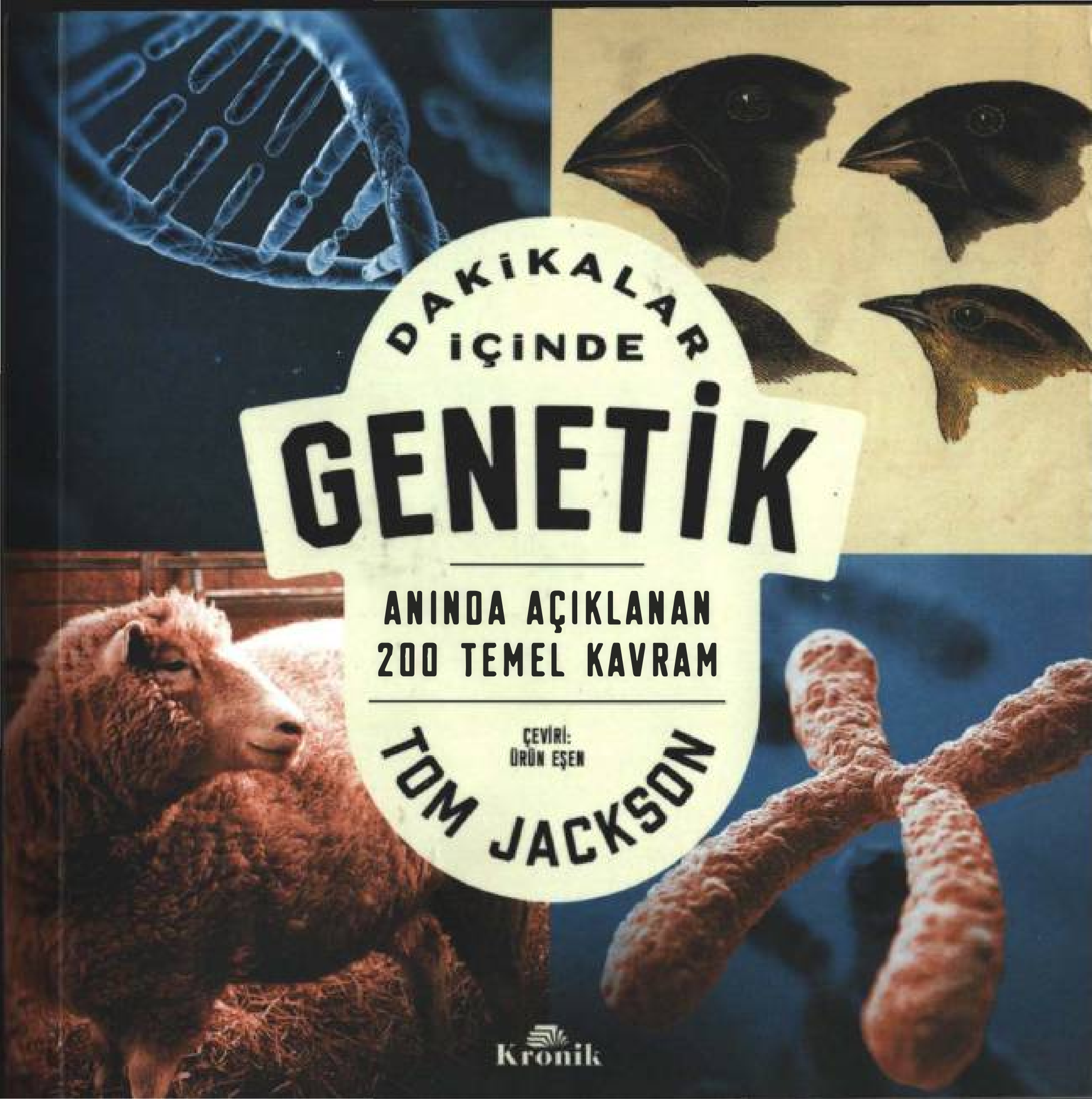


DAKİKALAR İÇİNDE GENETİK

ANINDA AÇIKLANAN 200 TEMEL KAVRAM

TOM JACKSON

ÇEVİRİ: ÜRÜN EŞEN

Kronik

GENETİK
Anında Açıklanan 200 Temel Kavram

TOM JACKSON

KRONİK KİTAP: 340
Dakikalar İçinde: 10

YAYIN YÖNETMENİ
Adem Koçal

ÇEVİRİ
Ürün Eşen

EDİTÖR
Can Uyar

DÜZELTİ
Aysın Önen

KAPAK TASARIMI
Kutan Ural

MİZANPAJ
Kronik Kitap

1. Baskı, Kasım 2022, İstanbul

ISBN
978-625-8431-79-7

KRONİK KİTAP
Şakayıklı Sk. N°8, Levent
İstanbul - 34330 - Türkiye
Telefon: (0212) 243 13 23
Faks: (0212) 243 13 28
kronik@kronikkitap.com

Kültür Bakanlığı Yayıncılık
Sertifika No: 49639

www.kronikkitap.com
kronikkitap

BASKI VE CİLT
Optimum Basım
Tevfikbey Mah. Dr. Ali Demir Cad. No: 51/1
34295 K. Çekmece / İstanbul
Telefon: (0212) 463 71 25
Matbaa Sertifika No: 41707

DAKİKALAR İÇİNDE

GENETİK

ANINDA AÇIKLANAN
200 TEMEL KAVRAM

TOM JACKSON

ÇEVİREN:
Ünlün EŞEN

Kronik

İçindekiler

Giriş	6
Yaşam	8
Kalıtım	28
Hücre	54
DNA	78
Eşey	118
Evrim	168
Sınıflandırma	214

Ekoloji 232
Hayvan İlişkileri 258
Neo-Darwinizm 290
Yaşamın Kökenleri 306
İnsanlar ve Genetik 322
Genetik ve Teknoloji 360
Terimler Sözlüğü 408
Dizin 412

Giriş

En basit haliyle ifade etmek gerekirse, genetik "kalıtım" bilimidir. Ancak konu biraz daha derinlemesine incelendiğinde basitlikten son derece uzak olduğunu görürüz. Genetik bize bir bedenin tek bir hücreden nasıl oluştuğunu anlatır, milyarlarca yıllık bir süreçte Dünya üzerindeki yaşamın nasıl sayısız şekilde değiştiğini gösterir ve hastalıklara karşı verilen mücadelede temel dayanak sağlar. Dahası, toplumumuzu dönüştürecek yeni teknolojiler üretme potansiyeli sunarak herkese sağlıklı olma güvencesi verecek olmasının yanı sıra, belki de türümüzün gelişimi üzerinde kontrol sahibi olmamızı sağlayarak canlılar dünyasını yeniden şekillendirmemize de olanak sağlayacak.

Bir bilim olarak genetik nispeten yeni bir dal; temelinin 1850'lere dayanmasına rağmen birçok koldan edinilen bilgi ancak yirminci yüzyılın başında tek bir alanın çatısı altında toplanabildi. Başlangıçta ilerlemeler oldukça yavaş gerçekleşirken, genetiğin gizemlerinin açığa çıkarılmaya başlaması 1950'leri bulmuştu. İlk olarak DNA'nın çift sarmal yapısının, daha sonra da canlı olmayan bir kimyasal kodun nasıl bir canlının meydana gelmesini

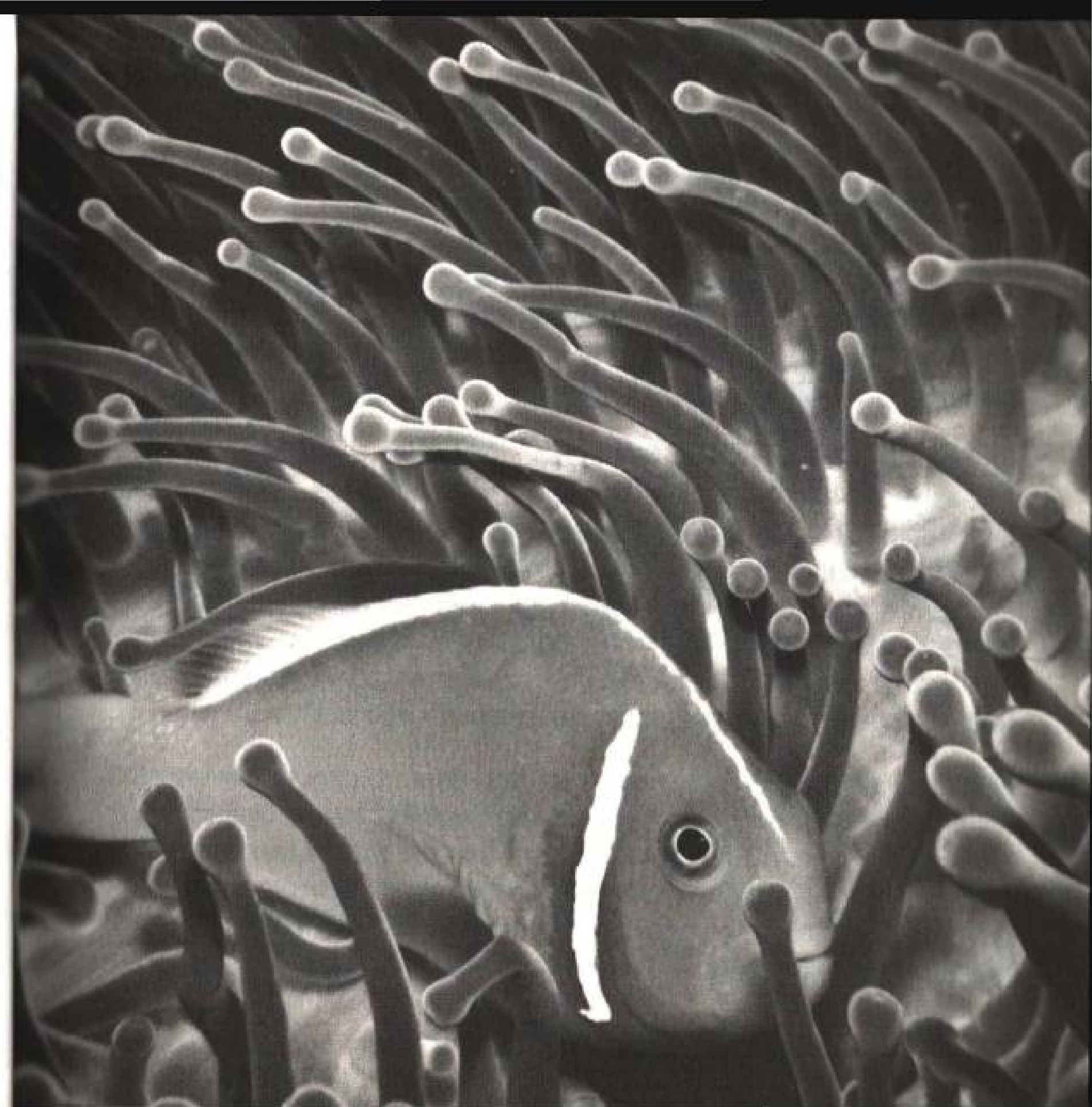
sağladığını gösteren merkezî/santral dogmanın keşfi üzerine genetikteki ilerlemeler gene dair sırların çözülmesini oldukça hızlandırdı. Ancak katetmiş olduğumuz devasa yola rağmen bugün dahi DNA'mızda çözülmeyi bekleyen birçok sır mevcut. Genetik kodu nasıl deşifre edeceğimizi bulmuş olabiliriz, fakat bulgularımızın tam olarak ne anlama geldiğini tercüme etme sürecimiz devam ediyor.

Genetik; kimya, biyoloji, tarım, mühendislik ve hatta bilişim kuramı, istatistik gibi birçok alandan fayda sağlar. Birçokları genetiğin bize tam olarak kim olduğumuzu, "genlerde" yatanı anlatacağı inancına sahiptir. Atalarımızın birçoğunun ebeveynlerinden aldığı özelliklerin eşsiz bir karışımı olduğunu fark etmeleri, genetik biliminin ortaya çıkmasından çok daha öncelerine dayanır. Ancak genetik kodumuzun doğasının karakterlerimizi ve davranışlarımızı ne ölçüde yönettiği sorusu karşılaşılan en zor bilmecelerden birini ortaya koymakta. Belki de genetiğin en güncel araştırma konuları olan epigenetik, sentetik biyoloji ve kök hücre araştırmaları bize ihtiyaç duyduğumuz eksik parçaları sağlayacaktır. Bu cezbedici alanlarda gerçekleştirilen araştırmaların tıptaki ilerlemelerin yanı sıra yirmi birinci yüzyılda ve takip eden gelecekte insan olma kavramını anlamamız üzerinde de son derece büyük etkileri olacağına kesin gözüyle bakabiliriz.

Yaşam

Yaşam nedir? Bilim insanları yaşamı kısaca en az bir "termodinamik döngü" gerektiren bir kendini-kopyalama süreci olarak tanımlıyor. Farklı kelimelerle ifade etmek istersek, yaşam; canlı olan bir şeyin kendi kopyasını üretebilme yeteneğine sahip olması ve bunu, kimyasal maddeleri bir şekilde dönüştürmesini sağlayan bir kaynaktan edindiği enerji sayesinde gerçekleştirmesi olarak tanımlanabilir. Bu enerji tedarikinin kesintisiz olması gerekirken, enerji kaynağına erişilememesi ya da kaynağın kullanılamaması durumunda ortaya çıkacak sonucun canlının ölümü olması beklenir. Ölebiliyor olmak canlı olmanın sağladığı eşsiz özelliklerden biridir.

Bu tanıma göre en basit yaşam formu, aynı bir RNA gibi (bkz. s. 100) tek bir nükleik asit zinciridir. Bu kimyasal yapı kendi molekülünü bir şablon olarak kullanarak kendi kopyasını üretebilme yeteneğine sahiptir. Ancak bu inanılmaz derecede istikrarsız bir yaşam formudur ve milyarlarca yıllık evrimin neticesinde sayısız canlı formu hayatta kalmalarını sağlayacak çeşitli yetiler geliştirmişlerdir. Bu yetiler genlerimizde kayıtlıdır ve canlılığın başarılı olup olmayacağı bu genlerin kontrolündedir. Yaşamı anlamak için öncelikle genetiğin anlaşılması gerekir.

