‌کنند. بقیه کرم‌های انگل نیز وارد بدن می‌شوند و در خون یا اندام‌های دیگر لانه می‌گزینند. چرخه زندگی انگل‌ها اغلب پیچیده است و هر انگل در چند میزبان یا ناقل مختلف زندگی می‌کند. برای مثال پشه‌ها ناقل انگل مالاریا و حلزون‌های رودخانه‌ای ناقل شیستوزوما هستند؛ کرم‌هایی کوچک که باعث «تب حلزون» (Bilharzia) می‌شوند. موفق‌ترین انگل‌ها کم‌ترین آسیب را به میزبان خود می‌زنند؛ کشتن میزبان یعنی باید دنبال خانه جدیدی گشت؛ اما برخی جانوران که به آنها «انگل‌سان» (parasitoid) می‌گوییم، نهایتاً میزبان خود را می‌کشند. مثلاً زنبورهای انگل‌سان کوچک تخم خود را درون بدن میزبان (حشره‌هایی مثل سوسک و ملخ) می‌گذارند تا نوزادشان به آرامی میزبان را از درون بخورند.



شکار و شکارچی

شکارچی جانداری است که جانداران دیگر را می‌کشد و می‌خورد. نمونه‌های اندکی از گیاهان و قارچ‌های شکارچی وجود دارند. مگس‌گیر ونوس به خاطر شکار و هضم حشرات مشهور است و برخی قارچ‌ها نیز کرم‌های ذره‌بینی را در خاک به دام می‌اندازند. با این حال بیشتر شکارچیان جانور هستند، همین‌طور شکارهایی که به دام آنها می‌افتند. اغلب تصور می‌شود شکارچیان گوشت‌خوارانی وحشی، درنده، بزرگ‌جثه و قوی‌هیکلند تا بتوانند شکارهای کوچکتر از خود را از پای درآورند، اما سوسک گوشت‌خواری که جیرجیرکی را شکار می‌کند یا نوزاد کفش‌دوزکی که شته‌ای را به نیش می‌کشد، درست به اندازه شکارچیان متعارف بزرگ‌جثه، قاتل و بی‌رحم‌اند. به علاوه رابطه‌ای پویا میان جمعیت شکارچی و شکار وجود دارد. وقتی جمعیت شکار زیاد باشد، تعداد شکارچی‌ها نیز زیاد می‌شود و وقتی تعداد شکارچی‌ها خیلی زیاد شد، تعداد شکارها شروع به افت می‌کند و شکارچی‌ها دچار قحطی می‌شوند. با کاهش تعداد شکارچی‌ها، جمعیت شکارها دوباره رشد می‌کند و این چرخه ادامه می‌یابد.

چرخه جمعیت شکار و شکارچی



زندگی گله‌ای

دسته‌ها، رمه‌ها و گله‌ها اجتماعاتی سست و بی‌رئیس از جانوران هستند که در آنها هر فرد به‌طور مجزا قادر به ادامه حیات است و تنها برای افزایش بخت بقا به دیگران می‌پیوندد. شاید به نظر برسد اعضای یک گله مشغول همکاری با یکدیگرند، اما اغلب چنین نیست و تنها رفتار آنها شبیه یکدیگر به نظر می‌رسد. بارزترین دلیل زندگی گله‌ای، امنیت بیشتر در تعداد بیشتر است. شکارچیان به افرادی که در حاشیه گله قرار دارند حمله می‌کنند،



بنابراین دائماً افرادی که خود را در حاشیه گله می‌یابند به سمت میانه گله حرکت می‌کنند و همین باعث تجمع و حفاظت گله می‌شود. هر فرد گله گوش به زنگ خطر می‌ماند و وقتی احساس خطر کرد از آن دور می‌شود، بقیه افراد گله نیز از همین جا متوجه خطر می‌شوند و به صورت گله‌ای به راه می‌افتند تا از خطر بگریزند. رفتار گله‌ای در جانوران مناطقی دیده می‌شود که غذا در محدوده وسیعی پراکنده است، مثلاً در چرنده‌های ساکن علفزارها. جانورانی که از غذاهای کمیاب‌تر، مثلاً میوه‌ها، تغذیه می‌کنند، به نفعشان نیست که زندگی گله‌ای داشته باشند.



روابط جانوران ۲۶۹

چندزنی

چندزنی صورتی از رابطه جفت‌گیری است که یک نر با چند ماده جفت‌گیری می‌کند، درحالی‌که هر ماده با یک نر جفت می‌شود. ماده ممکن است نسبت به نرهای دیگر ناپذیرا شود، هرچند اغلب موارد حیوان است که از جفت‌های ماده خود در برابر رقیب‌ها حراست می‌کند و حرمسرا درست می‌کند تا تولیدمثل جفت‌های ماده را در انقیاد خود بگیرد.

بسیاری جانوران گروه‌زی، از جمله گوزن‌ها، اسب‌های آبی، گاوها و نیز ماهی‌ها، نظام جفت‌گیری چندزنی دارند. همه این جانوران در محیط‌هایی با ذخیره غذایی پراکنده زندگی می‌کنند؛ بنابراین امکان دفاع از یک قلمرو شخصی برای هیچ حیوانی وجود ندارد، زیرا هر نقطه‌ای که برای حراست اختیارشود، رقیب‌ها در نقطه‌های دیگر از منابع غذایی بهره‌مند می‌شوند؛ بنابراین برای افزایش بخت موفقیت، هر نریان به جای انقیاد منابع غذایی، به انقیاد جفت‌های بالقوه روی می‌آورد. در چنین جانورانی تفاوت دوجنسی مشهود میان نروماده دیده می‌شود و نرها برای حفاظت از حرمسرای خود، جنگنده و قوی می‌شوند.



چندشوهری

در رابطه چندشوهری، یک جانور ماده چند جفت نر دارد که تنها با هم ارتباط دارند و با ماده‌های دیگر جفت نمی‌شوند. چندشوهری در طبیعت بسیار نادرتر از چندزنی است. یکی از بهترین نمونه‌های چندشوهری در قلابچه‌ماهی‌ها (Lophiiformes) دیده می‌شود؛ شکارگری کف‌زی که طعمه‌اش را با زائده‌ای نورانی و فانوس‌مانند جذب و صید می‌کند، ماده است؛ نرها هرگز بزرگ‌تر از جثه دوره نوزادی نمی‌شوند، بلکه به بدن ماده‌ای رشد یافته می‌چسبند و سرانجام به دستگاه گردش خون ماده متصل می‌شوند. هر ماهی ماده بالغ چندین جفت این چنین در پوست خود دارد و هر وقت که ماهی ماده تخم‌ریزی کند، آنها نیز اسپرم آزاد می‌کنند. برخی عنکبوت‌ها، برخی خزندگان و بسیاری پرندگان مثل امو، همین راهبرد را برگزیده‌اند. در این جانوران برخی ماده‌ها اسپرم نرهای مختلف را ذخیره می‌کنند تا هر کدام از فرزندان که در یک نوبت به دنیا می‌آیند، پدران مختلف داشته باشند. بنابراین همه نرها مایلند که در مراقبت والدینی از فرزندان این ماده‌ها مشارکت کنند. در چندزنی، نرها همه انرژی و وقت خود را صرف جفت‌یابی می‌کنند؛ در چندشوهری نیز ماده‌ها چنین وظیفه‌ای به دوش دارند، به علاوه باید تخم هم بگذارند.



روابط بی قاعده

بسیاری از جانوران روابط جفت‌گیری بی‌قاعده‌ای دارند، از جمله بسیاری از نخستی‌ها. در جانورانی که روابط بی‌قاعده وجود دارد، هم نرها و هم ماده‌ها جفت‌های متعددی می‌گیرند و زوج‌های پایدار تشکیل نمی‌دهند. این شکل از رابطه جفت‌یابی در جمعیت‌هایی دیده می‌شود که روابط توأم با گداخت و شکافت دارند، به‌ویژه در بسیاری از میمون‌ها و دلفین‌ها. اعضای چنین جمعیت‌هایی فارغ از روابط والدینی در یافتن غذا با هم همکاری می‌کنند، در برابر خطرات دفاع می‌کنند و از جوان‌ها محافظت می‌کنند. گروه‌های مختلف مکرراً با هم ترکیب می‌شوند و گروه‌های بزرگ به دسته‌های کوچک تجزیه می‌شوند. در چنین گروه‌هایی ممکن است رئیس یا رهبری سالخورده وجود داشته باشد، اما سدی برای جابه‌جایی اعضا میان گروه‌های مختلف وجود ندارد.



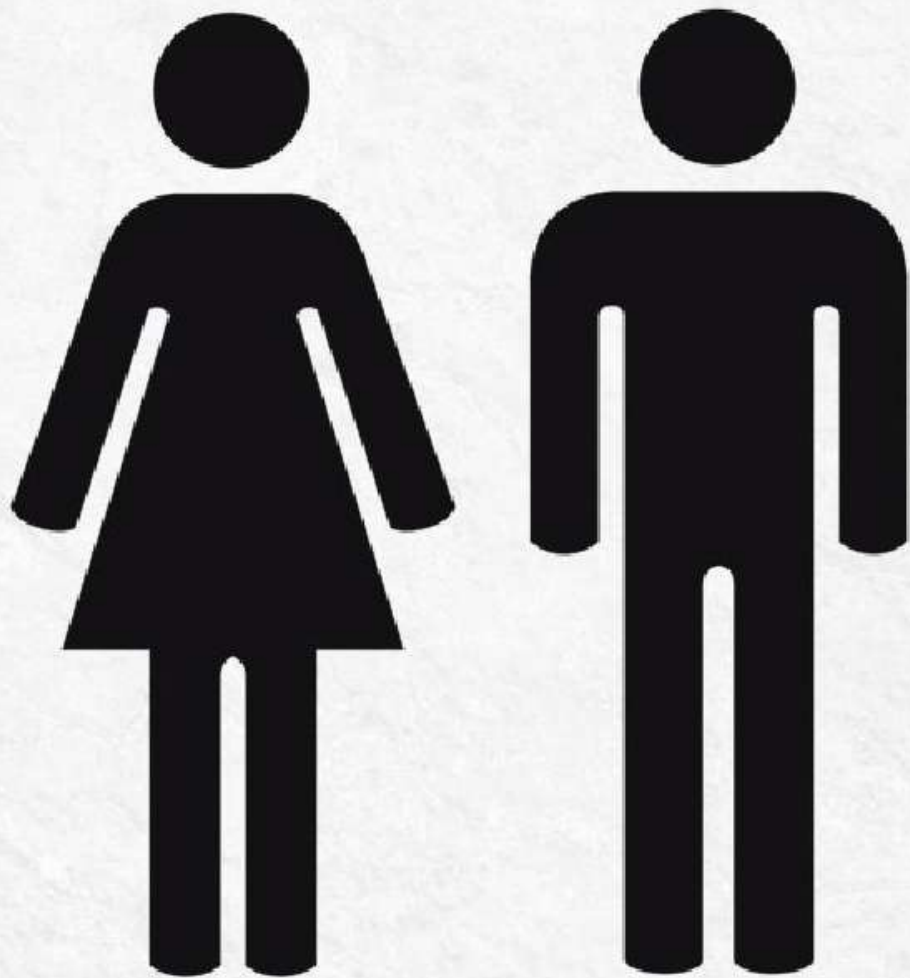
راهبردهای جفت‌یابی مختلط

روابط جفت‌یابی جانوران ثابت نیست. برخی گونه‌ها نظام جفت‌یابی خود را برای تطابق با شرایط بوم‌شناختی تغییر می‌دهند. شیرها به عنوان تنها گربه‌های اجتماعی، مثال‌های خوبی هستند. آشناترین دسته اجتماعی شیرها «گله» (pride) است که در آن یک شیر نر، حرمسرایي را به انقیاد درمی‌آورد. این نظام اجتماعی در آفریقا به کار می‌آید که شیرها باید گیاه‌خواران تیزپا را به چنگ آورند، اما جایی که غذا راحت به دست می‌آید، شیرها جفت‌هایی تک‌همسری می‌سازند، وقتی شیرها در اروپا زندگی می‌کردند، چنین راهبردی را انتخاب کرده بودند. در بسیاری از جانوران نظام جفت‌گیری تک‌همسری نهادینه است؛ نر و ماده، با تمرکز بر پرورش و حمایت از جفت و زاده‌های خود، هم در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند و هم برای حمایت از نسل خود می‌کوشند. البته هرگاه فرصتی پیش آید، جانوران تک‌همسری نیز ممکن است در جای دیگر موقتاً جفت دیگری بیابند. ماده‌ای که با نری دیگر جفت می‌شود، ژن‌های جدید و متنوعی به زاده‌های خود می‌افزاید و بخت بقای آنها را افزایش می‌دهد؛ نری هم که ماده‌ای را جز جفت اصلی خود بارور می‌کند، این بخت را دارد که ژن‌ها و زاده‌اش با صرف انرژی نر دیگری بزرگ شود.



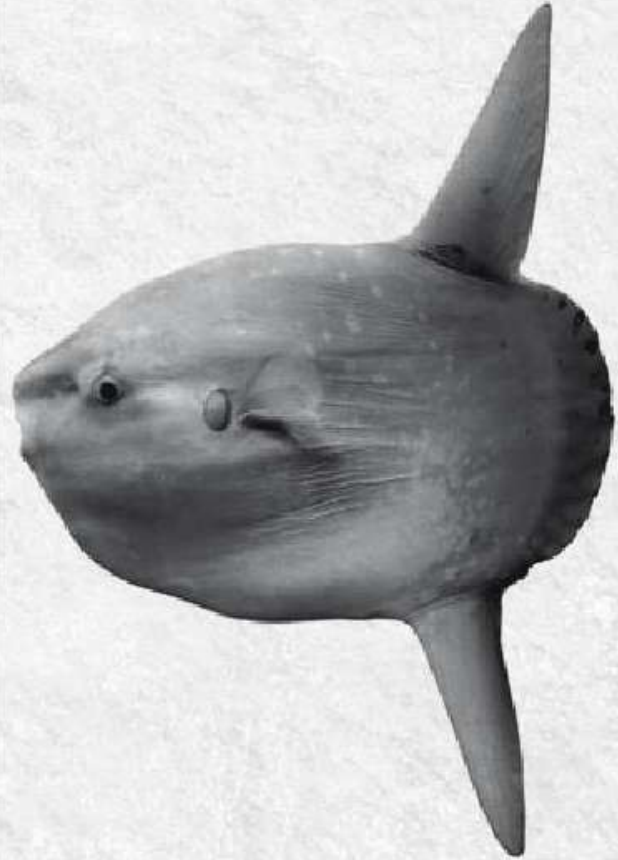
نسبت جنسی

در اغلب گونه‌ها نسبت افراد نر و ماده دقیقا یک به یک است. شاید برخی مادرها فقط فرزندان ماده یا نر بزایند، اما بخت تولد زاده‌های نر و ماده در هر بار تولید مثل پنجاه/پنجاه است. رونالد فیشر (Ronald Fisher) در دهه ۳۰ میلادی این نظریه را مطرح کرد که اگر تعداد ماده‌ها بیشتر شود، بخت بیشتر برای ماده‌هایی وجود خواهد داشت که زاده‌های نر می‌زایند؛ زیرا زاده‌های نر در برابر تعداد بیشتری ماده قرار می‌گیرند و بیشتر تولیدمثل می‌کنند و زاده‌های آنها نیز بیشتر نر زایی می‌کنند، بنابراین در جمعیتی که تعداد ماده‌ها بیشتر شده، بخت بقای ژن‌های ماده‌های نرزا بیشتر می‌شود و تعادل جنسی به جمعیت بازمی‌گردد. چنین سازوکاری در صورتی نیز که تعداد نرها بیشتر شود، موجب افزایش دوباره تعداد ماده‌ها و بازگشت تعادل می‌شود. با این حال در شرایطی ممکن است نسبت جنسی در جمعیتی یک به یک نباشد. برای مثال اغلب زنبورهای انجیر که دوره لاروی خود را درون انجیرها می‌گذرانند، وقتی از انجیر بیرون می‌آیند ماده هستند. در این جمعیت نرهای اندکی وجود دارند که پیش از پرواز ماده‌ها از درون انجیر با آنها جفت‌گیری می‌کنند تا درون انجیر بعدی تخم بگذارند؛ بنابراین دیگر نیازی به تعادل جنسی در جمعیت برای افزایش میزان تولیدمثل وجود ندارد.



انتخاب r/K

عبارت نه چندان واضح «انتخاب r/K » به دو راهبرد اصلی تولیدمثلی در جانوران اشاره می‌کند. انتخاب راهبرد r به معنی تخصیص همه منابع گونه برای افزایش نرخ تولیدمثل است (r مخفف rate به معنی نرخ است)، در حالی که انتخاب راهبرد K به معنی رساندن جمعیت گونه به حداکثر ظرفیت است (K مخفف Kapazitätsgrenze به معنی حد ظرفیت است). نقطه اوج راهبرد r در خورشیدماهی اقیانوسی دیده می‌شود، بزرگ‌ترین ماهی استخوانی زمین؛ ماهی ماده هر بار ۳۰۰ میلیون تخم تولید می‌کند، یعنی بیش از هر مهره‌دار دیگری. تنها تعداد اندکی از این تخم‌ها به سن بلوغ خواهند رسید؛ اگر هر ماهی ماده بتواند چند ده میلیون تخم بیشتر از همسایه‌هایش تولید کند، موفقیتی بسیار بیشتر خواهد داشت و زاده‌هایش نیز در اشغال موقعیت‌های جدید در بوم‌سازگان موفق‌تر خواهند بود. در سوی دیگر این طیف، اورانگوتان به عنوان نمونه‌ای از انتخاب راهبرد K قرار دارد. بچه اورانگوتان برای هفت سال پیش مادرش می‌ماند تا تمام فوت‌وفن‌های زندگی در جنگل را از مادرش بیاموزد. پس از هفت سال مادر می‌تواند فرزند دیگری بیاورد؛ بنابراین در تمام طول زندگی می‌تواند دو فرزند داشته باشد.



خورشید ماهی با حدود ۳۰۰ میلیون تخم، حد اعلاى راهبرد I است و اورانگوتان‌ها با دو
فرزند در طی عمر، حد اعلاى راهبرد K |

تعیین جنسیت

سازوکارهای تعیین کننده جنسیت در جانوران مختلف متفاوت است. برخی مثل پستانداران و پرندگان تعیین جنسیت ژنتیک دارند، اما همه جانوران چنین نیستند. در اغلب پستانداران کروموزوم های جنسی X و Y مسئول تعیین جنسیت اند. پستانداران ماده دو کروموزوم X دارند و نرها X و Y. ماده ها جورکامه (Homogametic) هستند، یعنی گامت های ماده ها تنها یک نوع کروموزوم جنسی دارد، ولی نرها ناجورکامه (Heterogametic) هستند، یعنی نیمی از گامت های آنها حاوی کروموزوم X است و نیم دیگر حاوی کروموزوم Y. پرنده ها نیز سازوکار ژنتیک تعیین جنسیت دارند. پرنده های نر جورکامه اند و دو کروموزوم Z دارند، ولی ماده ها ناجورکامه اند و کروموزوم Z و W دارند. پروانه ها و بیدها، برخی خزنده ها (ازدهای کومودو) و برخی ماهی ها نیز چنین وضعی دارند. تعیین جنسیت تمساح ها، لاک پشت ها و برخی خزندگان دیگر به دمای لانه در زمان رشد جنین وابسته است. در لاک پشت ها، تخم هایی که در معرض دمای پایین تر باشند، نر می شوند و بقیه ماده. در تمساح ها، تخم هایی که در دمای میانه باشند، نر می شوند و تخم هایی که سردتر یا گرمتر از حد میانه باشند، ماده می شوند. این روند تعیین جنسیت موجب افزایش و کاهش نسبت جنسی در زاده های هر سال می شود.



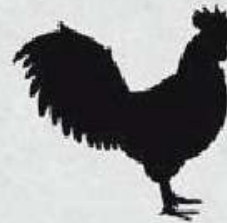
۴۴ کروموزوم
XX +



۴۴ کروموزوم
XY +



۷۶ کروموزوم
ZW +



۷۶ کروموزوم
ZZ +

گروه‌گرایی حقیقی

مورچه‌ها، موربانه‌ها و زنبورهای عسل نمونه‌هایی از گروه‌گرایی راستین (Eusociality) در میان جانوران هستند. هر اجتماع آنها فرزندان یک ملکه است و هر فرد یا کارگر است، یا جمع‌آورنده یا سرباز یا پرستار. در نواحی خشک، جانداران منزوی به سختی زندگی می‌کنند، در حالی که جانداران اجتماعی در این نواحی کامیاب‌اند. ملکه موربانه (تصویر مقابل)، حشره‌ای است با جثه‌ای چندین برابر کارگران و تنها فردی که در اجتماع تخم می‌گذارد. شاه موربانه هم در کنار ملکه جای دارد. نر و ماده‌های دیگر به واسطه فرومونی که ملکه آزاد می‌کند نازا می‌شوند. گاهی فرزندان بالدار و زایا از اجتماع جدا شده تا اجتماعی جدید بنیان بگذارند. کارگران زنبورها (زنبورهای عسل، زنبورهای کاغذی، مورچه‌ها...) ماده‌اند و مثل مادرشان از نظر ژنتیک دیپلوید، ولی نرها از تخمک‌های لقاح نیافته به وجود می‌آیند و هاپلویدند. این زادگان نر (drone) به همراه ملکه‌های باکره اجتماع‌های جدیدی را پدید می‌آورند. اساس این سازوکار ژنتیکی بر این واقعیت استوار است که زنبورهایی که رابطه خوهری دارند، از نظر ژنتیک خویشاوندی نزدیک‌تری نسبت به افراد خواهر در گونه‌های جانوران دیگر دارند. این خویشاوندی نزدیک از دید تکاملی فداکاری زنبورها (و مورچه‌ها) را برای تولید مثل مادرشان توجیه می‌کند.



رقابت اسپرمی

رقابت برای جفت‌یابی - که بین نرها در جریان است - می‌تواند دشوار و مرگبار باشد، اما جفت‌گیری پایان کار نیست. اسپرم‌ها حاصل میوزاند و در نتیجه ژنتیکی متفاوت از والد خود و دیگر اسپرم‌های آن والد دارند. در نتیجه هر اسپرمی با همسایه خود در رقابت است. فرضیه‌ای در باب تکامل چلیپایی (Crossing over) چنین بیان می‌کند که چلیپایی تفاوت میان یاخته‌های جنسی را کم کرده و به کاهش رقابت میان آنها می‌انجامد. در غیر این صورت، انتخاب طبیعی به گزینش اسپرم‌هایی می‌انجامد که مستقیماً به هم دیگر حمله می‌کنند. در عوض تکامل به سازش‌هایی متعدد انجامیده که منتهی به رقابت اسپرم‌های هر فرد نر با اسپرم‌های نرهای دیگر منجر می‌شوند. ساده‌ترین این سازش‌ها نگهبانی از جفت (mate guarding) است؛ برای ۱۹ روز، قورباغه دلچک به جفتش می‌چسبد. نرهای گونه‌های دیگر با ترشح ماده‌ای دهانه اندام تناسلی جفت خود را می‌بندند. در گونه‌هایی که روابط بی‌ضابطه وجود دارد، نرها با آلت تناسلی خود اسپرم‌های پیشین را از اندام تناسلی ماده پاک می‌کنند. بعد از این مرحله، مسابقه‌ای مبتنی بر سرعت و استقامت میان اسپرم‌ها برای رسیدن به تخمک‌ها جریان می‌گیرد.



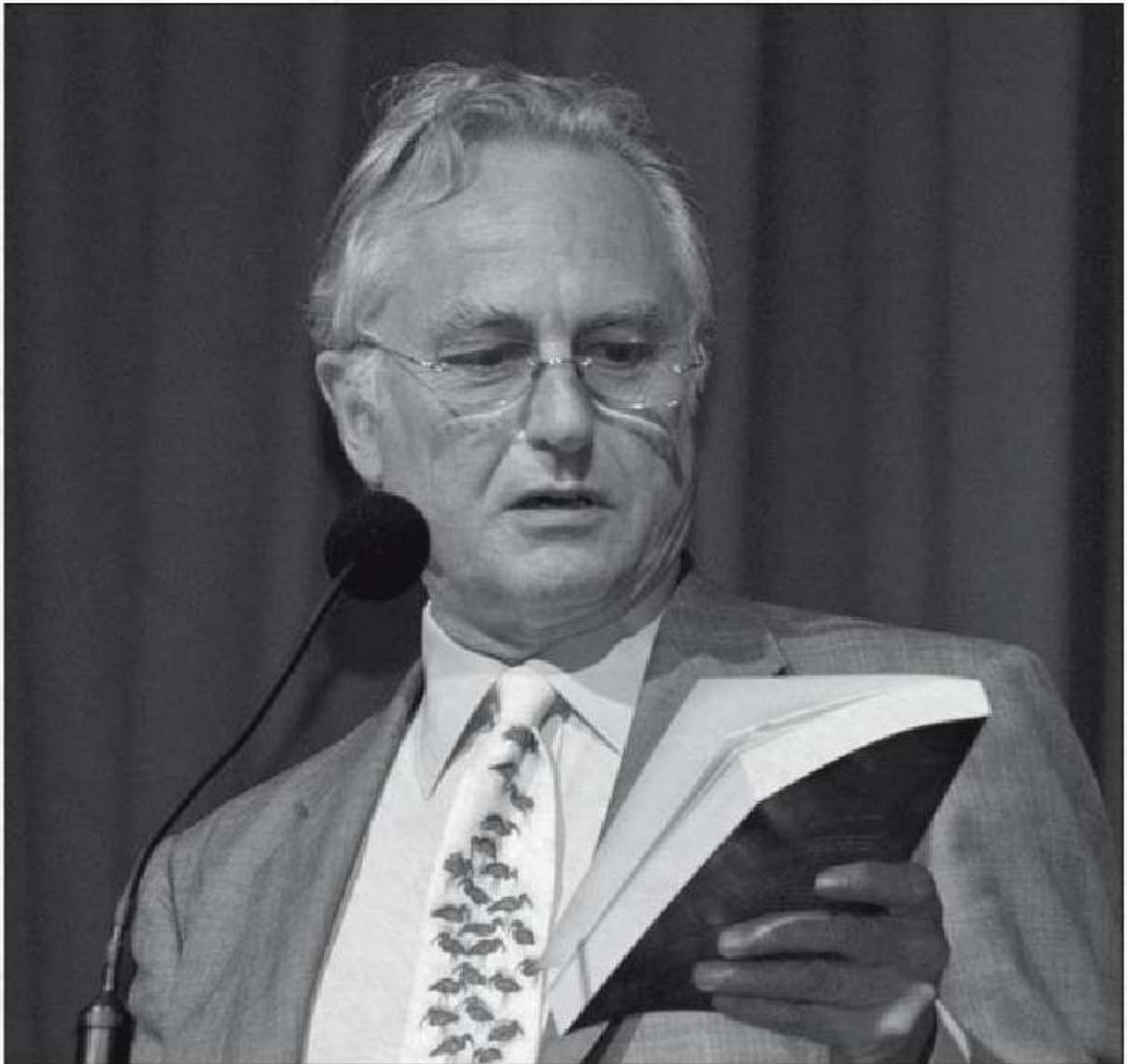
فرهنگ در جانوران

یکی از مزایای انتخاب راهبرد K این است که والدین به جای تولید تعداد زیادی زاده، می‌توانند با صرف زمان و انرژی فرزندان انگشت‌شمار به بار آورده و به آنها تعلیم دهند. جانوران بسیاری از رفتارها را، از روش‌های شکار گرفته تا برهم‌کنش‌های اجتماعی، در دوران کودکی یاد می‌گیرند و خود به نسل بعد منتقل می‌کنند. جنبه تعلیمی رفتار یک حیوان بُعدی فرهنگی دارد؛ زیرا گروه‌های دیگری از همان‌گونه در نواحی دیگر رفتاری متفاوت از خود بروز می‌دهند. وال قاتل مثالی خوب برای شرح این مسأله است؛ این گرگ‌های دریایی به صورت گروهی در گوشه‌وکنار اقیانوس شکار می‌کنند اما هریک از این گروه‌ها روشی ویژه، مناسب محل زندگی خود، برای شکار در پیش گرفته‌اند. برخی گروهی از ماهیان را هدف قرار می‌دهند، برخی دیگر وال شکار می‌کنند و برخی دیگر فک را طعمه خود قرار می‌دهند. جملگی این روش‌ها تمرین شده و مبتنی بر همکاری‌اند. وال‌های قاتل ماهی‌خوار نمی‌توانند با فرهنگ وال‌های قاتل وال‌خوار بسازند. تنوع فرهنگ‌های جانوری منعکس‌کننده عمل انتخاب طبیعی است و رفتارهای جدید ابتدا در گروهی تثبیت شده و بعد به گروهی دیگر منتقل می‌شوند.