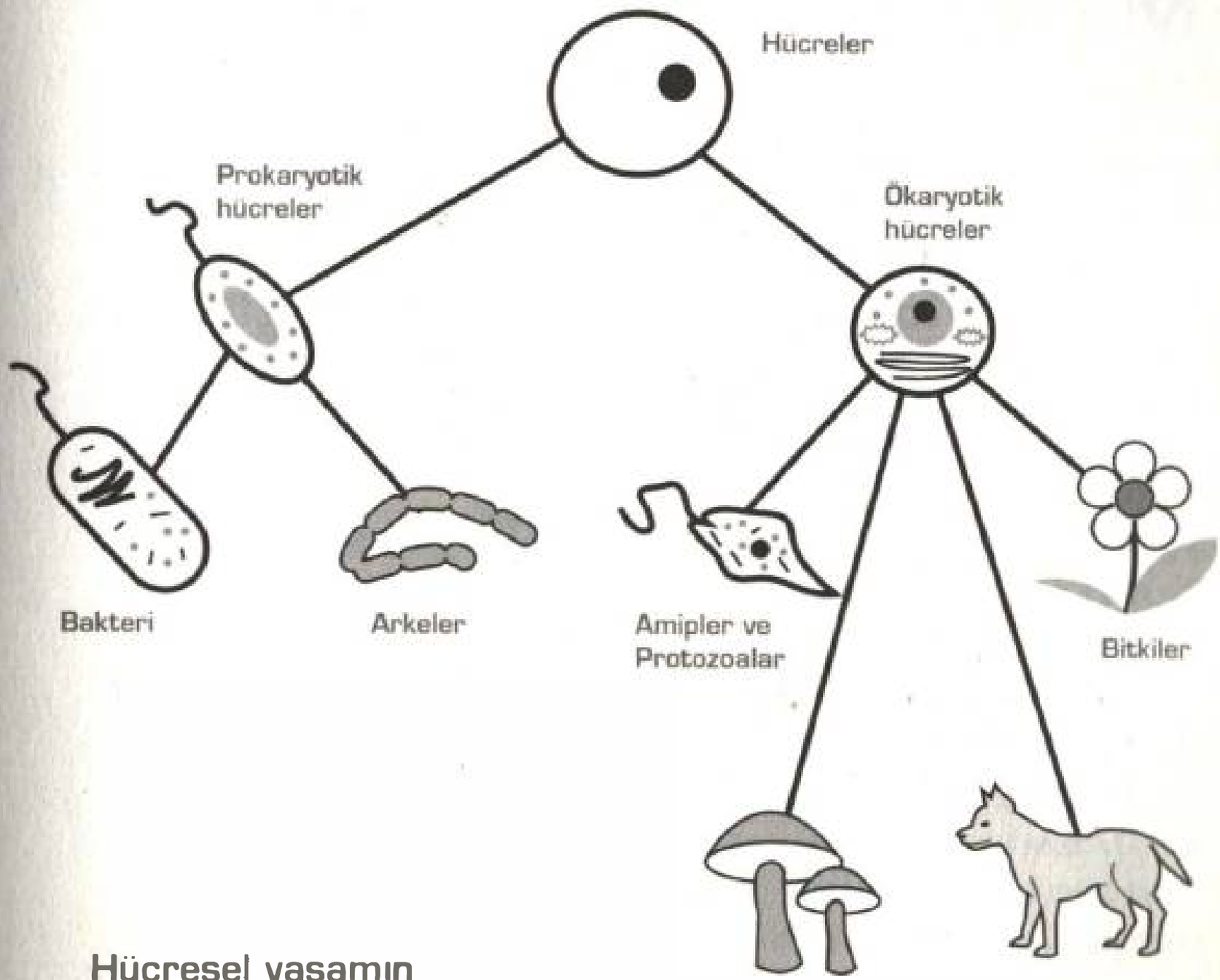


Organizma Çeşitleri

Çoğu biyolog Dünya üzerindeki organizma çeşitliliğinin, yani canlı türü sayısının dokuz milyon civarında olduğu yanılgısına düşse de, bu sayının tahminen üç ila otuz milyon arasında herhangi bir yere tekabül edebileceği düşünülüyor.

En basit ve en eski yaşam formu olan bakteriler tek küçük "prokaryotik" hücreden oluşurlar (bkz. s. 58). Onlara, bu alanda bilgi sahibi olmayan kişilere bakterilerle neredeyse aynı olduklarını düşündürebilecek ancak birçok önemli farka sahip olan arkeler eşlik eder. Amipler ve protozoalar gibi diğer tek hücreli canlılar çok daha büyük ve karmaşık hücrelere sahiptirler ve bu "ökaryotik" hücre türü (bkz. s. 60) bitkiler, hayvanlar, mantarlar gibi çok hücreli organizmalar tarafından da kullanılan hücrelerdir.

Her organizma türünün kendine has bir yaşam biçimi vardır ancak bir biyolojik grup birbirleriyle başka bir biyolojik grubun üyeleriyle olduğundan daha fazla ortak özellik paylaşırlar. Ancak tüm yaşam formlarının paylaştığı ortak bir yeti grubu vardır: Çevrelerini duyumsarlar, solunum yaparlar, beslenmeye ihtiyaç duyarlar, boşaltım yaparlar, büyürler ve çoğalırlar.

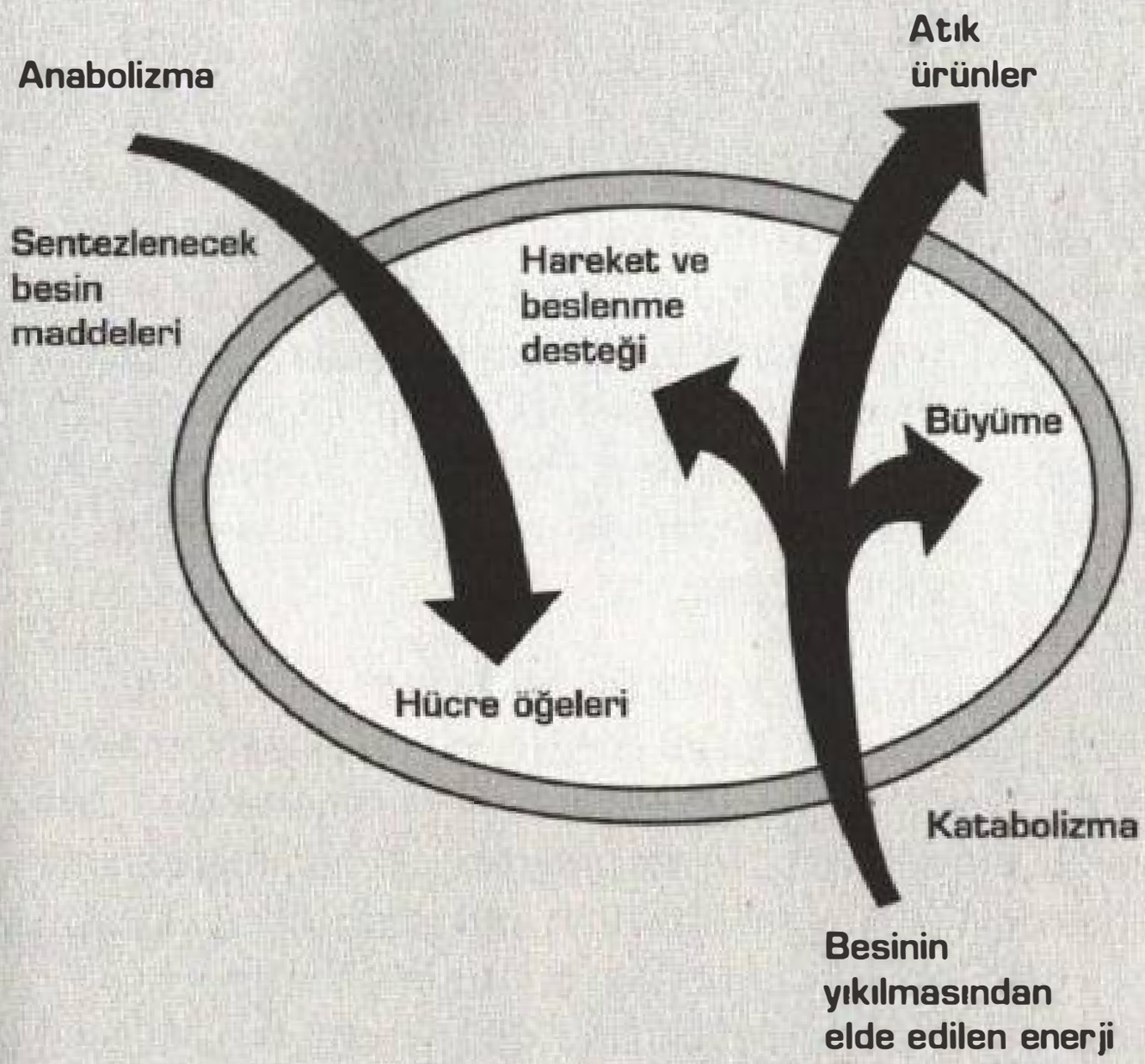


Hücresel yaşamın ana formları

Metabolizma

Geniş bir kapsamda ifade etmek gerekirse, "metabolizma" terimi yaşam ve kimyasal aktivite, yani her organizmanın bünyesinde gerçekleşen sayısız kimyasal süreç arasındaki bağlantıyı ifade eder. Oldukça genel hatlarıyla metabolizma, bir organizmanın büyümek ve kendisini yenilemek için basit kimyasal yapı taşlarını kullanarak enerji kaynağını idare etme biçimidir.

Metabolik süreçler iki ana gruba ayrılır: anabolizma ve katabolizma. Bunlardan ilki daha küçük birimlerden daha büyük ve karmaşık yapıların meydana getirilmesidir. (Sporda kas oluşturan bir kimyasal olan "anabolik steroid"in doping olarak kullanılması bundandır.) Bu durumun aksine katabolizma, istenmeyen atık maddelerin enerji üretmek için ayrıştırılmasında gerçekleştiği gibi, daha büyük yapıların daha küçük yapılara dönüştürülmesidir. Anabolik ve katabolik süreçler organizmayı canlı tutmak amacıyla kullanılabilir enerji paketleri üretmek için her daim birlikte çalışırlar.



Temel metabolik süreçler

Beslenme

Her canlı beslenmek zorundadır. Daha eksiksiz bir şekilde ifade edilecek olursa, her canlının bir besin kaynağına erişimi olmalıdır. Bitkiler bunu şeker olarak fotosentezle ve çevrelerinden (örneğin toprak bunun için oldukça uygundur) aldıkları besleyici mineraller aracılığıyla sağlar. Hayvanlar ve mantarlar besinlerini diğer organizmaların kütlelerinden elde eder. Bazı tek hücreliler besinlerini her iki yöntemle de edinebilme yeteneğine sahiptir.

Beslenmenin iki temel amacı vardır. Bunlardan ilki, vücuda işe dönüştürülebilecek kimyasal enerji için kaynak sağlamaktır (glikoz ve diğer şekerler bu kaynakların en iyi örnekleridir). İkinci amaç ise, kütle oluşturulabilmesi için gereken hammaddenin depolanmasıdır. Farklı organizmaların ihtiyaçları inanılmaz ölçüde değişkenlik gösterir: Bitkiler ihtiyaç duydukları her şeyi su, karbondioksit ve nitratlar ile fosfatlar gibi bir dizi mineralden inşa edebilirken, hayvanlar yağlar, nişastalar, proteinler ve "vitaminler" olarak adlandırılan bir dizi temel destekleyici kimyasalı içeren daha karmaşık bir beslenmeye ihtiyaç duyar.



Solunum

Çoğu insan "solunum" terimini duyduğunda nefes almak anlamına geldiğini düşünme eğilimindedir. Bu, kelimenin en yaygın tıbbi anlamı olsa da, biyoloji daha geniş bir tanım atar: Aslına bakılırsa, omurgalıların nefes alıp verişine benzer olsun ya da olmasın, tüm organizmalar solunum yapar.

Biyolojik olarak solunum, şeker ya da başka kimyasal yakıtlardan enerji elde etme işlemi olarak tanımlanır. Tipik olarak bu işlem yakıt moleküllerinin oksitlenmesiyle gerçekleşir. Bu, kimi materyallerin havayla temas etmeleri halinde yanmalarına sebep olan reaksiyonla tam olarak aynı reaksiyondur. Örneğin en yaygın şekerlerden biri olan glikozun solunumu, yan sayfada görebileceğiniz gibi, bir kimyasal formülle ifade edilebilir. Bu formül glikozun oksijenle reaksiyona girerek karbondioksit ve suya ek olarak bir miktar enerjinin de üretildiğini gösterir. Eğer ham glikoz havayla yakılsaydı, bu reaksiyon alev ve ısı ortaya çıkarırdı, ancak hücre içinde son derece kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilen bu reaksiyon sonucunda küçük enerji paketleri birkaç aşamada salınır.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{enerji}$$

glikoz
+ oksijen $\longrightarrow$ karbondioksit
+ su + enerji

Fotosentez

Kelimeden yola çıkılarak da anlaşılabileceği üzere fotosentez "ışıkla yapma" işlemidir ve söz konusu son ürün glikoz şekeridir. Fotosentez yaprakların ve bitkilerin diğer yeşil kısımlarının yanı sıra fotosentetik organizmalarda da gerçekleşir. Renk önemlidir çünkü enerji, güneş ışığının bitki hücrelerinde bulunan klorofil isimli kimyasal bir pigment tarafından emilmesiyle elde edilir. Klorofilin kendisi de yeşil görünür, çünkü güneş ışığının mavi ve kırmızı dalga boylarını hapsederken diğer renkleri yansıtır.

Kimyasal olarak fotosentez solunumun tersidir çünkü karbondioksit ve su molekülleri glikoz ve oksijen üretmek için birleştirilir ve bunun için gereken enerji klorofil moleküllerinden sağlanır. Karbondioksit solunum sonucu üretilen bir atıkken fotosentez yapan organizmalar atık olarak havaya salınan oksijeni üretirler. Dünya'nın atmosferinde bulunan ve havanın yaklaşık yüzde yirmisine karşılık gelen oksijenin neredeyse tamamı fotosentezin ikincil ürünü olarak meydana gelmiştir.

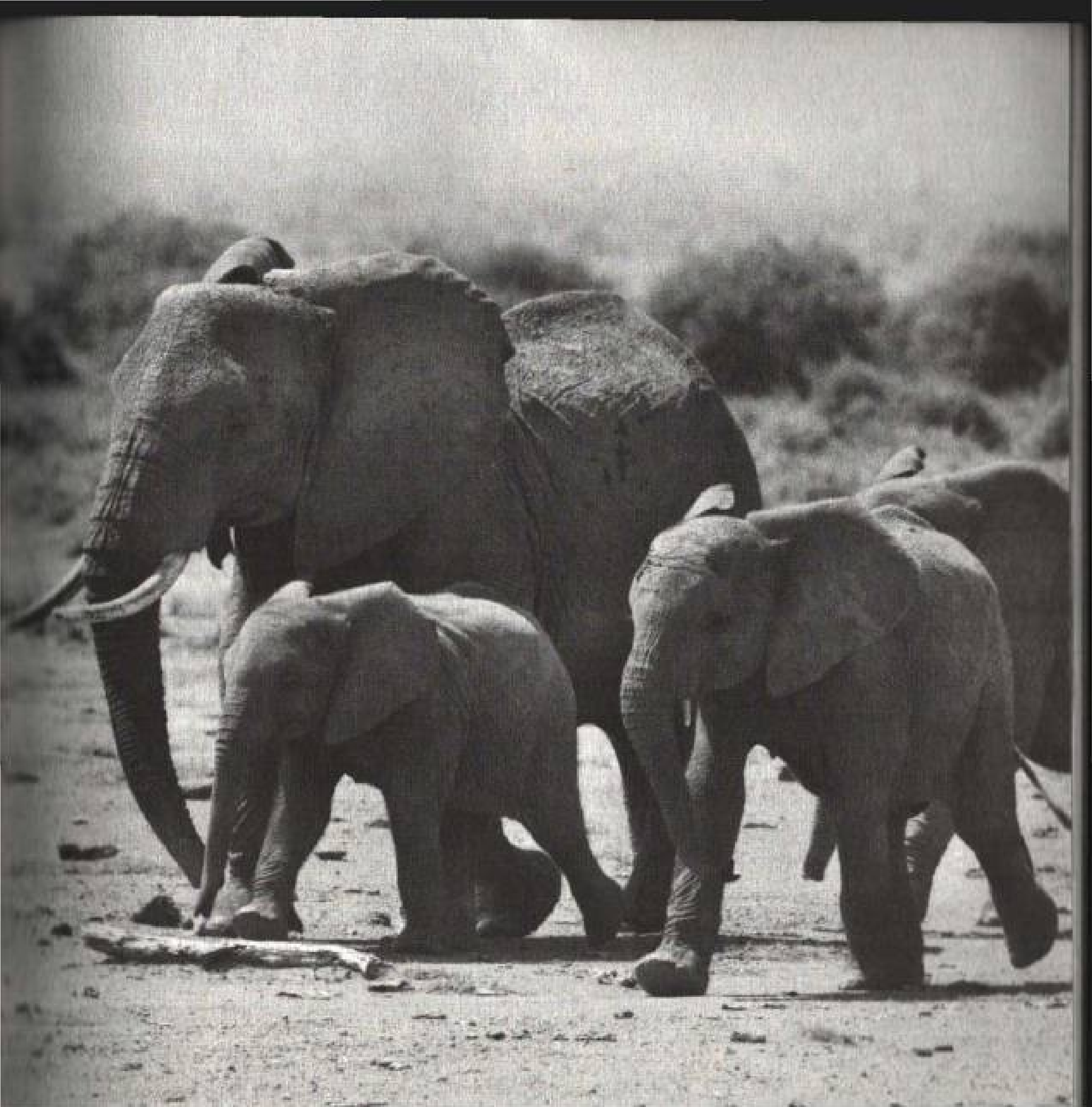
$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{klorofil}]{\text{ışık enerjisi}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

karbondioksit + su $\xrightarrow[\text{klorofil}]{\text{ışık enerjisi}}$ karbonhidrat + oksijen

Büyüme

Bir organizmanın canlı olarak sınıflandırılabilmesi için yaşamının herhangi bir evresinde büyüyebilme yetisine sahip olması gerekir. En karmaşık organizmalar için bu doğrulaması kolay bir durumdur. Çok hücreli, yani vücutlarında birden çok hücre barındıran canlıların büyük çoğunluğu tamamen gelişmiş bir yetişkine dönüşmeden önce tek bir hücreden oluşmaya başlayan bir embriyodan meydana gelir. Bu büyüme hücre bölünmesinden, yani vücuttaki her hücrenin belirli tanımlı yolları takip ederek zigot olarak adlandırılan ilk hücreden çoğalmalarından ileri gelir (bkz. ss. 76, 132).

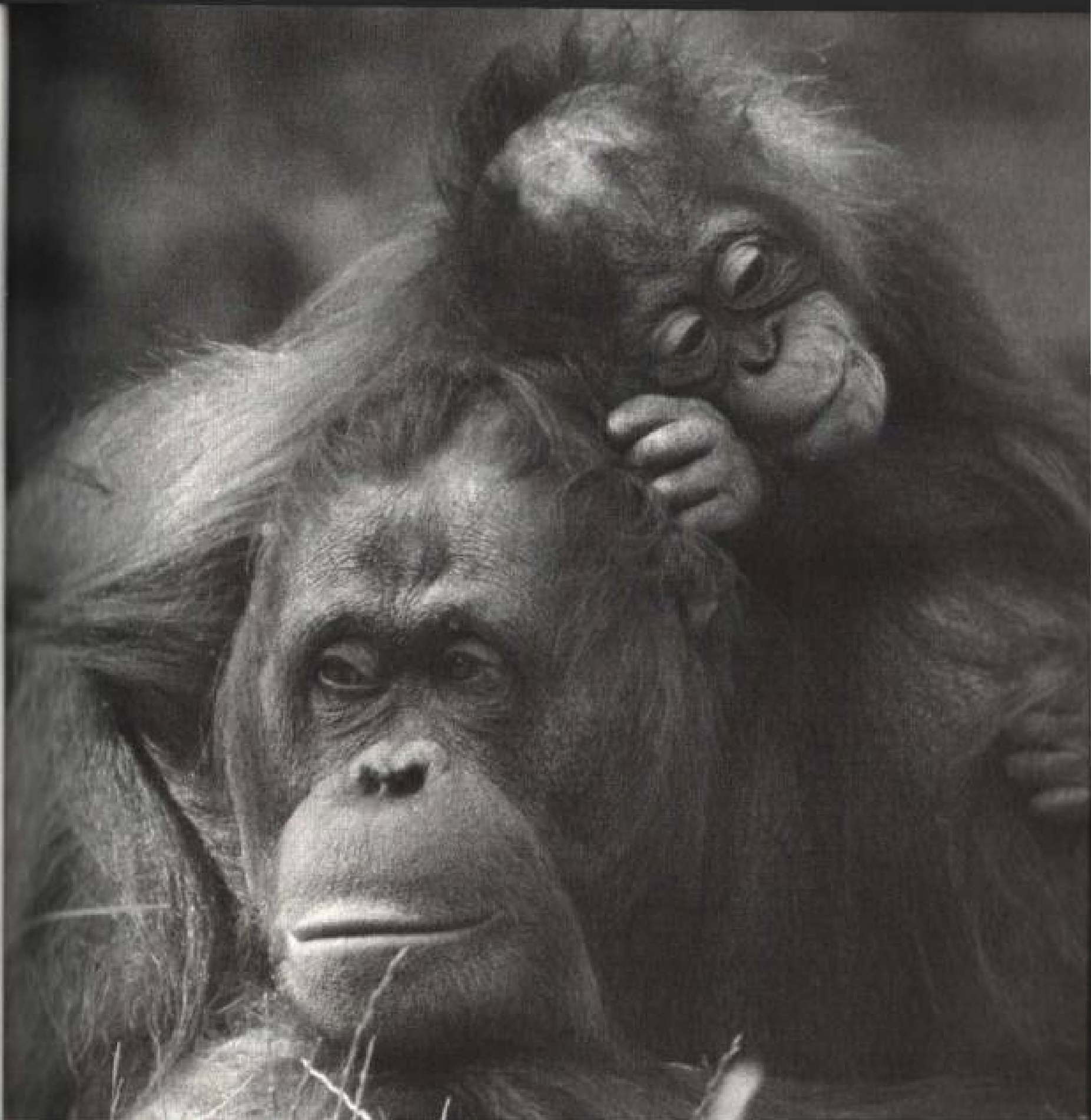
Oysa amip, bakteri gibi tek hücreli organizmaların büyümesi bu kadar keskin hatlı değildir. Bu canlılarda da hücre bölünmesi yetisi mevcuttur ancak bu, daha büyük bir kütle elde etmelerinden ziyade yeni ve bağımsız bir bireyin oluşmasıyla sonuçlanır. Bu tür durumlarda büyüme ve çoğalma aynı madalyonun iki yüzüdür. Bu nedenle büyümenin en iyi tanımı eski hücrelerden yeni hücreler üretilmesi yeteneği olur. Bu, hücre teorisinin (bkz. s. 72) kalbinde yatan düzendir ve yaşam bilimleri için merkezî bir prensibi teşkil eder.



Üreme

Bir organizmanın birincil amacının hayatta kalmak olduğu söylenebilir. Ancak hayatta kalmak bir amaç uğruna gerçekleşir: Tüm organizmalar kendilerinin bir kopyasını ya da benzerini üretmeye uğraşır. Başka kelimelerle ifade edersek, biyolojik yaşamın temel amacı üremedir. Birçok üreme şekli vardır. Üreme, organizmaların ikiye bölünmesi kadar basit ya da kur yapma, eş seçimi, ebeveynliğe yatkınlık gibi faktörlerin değerlendirildiği karmaşık bir süreç olabilir. Ancak oldukça genel hatlarıyla iki çeşit üreme olduğu düşünülebilir: eşeyli ve eşeysiz üreme. Bunlardan ilki iki ebeveyn gerektirirken, ikincisi için tek ebeveyn yeterlidir (bkz. ss. 118, 120).

Hayatta kalma ve üreme mücadelesi, Dünya'da yaşayan milyonlarca türü şekillendiren süreç olan doğal seçilimle evrimleşmenin ardındaki itici güçtür (bkz. s. 184). Ancak bu evrim üremenin bir yan ürünüdür. Üremenin genetik amacı yeni kopyalar oluşturmak ve bunlardan olabildiğince çok üreterek tüm canlılarda bulunan ONA formundaki "gen" adını verdiğimiz bilgiyi çoğaltmaktır.



Boşaltım

Bir organizma nasıl çevresinden besin ve diğer ham materyalleri alarak metabolize etmek zorundaysa, metabolizmanın atık ürünlerini boşaltım olarak bilinen bir süreçle vücuttan atması da zorunludur. Bağırsakların boşaltılması ve dışkının vücuttan atılması dışkılama ya da bağırsak yoluyla dışarı atılma olarak adlandırılır ve genel kullanımının aksine, biyolojik açıdan boşaltım anlamına gelmez. Buradaki önemli fark, kullanılmayan besinin aslında hiç vücuda girmeyerek vücuttan geçen boş bir kanal olan bağırsaktan atılıyor olmasıdır. Gerçek boşaltım ise, birikmeleri durumunda zararlı olabilecek atık ürünlerin vücuttaki dokulardan toplanması ve vücuttan dışarı atılmasıdır.

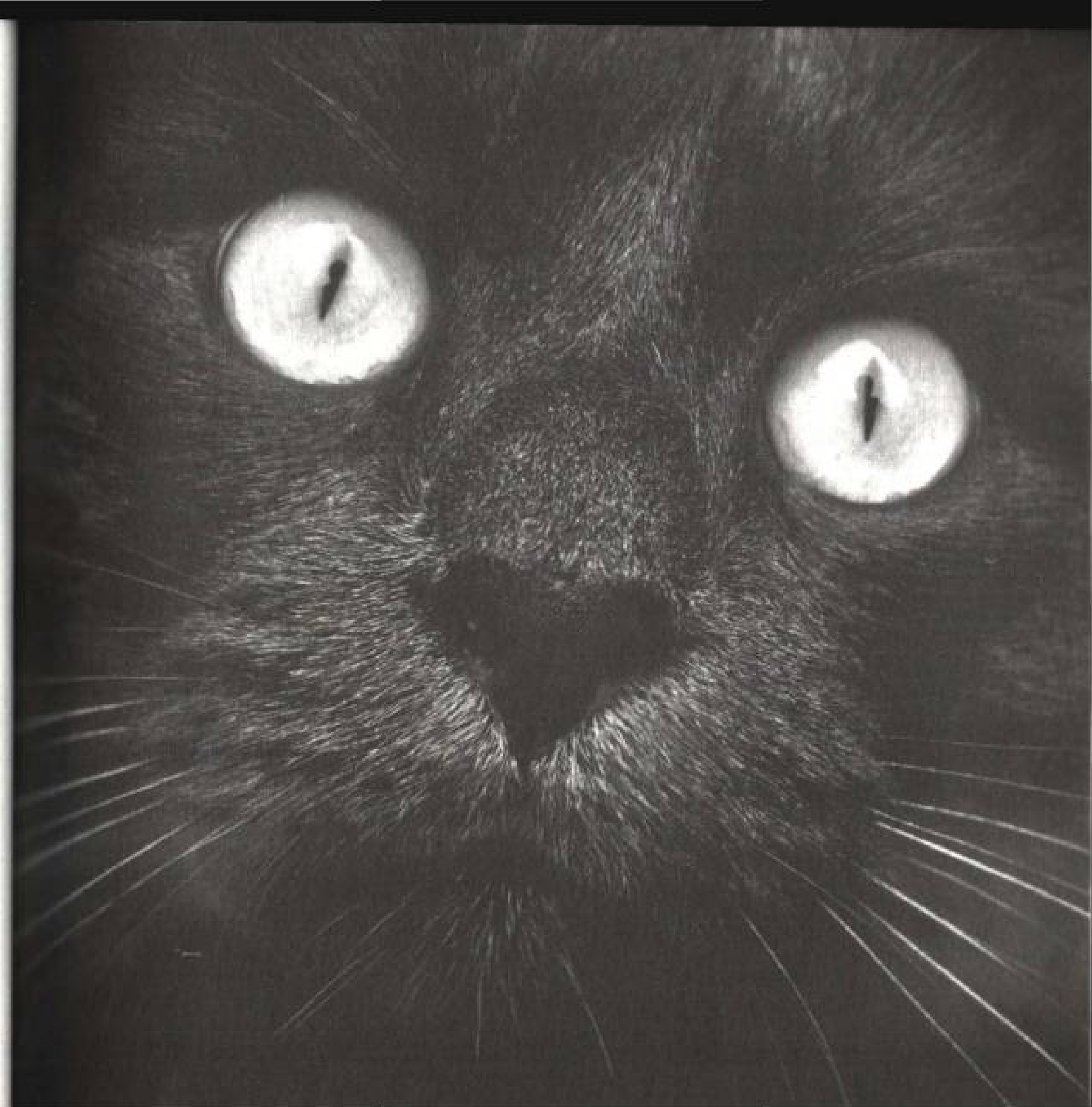
İnsan biyolojisinde birincil boşaltım yöntemi fazla suyun ve üredeki nitrojen bakımından zengin atığın idrar yoluyla atılmasıdır. Boşaltım aynı zamanda terleme yoluyla doğrudan deriden de gerçekleşebilir. Bunlara ek olarak, solunum süreçlerinde açığa çıkan karbondioksitin salınımı da bir boşaltım yöntemidir.