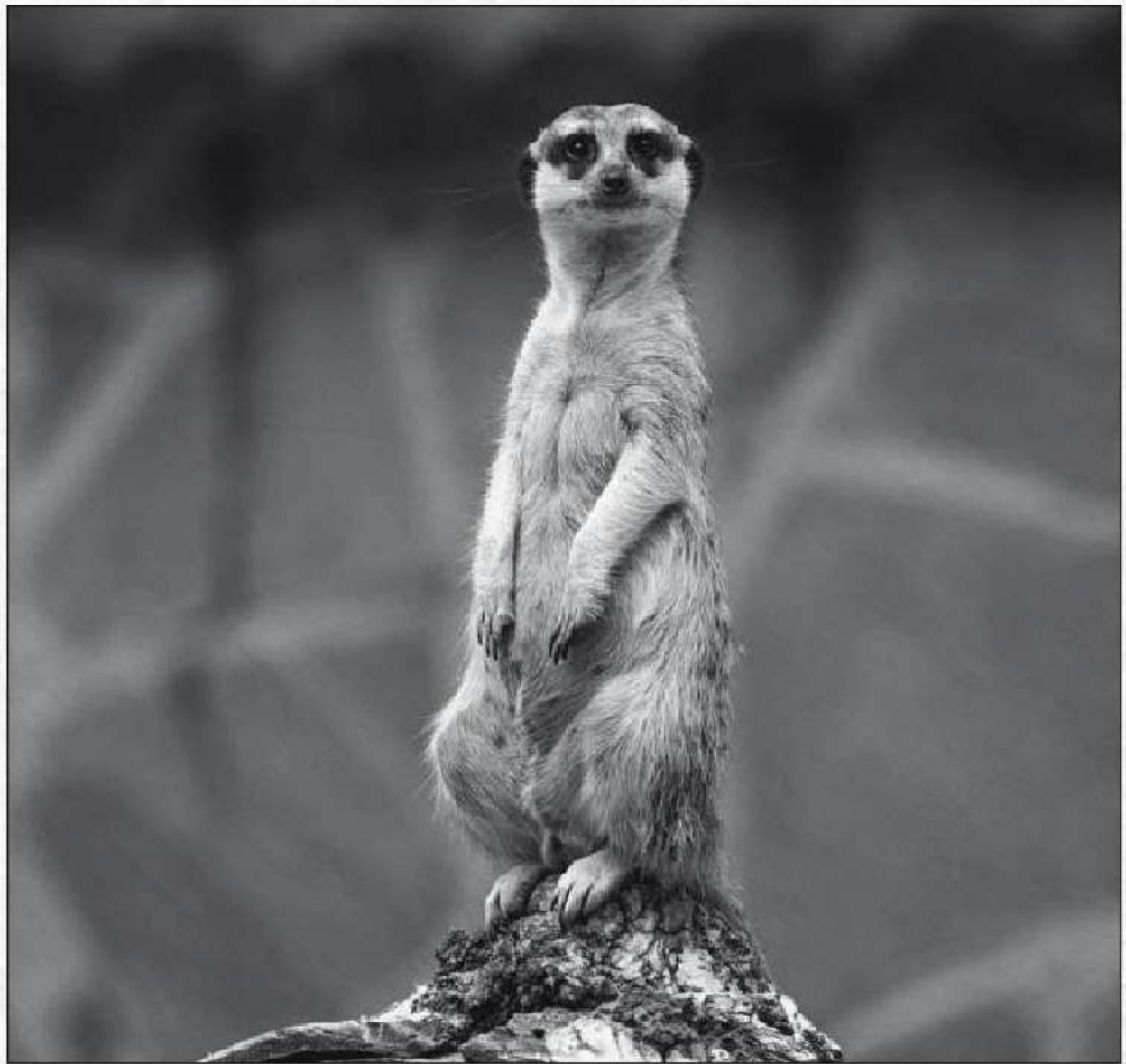
داروینیسم نو

درک امروزی ما از تکامل به واسطه انتخاب طبیعی «داروینیسم نو» (Neo-Darwinism) خوانده می‌شود. این خوانش تضادی با نظریه چارلز داروین ندارد، بلکه یافته‌های جدید در باب وراثت و ژنتیک را به آن افزوده‌است. داروینیسم نو به کارهای جان مینارد اسمیت (John Maynard Smith) و ویلیام همیلتون (William Hamilton) در دهه ۱۹۶۰ بازمی‌گردد. بعدها، ریچارد داوکینز (Richard Dawkins) (تصویر مقابل) این پژوهش‌ها را به همگان معرفی کرد. آشکارترین سود این کارها، اصلاح یکی از کژفهمی‌ها در باب نظریه تکامل بود. پس از پذیرش نظریه تکامل در اوایل قرن بیستم، تصور بر این بود که تکامل در سطح گونه عمل می‌کند و سازش به واسطه سودمندی‌اش برای گونه پدید می‌آید. چگونگی این فرآیند مشخص نبود؛ اما داروینیسم نو به درستی نشان داد که تکامل در فرد اتفاق می‌افتد. تکامل در سطح فرد با ایده ابتدایی داروین سازش بیشتری دارد. امروزه تکامل دانان بدن را ماشینی می‌دانند که توسط ژن‌ها و برای بقا ساخته شده است. بنابراین، در حقیقت تکامل در سطح ژن‌ها است که عمل می‌کند.



نوع دوستی

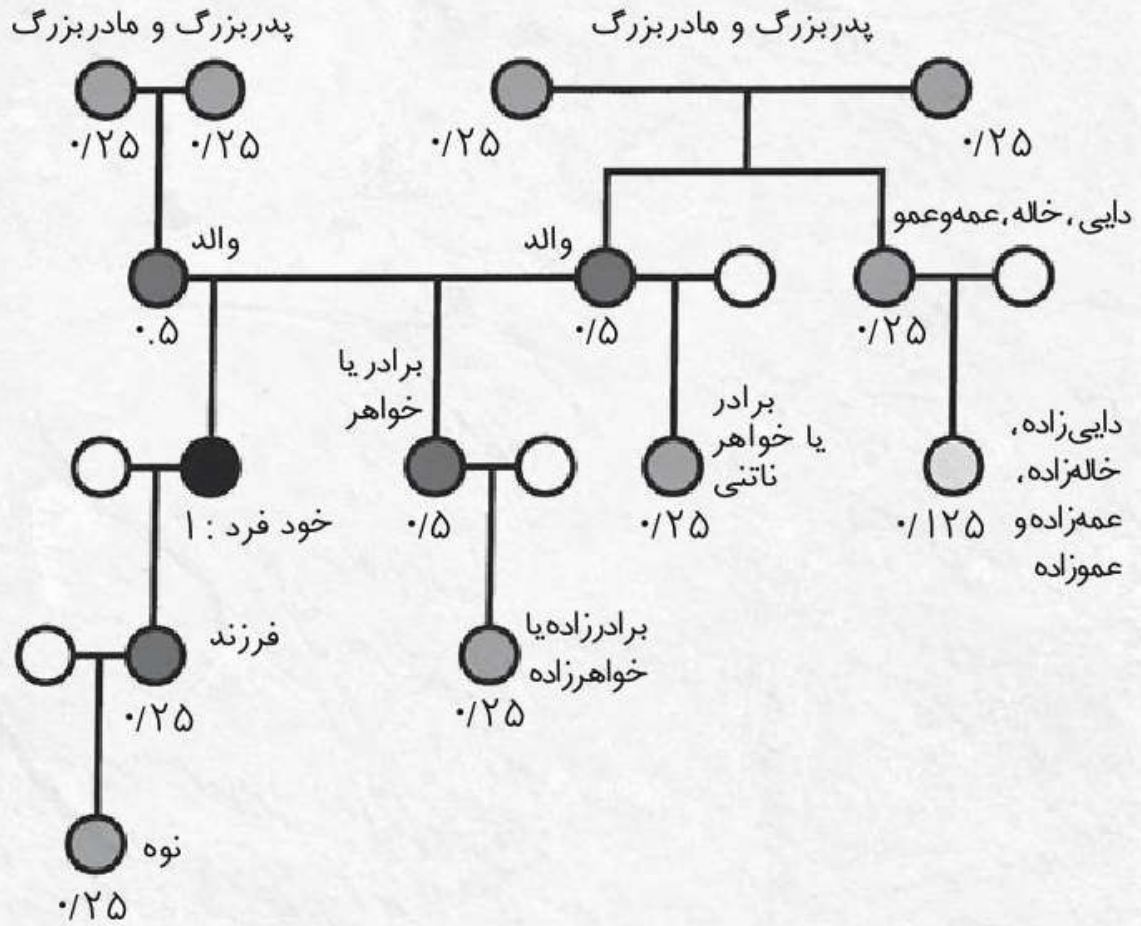
دلایل زیادی برای توضیح نوع دوستی (Altruism) و از خودگذشتگی انسان وجود دارد؛ اصول اخلاقی، افزایش فضیلت فردی یا افزایش سود جمعی به رغم کاهش سود فردی، اما جانوران دیگر نیز از خود می گذرند. برای مثال زنبورهای عسل کارگر مهاجمین را نیش می زنند گرچه این عمل به مرگ آنها منجر می شود. خدنگ قراول (تصویر مقابل) با سروصدا کردن مهاجمین را به خود جلب کرده و به سایر خدنگ ها فرصت فرار می دهد. پروانه شهریار خود را در معرض شکار قرار می دهد، شکارچی را با سم بدنش مسموم می کند تا در آینده شکارچی از حمله به هم نوع هایش منصرف شود. این رفتارها چه سنخیتی با تنازع برای بقا که شالوده انتخاب طبیعی است دارند؟ تنها دلیل این است که فرزندان و والدین، اعضای یک خانواده یا گروه اجتماعی و تا حدی اعضای یک گونه باهم ژن های مشترک دارند. نوع دوستی جانوری می تواند به مصائب و حتی مرگ منجر می شود ولی در عین حال بقای ژن هایی را که میان جانور نوع دوست و خویشاوندانش مشترک اند، تضمین می کند.



خویشاوندی

خویشاوندی (relatedness) یا ضریب خویشاوندی، معیاری کمی است برای بیان خویشاوندی جانداران بر اساس شمار ژن‌های مشترک بین آنها. جاندارانی که تولیدمثل غیرجنسی می‌کنند، زادگانی دارند که ۱۰۰ درصد ژن‌هایشان با والد مشترک است (ضریب خویشاوندی = ۱). در تولیدمثل جنسی، هر والد نیمی از ژن‌های خود را به نسل بعد منتقل می‌کند؛ گرچه لزوماً تمامی این ژن‌ها بر فنوتیپ اثر نمی‌گذارند، ولی در ژنوم زاده موجود بوده و به ضریب خویشاوندی 0.5 میان والد و زاده منجر می‌شوند. این قضیه در مورد برادران و خواهران هم صدق می‌کند: 50% احتمال به ارث رسیدن یک ژن به دو زاده از والدین وجود دارد. برادران و خواهران ناتنی و پدربزرگ و مادربزرگ ضریب خویشاوندی برابر با 0.25 دارند درحالی‌که برادرزادگان و خواهرزادگان ضریبی برابر با 0.125 دارند. میان شما و زادگان برادرزاده یا خواهرزاده شما این ضریب حدود سه درصد است، ضریبی که در خزانه ژنی انسان فرقی با ضریب خویشاوندی شما و فردی ناشناس ندارد. ضریب خویشاوندی به فهم رفتار فداکارانه جانوران کمک می‌کند.

درجات خویشاوندی



ژن‌های خودخواه

مفهومی که عنوان اثر ریچارد داوکینز به سال ۱۹۷۶ نیز بود و از همین رو واژه‌ای آشناست، اما غالباً بد فهمیده می‌شود. این مفهوم نه به این معناست که ژن‌ها شخصیت ما را مشخص می‌کنند و نه به ما این اجازه را می‌دهد که تا جای ممکن خودخواهانه رفتار کنیم؛ زیرا خودخواهی طبیعی است. این مفهوم به این معنی هم نیست که ژن‌ها ساختارهایی هوشمند هستند که دائماً حساب سود و زیان خود را محاسبه می‌کنند. مفهوم ژن خودخواه (Selfish genes) اصول بنیادین داروینیسم نو را در خود خلاصه می‌کند؛ انتخاب طبیعی در سطح ژن عمل می‌کند و پیش‌ران بقای جانداران میل ذاتی ژن‌ها برای همانندسازی بیشتر است. تمام رفتارهای حیوانی، حتی اقسام نوع دوستانه آنها را می‌توان بر اساس این نظریه توضیح داد. بنابراین نباید دلیل وجود ژن‌ها را تولید فنوتیپ (پیکر و رفتار جاندار) دانست، بلکه فنوتیپ ابزاری است برای تضمین بقا و همانندسازی ژن‌ها.



حفاظت کاپی‌بارا (بزرگ‌ترین جونده دنیا) از فرزندانش به معنای حفاظت از ژن‌های خود

اوست |

اثر ریش سبز

رفتارهای نوع دوستانه در جانوران حاصل وجود ژن‌های خودخواه است. والدین از فرزندان پاسداری می‌کنند و برادران و خواهران برای به بار آوردن فرزندانشان به هم کمک می‌کنند. این فرآیند انتخاب خویشاوند (kin selection) است که طی آن افراد به خویشاوندان خود برای تولیدمثل کمک می‌کنند تا به واسطه این خویشان، ژن‌های خود را همانندسازی کنند. اما چه می‌شد اگر جانوران ناخویشاوند می‌توانستند از وجود اشتراک ژنی بین خود و دیگران نیز باخبر شوند؟ این پرسش موضوع آزمایشی فکری به نام اثر ریش سبز است: تصور کنید که نمود فنوتیپی یک ژن، ریشی سبزرنگ باشد. افراد حامل این ژن می‌توانند حاملین دیگر این ژن را در جمعیت شناسایی کنند. چنین سازوکاری به نفع همانندسازی این ژن است اما آیا در طبیعت هم وجود دارد؟ نمونه‌های معدودی، غالباً در میکروب‌ها، دیده شده‌اند، اما چنین سازگاری می‌باید نادر باشد، چون فریبندگی (cheating) آن را از هم می‌پاشاند؛ جهش منتهی به ریش سبزی که هم‌نوع دوست هم نباشد، از تمام سودهای دارا بودن ریش سبز برخوردار می‌شود و هزینه‌ای نمی‌پردازد. این جهش به سرعت در جمعیت غالب و موجب حذف ریش سبزه‌های هم‌نوع دوست خواهد شد.




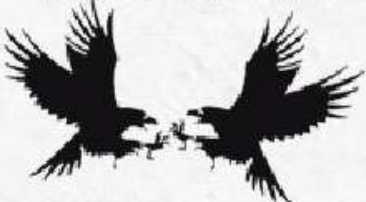



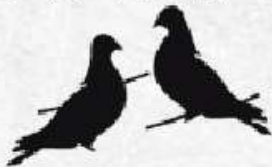


قبول هزینه برای کمک به دیگران استراتژی ژنتیکی معیوبی است، زیرا تنها خدعه‌گران
سود می‌برند

شاهین - قمری

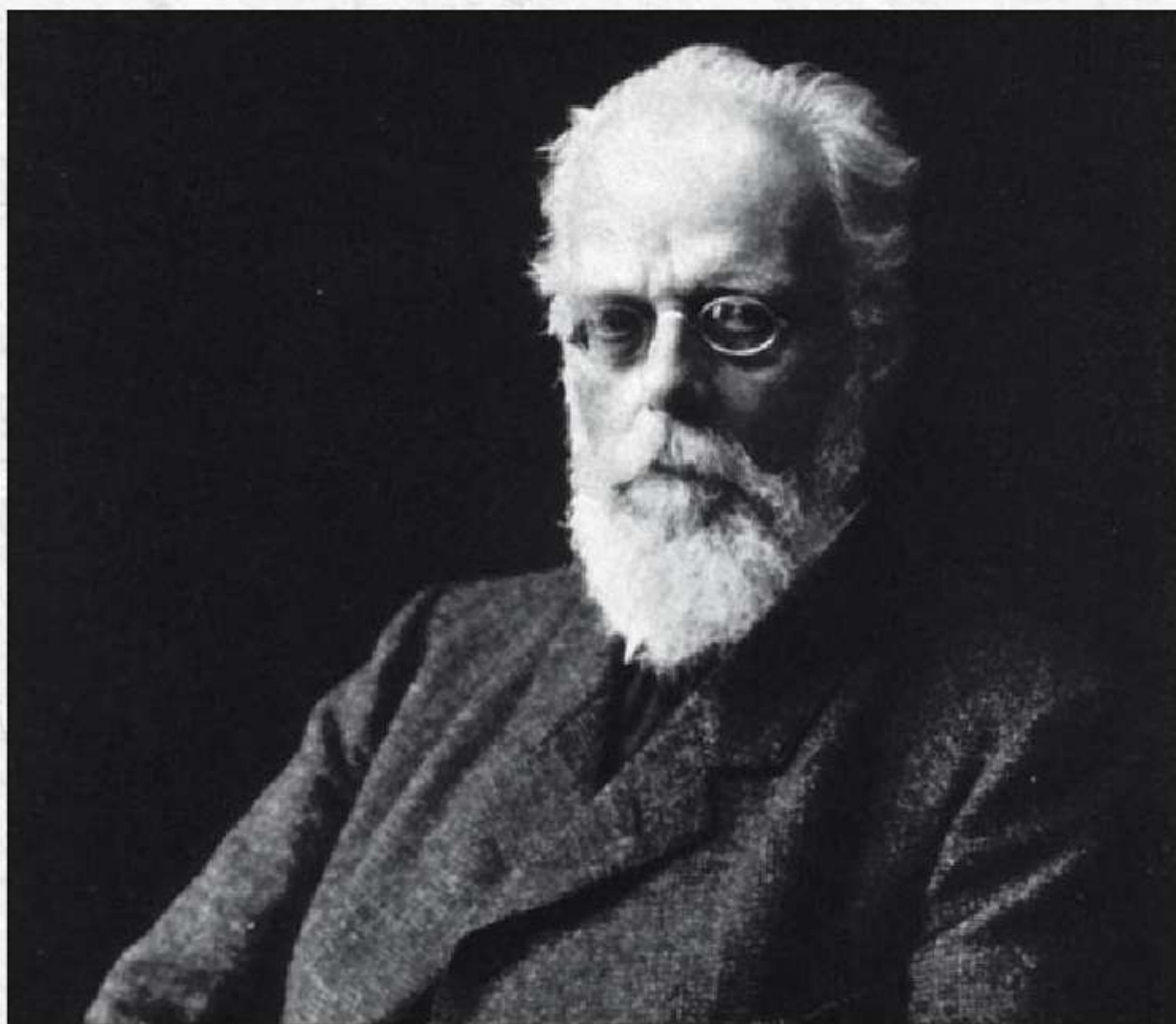
یکی دیگر از جنبه‌های نوین داروینیسیم نو استفاده از نظریه بازی‌ها برای فهم تکامل رفتاری جانوران، خاصه رفتارهایی است که با حل و فصل کشمکش مرتبط‌اند. نظریه بازی‌ها بخشی از احتمالات ریاضی مرتبط با فرآیندهای تصادفی است. این شاخه ریاضی در دهه ۱۹۴۰ برای فهم رفتار انسان در سناریوهای نظامی و اقتصادی ابداع شد، اما اشکال ساده‌تر آن را می‌توان برای توصیف چگونگی تکامل استراتژی‌های رفتاری پایدار در گونه‌ها به کار بست. بازی شاهین-قمری مزایای تهاجم (شاهین) یا صلح‌طلبی (قمری) را در نظر می‌گیرد. در این بازی دو جانور بر سر غذا یا جفت رقابت می‌کنند. اگر شاهینی با قمری رقابت کند، شاهین پیروز خواهد بود. احتمال غلبه شاهینی بر شاهین دیگر ۵۰ درصد است. اگر قمری با شاهین رقابت کند، قمری به جنگیدن تن نمی‌دهد و در نتیجه نه چیزی به دست می‌آورد و نه چیزی از دست می‌دهد. دو قمری منابع را باهم تقسیم می‌کنند. احتمال وقوع این چهار سناریو به فراوانی شاهین‌ها و قمری‌ها در جمعیت بستگی دارد. یک شاهین در میان قمری‌ها شاهی می‌کند ولی عکس آن هم صادق است.

مدل شاهین - قمری

<p>در مقابل</p>	<p>شاهین</p> 	<p>قمری</p> 
<p>شاهین</p> 	<p>شاهین نیمی از نبردها را می برد و در نیم دیگر زخمی می شود</p> 	<p>شاهین همیشه می برد قمری فرار می کند</p> 
<p>قمری</p> 	<p>قمری نمی برد و زخمی هم نمی شود</p> 	<p>قمری نیمی از منابع را به دست آورده و زخمی نمی شود</p> 

جبرگرایی

تاکید داروینیسم جدید روی استیلای ژن‌ها بر تکامل به این باور انجامید که ژن‌ها تنها عامل تعیین‌کننده در تکوین پیکر و رفتارهای یک جاندارند. مردم تصور می‌کنند که داشتن یک ژن همواره به بروز یک صفت می‌انجامد. اعتقاد به اینکه صفات در «خون ما» هستند، جبرگرایی (Determinism) ژنتیکی خوانده می‌شود. داروینیسم کلاسیک به برهم‌کنش میان پیکر و رفتارهای یک جاندار و محیط می‌پردازد. داروین چیزی از ژنتیک مندلی نمی‌دانست و وقتی که ژنتیک مندلی و داروینیسم باهم ترکیب شدند، تصور شد که ژن‌ها عملاً دستورالعمل ساخت پیکر جاندار را فراهم می‌آورند. در واقع همیشه این آگاهی وجود داشت که برهم‌کنش ژن و محیط، پیکری بی‌همتا را پدید می‌آورد. پرسش این بود که به چه میزان این پیکر حاصل طبیعت (ژن) و به چه میزان حاصل محیط است؟



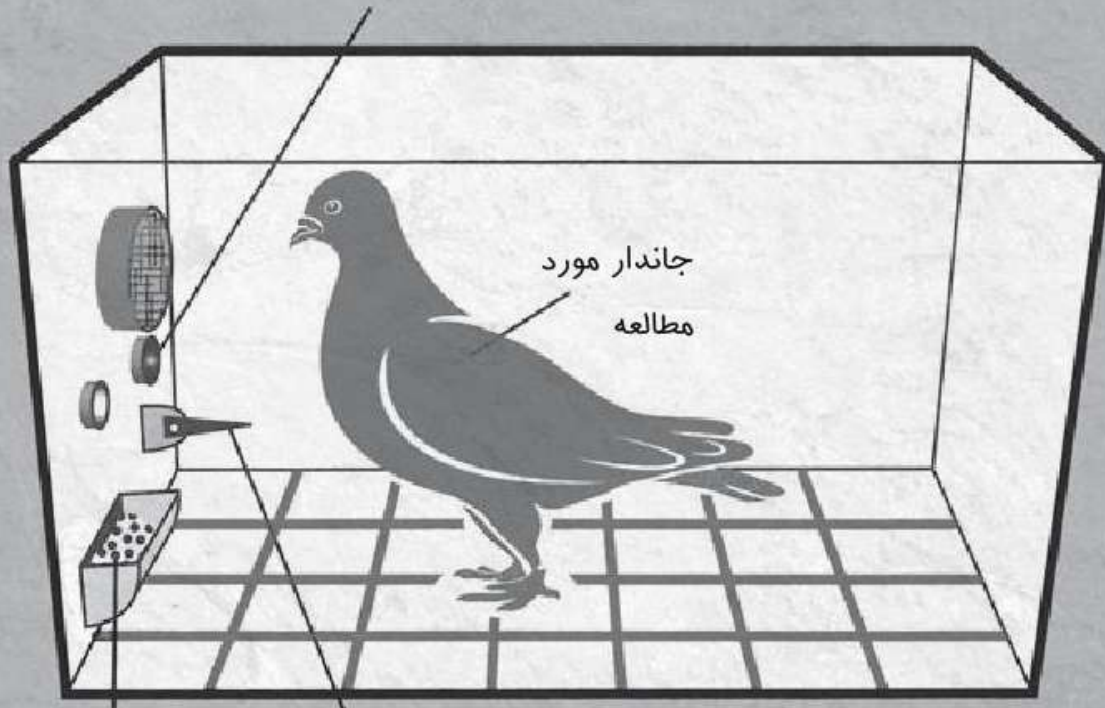
زیست‌شناس آلمانی آگوست وایسمان (۱۸۳۴ – ۱۹۱۴) از نخستین
هواداران جبرگرایی ژنتیکی و از پیشگامان نظریه ژن خودخواه بود

رفتارگرایی

حوزه‌ای از روان‌شناسی که رفتارگرایی (Behaviourism) خوانده می‌شود به دنبال فهم چگونگی یادگیری و محرک‌ها در موجوداتی چون انسان از طریق فعالیت‌های قابل مشاهده آنهاست. یکی از روش‌های مورد استفاده در این حوزه، شرطی شدن فعال (operant conditioning) است. در این روش، جانور به واسطه پاداش و مجازات عملی را فرا می‌گیرد. پرسروصداترین مدافع این حوزه، اسکینر (B. F. Skinner) روان‌شناس آمریکایی بود. او جعبه‌ای را به این منظور طراحی کرد و غالباً کبوتری را در این جعبه قرار می‌داد؛ تا هر وقت که کبوتر عمل مورد نظر او را انجام دهد، پاداشی دریافت کند و به این صورت رفتار مورد نظر تقویت می‌شد. اسکینر به کبوتران یاد داد تا رشته پیچیده‌ای از وظایف را به خوبی جانداران باهوش‌تر انجام دهند. نتیجه او از این پژوهش‌ها این بود که یادگیری فرآیندی صرفاً فیزیکی است که در انسان حتی به قوه ادراک نیاز ندارد. این نظریه عجیب تا ۲۰ سال به چالش کشیده نشد، تا اواخر دهه ۱۹۶۰ که محل ثبت حافظه در مغز انسان یافت شد و در نتیجه رابطه رخداد فیزیکی و ذهنی ثابت شد.