Duyular

Tüm yaşam formları çevrelerinde gerçekleşen değişimleri fark ederek onlara yanıt verme yetisine sahiptir. Tek hücreli bir organizma için bu durum basitçe suyun tuzluluk oranındaki ya da ortamda besin maddesi veya toksinlerin bulunmasından kaynaklanan bir değişimin saptanması olabilir. Öte yandan bitkiler ışığa, yer çekimine ve bazen de basınca duyarlıdır: Işığa doğru ve yer çekiminin aksi yönünde büyür, bazıları büyüme örüntülerini kendilerini temas ettikleri objelere saracak şekilde düzenlerler.

Hayvanların duyuları aktif yaşam şekillerine uygun olarak çok daha gelişmiştir. İnsanların kullandığı beş duyu hemen hemen tüm hayvanlarda bulunan işitme, koku alma, tat alma, görme ve dokunma duyusudur. Bunlardan sonuncusu vücut yüzeyinde bulunan ve sıcağa, soğuğa, titreşimlere ve basınca duyarlı karmaşık bir reseptörler topluluğundan meydana gelir. Diğer hayvanlar insanların duyularının yeterli olmayacağı şeyleri duyumsayabilir. Birçok böcek ve eklem bacaklı morötesi ışınları; köpekbalıkları ve kuzenleri ise başka bir vücuttaki elektriksel aktiviteyi duyumsayabilirken, kimi hayvanların da duyuları aracılığıyla Dünya'nın manyetik alanını algılayabildiği düşünülmektedir.



Kalıtım

Genetik bilimi nispeten yeni bir bilim dalıdır. İlk adımları 1850'lerde atılmış olsa da, "genetik" teriminin ortaya çıkması 1905'e dek gerçekleşmedi. Bu terim eski bir araştırma alanı olan kalıtım için üretilen yeni bir kelimeydi. Tarih öncesi zamanlarda dahi çocukların ebeveynlerinden bazı özellikler aldığı biliniyordu. Saç rengi, yüz şekli, boy gibi özellikler aile içinde nesilden nesle aktarılır. Bu durum insanlarda geçerli olduğu kadar, özellikle çiftçilikte kullanılan bitkiler ve hayvanlar için de geçerlidir.

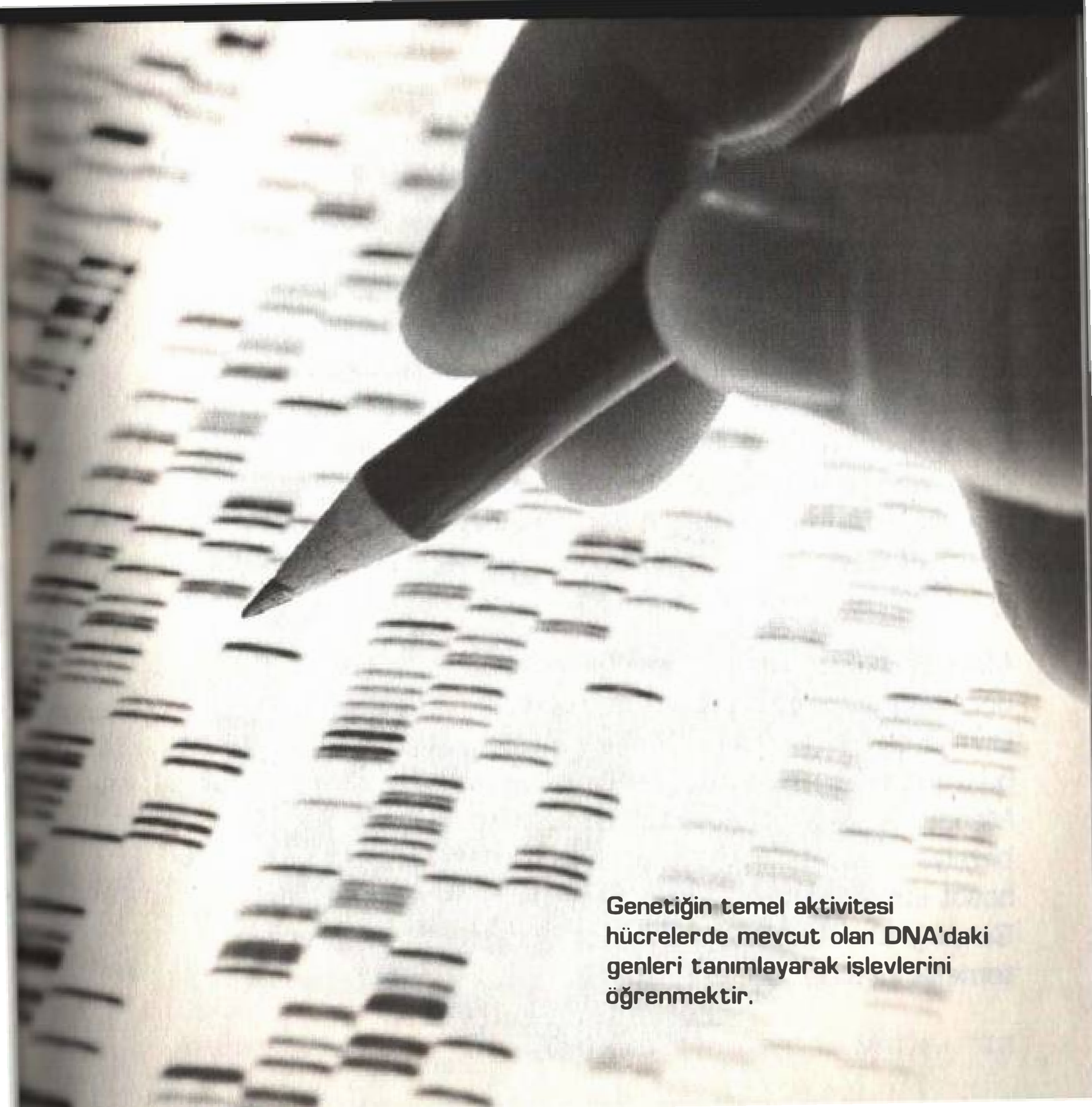
Kalıtım mekanizmalarının araştırılması genetik bilimi ve evrim teorisiyle başlamaktan ziyade bizi bu sonuçlara ulaştırdı. Bir Antik Yunan teorisi olan "pangenesis"; her vücut parçasının "homunculus" adı verilen, anne karnında büyüyecek ufak bir insanın yaratılması için gereken bilgiyi sperm ve menstrüasyon kanı aracılığıyla ilettiğini öne sürüyordu. Charles Darwin de kalıtımsal özelliklerin "gemmules" adı verilen paketçik öbekleri halinde nesilden nesle aktarıldığını öne sürdüğünde aslında benzer bir fikri savunuyordu.



Gen

Gen terimi 1909'da Danimarkalı botanikçi Wilhelm Johannsen tarafından ileri sürülmüştü; köken anlamına gelen "genesis" kelimesinden türetilmişti. Charles Darwin ve 1800'lerin sonundaki meslektaşları o dönem hâlâ varsayımsal olarak kullanılan ve kalıtımsal özellikleri aktaran "genetik" bir materyalden bahsediyorlardı. Bu sürecin araştırılmasını konu alan bilim dalı 1905 yılında (İngiliz biyolog William Bateson sayesinde) "genetik" olarak adlandırıldı ve kısa bir süre sonra da Johannsen gen kavramını öne sürdü.

Genlerin nasıl bir formda olduğuna dair Johannsen'in hiçbir fikri yoktu. Onun terimi yalnızca kalıtım birimi anlamına geliyordu. Genler ebeveynden kalıtım yoluyla alınan ve çocuğun vücudunun inşa edilmesi için gereken talimatları taşıyan birimlerdi. Terim aynı zamanda belirli ölçülebilir özellikleri tanımlamak için de kullanılmakta. Yani saç tipi, göz rengi vb. özelliklere ait genler mevcut. Ancak bugün biliyoruz ki genetik materyal, kod taşıyan bir DNA molekülüdür ve DNA'nın bölümleri de gen olarak adlandırılır. Genin kimyasal tanımının anatomik tanımıyla eşleştirilmesi genetik araştırmalarının temel hedefleri arasında yer alır.



Genetiğin temel aktivitesi hücrelerde mevcut olan DNA'daki genleri tanımlayarak işlevlerini öğrenmektir.

Gregor Mendel

Genetiğin kurucusunun on dokuzuncu yüzyılın ortalarında Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun kuzeyinde yaşamış, anadili Almanca olan bir rahip olduğu bilgisi kimilerine şaşırtıcı gelebilir. Gregor Mendel'in (şu anda bir Çek şehri olan) Brno'da bulunan Aziz Thomas Manastırı'nın duvarları arasında sürdürdüğü ve 1866'da yayımlanmış çalışmaları, yirminci yüzyılın başlarına dek tamamen göz ardı edilmiş olsalar da, günümüzde hâlâ geçerli olan temel genetik prensiplerini içeriyordu.

Mendel (1822-84) keşiflerini bahçesinde yetiştirdiği bezelyelerle gerçekleştirdiği deneyler sayesinde yapmıştı. DNA'ya dair herhangi bir bilgisi yoktu, hücre biyolojisine çok az başvurdu ve "gen" yerine "faktör" terimini kullanıyordu. Ancak Mendel, nesilden nesle aktarılan özelliklerini gözlemlediği bezelye bitkilerinden genetiğin bazı evrensel prensiplerini hasat etmeyi başardı. Gregor Mendel'in şerefine Mendel Genetiği olarak adlandırılan bu prensipler kalıtım sürecinin temellerini oluşturur.

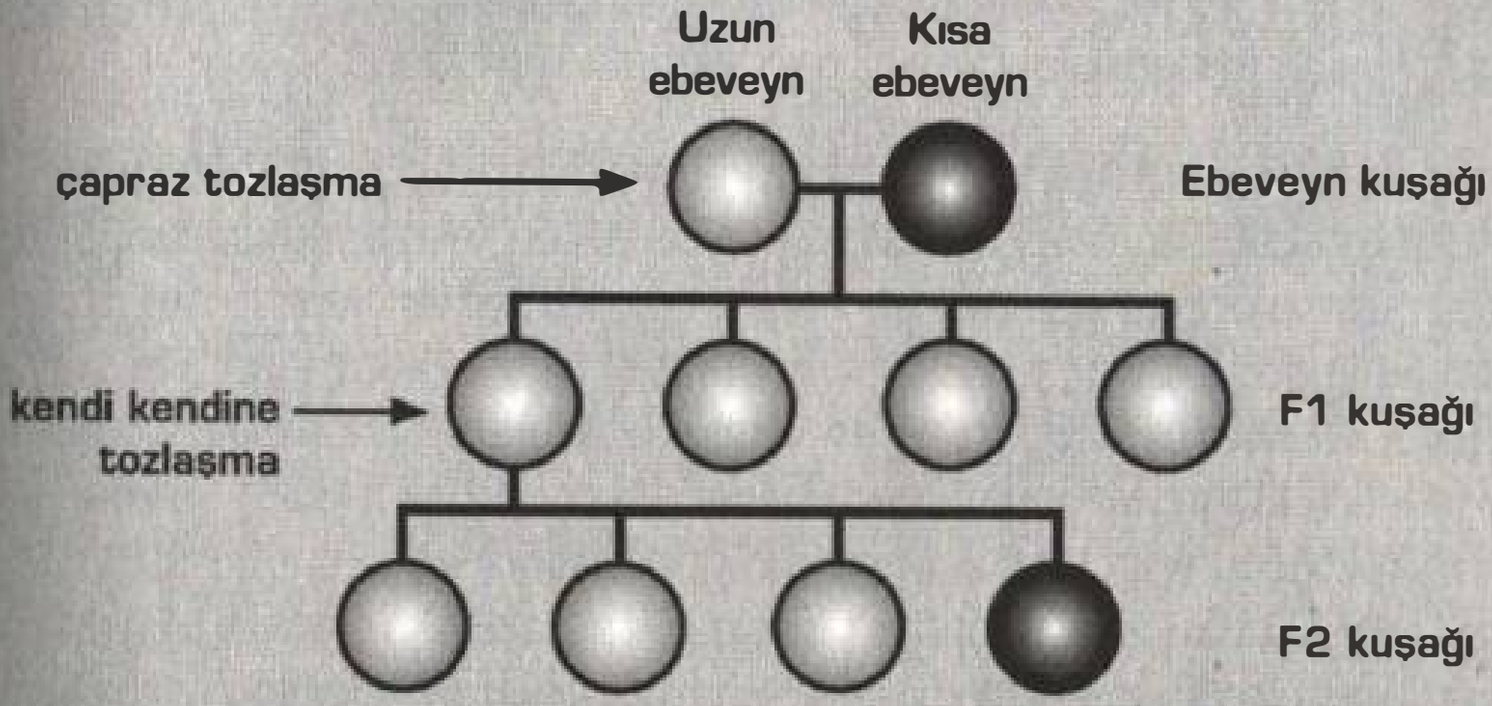


Mendel'in Çaprazlamaları

Mendel keşiflerine hangi bezelye bitkilerinin hangileriyle üreyeceğini özenle kontrol ederek ulaştı. Bezelye bitkilerinin kendi kendilerine çaprazlanabilmesi, yani bir bitkinin kendi poleniyle tohum üretebilmesinin mümkün olması bu uğraşında Mendel'in yardımına koşmuştu.

Mendel bitki uzunluğu ve çiçek rengi ya da şekli gibi birçok kalıtsal özelliği tanımladı. Tüm bu özellikler üzerinde çalışmış olsa da bitki boyundan örnek verecek olursak, Mendel kendisiyle çaprazlandığında her zaman uzun yavrular veren ya da her zaman kısa yavrular veren birer bitki izole etti. Daha sonra bir uzun ve bir kısa bitkiden yavrular (tohumlar) elde etmek için bu iki bitkinin çapraz tozlaşmasını sağladı. Mendel ilk kuşak yavruların hepsinin uzun bitkiler olduğunu gördü. Daha sonra yeni kuşaktan olan bir bitkiyi kendisiyle çaprazladı. Bu bitkinin yavrularının dörtte üçü uzun, dörtte biri kısa olmuştu. Denediği her özellik için aynı durum geçerliydi. Mendel'in kalıtım teorileri bu şaşırtıcı derecede tutarlı sonuçlardan ortaya çıktı.

Mendel'in çapraz tozlaşma deneyi

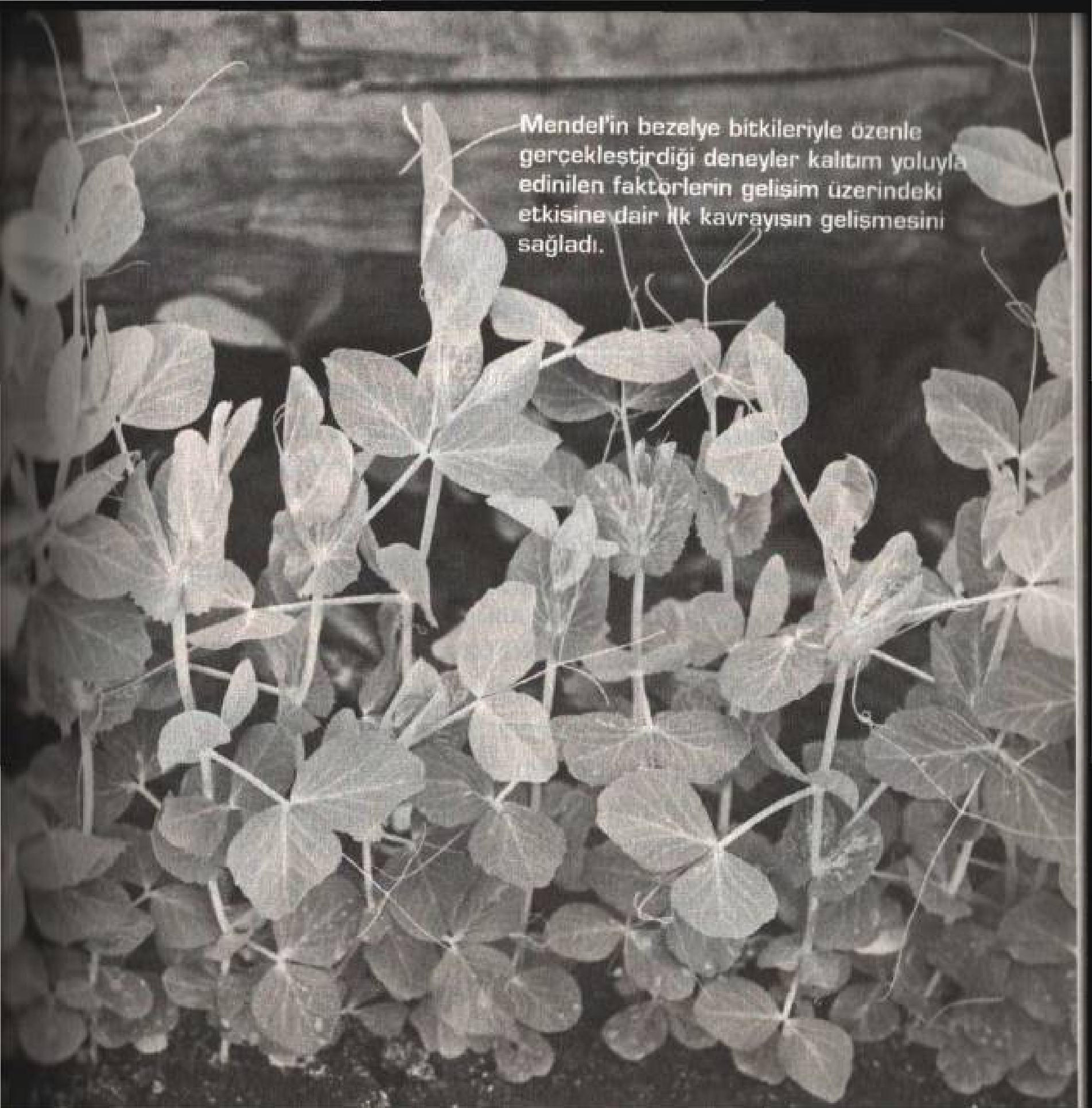


3:1 Uzun bitkilerin kısa bitkilere oranı

Mendel Yasaları

Gregor Mendel yıllarca süren binlerce üretme deneyinin ardından elde ettiği sonuçlardan yola çıkarak kalıtıma dair evrensel olarak değerlendirdiği gerçekleri tanımladı.

Mendel'in '"Ayrılma Yasası" her bitkide bir faktörün (yani genin) iki versiyonu olduğunu öne sürüyordu. Bitki polen üreteceği zaman bu eşleşmiş versiyonlar her zaman ayrılıyordu. Her yavru, her bir ebeveynden yalnızca bu versiyonlardan birini kalıtım yoluyla alabilirdi ve ebeveynlerden gelen versiyonlar yeni bir çift meydana getiriyordu. Diğer bir kuralı teşkil eden "Bağımsız Dağılım Yasası" her bir faktörün kuşaklar arasında diğer faktörlerden bağımsız olarak aktarıldığını söylüyordu. Üçüncü yasa olan "Baskınlık Yasası" ise bazı faktörlerde bir hiyerarşinin geçerli olduğunu ve bu hiyerarşinin çekinik faktörlerin organizmanın dış görünüşünde gizli kalmasına, baskın olan faktörlerin ise ifade edilmesine yol açtığını öne sürüyordu. Daha sonra yapılan araştırmalar ikinci yasayı onaylarken tüm faktörlere uyarlanabilir olmaması nedeniyle üçüncü yasaya daha az anlam yükleyecekti. Ancak yine de tüm bu yasalar bir araya gelerek klasik genetiğin yapı taşlarını oluşturacaktı.

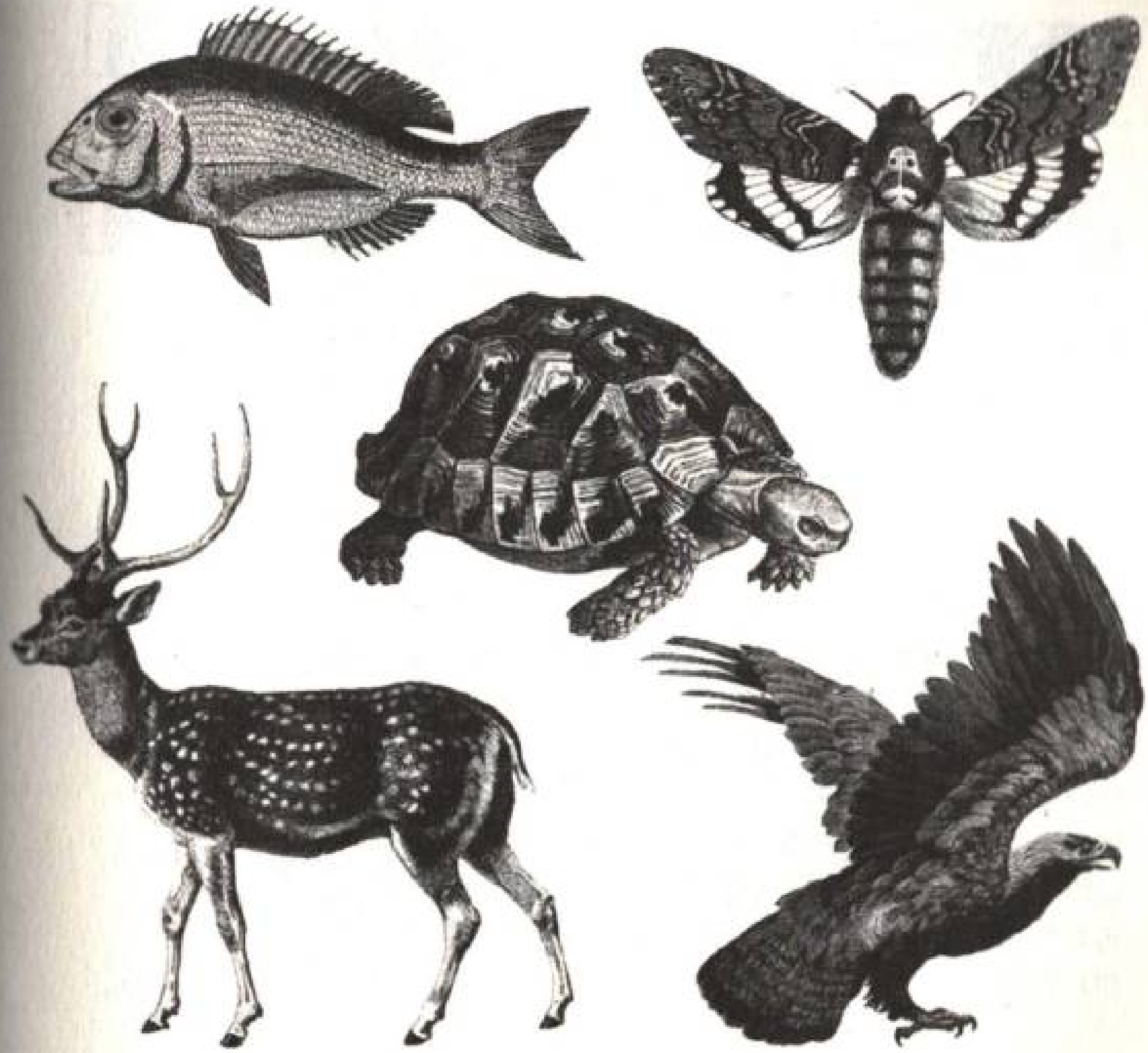


Mendel'in bezelye bitkileriyle özenle gerçekleştirdiği deneyler kalıtım yoluyla edinilen faktörlerin gelişim üzerindeki etkisine dair ilk kavrayışın gelişmesini sağladı.

Fenotip

Klasik genetik genin iki tanımı arasında net bir ayrım yapar: Gen -bir DNA parçası olarak- kimyasal bir oluşumdur ya da kalıtım yoluyla edinilen anatomik veya başka türlü bir özellik anlamına gelebilir. Mendel'in keşifleri bu iki tanımın birbirinin yerine kullanılamayacağını gösterdi. Bu farkı daha iyi tasvir edebilmek adına genetikçiler "fenotip" terimini türettiler.

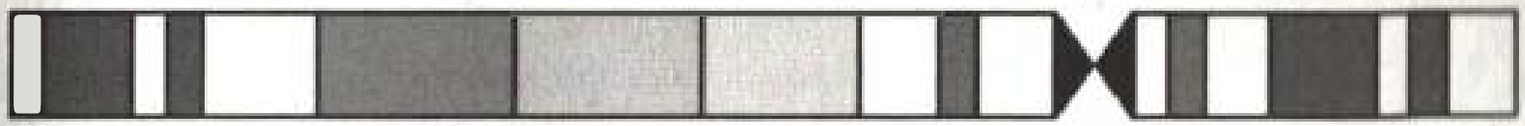
Fenotip, kalıtım yoluyla edinilen genlerin dış görünüşte gözlenebilen sonucudur. Bezelye bitkisinin uzunluğu, saçınızın rengi ya da bir böceğin vücut yapısıdır. Bu terim (kimi zaman "genişletilmiş fenotip" olarak) hayvan davranışlarıyla da bağdaştırılabilir. Göç etme, avlanma, yuva inşa etme gibi davranışlar çoğunlukla bir dereceye kadar öğrenme de içerir ancak en nihayetinde ebeveynlerden kalıtım yoluyla edinilmiştir. Mendel'in bilime dâhiyane katkısı, fenotip ve genetik materyalin aktarılma şekli arasındaki bağlantıyı çözmesi olmuştu. Bu genetik materyale başka bir isim daha veriliyor: Genotip.



Genotip

Bir organizmanın genotipi basitçe onun genetik yapısı olarak tanımlanabilir. Genotip ebeveynlerden alınan çeşitli genlerin tasviridir. Gregor Mendel'in keşfettiği üzere, tüm organizmalar ebeveynlerden her genin birer versiyonunu alır ve genotip bu gen çiftlerinden meydana gelir.