جعبه اسکینر برای یک کبوتر

چراغ



جائدار مورد
مطالعه

محل غذا دادن

اهرم یا کلید
پاسخ‌گویی

پیدایش حیات

نظریه تکامل از طریق انتخاب طبیعی به عنوان سازوکار تغییر جانداران طی نسل‌های پیاپی، پذیرفته شده است. یکی از بخش‌های محوری نظریه داروین این بود که همه جانداران از نیایی مشترک و آغازین تکامل یافته‌اند؛ نیایی با صفات تقریباً ناشناخته. این موجود بی‌شک میکروبی بوده، چراکه قدیمی‌ترین ثبت‌های سنگواره‌ای (به قدمت بیش از سه و نیم میلیارد سال پیش) حاوی بقایای جاندارانی پروکاریوت شبیه باکتری‌ها و آرکی‌هاست. چنین موجوداتی گرچه در نظر ما بسیار ساده‌اند، اما نسبت به مواد غیرآلی بسیار پیشرفته‌اند. چنین موجودات پیشرفته‌ای چگونه از مواد غیرآلی تکامل یافتند؟ برای پاسخ به این پرسش، نظریه‌های مختلفی مطرح شده است. در نظر داروین خاستگاه حیات و خاستگاه گونه‌ها، مسأله‌هایی جداگانه بودند و تصور می‌کرد «در برکه‌ای کوچک و گرم که حاوی تمام نمک‌های فسفری و آمونیاک و نور گرم و الکتریسیته و چیزهای دیگر باشد، ترکیبی پروتئینی از واکنش‌های شیمیایی پیدا شده که می‌توانسته درگیر تغییرات بیشتری شود».

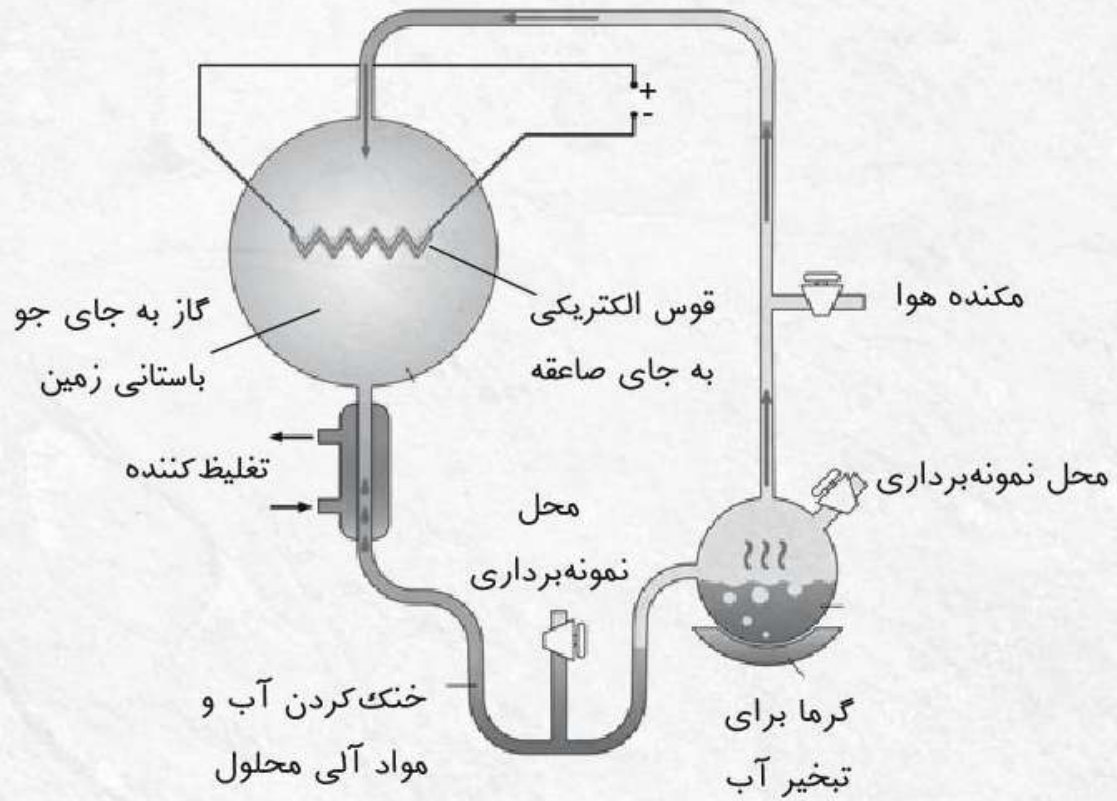


سنگواره‌هایی به نام استروماتولیت از جوامع لایه‌لایه جاندارانی ساده به قدمت سه و نیم
میلیارد سال ساخته شده‌اند |

نظریه سوپ آغازین

مشهورترین نظریه درباره خاستگاه زندگی، بازتابی از پیشنهاد داروین است که زندگی از «برکه‌ای گرم» در گذشته‌ای دور متولد شده است. برکه گرم احتمالاً نخستین اقیانوس‌های دائمی بوده‌اند که سه میلیارد و هشتصد میلیون سال پیش، فرورفتگی‌های زمین را پرکردند. این نظریه در سال ۱۹۵۲ طی آزمایش میلر-اوری (Miller-Urey) جانی دوباره یافت. استنلی میلر (Stanley Miller) شیمی‌دان و هارولد اوری (Harold Urey) اخترفیزیکدان دانشگاه شیکاگو محفظه‌ای شیشه‌ای درست کردند و آن را «آب‌نبات چوبی» نام نهادند. اتاقک مرکزی واکنش‌ها در این محفظه با آب و موادی شیمیایی که از آتش‌فشان‌ها بیرون می‌آید، از قبیل نیتروژن، کربن دی‌اکسید و سولفیدها تغذیه می‌شد. این مخلوط در مسیری مدار بسته هم می‌خورد، جوش می‌آمد، تغلیظ می‌شد و در معرض قوس الکتریکی قرار می‌گرفت. بعد از یک روز رنگ مواد صورتی شد و پس از یک هفته، مواد شیمیایی مختلفی از قبیل سیانیدها، آمونیاک و حتی نوعی آمینواسید به وجود آمد. پژوهشگران چنین نتیجه گرفتند که اگر آزمایش در مقیاس بزرگ‌تر و طولانی‌تر انجام می‌شد، همه پیش‌ماده‌های حیات به وجود می‌آمدند.

آزمایش میلر-اوری



پانسپریمیا یا بذر کیهانی

نخستین گام در پیدایش حیات باید ترکیبی شیمیایی باشد که قادر به ساخت مواد شیمیایی مورد نیاز حیات است. فرضیه پانسپریمیا یا بذر کیهانی، به سادگی، این مرحله را در مورد سیاره ما به کناری می‌نهد؛ به این صورت که چه بسا زمین با مواد شیمیایی زنده یا حتی نخستین یاخته‌های زنده از فضا بارور شده باشد. این فکر در سده نوزدهم شکل گرفت و اخیراً که اخیرزیست‌شناسان به دنبال زندگی فرازمینی هستند، دوباره مورد توجه قرار گرفته است. پیش‌نهادهای مختلفی برای زورق فرضی کیهانی که شاید زندگی را به زمین آورده باشد، مطرح شده‌اند. شاید باکتری‌هایی خفته بتوانند به صورت گردی ذره‌بینی از دل کیهان بگذرند و به زمین برسند. شاید هم برخی مواد شیمیایی در دل یخ‌های ستاره‌های دنباله‌دار به زمین رسیده و بخار شدند، این مواد هم در زمین آزاد و پراکنده شدند. سطح‌نشین فیله (Philae) که در سال ۲۰۱۵ بر سطح دنباله‌داری نشست، نشان داد که این احتمال ضعیف است. بنابراین فعلاً تنها نامزد محتمل سنگ‌های آسمانی هستند. آیا باکتری‌ها و مواد شیمیایی می‌توانند در دل این صخره‌های یخ‌زده از فضا بگذرند و به زمین برسند؟



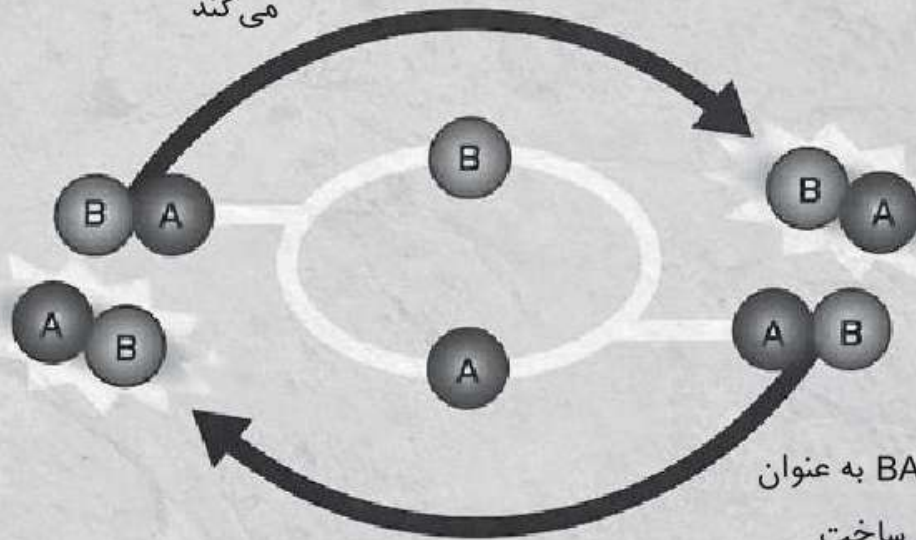
| آیا بذر حیات و مواد شیمیایی در دل صخره‌های شهاب‌سنگ‌ها و یخ‌های ستاره‌های
دنباله‌دار به زمین رسیده‌اند؟ |

خود تسهیل‌گری

اخیراً این عقیده که زندگی در دریا‌های گرم باستانی پخته شده است، به نفع فرضیه دیگری کنار رفته است. فرضیه جدید می‌گوید زندگی در رسوبات داغ کف دریا پیدا شده است. هرچند چنین محیطی برای اغلب جانداران امروزی تحمل‌ناپذیر است، رسوبات مملو از مواد شیمیایی در نزدیکی چشمه‌های آب داغ زیر دریا، یکی از پایدارترین محیط‌های زمین جوان بوده است. نواحی سطحی در معرض تابش مرگبار خورشیدی و تغییرات اقلیمی شدید بوده‌اند. بسیاری تصور می‌کنند که مرز میان غیرزنده و زنده در قعر اقیانوس‌ها طی شده است. اما دقیقاً چه چیزی ماده‌ای شیمیایی را به ماده زنده تبدیل می‌کند؟ پاسخ در خود تسهیل‌گری (Autocatalysis) است. ماده خود تسهیل‌گر، ماده‌ای است که می‌تواند خودش را باز تولید کند. تسهیل‌گر پیش ماده‌ای است که سدهای انرژی را از سر راه ساخت موادی خاص بردارد. حضور تسهیل‌گر باعث می‌شود واکنش‌های شیمیایی بی‌درنگ پیش بروند. نخستین ماده زنده، مولکولی بوده که می‌توانسته ساخت رونوشتی مانند خود را از مواد خام اولیه، تسهیل کند. مانند مولکول RNA که می‌تواند خودش را از مواد خام بسازد. شاید نخستین مولکول‌های زنده حتی از RNA نیز ساده‌تر بوده باشند.

نمایی ساده از فرآیندی خودتسهیل‌گر

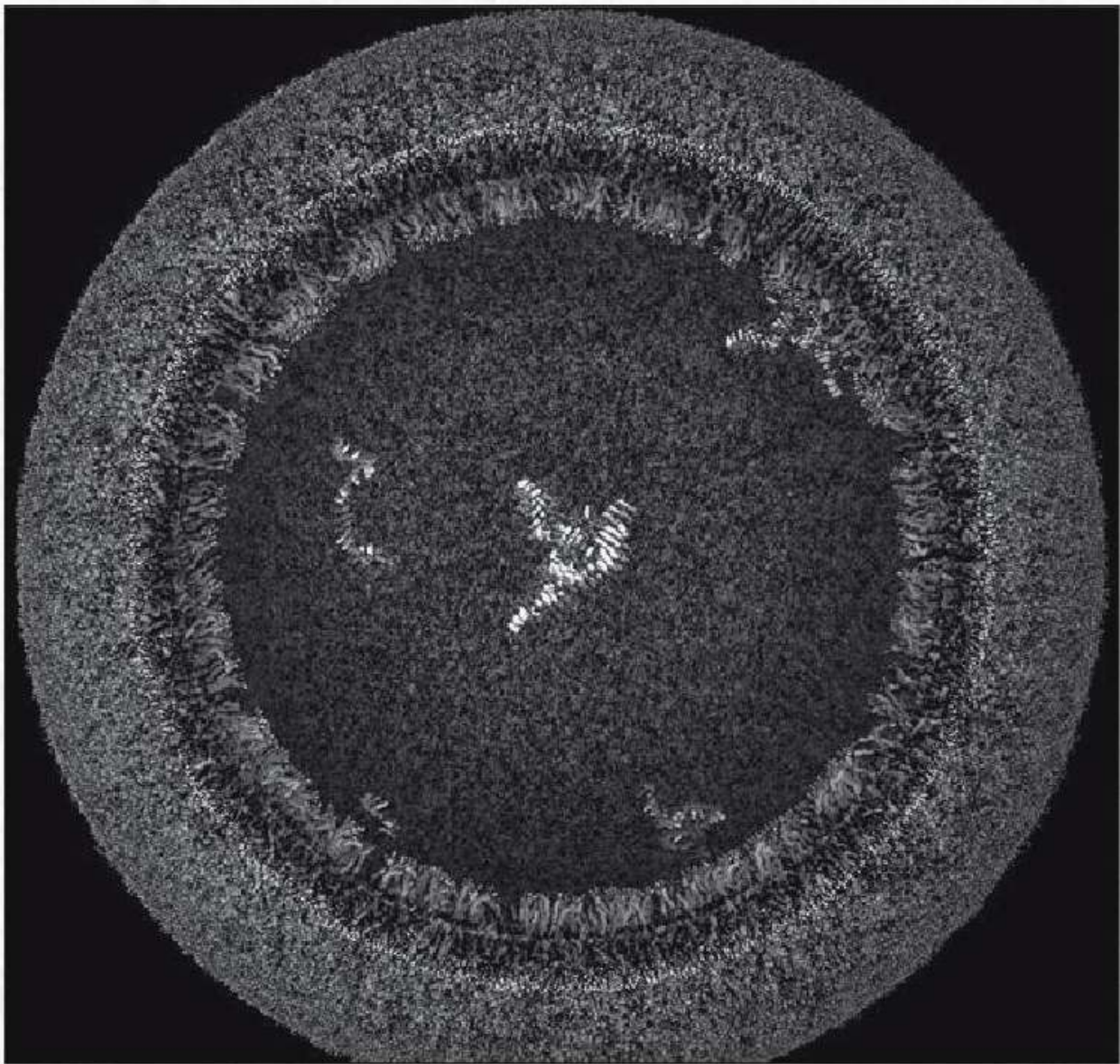
مولکول AB به عنوان تسهیل‌گر
ساخت مولکول BA عمل
می‌کند



مولکول BA به عنوان
تسهیل‌گر ساخت
مولکول AB عمل
می‌کند

تکامل شیمیایی

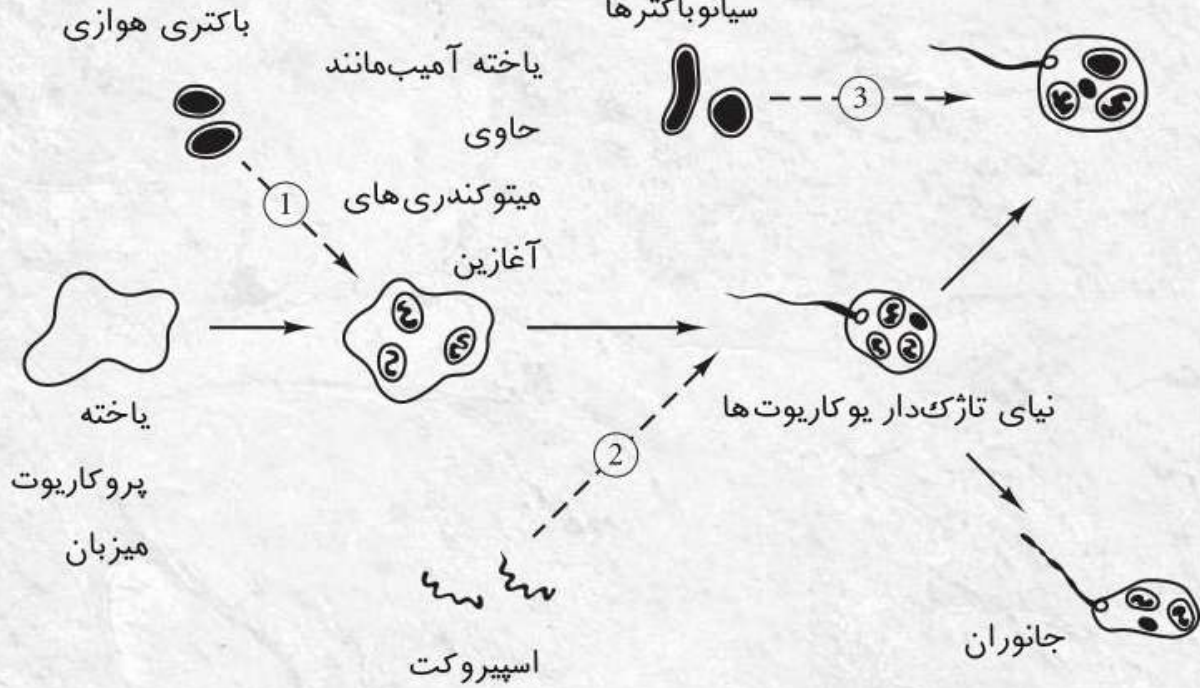
فرایند تکامل مولکول‌های پیچیده به جانداران حقیقی، تکامل شیمیایی نامیده می‌شود. رسوباتی را تصور کنید، انباشته از موادی شیمیایی که برخی می‌توانند از طریق مسیری خودتسهیل‌گر، خودهمانندسازی کنند. این مولکول‌های خودهمانندساز برای پیدا کردن مواد خام مورد نیاز خود، با یکدیگر در رقابتند. برخی که در ساختن رونوشت‌های دقیق از دیگران بهترند، بیشتر تکثیر شده و به مولکول‌های غالب تبدیل می‌شوند. صورتی آغازین از انتخاب طبیعی میان آنها در جریان است. چندان که این خودهمانندسازها بزرگ‌تر و پیچیده‌تر می‌شوند، برخی خطاها در همانندسازی آنها پدیدار می‌شود؛ خطاهایی که ممکن است به سود یا زیان مولکول‌های تازه باشد و آنهایی که خطاهایی سودمند را به ارث می‌برند، همچنان پیش‌تاز این رقابت خواهند بود. سرانجام مولکول‌هایی خودهمانندساز شبیه اسیدهای نوکلئیک امروزی (DNA و RNA) درآمیخته با پروتئین‌هایی که به همانندسازی و حفاظت آنها یاری رسانده‌اند، پیدا خواهند شد. کلید ساخت این پروتئین‌های همراه، جزئی از رمزگان درون اسیدهای نوکلئیک است؛ چنین موجودی، موجودی زنده، کمابیش همانند ویروس‌هاست. گام آخر قرار گرفتن تمام این مجموعه و مقداری مواد اولیه موردنیازشان درون غشائی از جنس چربی است؛ نخستین یاخته زاده شد.



درون هم‌زیستی

نخستین جاندار واجد یاخته که حدود سه و نیم میلیارد سال پیش از دل خورشفت شیمیایی آغازین زاده شد، نیای جانداران بعدی، یعنی باکتری‌ها و آرکی‌ها و یوکاریوت‌ها بود. یوکاریوت‌ها یاخته‌هایی پیچیده‌تر از دو دامنه دیگر دارند و بسیار دیرتر تکامل یافتند؛ یعنی یک و نیم میلیارد سال پیش؛ جالب‌تر آنکه نخستین یاخته یوکاریوت از یک نیا تکامل نیافت، بلکه از ترکیب چند نیای مختلف پیدا شد. برخی از اندامک‌های یوکاریوتی، مثل شبکه اندوپلاسمیک از چین خوردگی غشای یاخته تکامل یافتند، اما برخی دیگر (به ویژه دو اندامک بسیار مهم میتوکندری و کلروپلاست) از نسل پروکاریوت‌هایی هستند که هم‌زیست درونی یاخته‌ای بزرگ‌تر شده بودند. بعید نیست که این فرآیند درون هم‌زیستی (Endosymbiosis) چندین بار رخ داده باشد؛ هرچند می‌دانیم نسل تمام یوکاریوت‌های امروزی به یک نیای مشترک بازمی‌گردد که میان باقی یاخته‌های واجد درون هم‌زیست، موفق‌تر و برنده بود. نخستین درون هم‌زیست باکتری‌های گوگردخواری بوده‌اند که به میتوکندری تکامل یافتند؛ اندامک‌هایی که هنوز هم DNA جداگانه خود را به یادگار از دورانی که زندگی آزاد داشته‌اند، حفظ کرده‌اند. کلروپلاست‌ها احتمالاً بعدها از درون هم‌زیستی سیانوباکتری‌های فتوسنتزکننده تکامل یافتند.

نیای یوکاریوت‌های حاوی کلروپلاست سیانو باکترها



۱ درون هم‌زیستی باکتری هوازی با پروکاریوت میزبان

۲ درون هم‌زیستی اسپروکت‌ها یاخته آمیب‌مانند

۳ درون هم‌زیستی سیانو باکتری‌ها

برخی عقیده دارند پیدایش میتوکندری مقدم بر هسته بوده است، زیرا بدون افزایش سطح بهره‌وری انرژی یاخته به مدد میتوکندری هوازی، امکان بزرگ‌شدن یاخته بی‌هوازی آغازین و تشکیل غشای اندوپلاسمی و هسته وجود نداشته است

زیست‌شناسی تکوینی-تکاملی

زیست‌شناسی تکوینی-تکاملی (Evo-Devo) در پی آن است تا شکاف میان تفاوت‌های ژنوتیپی و فنوتیپی را پر کند؛ به همین دلیل رویکردی کارآمد برای درک تکامل صفات عمده جانداران و کمک به پرکردن شکاف‌های بزرگ در ثبت سنگواره‌ای است. زیست‌شناسی تکوینی-تکاملی به جای مقایسه ساده DNA یا آناتومی جانداران، مسیر تکوین آنها را از تخم باور شده‌ای کوچک تا فردی بالغ، بررسی و مقایسه می‌کند و بر این اساس نتیجه می‌گیرد جاندارانی که مسیر تکوین آنها در مراحل آغازین به هم شبیه‌تر است، خویشاوندان نزدیک‌تری هستند تا آنها که مسیرهای متفاوتی را طی تکوین می‌پیمایند. در سی سال اخیر، زیست‌شناسی تکوینی-تکاملی پیش‌روترین شاخه زیست‌شناسی تکاملی بوده است، زیرا نشان داده که پیچیدگی بدن و صفات تشریحی ظاهری، لزوماً نشانه‌های خوبی برای خویشاوندی نیستند. برای مثال کرم‌های پهن و کرم‌های حلقوی خویشاوند نرم‌تنان اند، سخت‌پوستان و حشرات به کرم‌های گرد (نماتودها) نزدیک‌ترند و سرانجام ستاره دریایی بیش از همه این‌ها به مهره‌داران نزدیک است؛ درحالی‌که شباهت‌های ظاهری بر چنین خویشاوندی‌هایی دلالت ندارند.



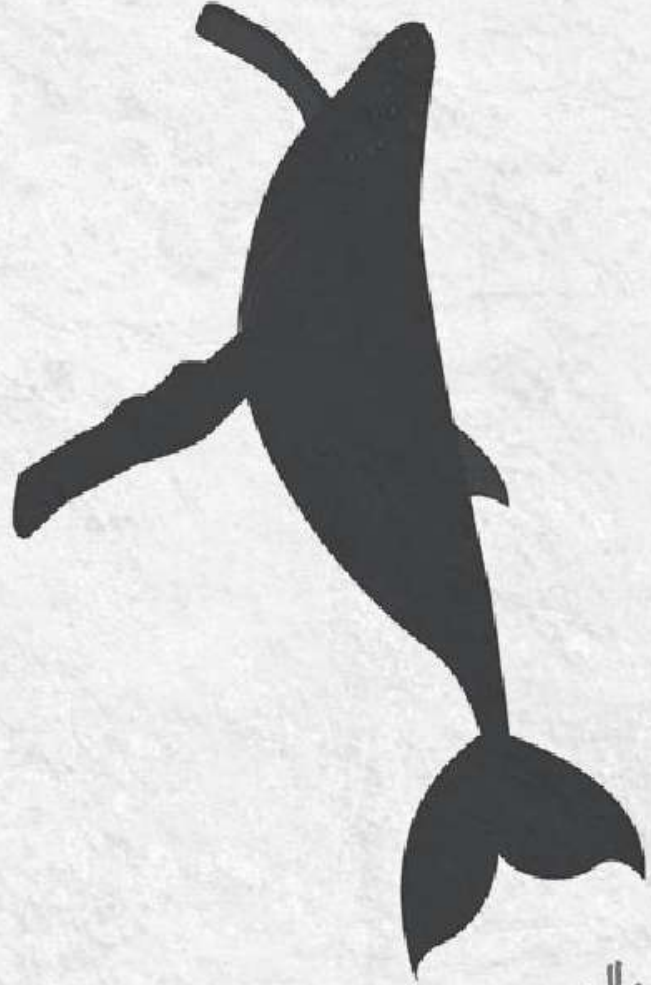
دست‌کم در مراحل آغازین رشد جنینی، همه مهره‌داران تکوین مشابهی دارند |

ژن‌های Hox

ژن‌های خانواده Hox نمونه‌ای بارز از اهمیت ژنتیک به عنوان رمزگان هدایت‌کننده تکوین جنینی در اغلب جانوران اند؛ ژن‌هایی که به «جعبه ابزار ژنتیکی تکوین» مشهورند. این ژن‌ها دست‌کم در بخشی از دوره زندگی جانوران دوطرفی (همه جانوران به جز گروه‌هایی مثل اسفنج‌ها، کیسه‌تنان و شانه‌داران) نقشی حیاتی بازی می‌کنند و در ریخت‌زایی جانوران مختلف از کرم پهن تا وال‌ها دخیل‌اند. برخی از این ژن‌ها مسئول تشکیل سر در یک سو و برخی دیگر سازنده تنه و دم در سوی دیگر هستند. انواعی دیگر از ژن‌های Hox نیز مسئول هریک از بندهای دیگر بدن هستند. هر بند بدن از سر تا دم با پروتئینی ویژه که به یکی از ژن‌های Hox مربوط است، رمزگذاری می‌شود. هر رمز پروتئینی ضامن رشد و ریخت‌زایی صحیح قسمت مربوط به خود است، مثلاً تشکیل دست و پا و چشم به ژن‌های Hox متناظر این اندام‌ها وابسته است. ژن‌های Hox آن قدر مهم بوده‌اند که انتخاب طبیعی ساختار و توالی آنها را میان جانوران دوطرفی تقریباً بی‌تغییر گذاشته است، طوری که می‌توان ژن‌های مشابهی را میان گروه‌های مختلف جانوران با نقش یکسان ردیابی کرد. برخی ممکن است در برخی گروه‌ها خاموش شده باشند (مثلاً ژن‌های سازنده دست و پا در مارها)، هرچند الگوی کلی بدن اغلب یکسان مانده است.



کرم پہن

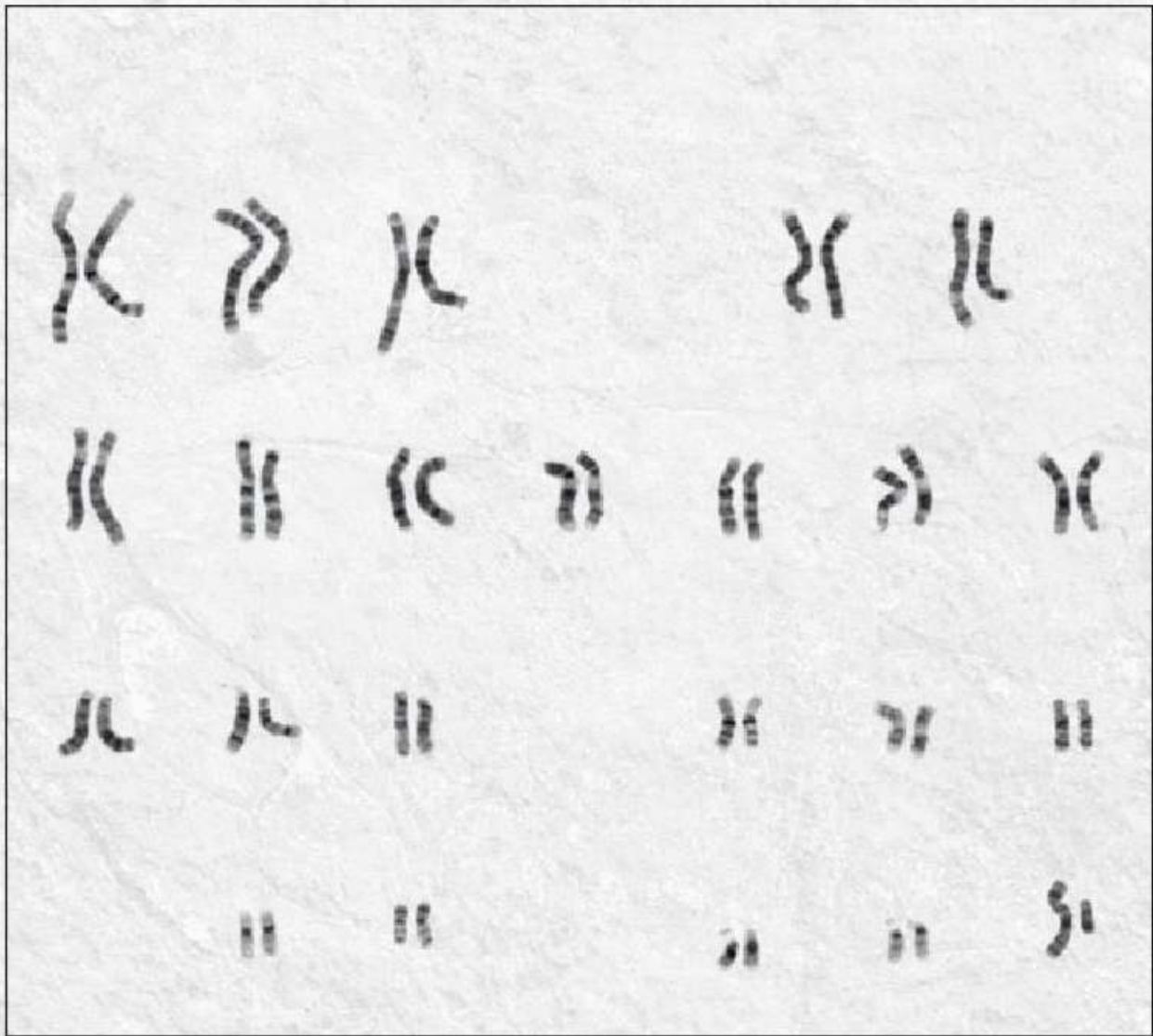


وال

ژنتیک و انسان

یکی از اهداف اصلی علم ژنتیک این است که بتوانیم مشکلاتی را که بیشتر با بدن انسان مرتبط اند حل کنیم. مسبب بسیاری از ناهنجاری‌های ارثی که سبب عذاب بیماران است، ژن‌ها هستند و شاید بتوان با استفاده از دانش ژنتیک این ژن‌ها را مهار کرد. عامل بیماری‌هایی چون کم‌خونی یاخته‌های داسی شکل، هموفیلی و بیماری هانتینگتون یک ژن است درحالی‌که بیماری‌های ژنتیکی دیگر حاصل نقص‌های وسیع‌تر در سطح کروموزم‌ها هستند. بسیاری از بیماری‌ها جنبه ژنتیکی دارند و آینده پزشکی احتمالاً در گرو معالجات فردی بر اساس ژنتیک هر فرد خواهد بود.

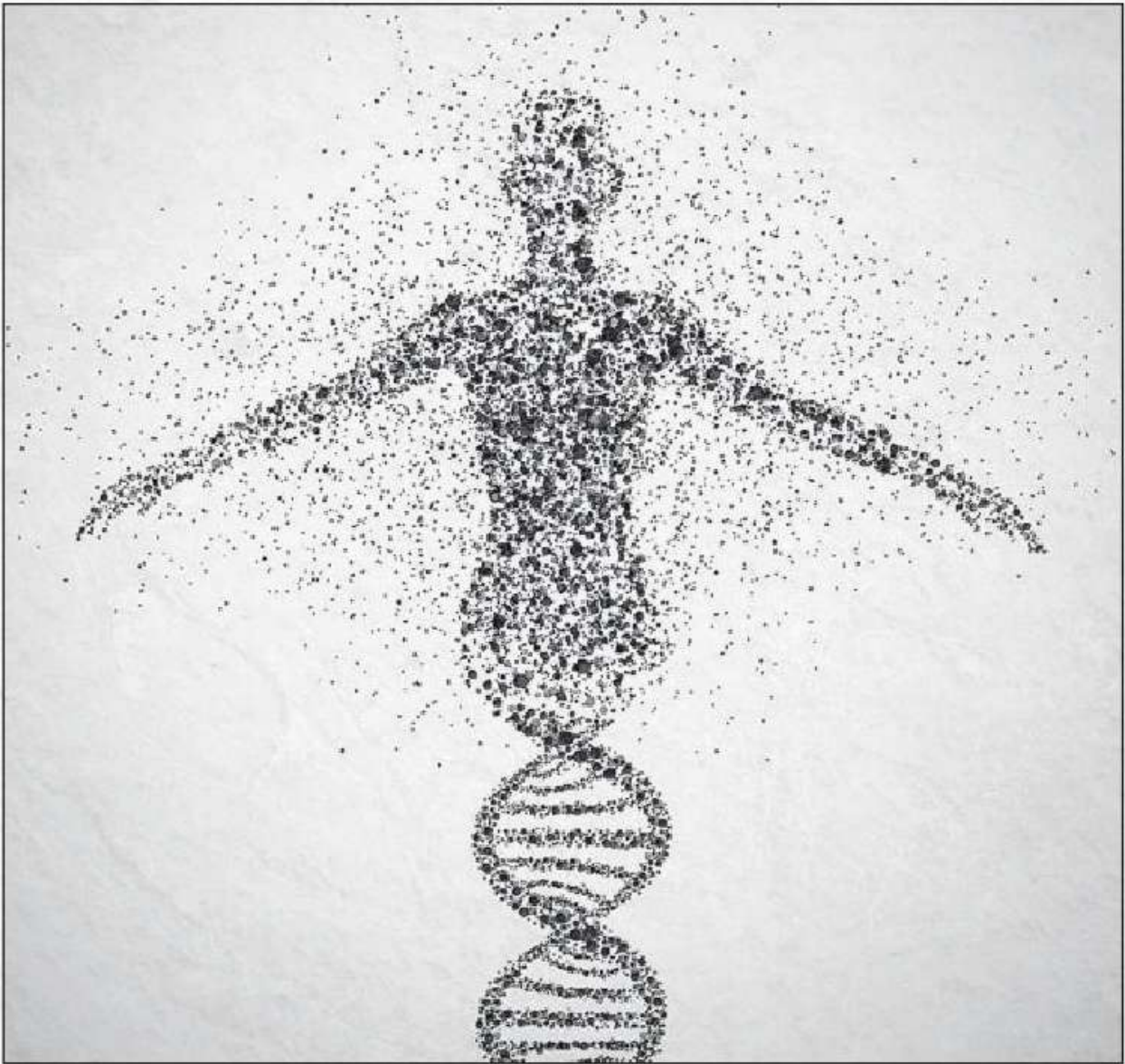
بهترین بیان‌کننده ژنتیک انسان «کاریوتیپ» است. کاریوتیپ تصویری لحظه‌ای از تمامی کروموزم‌های آماده تقسیم و در نتیجه ضخیم یک فرد است. ۴۶ کروموزم در انسان وجود دارد: یک جفت کروموزم جنسی و ۲۲ جفت کروموزم غیرجنسی. اولین قدم در تشخیص ناهنجاری ژنتیکی بررسی کاریوتیپ و جستجو برای کروموزم‌های ناجفت است.



کاربوتیپ انسان ۴۶ کروموزم در ۲۳ جفت را نشان می‌دهد |

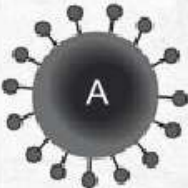
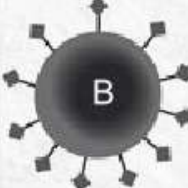
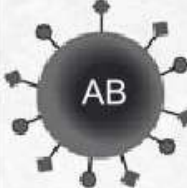
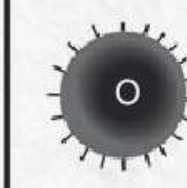






پروژه ژنوم انسان

پروژه ژنوم انسان، که «بزرگ‌ترین کشف تاریخ بشر» و «پویشی درونی به جای پویشی بیرون سیارات و کیهان» خوانده شده است، ۲۰ سال به درازا کشید. در ۲۰۰۳، این پروژه توانست تمامی DNA انسان را با توالی‌یابی رشته بامعنای ژنوم هاپلوید بخواند (ژنوم هاپلوید ۲۳ کروموزم است). منبع پروژه ژنوم انسان مردی ناشناس از اهالی بوفالو در نیویورک و شماری نمونه از اهداکنندگانی دیگر بود. نتیجه این خوانش ۲۵ خط نوکلئوتیدی است: ۲۲ کروموزم غیرجنسی، کروموزم X و Y و DNA میتوکندریایی. مجموع این خطوط سه میلیارد حرف است ولی این حرف‌ها به چه معنایند؟ داده‌های این پروژه مختص اهداکنندگان بوده و قابل بسط به همه انسان‌ها نیستند. با وجود این، این داده‌ها مرجعی هستند برای شناخت DNA رمزگذار و DNA بی‌نمود؛ از این منظر، کاوش حقیقی ژنوم انسان تازه آغاز شده است.



گروه‌های خونی

هر شخص یکی از چهار گروه خونی A، B، AB یا O دارد. گروه خونی صفتی ارثی است ژن‌های مربوط به آن نمونه‌ای از ژنتیکی مندلی‌اند. گروه‌ها به پادگن‌ها یا نشانگرهای شیمیایی مربوط‌اند که بر سطح یاخته‌های قرمز خون وجود دارند. پادتن‌ها در جریان خون وجود دارند که به دنبال یاخته‌هایی می‌گردند که پادگن‌هایی بیگانه دارند؛ بنابراین شخصی با گروه خونی A روی یاخته‌های قرمز خونی‌اش پادگن A و در جریان خونش پادتن B دارد. این پادتن‌ها به یاخته‌های دارای پادگن B چسبیده و سیستم ایمنی را از حضور این یاخته‌های بیگانه آگاه می‌کنند. گروه‌های خونی با ژن‌های A، B و O کنترل می‌شوند. ژنوتیپ AA یا AO به گروه خونی A منجر شده و ژنوتیپ گروه خونی B یا BB است یا BO. به ارث رسیدن A و B گروه خونی AB را به وجود می‌آورد. این یاخته‌های خونی هر دو پادگن A و B را دارا بوده و فاقد هرگونه پادتنی‌اند. ژنوتیپ OO به گروه خونی O منتج شده که یاخته‌هایشان هیچ پادگنی نداشته و هر دو پادتن را داراست. این بدین معناست که شخص دارای گروه خونی O می‌تواند به هر گروه خونی دیگر خون اهدا کند و افراد دارای گروه AB می‌توانند از هر گروه خونی دیگری خون بپذیرند.

	گروه A	گروه B	گروه AB	گروه O
نوع یاخته قرمز خون				
پادتن‌های موجود	 ضد B	 ضد A	هیچ	 ضد A و ضد B
اهداکنندگان قابل قبول	 A یا O	 B یا O	 همه	O

اقسام بافت‌ها بر اساس HLA

پادگن‌های گویچه سفید انسانی به مجموعه‌ای از ژن‌ها مرتبط هستند که رمزگذار پادگن‌ها را تولید و سیستم شناسایی یاخته‌های بدن را شکل می‌دهند. این ژن‌ها حدود ۱۲ پادگن تولید می‌کنند که روی همه یاخته‌های بدن یافت می‌شوند - برخی از این پادگن‌ها از بقیه مهم‌ترند. سیستم ایمنی بدن به یاخته‌هایی که دارای این پادگن‌ها هستند اهمیت نمی‌دهد و به یاخته‌هایی که پادگن‌های بیگانه دارند، حمله می‌کند. عوامل بیماری‌زا و عفونت‌ها غالباً از این طریق شناسایی و جداسازی می‌شوند (برخی عوامل بیماری‌زا و انگل‌ها، پادگن‌های گویچه سفید انسانی را استفاده کرده و خود را از چشمان سیستم ایمنی مخفی نگه می‌دارند). پادگن‌های گویچه‌های سفید یک شخص را می‌توان در آزمایشگاه و به مدد پادتن‌ها شناسایی کرد. همین روش برای یافتن گیرنده مناسب برای اندامی اهدایی به کار می‌رود. پادگن‌های گویچه سفید انسانی در بین گروه‌های قومی نیز متفاوت بوده و از این رو برای مطالعه مهاجرت انسان مناسب‌اند. بیشتر ژن‌های پادگن‌های گویچه سفید انسانی در کروموزم شماره ۶ قرار دارند. برخی از این ژن‌ها با بیماری‌های وراثتی چون سلیاک و آرتروز مرتبط‌اند. این رابطه به این سبب است که ژن‌های بیماری‌زا در نزدیکی ژن‌های پادگن‌های گویچه سفید انسانی قرار داشته و در نتیجه بسیار محتمل است که باهم به ارث برسند.



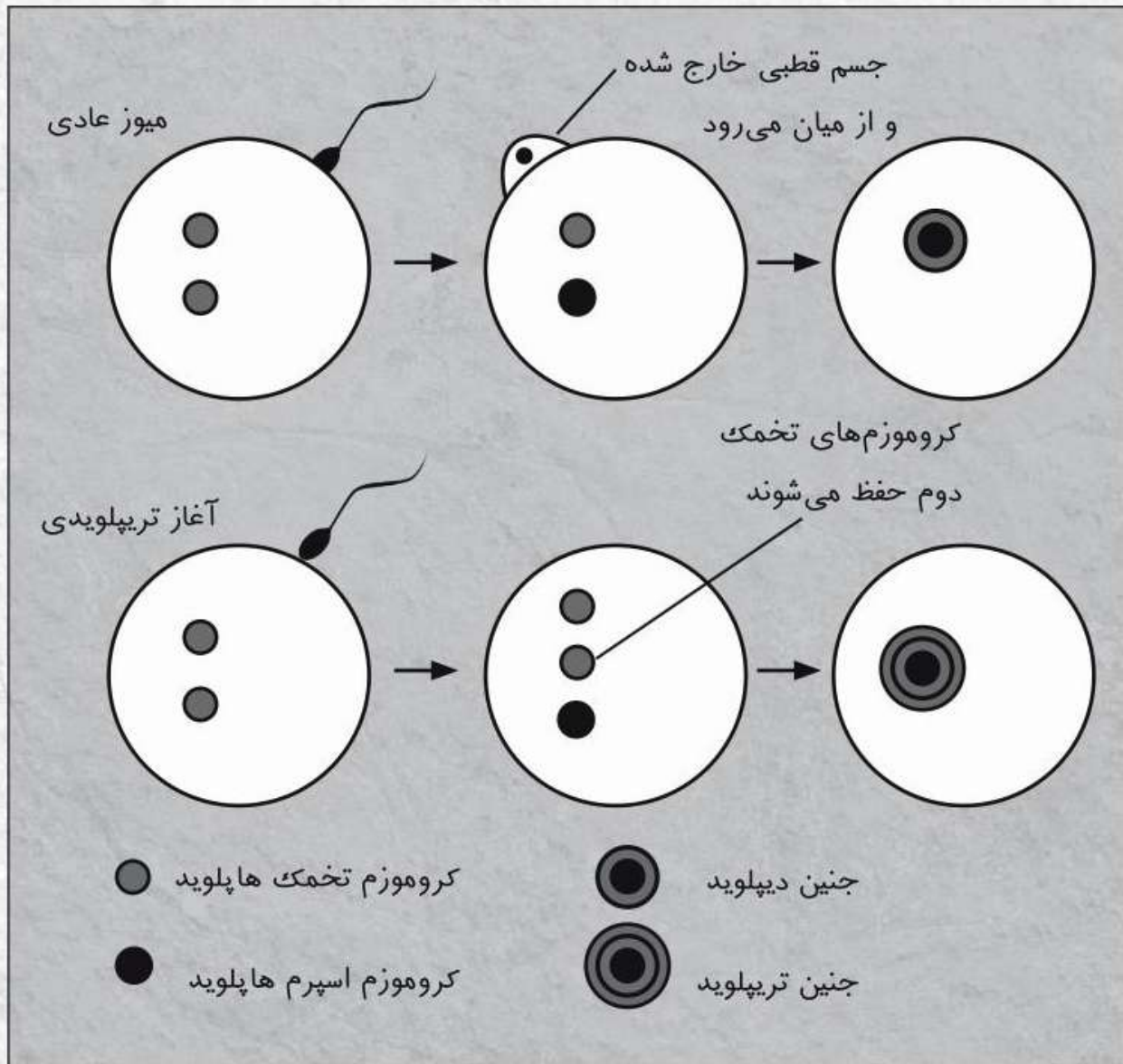
نژاد

در قرن نوزدهم، یکی از اهداف حوزه جدید انسان‌شناسی (anthropology) تبیین جایگاه زیستی گونه ما بود. یکی از نتایج این حوزه جدید ایجاد گروه‌های نژادی بود که غالباً به چهار گروه عمده ساده می‌شدند: نژاد استرالیایی (australoid)، نژاد مغولی (mongoloid)، نژاد قفقازی (caucasoid) و نژاد سیاه (negroid). فارغ از بنیان‌های نظری آن، این طبقه‌بندی اغلب برای اثبات برتری اروپاییان استفاده می‌شد. تلاش‌هایی برای مرتبط کردن صفات وراثتی چون رنگ پوست، شکل مو و شکل جمجمه به هوش، شخصیت و حتی اخلاق انجام گرفت. این تلاش‌ها به جایی نرسیدند ولی ناکامی‌شان از فراگیری ایده‌های شبه‌علمی جلوگیری نکرد - ایده‌های که اثرشان تا به امروز باقی مانده است. در ژنتیک جمعیت واژه نژاد به ندرت به کار می‌رود. در عوض تغییر آرام آرام فنوتیپی در یک جمعیت شیب (cline) خوانده می‌شود. شیب تنوع فنوتیپ‌های مختلف انسان را بهتر منعکس می‌کند. با وجود این، تفاوت تمامی ۷/۳ میلیارد انسان روی کره زمین به نیم درصد از DNA ما خلاصه می‌شود.



پلی‌پلویدی

داشتن بیش از دو دست کروموزم در گیاهانی چون گندم و گوجه‌فرنگی غیرعادی نیست. این پدیده پلی‌پلویدی (Polyploidy) خوانده می‌شود که در گیاهان به پیکرهایی بزرگ‌تر می‌انجامد. پلی‌پلویدی در برخی جانوران نیز بدون هیچ ضرری رخ می‌دهد - برخی ماهیان تا ۴۰۰ کروموزم در هر یاخته دارند. پلی‌پلویدی اغلب با بکرزایی که در آن ماده بدون آمیزش جنسی تولیدمثل می‌کند، مرتبط است. وجود چندین دست کروموزم احتمال خطا در حین تقسیم یاخته‌ای را بالا می‌برد. فرآیندی مشابه می‌تواند در انسان، غالباً در تخمک دیپلوید، رخ دهد. اسپرم ۲۳ کروموزم دیگر را پس از لقاح به ۴۶ کروموزم تخمک افزوده که به آفرینش یاخته‌ای تریپلوید (سه دستی) با ۶۹ کروموزم منجر می‌شود. تخمین زده می‌شود که دو درصد همه لقاح‌ها در انسان به تریپلویدی منجر می‌شود - و البته تعدادی تتراپلویدی (چهار دستی) هم رخ می‌دهند. اکثریت قریب به اتفاق این لقاح‌ها به سقط منجر می‌شود و علت ۱۵ درصد کل سقط‌های خودبه‌خودی نیز همین پلی‌پلویدی‌ها هستند.