Belirli bir genotip otomatik olarak ilgili bir fenotipe yol açmaz. Aslına bakılırsa, aynı fenotip (örneğin bezelye bitkisinin uzunluğu) limitli de olsa bir dizi bağlantılı genotipin sonucu olarak ortaya çıkabilir. Harekete geçen mekanizmalar iki yönlüdür. İlk olarak, farklı gen versiyonları (Mendel'in üçüncü yasası ve genetik baskınlık fikirleriyle açıklandığı üzere; bkz. s. 48) birbirleriyle belirli şekillerde bir araya gelir ve etkileşime geçerler. İkinci olarak, genden gene etki derecesi farklılık gösterse dahi, organizmanın içinde bulunduğu çevre de büyümesi ve gelişmesi üzerinde etkilidir.

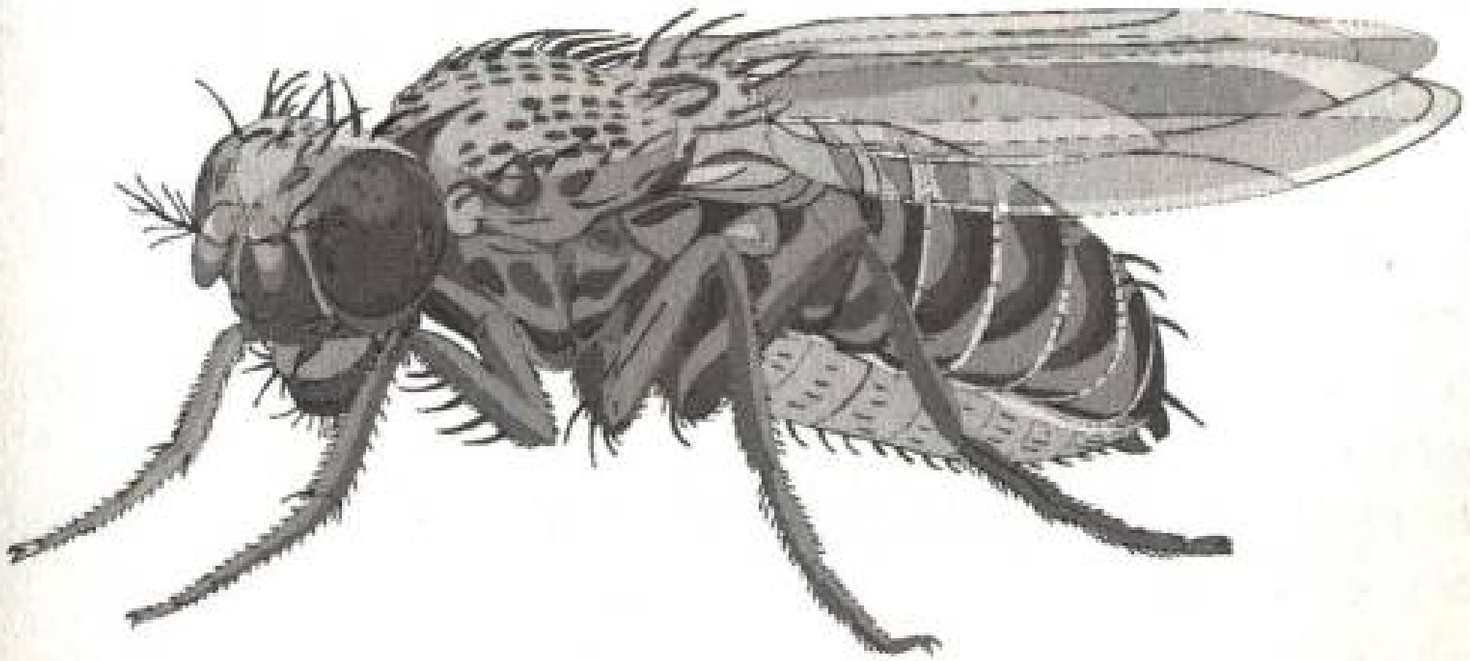


Genotip



kod(lama)

Fenotip

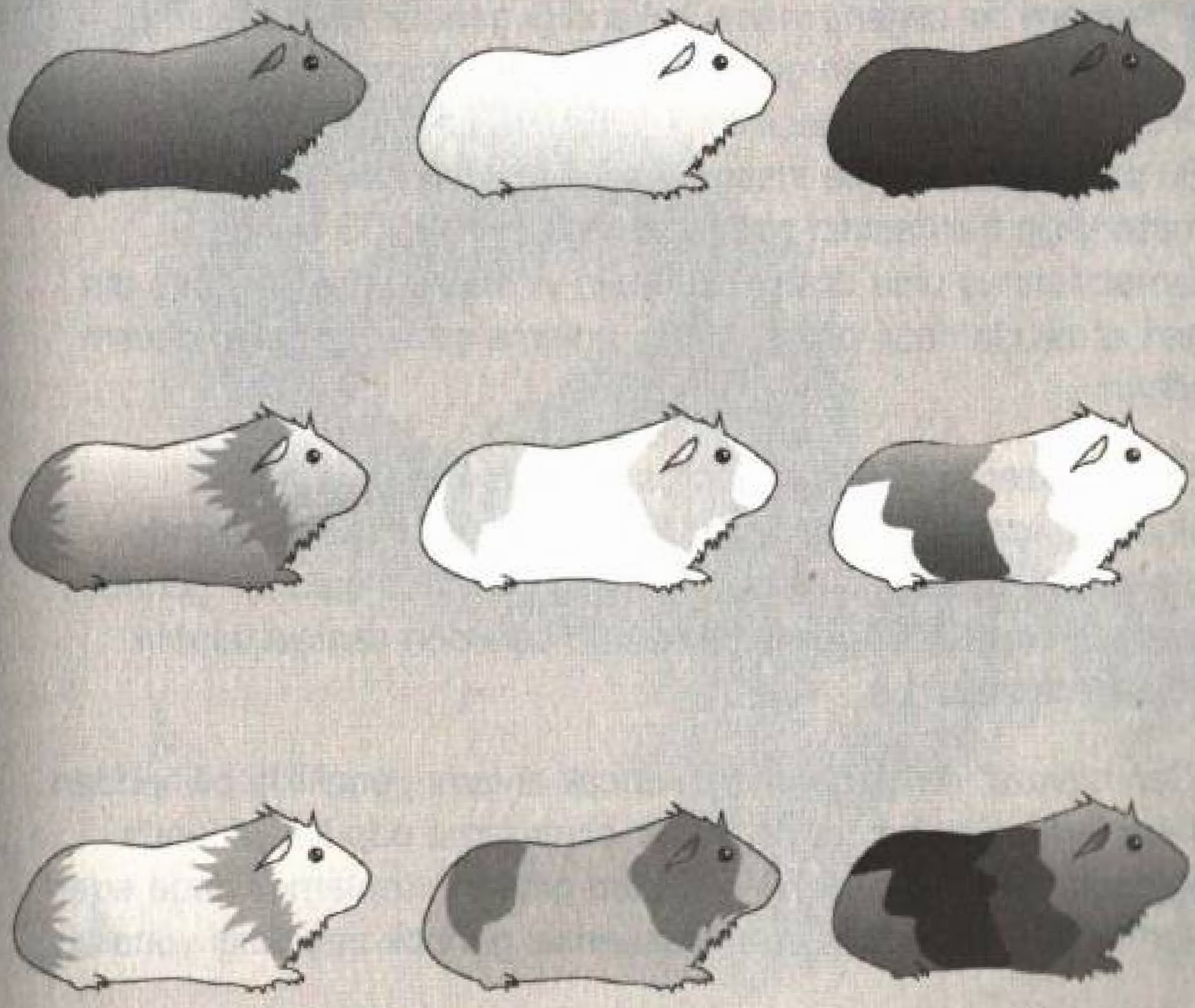


Alel

Kulağa tuhaf gelen bu kelime "birbirinin" (ç.n.'of one another') benzeri bir anlam taşır ve Almancadan türetilmiştir. Genetikte oldukça kullanışlı bir terimdir çünkü bir alel birkaç olası versiyonu olan bir genin bir versiyonu anlamına gelir. Yani Mendel'in bezelye bitkilerinden örnek verecek olursak, bitki uzunluğunun kısa ve uzun olmak üzere iki aleli bulunur. Başka bir örnek de göz renginden verilebilir. Mavi, yeşil, gri, kahverengi ve ela en iyi, aynı genin farklı alelleri olarak tanımlanabilir.

Bir genotip her gen için iki alel içerir. Eğer bu aleller birbirinin aynısıysa genotip homozigot olur. Başka türlü ifade etmek gerekirse, bir sonraki kuşak (polen, sperm, yumurta vb.) üretilirken her hücre kesin olarak aynı aleli içerecektir. Eğer bir genotip iki farklı alel içeriyorsa heterozigot olarak tanımlanır. Bunun sonucu olarak, üreme hücrelerinin yarısı bir aleli içerirken, diğer yarısı öteki aleli içerecektir. Yine de homozigot ve heterozigot genotipler, baskınlık olarak bilinen ve süreci karmaşıklaştıran etmen sayesinde aynı fenotipi ortaya çıkarabilir (bkz. s. 48).

Bu kobayların hepsinde kürk rengini kontrol eden gen aynı olsa da her biri kalıtım yoluyla genin farklı bir versiyonunu, yani alelini almıştır.

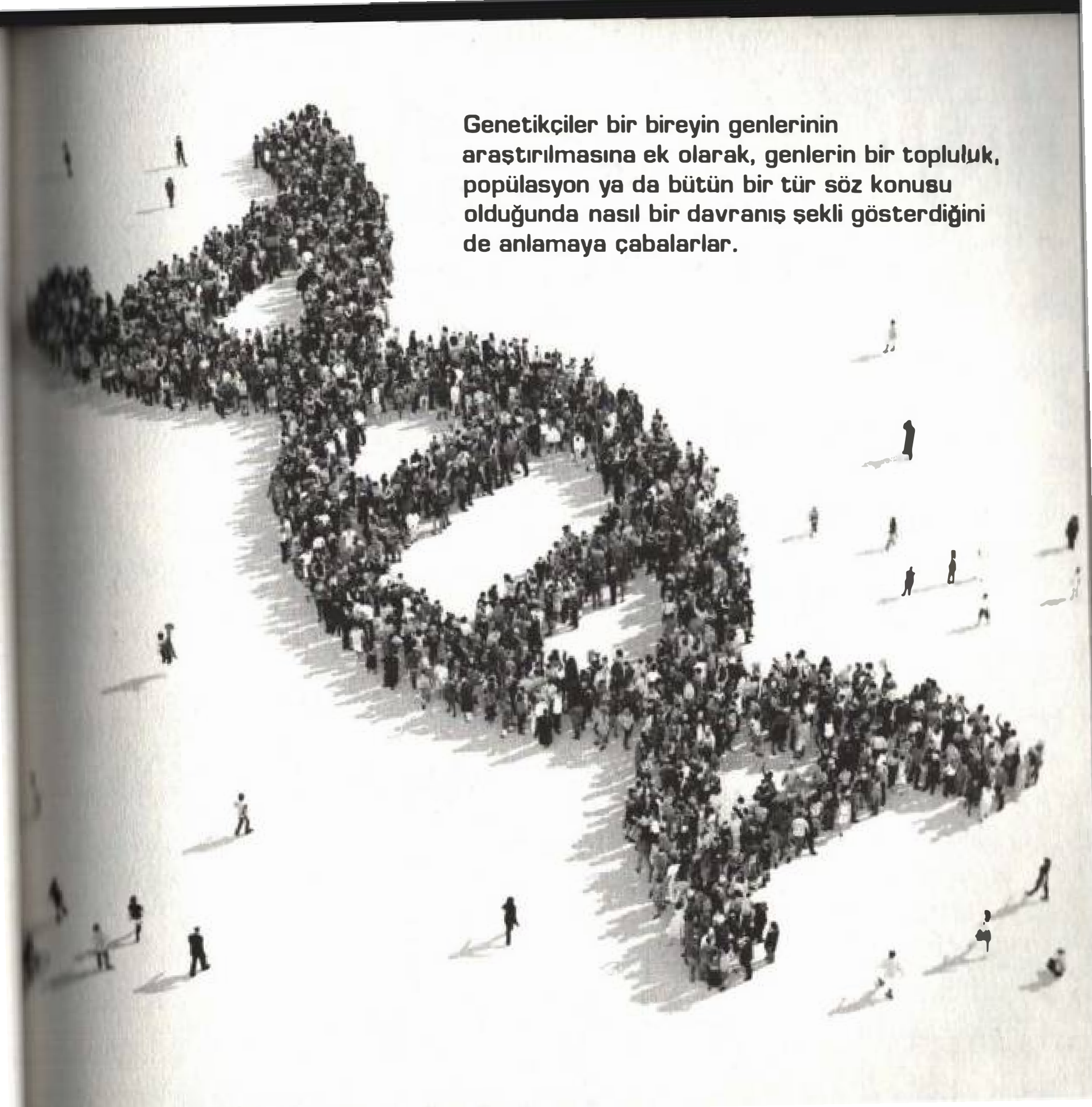


Genom ve Gen Havuzu

Genom bir organizmanın kullandığı genetik materyalin bütünüdür. İnsan genomu kavramına İnsan Genom Projesi'nin faaliyete geçirildiği 1990 yılından beri aşinayız. Bu proje kapsamında insan vücudunu oluşturan tüm genetik materyalin haritasının çıkarılması girişimi 2003 yılında tamamlanmış olsa dra, materyalin yirmi bin ila yirmiş beş bin gen arasında nasıl paylaşıldığını anlama çabamız halen devam ediyor.

E.coli bakterisi, *Caenorhabditis elegans* kurdu ve meyve sineği, genomunun haritası çıkarılan organizmalar arasında yer alır. Aynı gen sayısı gibi, her organizmada bulunan genetik materyalin, yani DNA'nın miktarı da canlıdan canlıya farklılık göstermektedir.

"Gen havuzu" da aşina olunan ancak anlamı genellikle bilinenden daha farklı olan bir terimdir: Bir organizma popülasyonunda bulunan, farklı tüm alelleriyle, tüm genlerin toplamını ifade eder. Gen havuzu bir organizma grubundaki genetik çeşitliliği yansıtır.