نشانگان داون

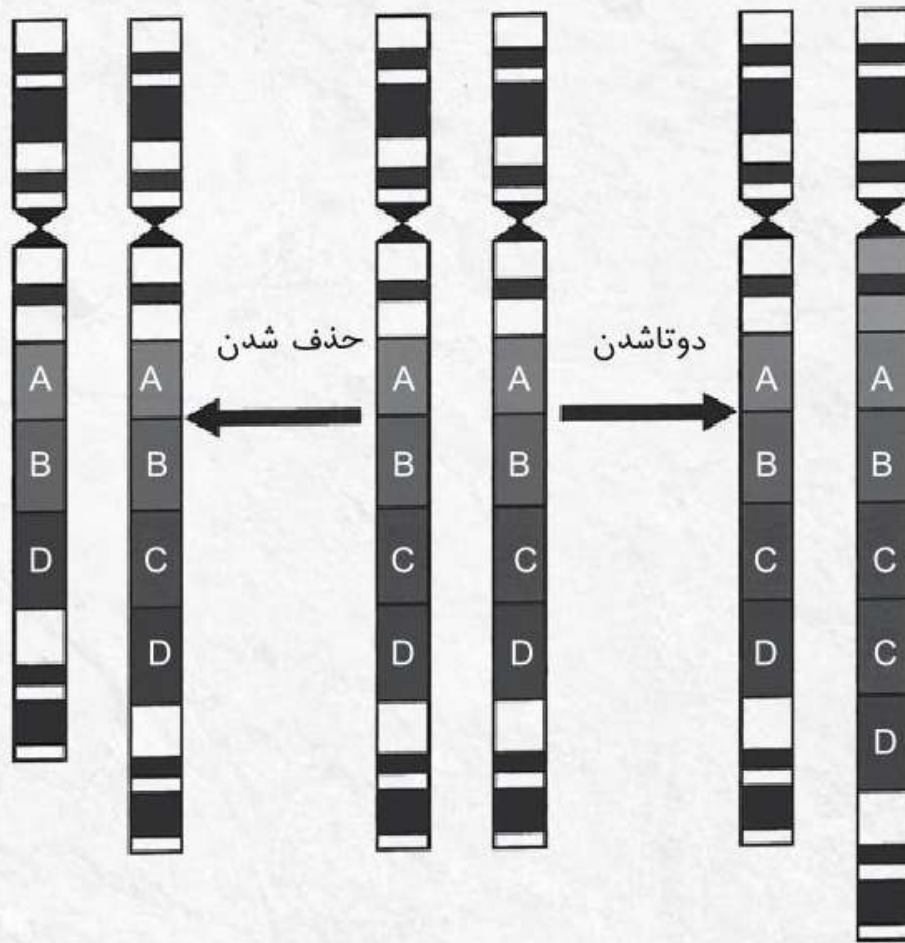
این بیماری - که نامش را از پزشک انگلیسی جان داون (John Down) که نخستین بار این بیماری را توصیف کرد گرفته است - نوعی ناهنجاری کروموزومی به نام آنوپلویدی (aneuploidy) است. در آنوپلویدی، تعدادی غیرعادی از کروموزم‌ها در یاخته‌های بدن وجود دارند. در مورد نشانگان داون، یاخته‌هایی با تریزومی ۲۱، یعنی دارای سه نسخه کروموزوم ۲۱، به جای دو نسخه باعث ناهنجاری می‌شوند. در نتیجه این ماده ژنتیکی اضافه، افرادی که از تریزومی ۲۱ رنج می‌برند از حد متوسط کوتاه‌تراند و ساختار خاص صورت دارند و عموماً از مشکلات قلبی نیز رنج می‌برند. آنها اکثر ضریب هوشی در حدود ۵۰ - ضریب هوشی متوسط شخصی نه‌ساله - دارند گرچه ضریب هوشی از بیماری به بیمار دیگر شدیداً متغیر است. نشانگان ترنر (Turner) نوعی دیگر از آنوپلویدی است که در آن یاخته‌ها تنها یک کروموزوم X دارند. افراد مؤنث مبتلا به این عارضه از کوتاه‌قدی و مشکلات باروری رنج می‌برند. در نشانگان کلاینفلتر (Klinefelter)، ژنوتیپ افراد مذکر XXY است. این X اضافه بلندی قد و ترکیبی از صفات مردانه و زنانه را به بار می‌آورد.



تغییرات شمار نسخه‌ها

تغییرات شمار نسخه‌ها (copy-number variation) ناهنجاری کروموزمی رایجی است. این خطا در حین همانندسازی DNA رخ می‌دهد و به حذف یا دوتاشدن DNA منتهی می‌شود. در نتیجه کروموزم‌های دختری تعداد متفاوتی از ژن‌ها - غالباً نسخ متعددی از یک ژن - را به نسبت کروموزم مادری دارند. تغییرات شمار نسخه‌ها می‌تواند بین هزار تا چندین میلیون باز را شامل شود. تخمین زده می‌شود که حدود ۱۳ درصد تنوع ژنتیکی در انسان به علت چنین ناهنجاری‌های کروموزمی است (باقی تنوع ژنتیکی از جهش‌های نقطه‌ای که تنها یک باز را تغییر می‌دهند، نشأت می‌گیرد).

تغییرات شمار نسخه‌ها در جمعیت انسان به واسطه پروژه ژنوم انسان کشف شد. تغییرات شمار نسخه‌های پایدار که اثری بر فنوتیپ ندارند از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. تغییرات شمار نسخه‌های بزرگ غالباً به ناباروری منجر می‌شوند زیرا چنین تغییرات بزرگی از جفت شدن کروموزم‌های همسان جلوگیری کرده که به نوبه خود امکان موفقیت تقسیم‌های میوزی را کاهش می‌دهد.



یک نسخه از C حذف
می شود

DNA اصلی با ژن های
D و A، B، C

یک نسخه اضافه از ژن C

بیماری وابسته به X

یکی از مزایای یاخته‌های دیپلوید این است که دو نسخه از هر ژن وجود دارد و اگر یکی از ژن‌ها از کار افتد، ژن دیگر جایش را می‌گیرد. هر یک از ۲۲ جفت کروموزم غیرجنسی (اتوزوم) از جفتی همسان‌اند ولی کروموزم‌های جنسی می‌توانند ناهمسان باشند. زنان دو کروموزم X دارند ولی مردان X و Y دارند. کروموزم Y، با ۵۹ میلیون جفت باز، به مراتب از کروموزم X که طولی برابر ۱۵۳ میلیون جفت باز دارد، کوچک‌تر است؛ در نتیجه شمار ژن‌های X از Y بیشتر است. در نتیجه وقتی جهش‌های مضر در کروموزم X پدید می‌آیند، کروموزم همتای آن در زنان اثر آن جهش را خنثی می‌کند ولی همان جهش وابسته به X اثرات مضرش را در بدن مردان به سادگی بیان می‌کند؛ چراکه ژن همتایی در کروموزم Y برای خنثی کردن وجود ندارد. شماری از ناهنجاری‌های ارثی وابسته به X و مختص به مردان‌اند. کوررنگی، هموفیلی و دیستروفی عضلانی دوشن (Duchenne muscular dystrophy) از جمله این ناهنجاری‌ها هستند. زنان عموماً حامل این ژن‌ها هستند و بیماری‌های حاصل از این ژن‌ها تنها زمانی در آنها بروز می‌کند که آنها دو کروموزم X حامل ژن بیماری‌زا را به ارث می‌برند.

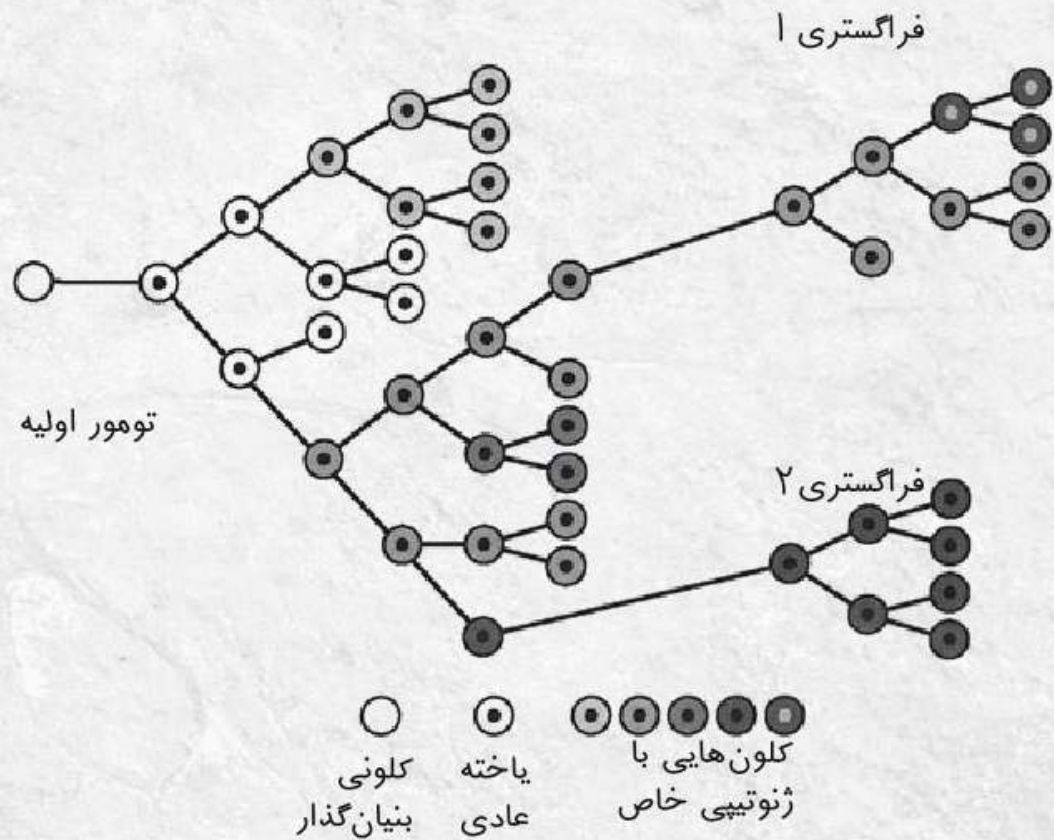


شاهزاده آلکسی رومانوف، وارث تخت امپراتوری روسیه (دوم از راست)، از هموفیلی رنج می برد. هموفیلی بیماری وابسته به X است که او از مادر مادر بزرگش ملکه ویکتوریا به ارث برد

سرطان

رشد لجام گسیخته بافت را که عموماً به توموری بدل می‌شود، سرطان می‌خوانند. تومور می‌تواند اثراتی گسترده در بدن داشته باشد، عملکرد عادی بدن را مختل کند و نهایتاً اندام حیاتی را از کار اندازد یا سیستم ایمنی را از هم بگسلد.

سرطان نه یک بیماری، بلکه مجموعه‌ای از بیماری‌های مختلف - حدود ۲۰۰ بیماری - است. علل این سرطان‌ها نیز همان قدر متکثرند، مانند تماس با مواد سرطان‌زا، اشعه یونیزه کننده، برخی عوامل عفونی و ژنتیکی. در بسیاری از موارد انباشت این علل است که به سرطان منجر می‌شود ولی چمَلگی با تغییر در ژن‌هایی که آنکوژن (oncogene) نامیده می‌شوند، می‌آغازند. این ژن‌ها در تقسیم سریع یاخته دخیل هستند و پس از مرحله جنینی خاموش می‌شوند؛ اما اگر آنها دوباره روشن شوند، مرگ برنامه‌ریزی شده یاخته‌ای که حجم بافت‌ها را کنترل می‌کند، برهم ریخته و در نتیجه به ظهور تومور منجر می‌شود.

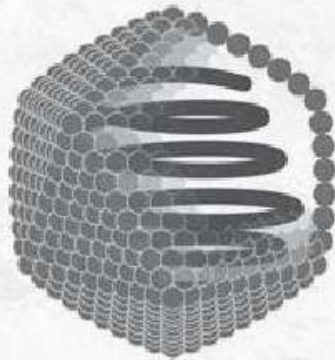


هر سرطانی با رشد لجام‌گسیخته تومور اولیه از یاخته‌ای ناهنجار آغاز می‌شود. تغییرات در یاخته‌های تومور به فراگستری (metastasis) – پدید آمدن تومورهای جدیدی که از منظر ژنتیکی متفاوت‌اند – در سراسر بدن می‌انجامد |

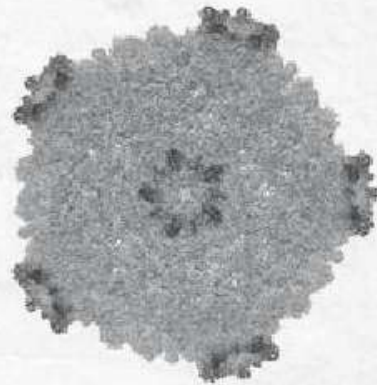
ویروس‌ها

یکایک ما در برهه‌ای از زندگی با بیماری‌های ویروسی چون سرماخوردگی و آبله مرغی دست‌وپنجه نرم کرده‌ایم، ولی عده‌قلیلی این نکته را درک می‌کنند که چرا ویروس‌ها بی‌آن‌که فعالیت زیستی داشته‌باشند، زنده هستند. بهترین راه فهم این نکته، مطالعه آن‌ها به عنوان DNA انگلی است. پیکره ویروس ماریچی از DNA (یا گاهی RNA) است که توسط پوششی پروتئینی محافظت می‌شود. ویروس از آن‌رو انگلی است که خود قادر به همانندسازی DNA خود نیست و به سیستم همانندسازی میزبان نیاز دارد. پوشش پروتئینی ویروس به غشای یاخته چسبیده و کانالی ایجاد می‌کند تا DNA را به درون یاخته منتقل کند. DNA ویروس سپس وارد هسته شده و یاخته را وادار به همانندسازی DNA پوشش پروتئینی‌اش می‌کند تا آنکه یاخته پر از DNA پروتئین ویروسی می‌شود و می‌ترکد و ویروس‌های جدید برای یافتن میزبان‌های نو رها می‌شوند. این فرآیند یاخته‌ها را کشته و سبب بیماری می‌شود. ویروس‌ها در علم ژنتیک موضوعی فرعی نیستند: تعداد ویروس‌های موجود در لیوانی پراز آب دریا از شمار انسان‌های روی زمین بیشتر است. هر یک از آنها انگل ژنوم خاصی‌اند و خوشبختانه تنها انواع‌قلیلی از آنان ما را هدف قرار می‌دهند.

ساختارهای ویروسی



چندوجهی (آدنووایروس)



کرولی (آنفلوآنزا)



مارپیچی (ویروس موزائیک تنباکو)



پیچیده (باکترِوفاژ)

پراینها

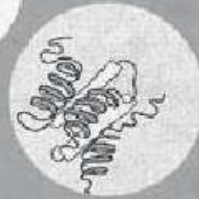
این واژه ترکیبی است از واژه پروتئین و عفونت (infection). همانند ویروس‌ها، پراین (PRIONS) عاملی بیماری‌زاست؛ اما برخلاف ویروس‌ها و سایر عوامل بیماری‌زا، پراین‌ها فاقد هر نوع ماده ژنتیکی‌اند و به‌نظر برخی، می‌توان آنها را نوعی از زندگی غیرژنتیک محسوب کرد. پراین‌ها از پروتئین‌های عادی ساخته می‌شوند که دریاخته ساخته‌شده و ساختارشان برای سوخت‌وساز مناسب است؛ اما بسیاری از پروتئین‌ها می‌توانند شکل سه‌بعدی دیگری غیر از شکل اصلی خود بگیرند که مناسب سوخت‌وساز طبیعی نیست. خوشبختانه پراین‌ها تنها گروه از این پروتئین‌های غیرطبیعی‌اند که قابلیت خودهماندسازی دارند، به این صورت که قالب شکل‌دهنده پروتئین‌های سالم را کژتاب (misfolded) می‌کنند و این‌گونه، تعداد این پروتئین‌ها رشدی نجومی خواهد داشت. این پروتئین‌ها به هم متصل شده و زنجیره‌ای به نام آمیلوئید (amyloid) می‌سازند که بافت را تخریب می‌کند. پراین‌ها تا دهه ۱۹۸۰ نامکشوف ماندند. تمام بیماری‌های شناخته‌شده مرتبط با پراین‌ها، مانند بیماری جنون گاوی و کروتزفلت-جکوب (Creutzfeldt-Jakob)، به مغز یا دستگاه عصبی حمله کرده و لا‌علاج و مرگ‌آوراند.

چرخه بیماری پراینی

پروتئین‌های عادی در
یاخته‌های عصبی



پروتئین کژتاب
پراین



پراین یاخته عصبی
عادی را مبتلا می‌کند



پراین‌های همانندسازی شده
زمانی که یاخته می‌میرد آن را
ترک می‌کنند

سرشت در برابر آموزش

هر کسی زمانی به بحث قدیمی «سرشت در برابر آموزش» (nature vs. nurture) کشیده شده است: آیا شخصیت ما انعکاسی است از وراثت ما یا تجارب ما؟ اکثر متفکران زمان با این سخن جان لاک (John Locke)، فیلسوف قرن هفدهم موافق بودند که نوزاد لوحی سپید (*tabula rasa*) و تهی از دانش است. تجارب ما سپس حافظه ما را انباشته و دیدگاه ما در طول رشدمان را شکل می‌دهد؛ اما آیا ژن‌ها نقشی بازی می‌کنند؟ تصور ذهن به عنوان لوحی سپید در میان متفکران علوم انسانی طرفداران فراوان، اما هوادارانی اندک در میان دانشمندان آگاه از نظریه تکامل دارد. کسی تاکنون ادعا نکرده است که حالات ذهن یا دیدگاه‌های ما وراثتی‌اند ولی ساختار و عملکرد ذهن که چنین حالاتی را ممکن می‌کند احتمالاً وراثتی هستند.

در ایالات متحده، وکلا می‌توانند استدلال کنند که کمبودی شناختی که از ساختار ذهن موکلشان نشأت می‌گیرد گناهکار واقعی است؛ اما پژوهش‌ها بر تکوین مغز در حین بارداری و پس از حادثه نشان می‌دهد که مغز انعطاف‌پذیر بوده و می‌تواند نقشه عملکردش را در طول حیات تغییر دهد. این بدان معنا است که تربیت می‌تواند بر طبیعت غلبه می‌کند.

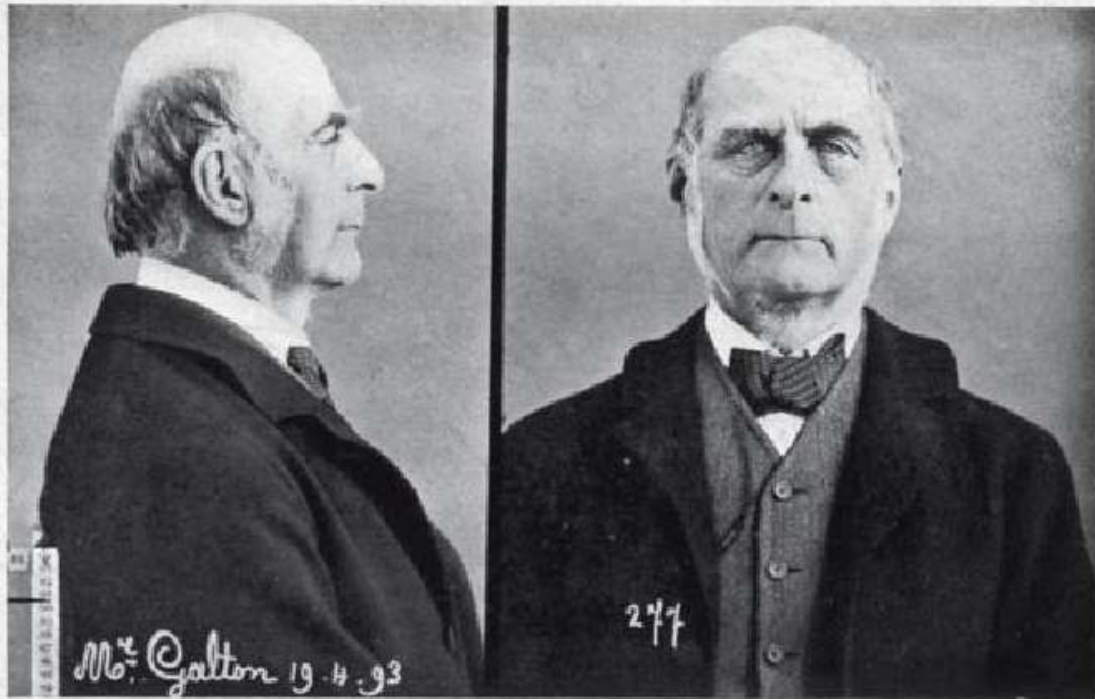


به‌نژادی

به‌نژادی (EUGENICS) اکنون به عنوان نیمه تاریک ژنتیک انسان شناخته می‌شود: نظریه‌ای که بر اساس آن بهبود نژادی انسان‌ها با آمیزش انتخابی، به‌گونه‌ای که صفات بد حذف شوند و صفات نیکو چون هوش افزوده شوند، ممکن است. خالق این ایده فرانسیس گالتون (Francis Galton)، پسرعموی داروین بود و چنان هر بزرگ‌زاده و ویکتوریایی دیگر، بر این باور بود که او از باقی افراد برتر بوده و تصور می‌کرد که می‌توان از قوانین وراثت و انتخاب طبیعی برای بهبود افراد استفاده کرد. البته، گالتون به جز ارائه ایده بدفرجام به نژادی، از متفکران بزرگ قرن نوزدهم و از پیشگامان ژنتیک بود. او جامعه‌شناس، روان‌شناس، مردم‌شناس، جغرافی‌دان، مخترع، هواشناس و مبدع علم آمار است. گالتون از بحث سرشت در برابر آموزش آگاه بود (در حقیقت خود او این عبارت را وضع کرد) و او از دهه ۱۸۸۰ تلاش کرد تا ارتباطی میان صفات فیزیکی و هوش بیابد. گالتون شاهدهی بر این مدعا نیافت ولی ایده به‌نژادی از میان نرفت. درنهایت این ایده به تلاش‌های گسترده برای سترون کردن بیماران روانی و نسل‌کشی‌های نژادپرستانه نازی‌ها انجامید. برنامه‌هایی از قبیل سترون‌سازی بیماران روانی در سوئد تا دهه ۱۹۷۰ ادامه داشت.

Enverg. 1 ^{re} _____	Oreille dr } Long ^e _____ } Larg ^e _____	Visage g. _____	Coul. de l' ^{vis} _____ } Pér ^e _____ } Part ^{ie} _____	a _____
Buste 0, _____		Auris ^g g. _____		Age app ^{ré} _____
		Coudée g. _____		

(Réduction photographique 4/7.)



Front. } Incl ⁱⁿ _____ } Haut ^e _____ } Larg ^e _____ } Part ^{ie} _____	} Racine (cavité) _____ } Dos _____ Base _____ } Haut ^e Saillie Larg ^e _____ } Part ^{ie} _____	Oreille droite. } Dors ^e o. _____ s. _____ p. _____ f. _____ } Lob. c. _____ a. _____ m. _____ d. _____ } A. trig. i. _____ p. _____ r. _____ d. _____ } Fil. f. _____ s. _____ h. _____ E. _____ } Part. _____	} Barbe _____ * (p/g ^{te}) _____ } Cheveux _____ C ^{ouleur} / sang ^{te} _____ } Car. _____ Cont. _____ } Autres traits caractéristiques : _____ } Sig ^{net} dressé par M. _____

گالتون از خودش به عنوان ملاکی در پژوهشش روی رابطه شکل بدن و هوش استفاده کرد |

هوش و ضریب هوشی

تصور از مدت‌ها پیش بر این بوده که هوش صفتی ارثی است. یکی از نخستین فرضیه‌ها بر این بود که شکل جمجمه و هوش باهم مرتبط‌اند. تمام تلاش‌ها برای آزمودن این فرضیه ناکام ماندند؛ زیرا راهی برای اندازه‌گیری هوش وجود نداشت. در دهه ۱۸۹۰، عصب‌شناس فرانسوی آلفرد بینه (Alfred Binet) تست هوش را ابداع کرد که بر توانایی حل مسأله و نه توانایی پیشرفته خواندن و نوشتن تأکید می‌کرد. پرسش‌های آزمون بینه آرام‌آرام دشوارتر می‌شدند و هر سؤال می‌بایست تنها توسط نصف یک گروه سنی خاص قابل حل باشند. ناتوانی از پاسخ به پرسشی خاص سن ذهنی آن شخص را مشخص می‌کرد. از سال ۱۹۱۶، تستی مشابه که به‌طور متوسط به افراد ۱۰۰ امتیاز می‌داد به‌عنوان تست هوش شناخته شد. امروزه هم ما از تست هوش استفاده می‌کنیم، گرچه به نظر می‌رسد که ما باهوش‌تر از نیاکانمان هستیم؛ چراکه برای حفظ متوسط ۱۰۰ امتیاز، پرسش‌هایی دشوارتر به‌صورت دوره‌ای به این تست افزوده می‌شوند. ضریب هوشی بالا و دست‌آوردهای علمی باهم مرتبط بوده و به شالوده‌ای ژنتیکی اشاره دارند ولی سازوکار این ژن فرضی هوش برهمگان پوشیده است.



پژوهش روی دوقلوها

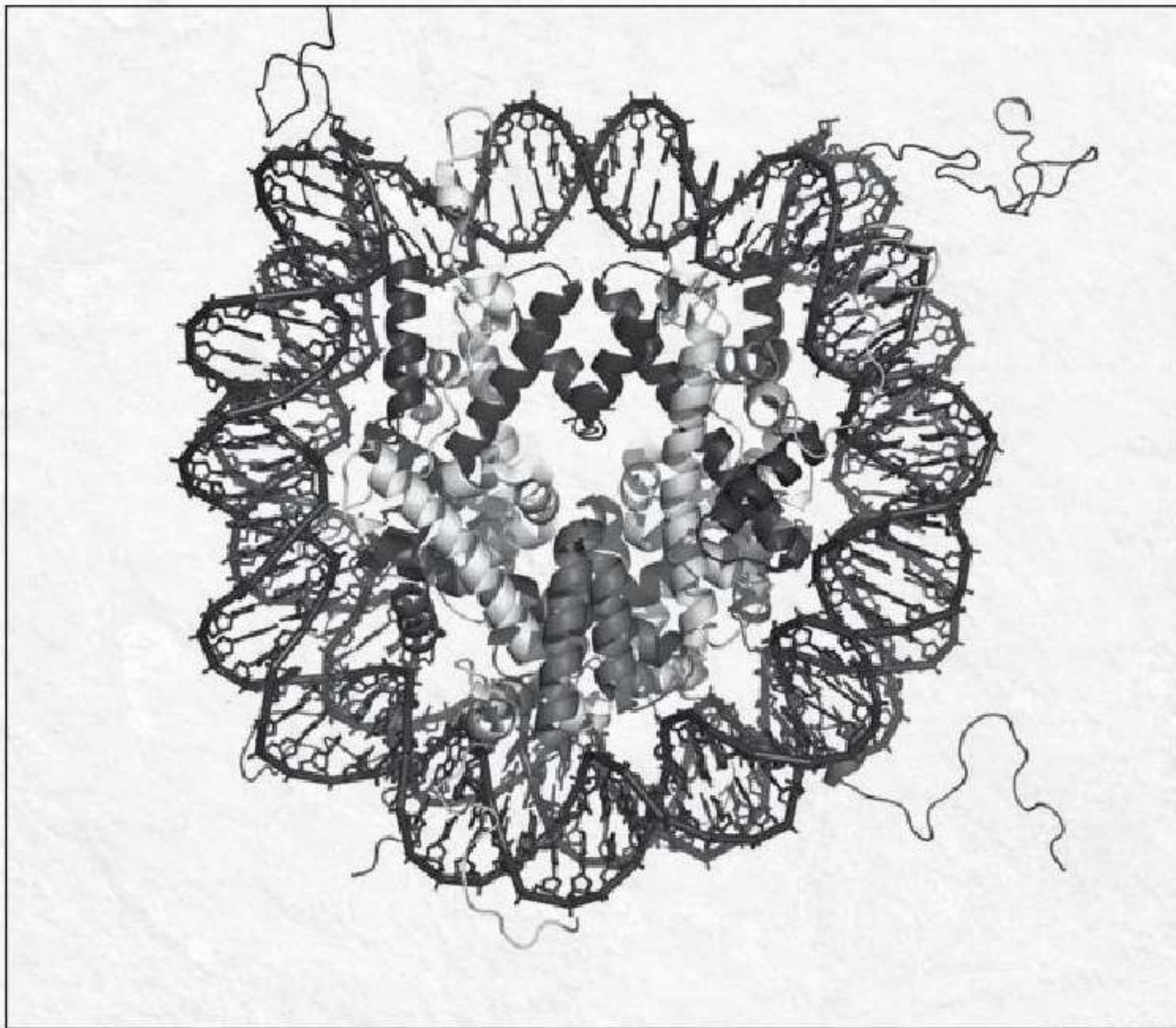
پر قدرت ترین روش در مطالعه شالوده ژنتیکی هوش و شخصیت، پژوهش روی دوقلوها است. دوقلوهای همسان از لحاظ فیزیکی و ژنتیکی یکسان اند - اما آیا تربیت آنها هم لزوماً یکسان است؟ جام مقدس این پژوهش‌ها یافتن دوقلوی یکسانی است که از بدو تولد از هم جدا شده‌اند. طبیعت این دوقلوها باید افراد بالغ یکسان پدید آورد اما اگر تربیت نقش مهمی بازی می‌کند، این دوقلوها لزوماً شخصیتی یکسان نخواهند داشت. چنین پژوهشی امید به کشف ژن تمامی صفات ذهنی را قوت می‌بخشد.

در عمل، دوقلوهای همسان غالباً شخصیت‌هایی مشابه دارند و مطالعات آماری نشان می‌دهد که نیمی از این شباهت‌ها ژنتیکی‌اند. جداسازی ژنی که ویژگی شخصیتی خاصی را رمزگذاری می‌کند تا به امروز ناممکن بوده است، اما شناختی بهتر از چگونگی تکوین مغز در حضور محرک‌های مختلف شاید در نهایت اجزای ژنتیکی تکوین مغز را نیز آشکار کند.



اپی ژنتیک

پیشوند اپی «روی چیزی» معنی می‌دهد و فرآیند اپی ژنتیکی (Epigenetics) ، فرآیندی است که بیان یک ژن را براساس عاملی محیطی تحت تأثیر قرار می‌دهد. اخیراً پژوهش‌های انجام شده روی چندین نسل منجر به کشفی شگفت شد: آثار اپی ژنتیکی، همانند ژن‌ها، می‌تواند لااقل برای یکی از دو نسل به ارث برسد. هر یاخته علاوه بر ژنومش، حامل اپی ژنومی نیز هست. اپی ژنوم مجموعه‌ای از مواد شیمیایی کمکی است که به کروموزم‌ها متصل است. برخی از این مواد ژن‌های بلااستفاده را می‌پيچانند تا فضای هسته به هدر نرود (به‌عنوان مثال، ژن‌های یاخته‌های قرمز در ژنوم یاخته استخوان). برخی دیگر کلاف ژن‌هایی را که دائماً در حال استفاده‌اند، باز می‌کنند. برخلاف ژنوم، اپی ژنوم به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهد و پژوهشگران در تلاش برای درک بهتر این فرآیند هستند؛ چراکه حدس می‌زنند بیماری‌هایی چون سرطان با محرک‌هایی محیطی چون رژیم بد غذایی و سایر تصمیمات سلامتی زیانبار مرتبط‌اند. به‌علاوه، شواهدی از وراثت اپی ژنوم به فرزندان و حتی نوادگانی آشکار شده و می‌شوند. در صورت صحت، این شواهد بدان معنی‌اند که وراثت ژنتیکی ما بدون تغییر نخواهد ماند.



DNA در کروموزم به دور هسته‌هایی پروتئینی پیچیده است. پروتئین‌ها و سایر مولکول‌های اپی‌ژنوم برخی ژن‌ها را برای استفاده باز می‌کنند و ژن‌هایی را که باید خاموش باشند، پنهان می‌کنند.

زمستان قحطی هلندی

یکی از نخستین شواهد وراثت اپی ژنتیکی زمستان قحطی هلندی (Dutch Hunger Winter) است. مسبب این قحطی حصر هلند توسط نازی‌ها در زمستان سال ۱۹۴۴-۴۵ بود. هزاران نفر در اثر این قحطی جان دادند ولی این تراژدی زمینه‌ای شد برای مطالعه اثر سوء تغذیه. مادرانی که پیش از قحطی باردار شده بودند، نوزادانی سبک‌وزن به دنیا آوردند؛ زیرا این نوزادان از کمبود مواد غذایی در مراحل پایانی تکوین رنج برده بودند و کوچک‌جثه باقی ماندند. مادرانی که طی قحطی باردار شده بودند نوزادانی طبیعی به دنیا آوردند؛ زیرا این نوزادان سه‌ماهه پایانی تکوین خود را پس از قحطی به پایان رسانده بودند. باوجود این، احتمال چاقی و بیماری‌های روانی گروه دوم نوزادان بالا بود. عجیب‌تر آنکه فرزندان این گروه نیز از همین عوارض رنج می‌بردند. فرضیه این است که این‌ها مشکلاتی اپی ژنتیکی و ناشی از اثر قحطی بر بدن مادر، جنین و یاخته‌های زایشی (germline) جنین (که نهایتاً گامت‌های جنین را می‌سازد) بوده است، اما آیا اپی ژنتیک می‌تواند بر بیش از یکی دو نسل اثر بگذارد؟



ممتیک

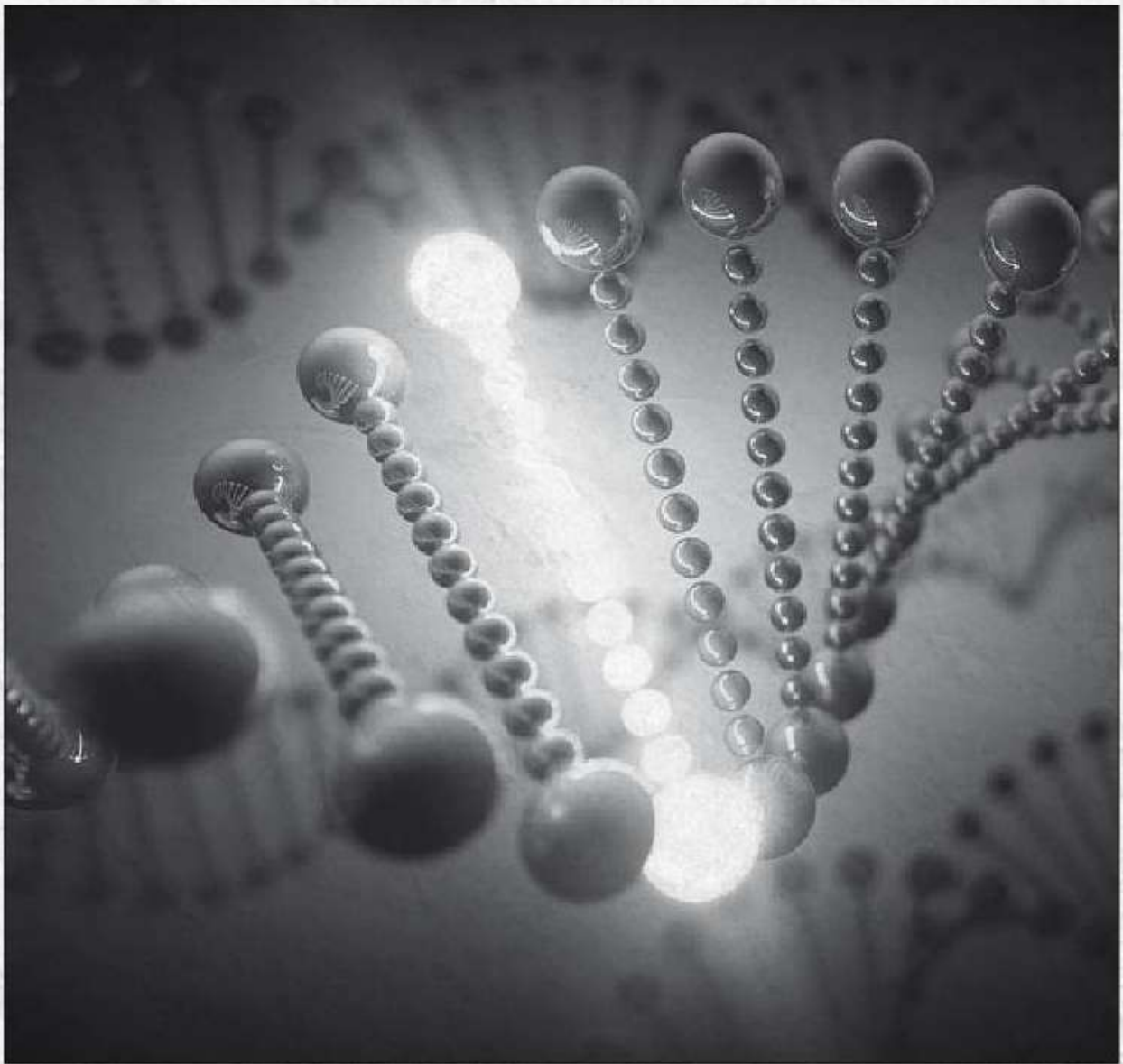
فرضیه‌ای وجود دارد که می‌گوید ژن‌ها تنها اهداف انتخاب طبیعی نیستند. بر اساس این فرضیه، مِم‌ها (meme)، یعنی واحدهای دانش، هنجار، رفتار یا حافظه، می‌توانند از ذهنی به ذهن دیگر منتقل شده و مانند ژن‌ها همانندسازی کنند. به عنوان مثال مِم تشویق کردن، ممی موفق است. ما این ایده را از دیگران یاد گرفته و به همان شکل نیز به دیگران منتقل می‌کنیم. کف زدن سال‌هاست که امری پایا در فرهنگ‌های مختلف بوده است. اشکال جهش یافته از این صفت نیز وجود دارند، مثل کف زدن که با پایکوبی همراه است. این اشکال جهش یافته در محیط‌هایی که سازگاریشان بیش از کف زدن ساده است، پذیرفته می‌شوند. برخی جهش‌ها آنقدر هم موفقیت‌آمیز نیستند و تنها در بین گروه‌های معدودی گسترش می‌یابند یا به کل فراموش - به عبارت دیگر منقرض - می‌شوند. ممتیک (MEMETICS) به شکلی نافرجام از ایده‌های ژنتیکی برای فهم حقیقت این پدیده‌ها استفاده می‌کند؛ گرچه تعریف ما از مِم مشابه فنوتیپ یک ژن است، چنین تعریفی سنخیتی با ژنوتیپ - رشته‌ای فیزیکی از DNA - ندارد. ایده‌ها مانند مِم‌های مستقل در مغز انبار نمی‌شوند، بلکه هر یک به واسطه مجموعه‌ای پیچیده و گسترده از خاطرات مختلف فراخوانده می‌شوند.



ژنتیک و فناوری

گرگور مندل از آن رو ژنتیک را کشف کرد که تصمیم گرفت وراثت را در گیاهان و جانوران اهلی مطالعه کند (پیش از گزینش نخودفرنگی، او به آمیزش زنبورهای پرخاشجو دست زد که باید از میان برده می شدند). از همان ابتدا، پرسش‌هایی عملی پیش برنده ژنتیک بوده‌اند و با پیشرفت‌های اخیر در پژوهش‌های ژنومی و مهندسی ژنتیک، این رابطه قوی‌تر هم شده است.

پژوهش‌های یاخته‌های بنیادین و درمان ژنی دورنماهایی راستین برای درمان ناهنجاری‌های وراثتی در سطح ژنتیکی و بهبود جراحات سابقا لاعلاج پیش چشمانمان می‌گذارند. با اصلاح ژنتیکی می‌توان ژن‌ها را از گونه‌ای به گونه‌ای دیگر و بدون درگیر شدن با قواعد طبیعی آمیزش، منتقل کرد، گرچه چنین فن‌آوری‌هایی مانند هر فن‌آوری دیگر پرسش‌های اخلاقی بسیاری را برمی‌انگیزد؛ زیرا توانایی دگرگون کردن کشاورزی و حتی انسان را دارد. به علاوه، از خصوصیات شیمیایی DNA - و نه در رابطه با نقشش در وراثت - می‌توان برای ساخت ماشین‌های نانوسکوپی سود برد.



انتخاب مصنوعی

تمامی محصولات زراعی و دام‌ها و بیشتر جانوران خانگی محصول انتخاب مصنوعی‌اند. اساس این فرآیند همانند وراثت مورد استفاده انتخاب طبیعی است، اما به جای آنکه محیط افراد زیستا و نازیستا و جفت‌هایی را که باهم می‌آمیزند برگزیند، پرورش دهنده است که این تصمیمات را می‌گیرد. پرورش دهنده از میان یک نسل افرادی را که صفت دلخواهش را دارند برمی‌گزیند و آنها را باهم می‌آمیزد به این امید که این صفات دلخواه در فرزندان باهم مخلوط شوند. نتیجه این فرآیند قطعی نیست؛ همان‌گونه که مندل نشان داد تمام فرزندان لزوماً صفت مورد نظر را بروز نخواهند داد. فرزندی که فاقد صفات دلخواه‌اند از آمیزش‌های بعدی معاف می‌شوند، باوجود این چندین نسل طول می‌کشد تا اثر انتخاب مصنوعی نمایان شود.

انتخاب مصنوعی اولین فن‌آوری ژنتیکی بود، گرچه پیدایشش به پیش از کشف قواعد ژنتیک بازمی‌گردد. طی قرون، این فرآیند بسیاری از گیاهان و جانوران آشنا را خلق کرده است.



کشاورزی

حدود ۱۲۰۰۰ سال پیش، جامعه انسانی از شکار و جمع‌آوری غذا روی گرداند و به تولید غذا روی آورد. پیدایش کشاورزی مقارن با پیدایش شماری دیگر از فن‌آوری‌ها بود - خیش، آبیاری و انتخاب مصنوعی - برداشت محصولات زراعی را به انتها رساندند. انتخاب مصنوعی از اهمیت خاصی برخوردار است. تصور بر این است که کشاورزان اولیه به کاشت گندمیان روی آوردند که در نهایت به غلات امروزی مبدل گشت. نیاکان این کشاورزان با چین گیاهانی غریبه نبودند چراکه آنها دانه‌های این گیاهان را برای آسیاب کردن جمع‌آوری می‌کردند. کمترین تماسی با خوشه‌های علف‌های وحشی به ریزش دانه‌های رسیده می‌انجامید، صفتی که احتمال یافتن خاک غنی برای دانه‌ها را بالا می‌برد، اما دانه‌های گونه جهش‌یافته‌ای از علف‌ها به این سادگی نمی‌ریخت. در طبیعت، انتخاب طبیعی این گونه جهش‌یافته را نهایتاً حذف می‌کرد، اما کشاورزان نخستین فهمیدند که برداشت این علف‌ها آسان‌تر بوده و در نتیجه چین علف‌هایی را در مزارع اولیه خود کاشتند. اکنون همین گونه‌های جهش‌یافته که باید در طبیعت از میان می‌رفتند، از جمله رایج‌ترین گیاهان‌اند.



دام

رایج‌ترین و آشناترین جانوران دام‌ها هستند؛ جانورانی اهلی که برای گوشت، تخم، شیر، پشم یا پوستشان پرورده می‌شوند. دام‌های کاری نیز نسل‌های پی‌درپی پرورده شده‌اند تا نیازهای انسان را تأمین کنند. این همه از جانوران وحشی منشأ گرفته و بسیاری از خصوصیاتشان را می‌توان هنوز هم در اشکال آزادزی آنها جست‌وجو کرد.

گوسفندها و بزها جانوران کوهستانی و صحرایی‌اند که اهلی شده‌اند: آنها می‌توانند برخلاف سایر چرندگان در آب‌وهوای خشک دوام آورده و برای دفاع به صورت گله درآیند - گله‌های اهلی، همانند خویشاوندان وحشی خود، از سر ترس از شیب بالا می‌روند. مرغ از اقوام خروس جنگلی هندی است، پرنده‌ای جنگلی که روی زمین زندگی می‌کند و تنها می‌تواند مسافت‌هایی کوتاه را پرواز کند و در نتیجه به سادگی اهلی می‌شود. اسب‌ها از اعقاب چرندگانی سریع با ساختار اجتماعی طبقاتی‌اند؛ صفتی که به اسب اجازه می‌دهد به خوبی با مربی انسانی خود کنار آید. در نهایت سگ‌ها، احتمالاً اولین جانوران اهلی شده و گرگ‌هایی مطیع شده‌اند، جانورانی گروهی که به خانواده‌های انسان پیوستند.



برتری دورگه

گاهی اوقات حاصل آمیزش دو والد متفاوت نه تنها صفات مورد نظر پرورش دهنده را دارد، بلکه قوی و سالم نیز هست - پدیده‌ای که به آن برتری دورگه (HYBRID VIGOUR) یا دورگگی (heterosis) می‌گویند. این نمونه‌ای است از مزایای برون آمیزی (outbreeding) یعنی آمیزش دو جاندار با ژنوتیپ‌های بسیار متفاوت. نتیجه چنین آمیزشی فرزندان با تمام مزایای آلل‌های مختلفی است که والدینشان را برازنده و غالب در مسابقه دائمی آنها علیه شکارچیان و انگل‌ها کرده بودند. یکی از مزایای تولیدمثل جنسی برون آمیزی است، گرچه برون آمیزی گاهی دردسرساز هم می‌شود؛ اما گاهی اوقات فرزندان آلل‌هایی ناسازگار به ارث می‌برند که برازندگی‌شان (fitness) را کاهش می‌دهد.

درون آمیزی متضاد برون آمیزی است و زمانی رخ می‌دهد که خویشاوندان نزدیک باهم بیامیزند. والدین در این آمیزش ژن‌های مشترک زیادی دارند و در نتیجه آلل‌های مغلوب مضر که در صورت برون آمیزی مخفی می‌ماندند، بیشتر نمود کرده و افرادی با برازندگی کمتر به دنیا می‌آورند.

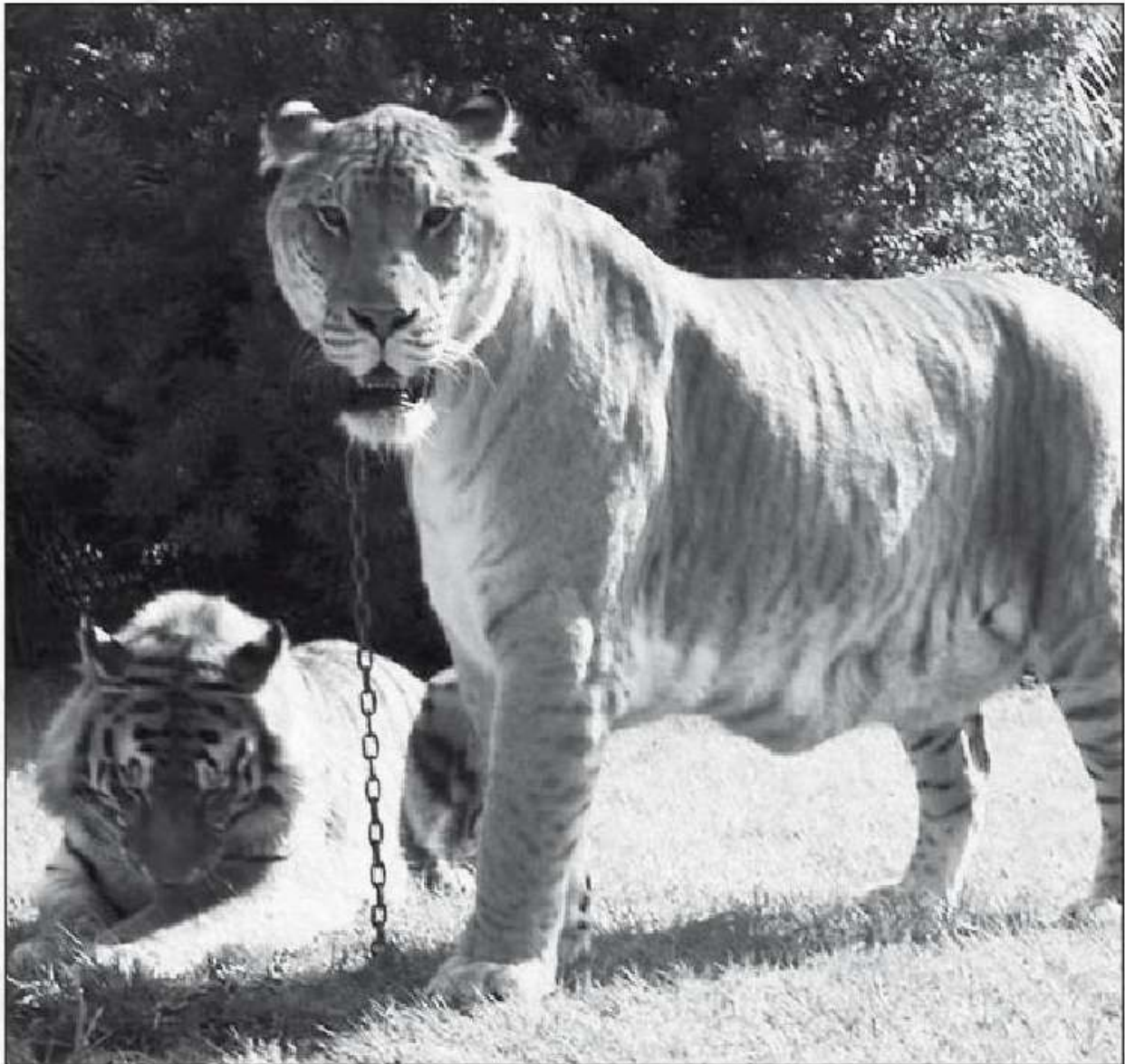


اسب مسابقه‌ای حاصل دورگه‌گیری میان اسب‌های خوش‌بنیه شکاری انگلیسی و اسب‌های
پرسرعت عربی است |

دورگه‌های مصنوعی

سال‌ها پیش پرورش‌دهندگان جانوران دریافتند که می‌توان گونه‌های خویشاوندی را باهم آمیخت تا دورگه‌هایی مصنوعی پدید آورد. مشهورترین این دورگه‌ها، قاطر، حیوان بارکش پرارزش، بزرگ و قوی و درعین حال فرمان‌بر و زمخت است. قاطر حاصل آمیزش الاغ نر و اسب ماده است. از آمیزش الاغ ماده و اسب نر، شبه‌اسب (hinny) حاصل می‌شود که از قاطر کوچک‌تر و ضعیف‌تر است. اسب ۶۴ کروموزم دارد درحالی‌که الاغ ۶۲ کروموزم دارد. در نتیجه قاطر ۶۳ کروموزم دارد. فرد بودن شمار کروموزوم‌های قاطر مانع جفت‌شدن کروموزوم‌های این حیوان طی میوز و تولید اسپرم و تخمک زیستا می‌شود.

برخی دورگه‌های مصنوعی دیگر zonkey (الاغ - گورخر)، beefalo (گاو - گاومیش)، wholphin (وال قاتل - دلفین) و pumapard (پوما - پلنگ) هستند، ولی سیاهه این دورگه‌های مصنوعی به این جا ختم نمی‌شود. شیبیر (Liger) حاصل آمیزش ماده ببر و شیر نر است. او ترکیبی از خطوط ببر و یال شیر را دارد و به واسطه برتری دورگه، حیوانی است عظیم که حدود چهار متر طول دارد و از هر گربه‌سان دیگری بزرگ‌تر است.



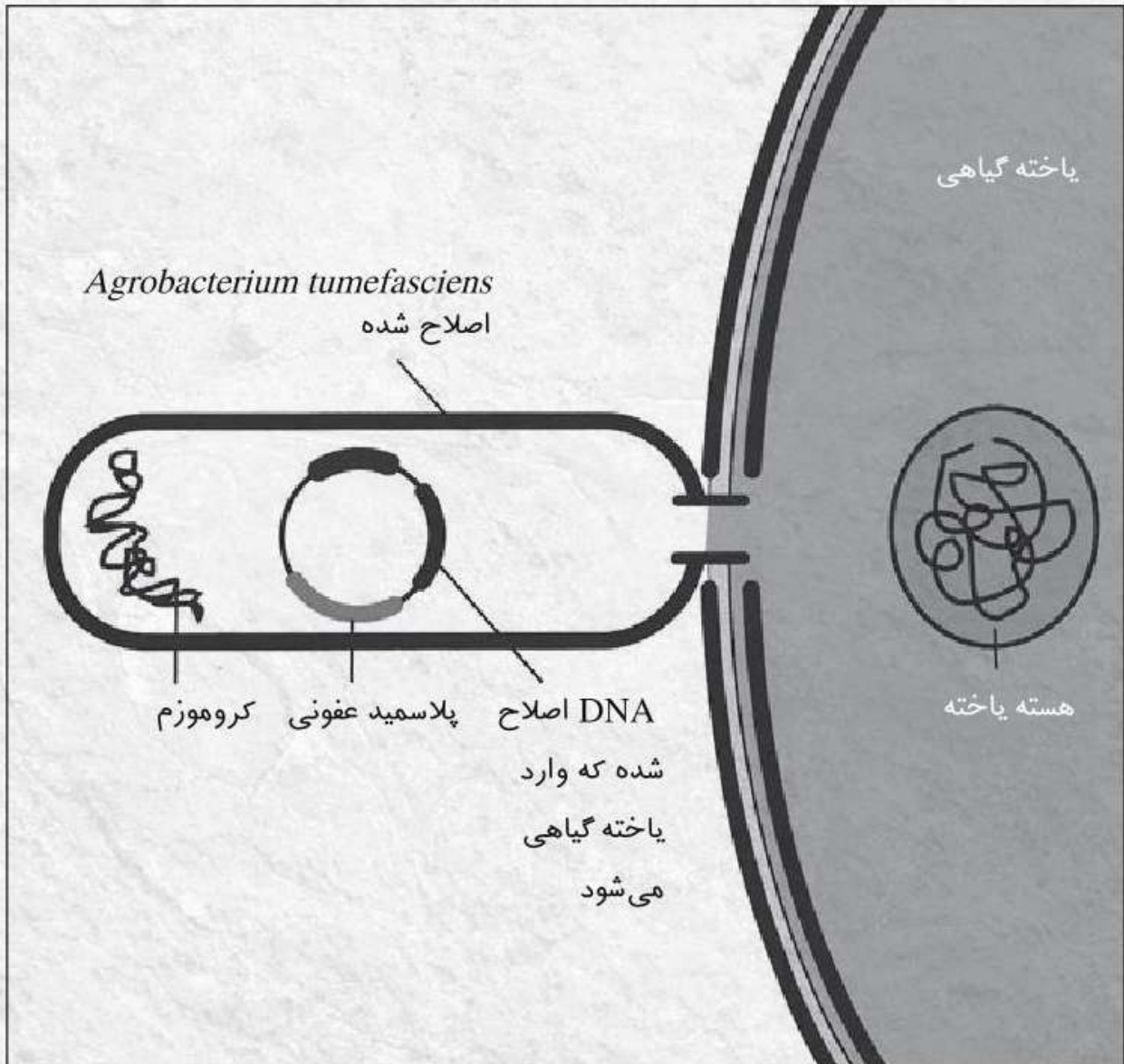
جهش یافته

تعداد انگشت شماری از دام‌ها بیش از یک بار در سال تولیدمثل کرده و این طول نسل زیاد، به علاوه دشواری‌های اخلاقی پژوهش ژنتیکی روی آنها، به این معناست که نمی‌توان از دام برای مطالعه اثر جهش‌ها بر برزندگی و تکوین جنینی سود جست. مگس سرکه (*Drosophila melanogaster*) البته چنین معضلاتی را همراه ندارد. این حشره کوچک برای یک نسل زندگی می‌کند و تنها هشت ساعت پس از به دنیا آمدن از نظر جنسی بالغ می‌شود. مگس سرکه سه کروموزم غیرجنسی و دو کروموزم جنسی داشته و این حشره نسخه‌هایی عظیم از کروموزم‌های خود را در غدد بزاجی می‌سازد که به واسطه ابعادشان به آسانی قابل مطالعه‌اند. تمامی این ویژگی‌ها مگس سرکه را به گونه‌ای ایده آل در میان شمار زیادی از گونه‌های مورد آزمایش مبدل می‌کند. یک دو جین اشکال جهش یافته مگس سرکه پرورش داده شده‌اند. این انواع جهش یافته شامل مگس‌هایی با بال‌های پیچ‌خورده و پیکر و چشمانی رنگارنگ، موهای حساس (*setae*) و کوتاه‌تر و حتی مگس جهش یافته‌ای است که مرد حلیبی خوانده می‌شود و فاقد قلب است. مگس سرکه در مراحل ابتدایی پژوهش در زمینه رابطه ژن‌های پیری و تکوین مغز استفاده می‌شد.