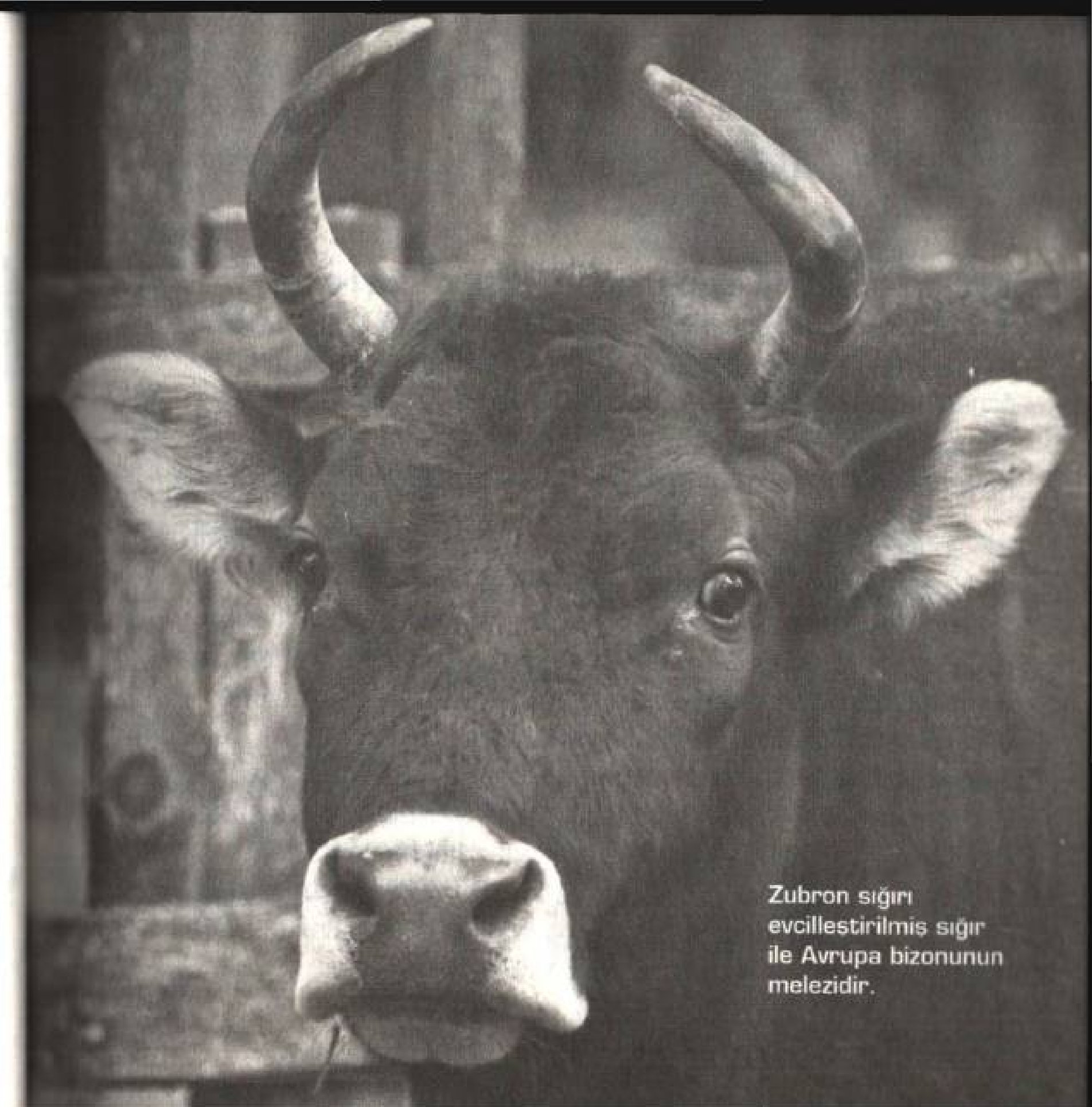
Genetikçiler bir bireyin genlerinin araştırılmasına ek olarak, genlerin bir topluluk, popülasyon ya da bütün bir tür söz konusu olduğunda nasıl bir davranış şekli gösterdiğini de anlamaya çabalarlar.

Melez

Genel tanımıyla bir "melez" (hibrit) iki farklı soyun çaprazlanması sonucu ortaya çıkan organizmadır. Biyoloji ve özellikle genetik söz konusu olduğunda melez, heterogametik genotipi olan organizma anlamına gelir. Daha basit ifade etmek istersek, bu organizma kalıtım yoluyla ebeveynlerinden iki farklı alel, yani bir genin farklı versiyonlarını edinir.

Gregor Mendel'in kalıtıma dair gizemleri çözmesinin ardında yatan başarısı tekrarlanan melezlemeden kaynaklanır. Nasıl gerçekleştiğine dair herhangi bir fikri olmasa da Mendel çaprazladığı bezelye bitkilerinin melez bitkiler ürettiği, yani kalıtım yoluyla bu bitkilere bir genin iki farklı versiyonunun aktarıldığı kanısına doğru bir şekilde ulaşmıştı.

Mendel bu çığır açan bulgusu sayesinde bir alelin her zaman diğer alelle aynı olmadığını keşfetmişti. Bazıları diğerleri üzerinde baskındı ve aleller arasındaki bu etkileşim, karşılık gelen fenotipi ortaya çıkarıyordu.



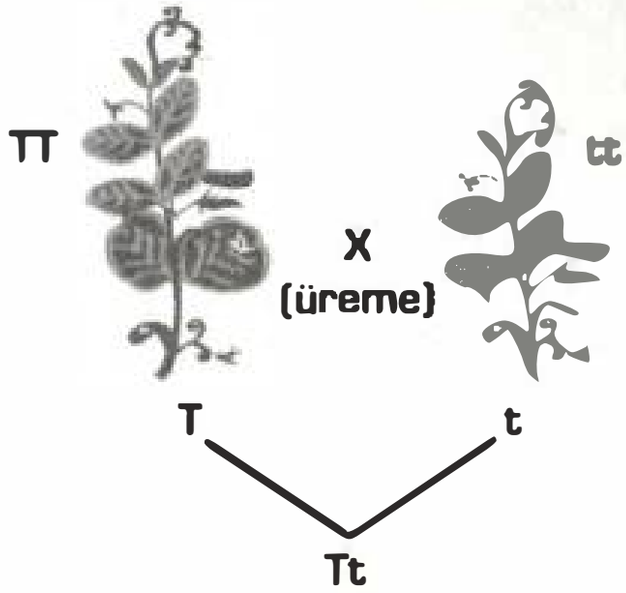
Zubron sığırı evcillestirilmiş sığır ile Avrupa bizonunun melezidir.

Baskınlık

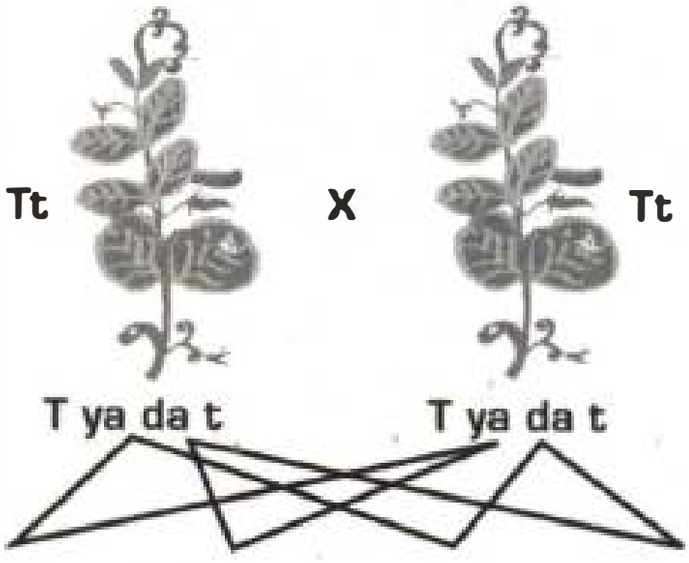
Genetik baskınlık (dominantlık) Mendel'in melezleme deneylerinin sonuçlarını açıklayan en önemli olgudur (bkz. s. 34). Kısa bezelye bitkisiyle çaprazlanan uzun bezelye bitkisi örneğine dönecek olursak, uzun ebeveynin TT genotipine sahip olduğunu ve T'nin uzun boy alelini temsil ettiğini söyleyebiliriz. Kısa ebeveynin genotipi tt'dir ve t, kısa boy aleline karşılık gelir.

Bir sonraki kuşaktaki tüm bitkiler bir ebeveynden T, diğerinden de t aleli alırlar. Bu durumda hepsinin genotipi Tt olur. T aleli t aleline baskındır. Bu nedenle genotipi Tt olan tüm bitkilerde uzun boy fenotipi gözlemlenir. Bu aşamadan sonra Mendel Tt genotipli bitkiyi kendisiyle çaprazlar ve her biri eşit olasılıkla dört genotip üretilir: TT, Tt, tT ve tt. Genotipinde baskın T alelini bulunduran tüm bitkilerde uzun boy fenotipi gözlemlenirken, yalnızca genotipi tt olan bitkide kısa boy fenotipi gözlemlenir. Bu şekilde açıklandığında Mendel tarafından keşfedilen 3:1 oranının son derece mantıklı olduğunu görürüz. Bu durum aynı zamanda Mendel'in bu inanılmaz sıçramayı gerçekleştirebilecek güçte bir hayal gücüne sahip olduğunu da gözler önüne serer.

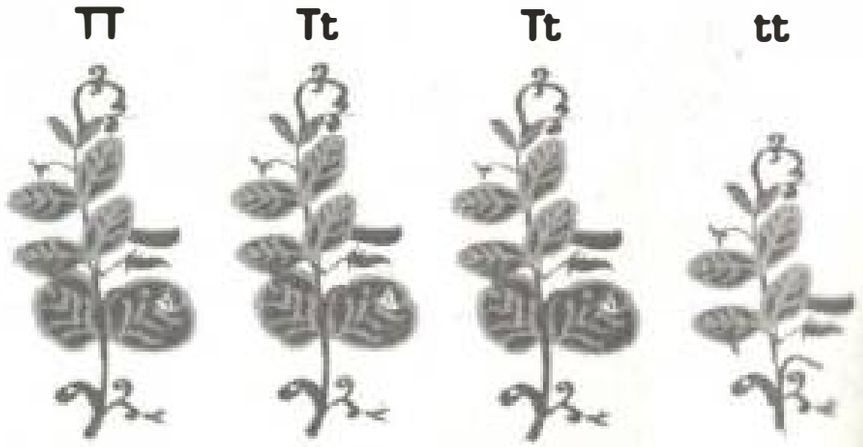
Ebeveyn kuşak



F1 kuşağındaki tüm bitkiler Tt genotipine ve uzun bitki fenotipine sahip olur.



F2 kuşağındaki bitkiler 1:2:1 oranında TT/Tt/tt genotipine sahiptir. Uzun boy fenotipi gösteren bitkiler cüce bitkilerle kıyaslandıklarında sayıca 3'e 1 oranında daha fazladır.



Çekinik Özellikler

Genetik baskınlık alele ait bir özellik değildir, iki alelin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bir olgudur. Bir alel diğerine baskın olabilir, bu durumda diğer alel baskın olan karşısında "çekinik" (resesif) olarak adlandırılır. Ancak bahsi geçen genotipte çekinik olan bir alel, üçüncü bir alel üzerinde baskın olabilir. Örneğin, koyu renk saç aleli sarı saç aleline baskındır ve sarı saç aleli de kızıl saç aleline baskındır.

Kızıl saç gibi bazı özellikler tamamen çekiniktir ancak organizmanın hayatta kalma şansı üzerinde oldukça az etkileri vardır. Bu duruma örnek gösterilebilecek albinizm gibi özellikler daha meşakkatli olabilir. Her halükârda, çekinik fenotipler popülasyonda seyrek görülür çünkü homozigot, yani bir çift çekinik alelin bulunduğu genotipe sahip olmalıdırlar. Birçok genotip baskın bir partner nedeniyle gizli kalan çekinik bir alel barındırabilir. Ancak iki heterozigot, yani "taşıyıcı" ebeveyn bir yavru meydana getirdiğinde, hiç umulmayan bir olgu gibi görülse de, çekinik fenotip gözlenme potansiyeli mevcuttur.