اصلاح ژنتیکی

اصلاح ژنتیکی (GM) که مهندسی ژنتیکی هم خوانده می‌شود، عمل افزودن ژن‌های جدید به یک ژنوم است؛ احتمالاً انتقال ژنی از گونه‌ای به گونه‌ای دیگر. گرچه انتخاب طبیعی می‌تواند هر جاننداری را به جاننداری دیگر مبدل کند - درخت بلوط به ماهی قرمز یا وال به قارچ - ولی این فرآیند میلیون‌ها و بلکه میلیاردها سال به طول خواهد انجامید. فن‌آوری‌های اصلاح ژنتیکی قواعد وراثت را به انحاء مختلف دور می‌زنند. ساده‌ترین این روش‌ها، تفنگ ژنی است. این تفنگ بادی ذرات ریز طلای پوشیده از موادی ژنتیکی را شلیک می‌کند. این تفنگ یاخته‌های زنده را هدف می‌گیرد و بسیاری از یاخته‌ها در اثر برخورد از میان می‌روند، ولی عده‌ای نیز ماده ژنتیکی گلوله‌ها را جذب ژنوم خود می‌کنند. روشی دیگر از باکتری *Agrobacterium* سود می‌برد. این باکتری یاخته‌های گیاهی را با نوعی پلاسمید (DNA حلقوی) مبتلا می‌کند که به تورم‌های تومورمانندی به نام گال منجر می‌شوند. مهندسان ژنتیکی از این پلاسمید برای انتقال ژن‌های جدید (که منتهی به گال نمی‌شوند) سود می‌برند (شکل مقابل). اصلاح ژنتیکی را می‌توان برای مهندسی ویروس‌ها نیز به کاربرد تا ویروس‌های حاصل توان انتقال DNA به هسته یاخته را داشته باشند.



غذای اصلاح ژنتیکی شده

تلاش‌های زیادی برای آفرینش غذای اصلاح ژنتیکی شده انجام گرفته‌اند که تقریباً تمام آنها محدود به گیاهان‌اند. بسیاری از تلاش‌ها نیز ناکام مانده؛ زیرا یا اصلاح ژنتیکی بی‌فایده بوده یا خریداری نداشته. یکی از ناکامی‌های معروف گوجه‌فرنگی ماهی (fish tomoato) است، که در آن از پروتئین ضدیخ سفره‌ماهی آتلانتیک به امید تولید گوجه‌فرنگی مقاوم در برابر سرما استفاده شد. نمونه دیگری ساخت سیب‌زمینی حاوی برخی پروتئین‌های مفید است، در حالی که با پخت سیب‌زمینی‌های مذکور، ساختار پروتئین‌های اضافه‌شده، از میان می‌رفت. برخی اقسام گیاهان اصلاح ژنتیکی شده - مانند آناناس، کدو و سیب‌زمینی - ژن‌های مقاوم به ویروس دریافت کردند، اما رایج‌ترین غذاهای اصلاح ژنتیکی شده ذرت و سویا هستند که به آفت‌کش‌ها مقاوم شده‌اند. غذاهای اصلاح ژنتیکی شده موفق در کشورهای مختلف به شدت تحت نظارت‌اند. پرسش برانگیزتر اینکه فن‌آوری اصلاح ژنتیکی ژن پایان‌بخشی (terminator gene) ابداع کرده که از دانه‌دهی گیاهان اصلاح ژنتیکی شده جلوگیری می‌کند. وجود این ژن کشاورزان را وادار خواهد کرد تا دانه‌های گیاهان اصلاح ژنتیکی شده را هر ساله از نو خریداری کنند، گرچه استفاده از این ژن در سطح جهانی فعلاً معلق است.



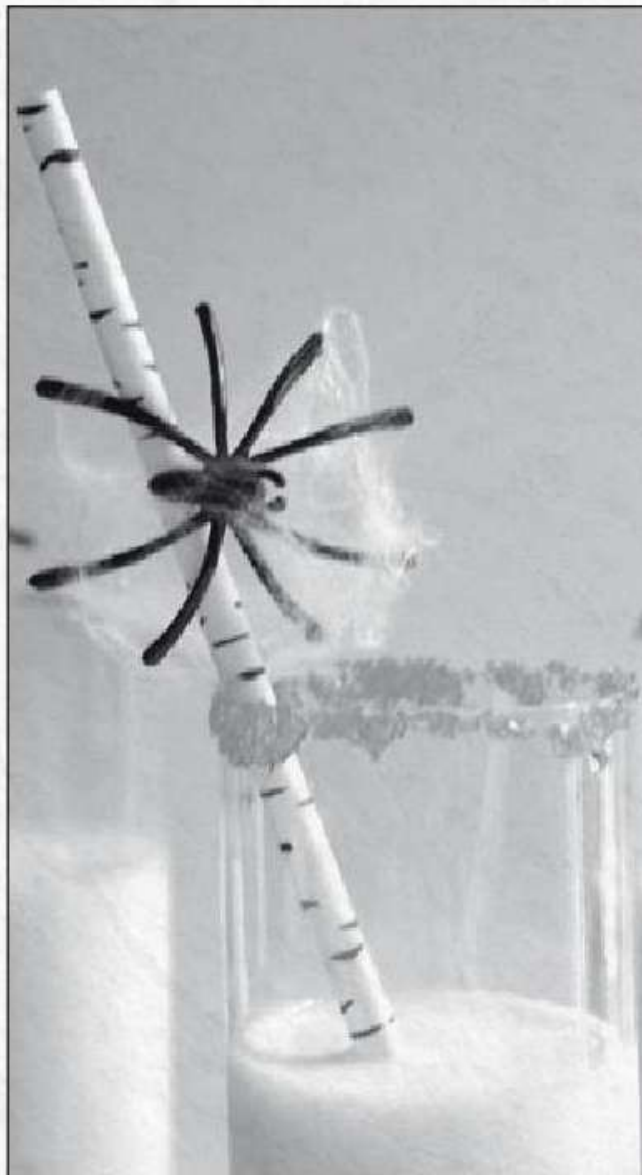
یکی از خطرات جدی محصولات زراعی تراریخته این است که ممکن است به گونه‌هایی مهاجم تبدیل شوند، یعنی با مقاومت بالایی که دارند، بر گیاهان وحشی (که از نظر کشاورزان علف هرز هستند) غلبه‌کنند و منجر به انقراض گیاهان وحشی و کاهش تنوع زیستی شوند |

جانداران تراریخته

گیاهان تراریخته تنها زیرمجموعه‌ای از GMOها هستند. بسیاری از جانوران برای اهدافی غیر از کشاورزی اصلاح ژنتیکی شده‌اند. برخی از موفق‌ترین نمونه‌های اصلاح ژنتیکی، سویه‌های *Escherichia coli* اند. این باکتری را که با مسمومیت غذایی مترادف است می‌توان اصلاح کرد تا داروهایی چون هورمون انسولین برای بیماران دیابتی، هورمون رشد برای معالجه کوتاهی قد و عامل لخته‌کننده خون که برای بیماران هموفیلی حیاتی است، به دست آید.

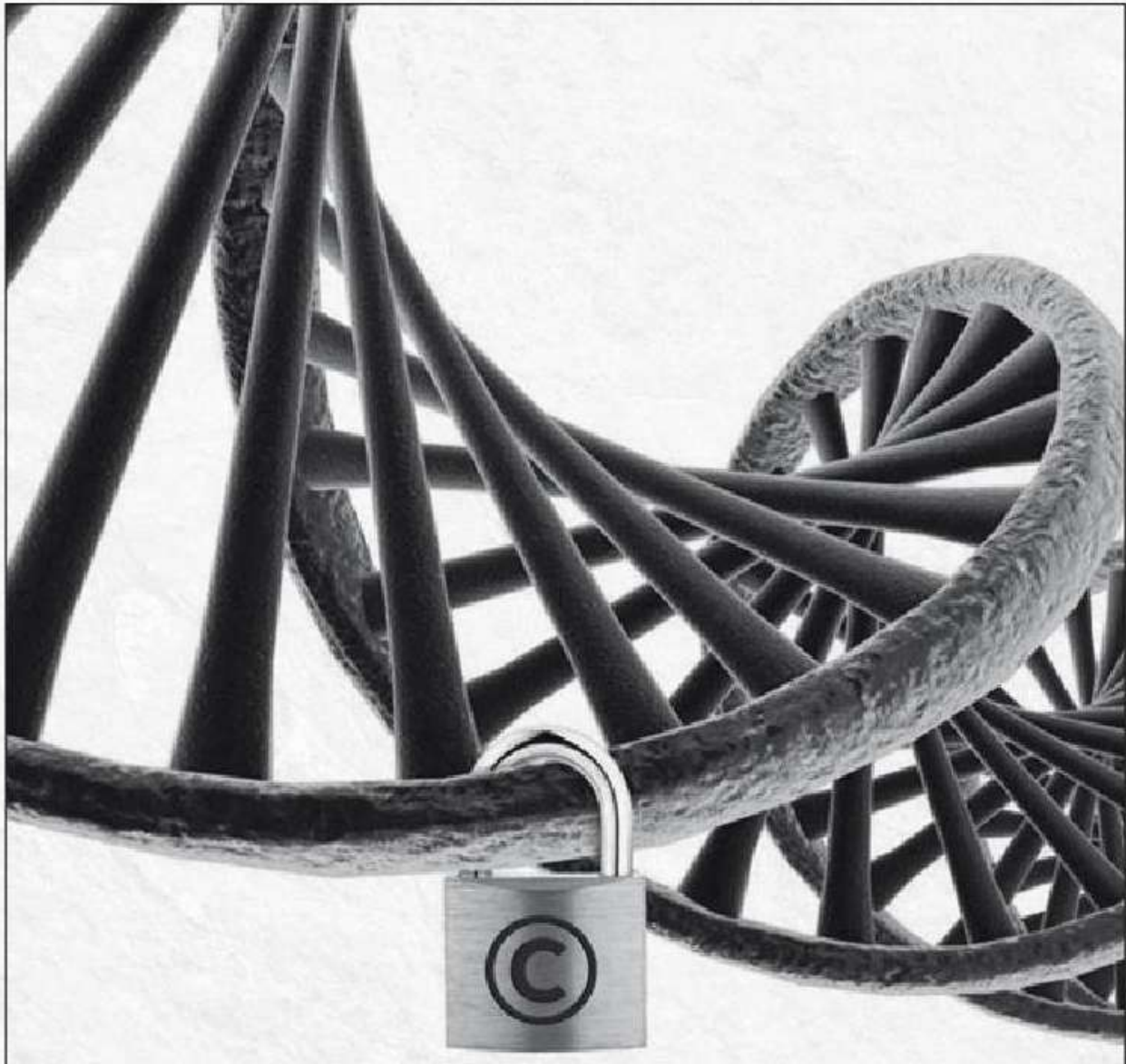
سایر GMOها برای آزمودن روش‌های جدید پزشکی به کار می‌روند. موش‌های دارای ژن‌های زیست‌تابی (bioluminescence) عروس دریایی از جمله این جانداران‌اند. این موش‌ها حقیقتاً در تاریکی می‌درخشند.

GMO عجیب دیگری بز عنکبوتی (spider goat) است. مقادیر بسیار انبوهی از تار عنکبوت را می‌توان از شیر این بز استخراج کرد و از آن برای مطالعه و تولید صنعتی ابریشم استفاده کرد.



به ثبت رساندن ژن‌ها

اصلاح ژنتیکی تجارتی عظیم و نیازمند سرمایه‌گذاری هنگفت در بخش پژوهش و توسعه است. در نتیجه GMO ها و روش‌های مرتبط موضوعی پروانه‌های بهره‌برداری سفت‌وسخت‌اند. افراد و شرکت‌ها مجوز ژن‌های خاص را دارا بوده و مالک معنوی همه موجوداتی که دارای آن ژن‌اند هستند. این وضعیت به مذاق بسیاری خوش نمی‌آید. پروانه یک ژن آن را به صورت توالی‌ای از بازها ثبت می‌کند و برای استفاده از آن ژن - مانند هر ملک معنوی دیگر - هزینه می‌بایست به دارنده پروانه پرداخت شود. این مسأله پرسش‌هایی عملی و اخلاقی برمی‌انگیزد. عملاً چگونه دارنده پروانه می‌تواند نشان دهد که شخصی از ژن او استفاده می‌کند؟ و چگونه می‌توان ثابت کرد که آن ژن حاصل آمیزشی تصادفی نیست؟ مشکلات حقوقی امروزه بسیارند. مشکل‌آفرین‌تر جنبه اخلاقی این موضوع است؛ زیرا پروانه‌هایی برای ژن‌هایی که مواد موجود در طبیعت را رمزگذاری می‌کنند، صادر شده‌اند - شامل پروانه‌ای برای هورمون‌های انسانی - گرچه در ۲۰۱۳ این پروانه‌ها ملغی شدند.



همسانه‌سازی

همسانه‌ها جانورانی که ژن‌هایی یکسان دارند: حاصل تولیدمثل جنسی همسانه‌ای از والد هستند. دوقلوها، سه‌قلوها، چهارقلوها و همه چندقلوهای دیگر نیز همسانه‌اند. همسانه‌سازی (CLONING) فن‌آوری تولید مصنوعی همسانه‌ای است از روی جاننداری که تولیدمثل جنسی می‌کند. همسانه مصنوعی به‌طورکلی ژنتیکی یکسان با والدش دارد، ولی این یکسانی - برخلاف تصور نویسندگان داستان‌های علمی-تخیلی - صددرصد نیست. همسانه‌ها از نظر زمانی متفاوت از والد خود بوده و همواره جوان‌تراند. آنها در محیطی متفاوت رشد می‌کنند که شاید نحوه رشدشان را تغییر دهد. از روی بسیاری از جانوران، از قورباغه‌ها گرفته تا شترها، همسانه ساخته شده است، ولی بسیاری از این تلاش‌ها نیز نافرجام ماندند. همسانه چه فایده‌ای دارد؟ حقیقت این است که این فن‌آوری ابزاری قدرتمند در جعبه‌ابزار مهندسی ژنتیک است چراکه این بهترین راه برای اطمینان از وراثت ماده‌ای ژنتیکی بدون تغییر است. همسانه‌سازی رابطه نزدیکی با پژوهش یاخته بنیادین نیز دارد.

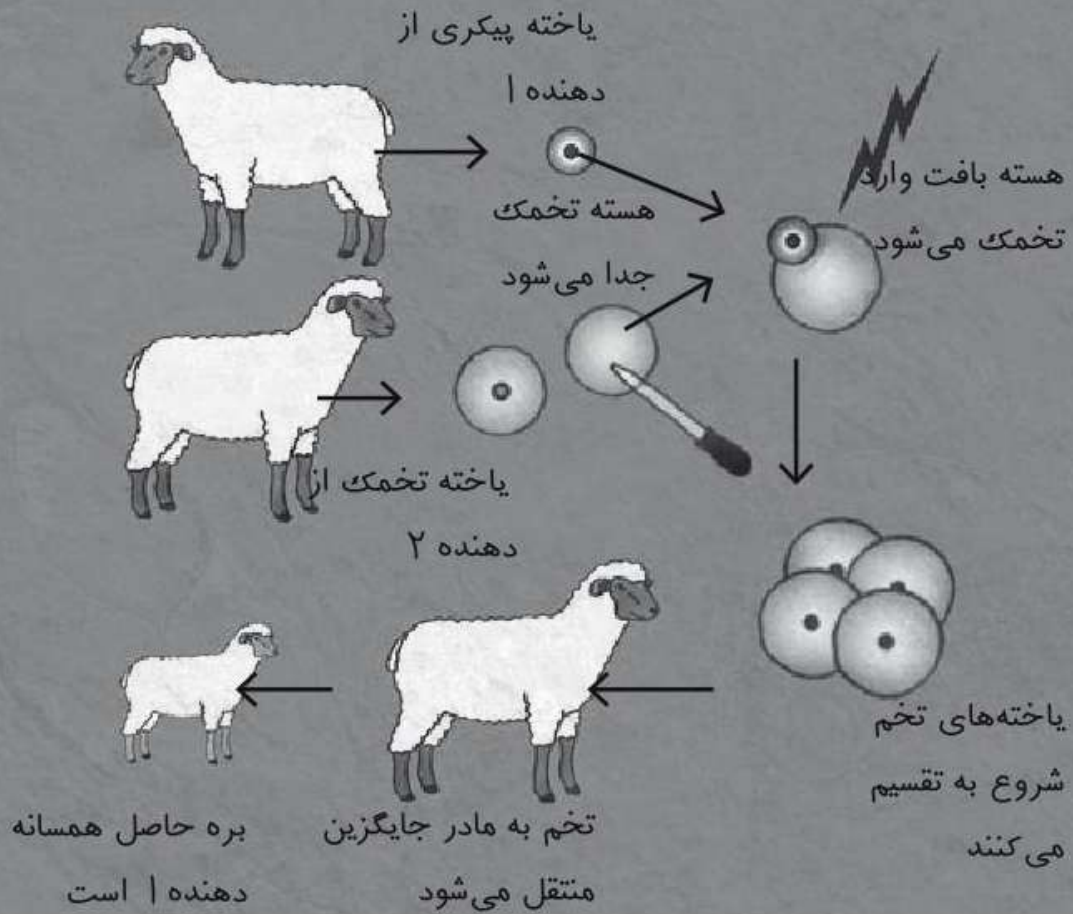


زیرگونه پیرنیایی بزکوهی ایبر در سال ۲۰۰ منقرض شد، ولی یاخته‌های پوستی آن
به این امید نگهداری می‌شوند که روزی همسانه‌سازی این جانور منقرض را به طبیعت
بازگرداند |

انتقال هسته

این شکل از همسانه سازی، با تبدیل مستقیم تخمک به زیگوت لقاح را دور می زند. در این روش هسته تخمک و دست کروموزم های هاپلوئید آن جدا شده و به واسطه پیپتی ظریف که می تواند بدون آسیب به یاخته، وارد غشای یاخته ای شود، خارج می شوند. اندامک ها و سایر محتویات تخمک پس از هسته زدایی (enucleation) دست نخورده باقی می مانند. در مرحله بعدی، هسته دیپلوئید از یاخته ای پیکری به تخمک تزریق می شود. در نتیجه، تخمک به یاخته ای دیپلوئید مبدل می شود ولی این پایان کار نیست. سیتوپلاسم تخمک دارای عواملی است که می توانند کروموزوم های هسته را از نو به کار اندازند. برای تحریک آنی عوامل، شوکی الکتریکی به یاخته داده می شود، گرچه پژوهشگران احتمالاً روش هایی ظریف تر و محرمانه برای این کار در چنته دارند. پس از این مرحله، یاخته تقسیم شده و به جنینی تبدیل می شود که همسان دهنده هسته یاخته پیکری است. همسانه های که از این روش به دست می آیند عموماً با هدف استخراج یاخته های بنیادین پرورش می یابند، ولی چنین همسانه هایی در صورت رشد به جانوری کامل مبدل می شوند.

همسانه سازی با انتقال هسته



گوسفندی به نام دالی

دالی (DOLLY) که احتمالاً مشهورترین گوسفند جهان است، اولین پستانداری بود که به صورت موفقیت‌آمیز همسانه‌سازی شد. تولدش در ۱۹۹۶ در اسکاتلند شوری به پا کرد. دالی از روش انتقال هسته همسانه‌سازی شده بود. دالی یاخته پیکری را از غده شیری مادرش گرفته بود و نامش را از نام خواننده مشهوری در آن زمان.

هسته یاخته پیکری در تخمک گوسفندی دیگر تزریق شد. درحالی‌که کروموزم‌های دالی از یاخته پیکری نشأت می‌گرفتند، میتوکندری‌هایش DNA ای مشابه گوسفند تخمک دهنده داشتند. پس از انتقال هسته موفقیت‌آمیز، زیگوت دالی به مرحله بلاستولا رسید و سپس به رحم مادر جایگزین که گوسفندی دیگر بود منتقل شد (بنابراین می‌توان ادعا کرد که دالی سه والد داشت). دالی شهرتی جهانی یافت، اما به سبب این شهرت، او به دور از دیدگان نگه‌داشته می‌شد. گوسفندان به‌طور متوسط ۱۲ سال عمر می‌کنند ولی دالی در ۶ سالگی و در اثر عفونت ریوی، شایع در میان گوسفندانی که در جاهای سرپوشیده نگهداری می‌شوند، جان داد.



انگشت‌نگاری ژنتیکی

اثر انگشت روشی مناسب برای شناسایی یک فرد است؛ زیرا عملاً خاص هر فرد بوده و در صورت بررسی دقیق، احتمال شناسایی اشتباه بر مبنای اثر انگشت بسیار پایین است. انگشت‌نگاری ژنتیکی که صحیح‌ترش «نمای DNA (DNA profile)» است، روشی همسنگ انگشت‌نگاری است. این نمای تمامی ژنوم را نشان نداده، بلکه تنها دو نمونه DNA را باهم مقایسه می‌کند. اگر نمونه DNA از محل وقوع جرم با نمونه مظنون برابری کند، می‌توان نتیجه گرفت که مظنون در محله جنایت حاضر بود. روشی مشابه را می‌توان برای اندازه‌گیری خویشاوندی میان افراد نیز به کار بست. این روش در ۱۹۸۴ توسط ژنتیک‌دان انگلیسی، الک جفریز (Alec Jeffreys)، ابداع شد. ۹۹/۵ درصد ژنوم انسان‌ها یکسان است؛ پس او برای یافتن تمایز بر نواحی تکراری ژنوم متمرکز شد. اگر DNA را قطعه‌قطعه کرده و قطعات حاوی تکرارها را به مراتب همانندسازی کنیم، درمی‌یابیم که این قطعات طول ویژه‌ای دارند که در میان خویشان مشابه است. با جداسازی نمونه‌ها بر اساس اندازه آنها می‌توان الگویی خاص به وجود آورد که با الگوی حاصل از نمونه‌های دیگر قابل قیاس است.

آزمودن مظنونین

مظنون ۳



مظنون ۲



مظنون ۱

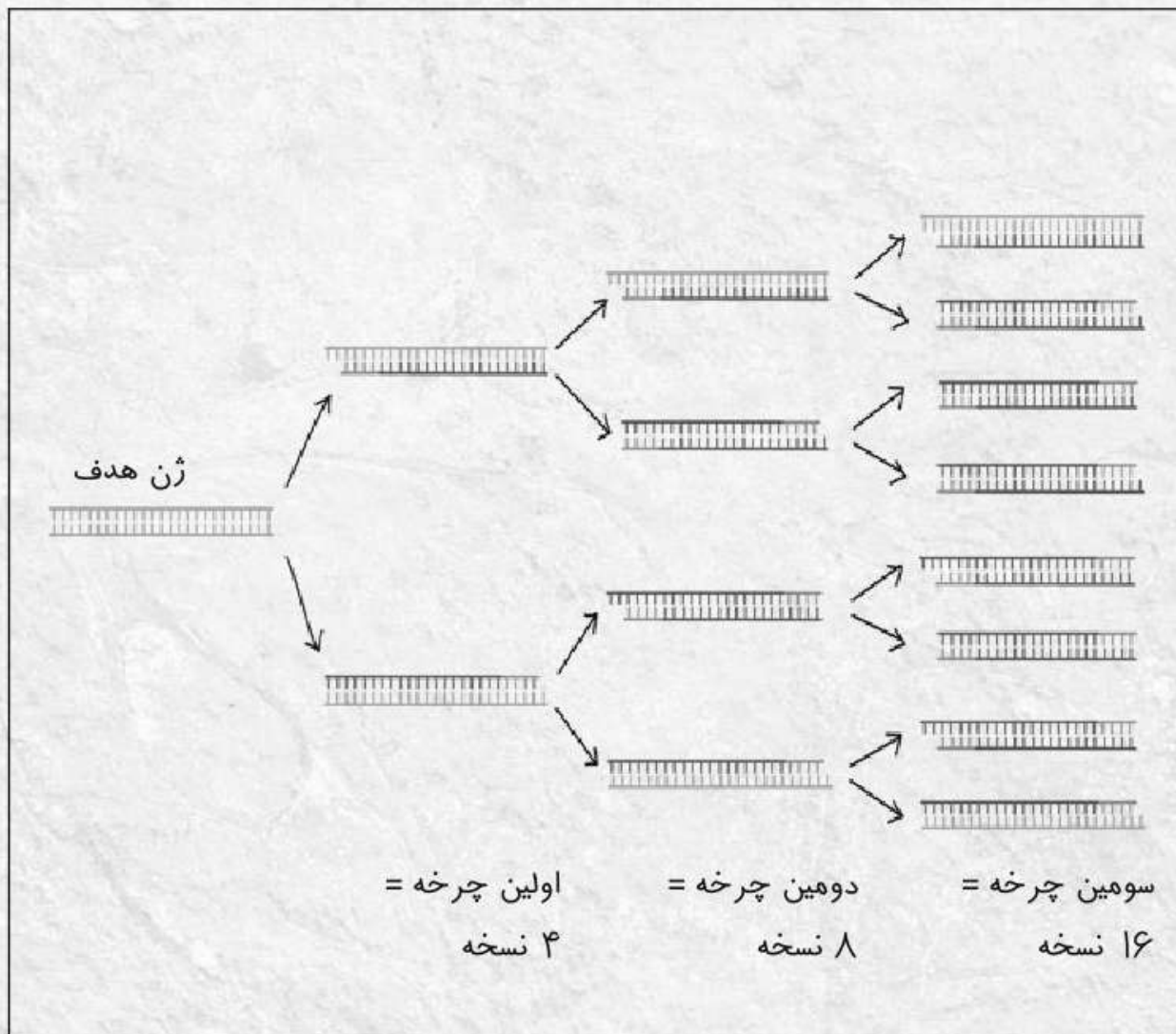


نمونه‌ای از محل وقوع جرم



واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز

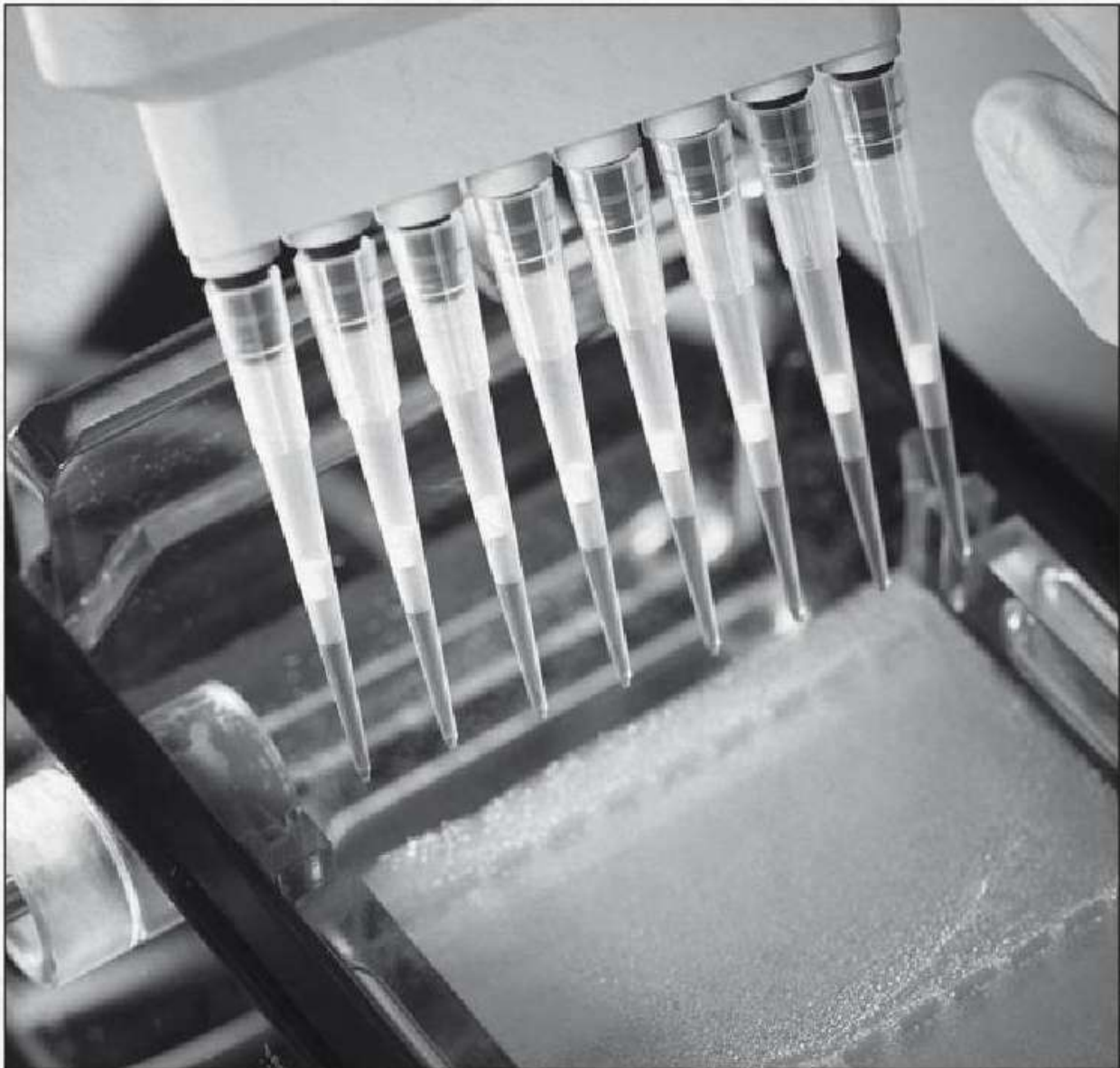
پلی‌مراز آنزیمی است که در هسته یاخته برای خواندن و همانندسازی DNA به کار می‌آید. ژنتیک‌دانان می‌توانند از این آنزیم برای تولید انبوه قطعه خاصی از DNA استفاده کنند. رایج‌ترین این روش‌ها واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز است که در ۱۹۸۳ ابداع و در نمای DNA استفاده شد، اما این روش برای تولید انبوه نمونه‌های DNA نیز مناسب است. این فرآیند با ترکیب DNA هدف (همچنان بخشی از رشته بزرگ‌تری از DNA) با آنزیم پلی‌مراز، انبوهی از نوکلئوتیدها و مولکولی به نام آغازگر (Primer) آغاز می‌شود. آغازگرها رشته‌های کوتاهی از DNA اند که برای اتصال به DNA هدف طراحی شده و پس از اتصال، محل اتصال DNA پلی‌مراز را مشخص می‌کنند. PCR تعدادی چرخه را شامل می‌شود و هر چرخه سه مرحله دارد. ابتدا DNA حرارت دیده و دو رشته از هم باز می‌شوند، سپس آغازگران متصل شده و نهایتاً پلی‌مراز DNA هدف را همانندسازی می‌کند. هر چرخه، DNA بیشتر و بیشتری را تولید می‌کند چنانکه در ۳۰ چرخه (حدود ۴ ساعت) یک نمونه DNA می‌تواند به یک میلیارد نسخه مبدل شود!



قدرت واکنش زنجیره‌ای به تولید میلیاردها نسخه در تنها چند ساعت منجر می‌شود |

الکتروفورز

برای جداسازی DNA و سایر مولکول‌های بیوشیمیایی چون پروتئین، از فرآیندی به نام الکتروفورز (ELECTROPHORESIS) استفاده می‌شود. در این روش مخلوطی از DNA و رنگ‌ها روی ورقه‌ای ژلی (که عموماً از جنس آگار، یعنی پلیمری که از جلبک دریایی استخراج می‌شود، است) قرار داده می‌شود. ژل در درون بافری که رساناست قرار داده شده و جریان برق در درون بافر به جریان می‌افتد. بار DNA به واسطه فسفات‌های موجود در ستون فقرات این مولکول، منفی است. در نتیجه DNA در بافر به سمت قطب مثبت حرکت می‌کند. در ابتدا DNA و رنگ نوارهایی ضخیم را تشکیل می‌دهند ولی با گذر زمان این بند ضخیم به بندهایی نازک‌تر که همگی از قطعاتی هم‌اندازه تشکیل می‌شوند، تقسیم می‌شوند. قطعات کوتاه‌تر DNA طی الکتروفورز مسافت بیشتری از قطعات بلندتر طی می‌کنند. در نهایت این بندها الگویی از نوارها را شکل می‌دهند. این روش را می‌توان برای ایجاد نردبانی از DNA با استفاده از قطعاتی با اندازه‌های مشخص، استفاده کرد.



آزمایش ژن

شماری از بیماری‌ها و ناهنجاری‌ها وراثتی‌اند. این بیماری‌ها شامل حساسیت به لاکتوز، پورفیری و برخی اشکال بیماری کرون می‌شوند و این لیست بسیار بلندبالاست. آزمایش‌های پزشکی برای تشخیص این بیماری‌ها در والدین ابداع شده‌اند. ناهنجاری‌های کروموزومی چون نشانگان داون را می‌توان با کاریوتیپ تشخیص داد. زمانی که یک ژن سبب یک بیماری خاص می‌شود، آزمایشی لازم است که به نمود آن ژن نگاه می‌کند. این نمود می‌تواند پروتئینی خاص یا وجود متابولیتی ویژه باشد که از فعالیت آن ژن حکایت دارد. پیشرفت‌های علم ژنتیک آزمایش‌های اختصاصی مربوط به کدون‌های مختلف DNA را آسان و ارزان کرده‌اند. برخی بیماری‌های خاص لاعلاج بوده و تنها با دارو قابل مهار است. در این موارد، نتیجه منفی آزمایشی ژنی سبب آسودگی خاطر می‌شود، نتیجه‌ای مثبت چیزی جز پریشانی به بار نمی‌آورد. در نتیجه آزمایش ژنی باید با مشاوره همراه باشد تا بیمار نتایج چنین آزمایش‌هایی را درک کند.



آزمایش ژن (Gene testing)

وساطت ژنتیکی

حس بویایی زنان کلا از مردان بهتر است. یکی از دلایل تکاملی حس بویایی اصلح، توانایی در شناخت سموم موجود در غذا است که می‌تواند از شیر مادر به نوزادان منتقل شود، اما به نظر می‌رسد که این صفت به انتخاب جفت هم مربوط است. در ۱۹۹۵، زیست‌شناس سوئیسی کلاوس ودکینت (Claus Wedekind) آزمایش مشهور تی‌شرت‌های عرقی را به انجام رساند. او از شرکت‌کنندگان مرد که تی‌شرت را در حین خواب و برای دو شب متوالی بر تن کنند استفاده کرد. او سپس از شرکت‌کنندگان زن خواست تا تی‌شرت‌ها را بر اساس بو رده‌بندی کنند. هیچ تی‌شرتی دلخواه‌ترین از منظر همه زنان نشد ولی زن‌ها عموماً بوی مردانی را ترجیح می‌دادند که HLA ای متفاوت داشتند. علت واضح به نظر می‌رسد با انتخاب جفتی که HLA متفاوتی دارد، توانایی فرزندان برای مقابله با بیماری‌ها را افزایش داده و درعین حال اطمینان حاصل می‌کنند که جفت انتخابی خویشاوندی نزدیک نیست؛ گرچه برخی متخصصان این یافته‌ها را ساده‌انگارانه می‌دانند.



ژن درمانی

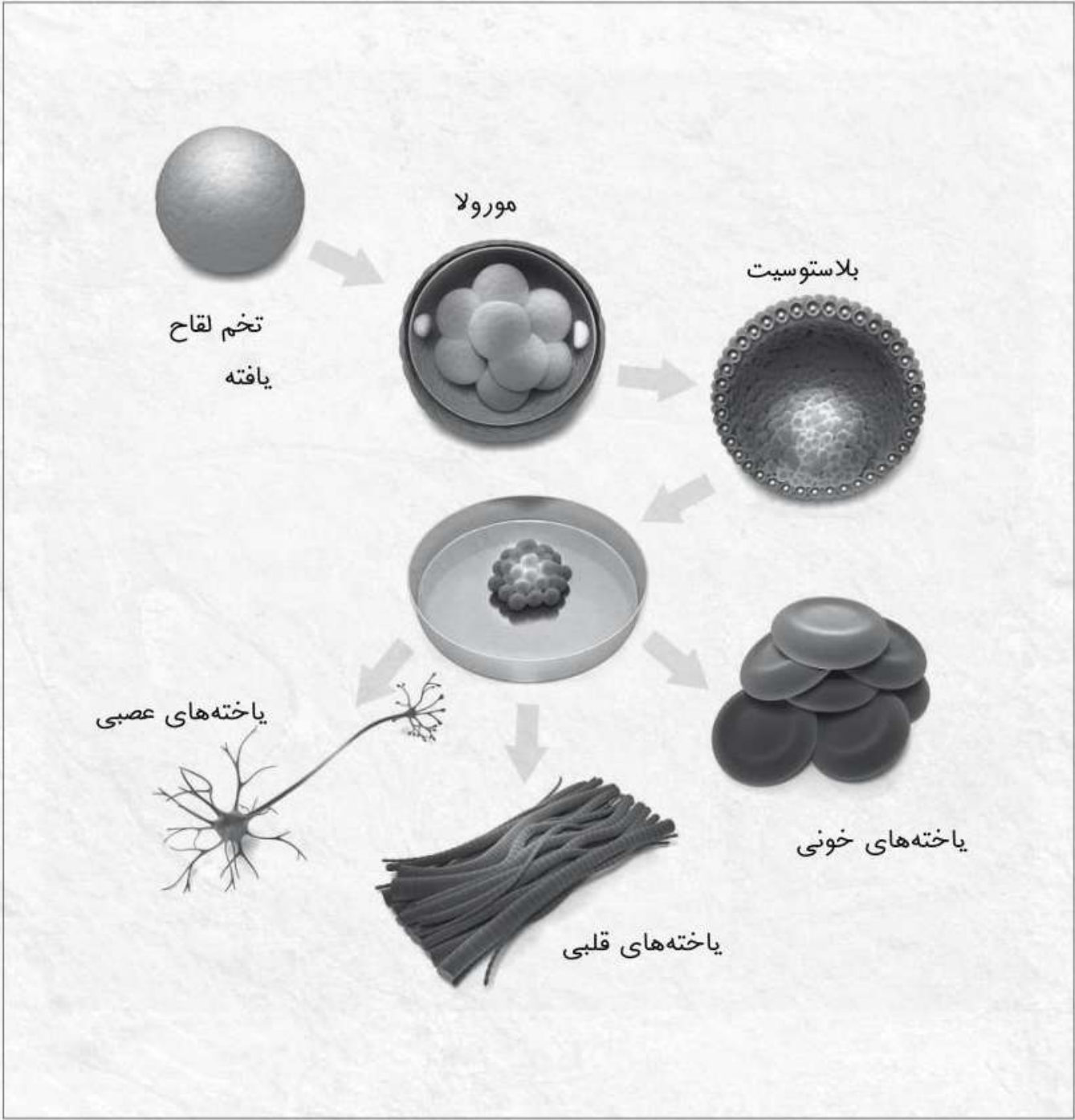
تصور کن که بتوان ژن‌های مشکل‌ساز را از بدن حذف کرد یا ژن‌های جدیدی برای مقابله با بیماری‌ها به بدن افزود. این هدف یک شاخه بالقوه انقلابی از پزشکی به نام ژن‌درمانی است که آرام‌آرام از دهه ۱۹۸۰ آغاز به پیشرفت کرده است. خطرهای حقیقی در کمین‌اند اما نشانه‌های موفقیت نمایان‌اند.

ژن‌ها را با وکتوری (نوعی روش انتقالی) به بدن انتقال می‌دهند. ویروس‌ها وکتورهایی خوب‌اند اما ممکن است مورد حمله سیستم ایمنی قرار گیرند و احتمال رهاشدن اتفاقی یک ویروس مصنوعی انسانی در طبیعت کابوس‌وار است. شاید روش‌های غیر ویروسی، مانند تزریق مستقیم DNA به خون، موفقیت محدودی داشته باشند؛ اما چگونه موفقیت را در این حوزه تعریف می‌کنیم؟ لاقط DNA باید به بافت مبتلا منتقل شود؛ اما باقی بدن نیز ژن مشکل‌ساز را حمل می‌کنند - و نوزادان حاصل از این پیکر نیز می‌توانند حامل این ژن باشند. هدف ژن‌درمانی در سطح رگه‌زایشی، حل این مشکل از سرچشمه و از میان بردن ژن مشکل‌ساز از دودمان خانواده است.



درمان مبتنی بر یاخته بنیادین

یکی از مزایای مزده داده شده آینده فن‌آوری ژنتیک، درمان با کمک یاخته‌های بنیادین است. هدف این روش درمانی استفاده از همان سازوکارهایی است که پیکره ما را می‌سازند. یاخته‌های بنیادین خاستگاه یاخته‌های مختلف بدن‌اند. پس از بلوغ کامل، تمامی یاخته‌های بنیادین از کار می‌افتند. پیوند مغز استخوان یکی از اشکال درمان مبتنی بر یاخته بنیادین است. در این روش یاخته‌های بنیادین سالم اهدایی به مغز استخوان بیمار مبتلا به سرطان خون (leukaemia) منتقل می‌شود. در بدن بیمار، یاخته‌های بنیادین جایگزین مغز استخوان قدیمی شده و سلامت خون را به بیمار بازمی‌گردانند. به علاوه بدن توان درمان جراحات اندام‌هایی چون عصب‌ها و چشمان را ندارد و پژوهشگران امیدوارند که بتوانند این مشکلات را نیز به کمک یاخته‌های بنیادین حل کنند. شاید از یاخته‌های دیگر بدن نیز بشود یاخته بنیادی ایجاد کرد یا در روشی جنجالی‌تر، یاخته‌های بنیادین را می‌توان از جنینی که به این منظور همسانه‌سازی شده استخراج کرد. موفقیت‌های فعلی نشان می‌دهد که درمان مبتنی بر یاخته بنیادین به روشی عادی در آینده مبدل خواهد گشت.



نوزادان مد روز

واژه نوزاد مد روز (Designer babies)، احساساتی عمیق و تداعی‌هایی از نوع مقایسه میان نوزادان و تجملات گران‌قیمتی چون کیف‌دستی و کفش‌ها را به ذهن می‌آورد؛ اما این فن‌آوری ژنتیک را می‌توان برای از میان بردن ناهنجاری‌هایی که در صورت وجودشان زندگی نوزاد به جهنمی بدل می‌شود استفاده کرد؛ مانند تمامی جهات دیگر علم ژنتیک، این تکنولوژی محرک بحثی اخلاقی است.

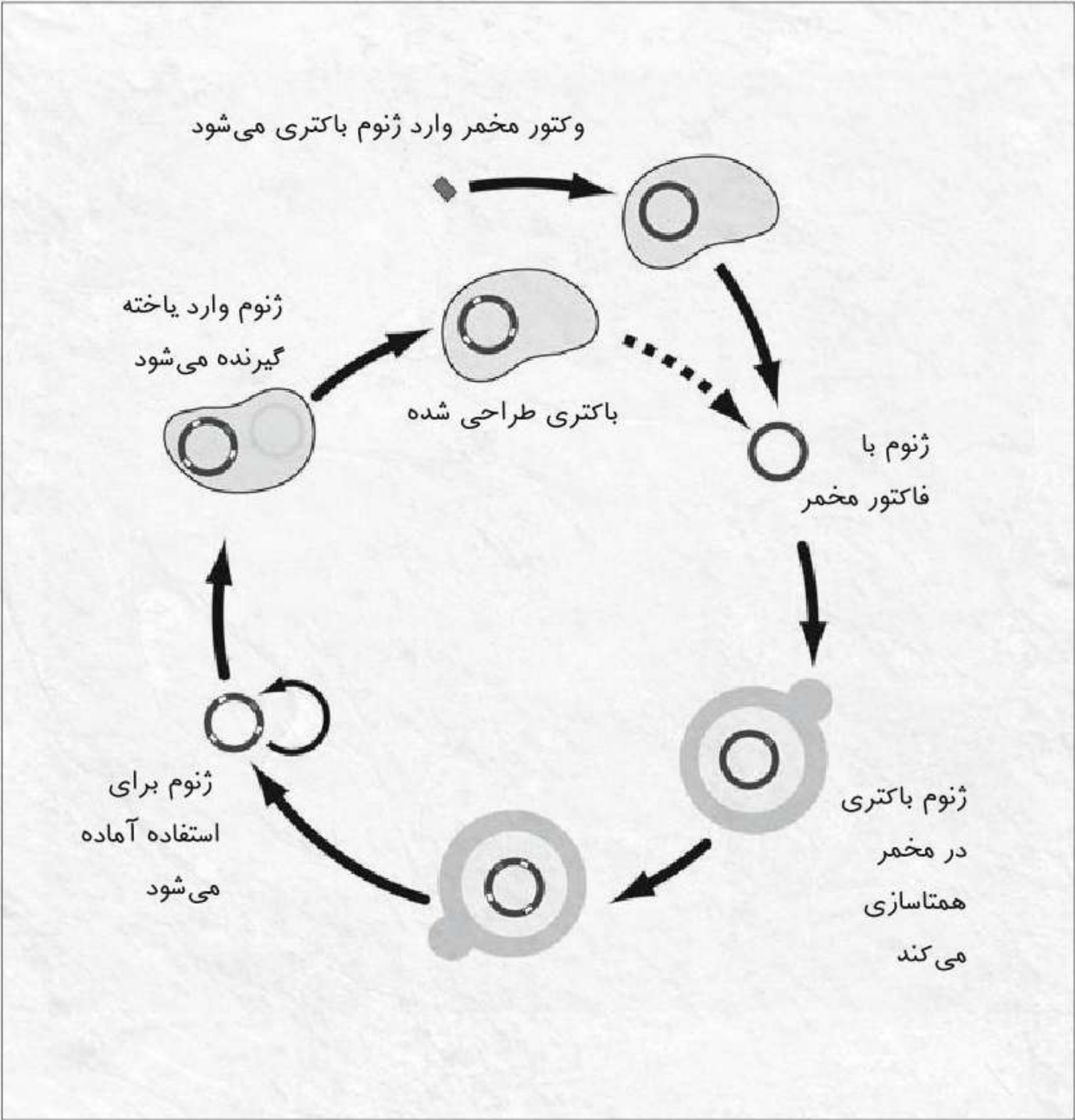
گرچه همه با غیراخلاقی بودن جست‌وجو کردن اسپرم، تخمک و جنین برای مشخص کردن جنسیت یا صفات سطحی ژنتیکی چون رنگ موافق‌اند، اما اکنون ویرایش ژنتیکی ژن‌هایی که مسبب بیماری‌اند را می‌توان با ژن‌های سالم جابه‌جا کرد؛ اما چرا اینجا توقف کنیم؟ چرا بهترین ژن‌ها برای زیبایی و هوش نوزاد را برنگزینیم؟ چنین ژن‌هایی هنوز شناخته شده نیستند، اما چرا بر تمام این فرضیه‌ها خط بطلان بکشیم؟ استدلال‌ات به نفع مداخلات درمانی را به سختی می‌توان رد کرد، اما آیا درست است جلوی پیشروان این حوزه را بگیریم؟



زیست‌شناسی مصنوعی

ماشینی را تصور کنید که در آینده برای کارهای یدی استفاده می‌شود. آیا این ماشین از جنس آهن و پلاستیک است یا از گوشت و استخوان؟ ماشین‌های ما بر اساس الگوی پیکرهای زیستی ساخته می‌شوند پس چرا نباید از مواد زیستی برای ساخت آنها سود جست یا حتی ماشین‌های موجودات زیستی را درهم آمیخت؟ چنین دیدی از آینده حاصل زیست‌شناسی مصنوعی (Synthetic biology) خواهد بود. این شاخه جدید، دانش ژنتیک، زیست‌شناسی یاخته‌ای و آناتومی را درهم می‌آمیزد تا موجودات زنده‌ای را از صفر خلق کند.

در سال ۲۰۱۰، اولین باکتری مصنوعی بر اساس یاخته باکتری طبیعی و ژنومی مصنوعی که به قلم مهندسین نوشته شده بود، آفریده شد. اخیراً مهندسان وزیکول‌هایی را با استفاده از لیپیدی که در غشای یاخته‌ای یافت می‌شود ساخته و حالا در تلاش برای خلق یاخته‌های مصنوعی با موادی غیر زیستی‌اند. رسیدن به این هدف شاید دهه‌ها طول بکشد، اما آگاهی ما را نسبت به ژن‌ها، یاخته‌ها و پیکرها افزایش می‌دهد، ساختن موجودات مصنوعی ساخت دست‌ان خودمان نیز آسان‌تر می‌شود.



DNA: XNA مصنوعی

سرنام زنونوکلئیک اسید می‌شود XNA. xeno واژه‌ای یونانی است به معنی بیگانه و XNA به موادی شیمیایی گفته می‌شود که می‌توانند جای DNA و RNA کار کنند. در سال ۲۰۱۵، پژوهشگران برای اولین بار موفق به استفاده از رشته‌ای از XNA برای تولید پروتئین شدند؛ اما چرا باید DNA، یکی از شگرف‌ترین اشکال آفرینش را دوباره ابداع نمود؟ نوکلئیک اسید مصنوعی نخستین بار توسط زیست‌شناسان تکاملی که به دنبال رقابای احتمالی DNA و RNA در بدو آفرینش بودند خلق شدند. قدم بعدی ساخت شکلی از XNA بود که شکل و عملکردی مشابه DNA دارد. این مولکول می‌بایست جفت بازهای مانند DNA داشته باشد ولی در مقابل حمله‌های شیمیایی و تغییرات حرارتی بیشتر از DNA دوام آورد. این ابداع راه را برای پژوهش‌هایی تازه گشوده است: آیا XNA را می‌توان درون یاخته‌های مصنوعی گذارد و دامنه‌ای تازه از حیات خلق کرد؟ شاید بتوان با جایگزینی XNA به جای DNA در درمان‌های ژنی دوام ژنوم را افزایش دهیم.



کتاب‌های دیگر از همین مجموعه



- نجوم در چند دقیقه
- زیست‌شناسی در چند دقیقه
- علم در چند دقیقه
- فلسفه در چند دقیقه
- عنصرها در چند دقیقه
- روان‌شناسی در چند دقیقه
- مدیریت در چند دقیقه
- معماری در چند دقیقه
- فیزیک در چند دقیقه
- اقتصاد در چند دقیقه
- تاریخ جهان در چند دقیقه
- ریاضی در چند دقیقه
- بورس در چند دقیقه
- سیاست در چند دقیقه

۴۰۸ کتاب‌های دیگر از همین مجموعه