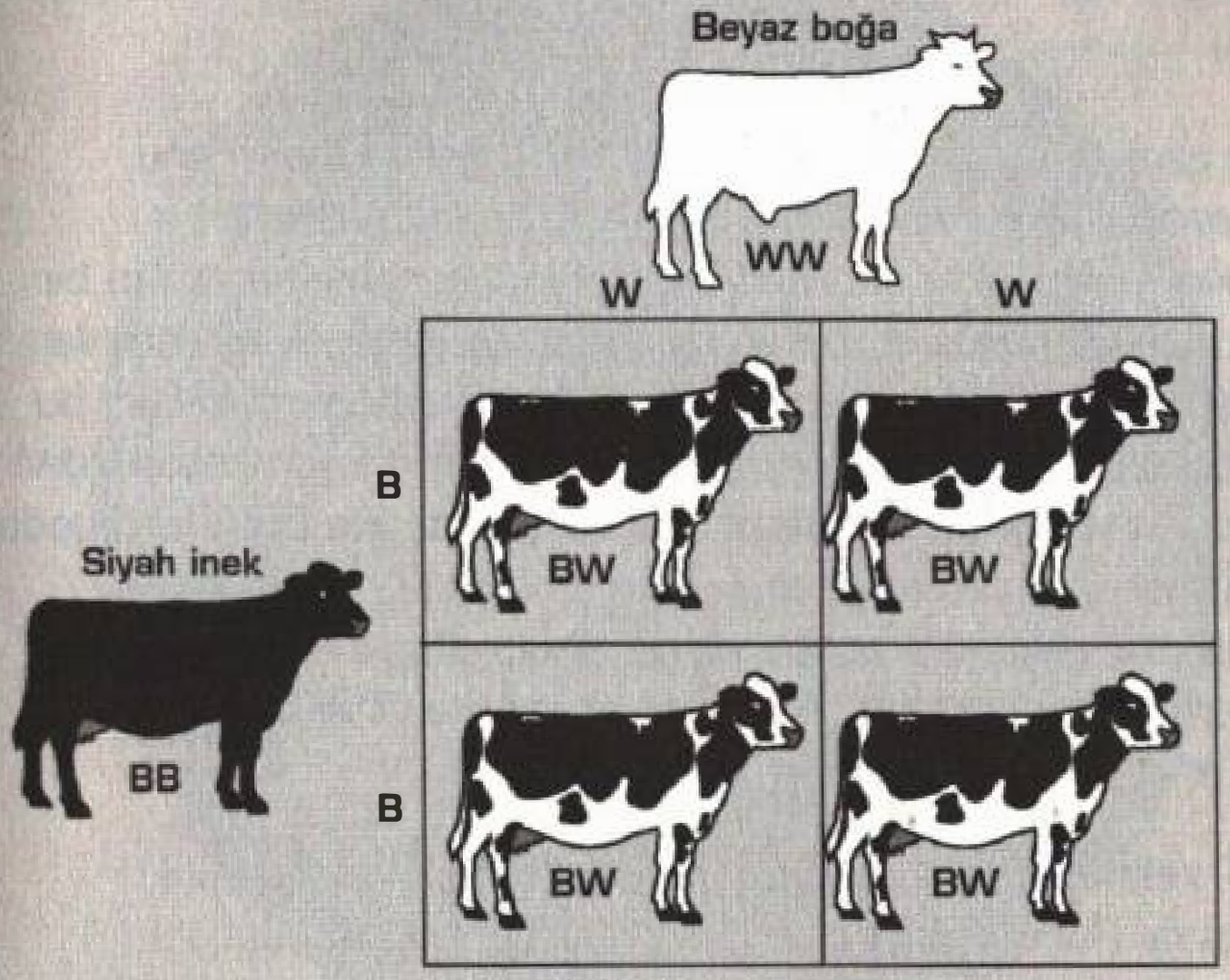


Eş Baskınlık

Genetik baskınlık fikri ikna edici ve anlaması kolaydır. Ancak genotiplerin fenotipte ifade edilmeleri söz konusu olduğunda karşılaşılan durum nadiren bu kadar basittir çünkü iki farklı seçenek daha mevcuttur: eş baskınlık ve eksik baskınlık. Bu durumlar genotipteki iki alelin de birbiri üzerinde baskın olmamasından kaynaklanır. Bunun sonucu her ikisinin de fenotipte bir şekilde ifade edilmeleri olur ancak bu iki durum arasında ince bir fark vardır.

Eş baskın bir genotip görüldüğünde her iki alel de organizmanın farklı bölgelerinde tam olarak ifade edilirler. Bu duruma kırmızı ve beyaz iki bitkinin üremesiyle oluşan yavru bitkinin kırmızı ve beyaz lekelerle kaplı çiçekleri örnek gösterilebilir. Her iki alelin de farklı etkileri gözlemlenebilmektedir. Ancak genotip eksik baskınlık gösteriyorsa, sonuç her iki alelin etkilerinin karışımının ifade edildiği yeni bir fenotipin ortaya çıkması olur. Bu durumda (bir önceki örneği ele alırsak) kırmızı ve beyaz çiçekli bitkilerden meydana gelen yavru bitkinin çiçekleri tamamen pembe olacaktır.

Sığırlarda eş baskınlık



Süt sığırlarındaki siyah ve beyaz lekeler, her iki genin de parça parça ifade edilmelerine neden olan eş baskınlıktan kaynaklanır.

Hücre

Her canlı en az bir hücreden meydana gelir. Hücre, onu çevresindeki unsurlardan izole eden nanometreyle ölçülebilecek incelikte bir zarla kaplı, kendi kendine yetebilen bir yaşam paketidir. Hücre zarının içi sitoplazma olarak adlandırılan bir sıvıyla doludur. Hücre metabolizması burada gerçekleşir; bu nedenle sitoplazmada şeker, protein ve diğer biyokimyasallardan bol miktarda bulunur. Sitoplazmada aynı zamanda DNA formunda genetik materyal de mevcuttur. Hücre biyolojisi, bu mikro dünyanın her yönünü araştırarak tüm hücrelerde ortak olan özelliklerin yanı sıra farklı organizma türlerine özel birçok özelliği de gözler önüne seren alandır.

"Hücre" kelimesi, bu ufak yapıları ilk keşfeden kişi olan ünlü bilim insanı Robert Hooke tarafından ortaya sürülmüştür. 1665'te Hooke birçok yaşam formunu döneminin en gelişmiş mikroskobuyla gözlemlemişti. Bir mantar tıpanın kesitini incelediğinde birçok küçük bölmeye ayrıldığını görmüş (yan sayfada) ve bunları rahiplerin "hücre" olarak bilinen yaşam alanlarına benzetmişti.

Fig: 1.

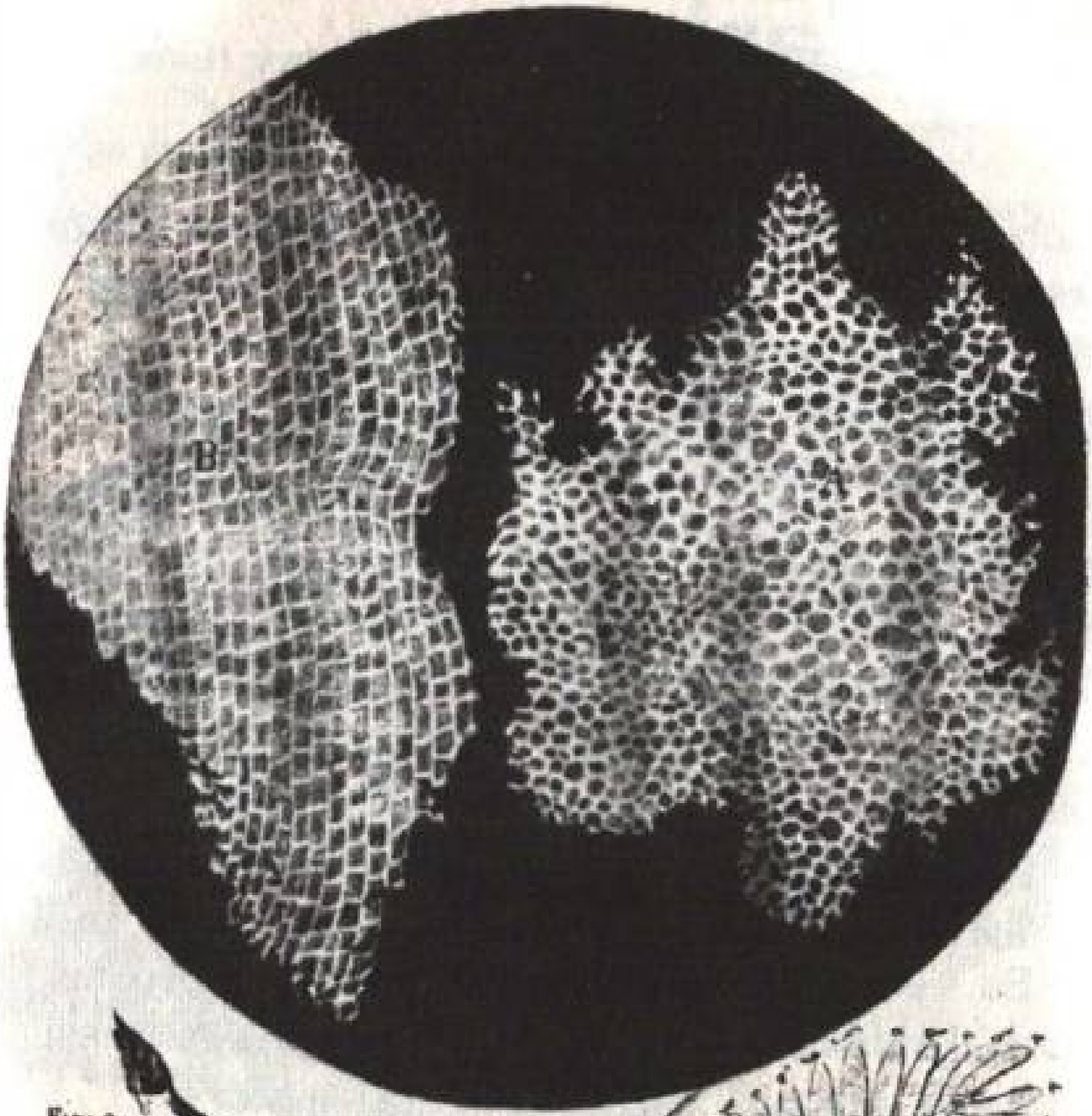
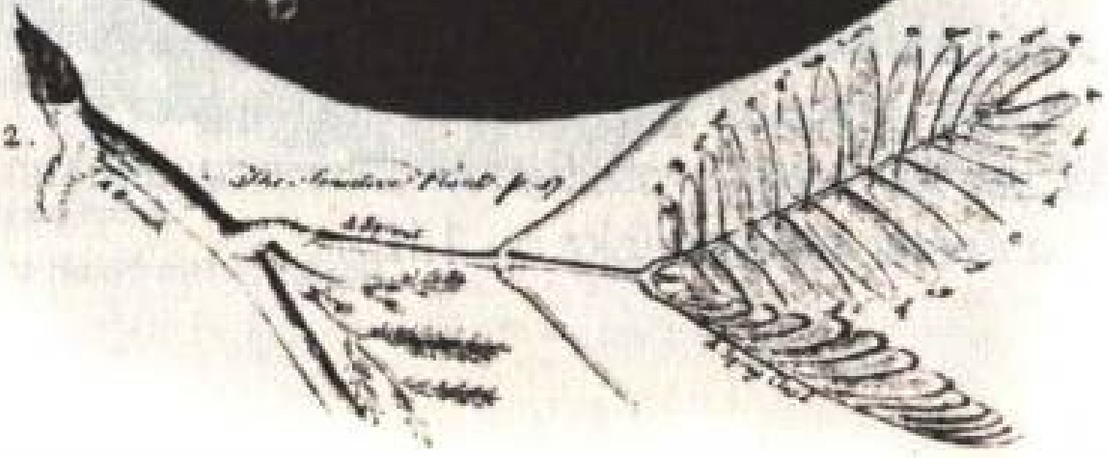


Fig: 2.

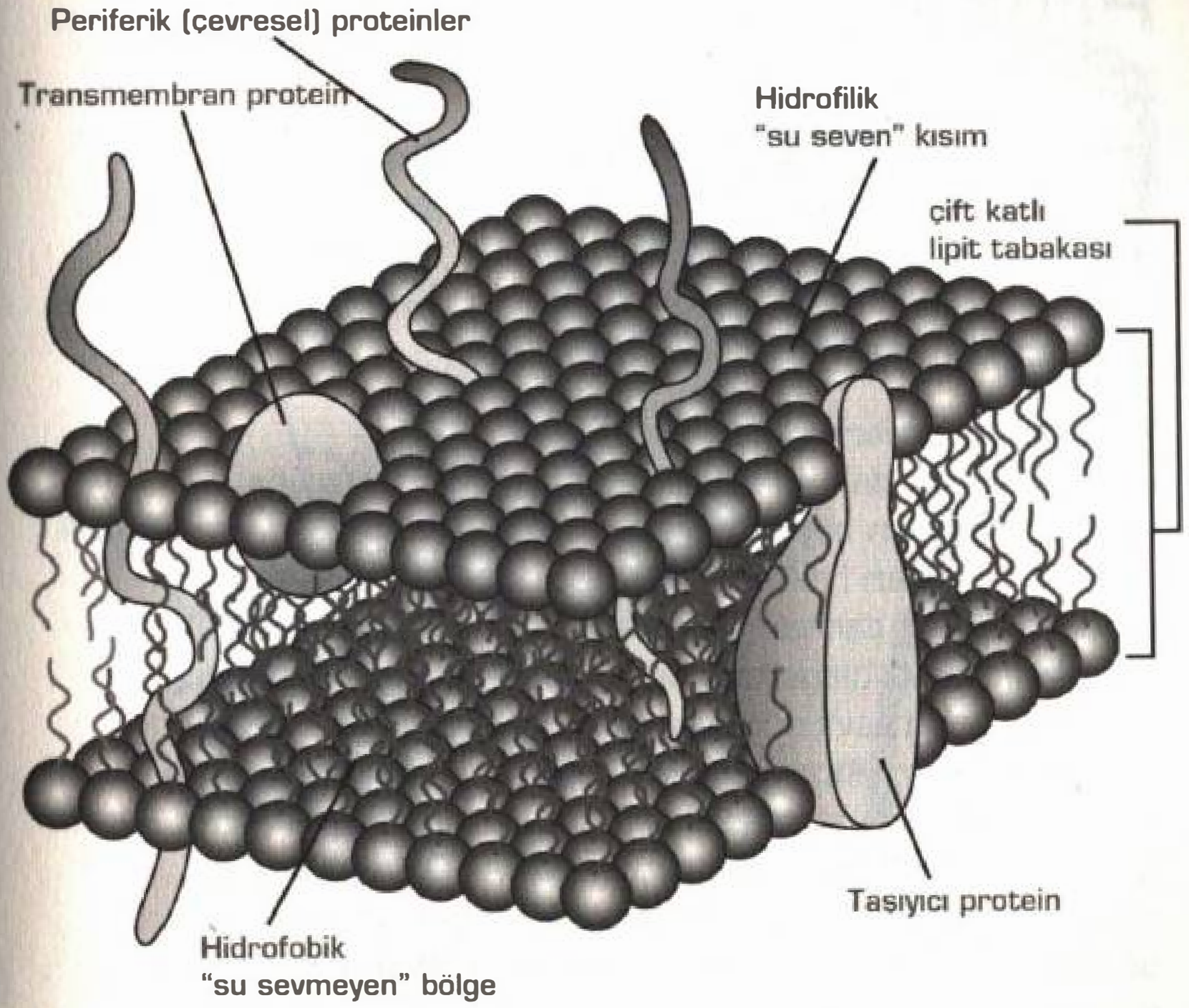


Hücre Zarları

Bir hücrenin dışını kaplayan zara hücre zarı denir. Birçok hücrenin içinde de benzer zarlar mevcuttur ve hepsi lipit denilen kimyasalların özelliklerini taşıyan ortak bir yapıyı paylaşır. Bir kimya grubu olan lipitler, hayvansal ve bitkisel yağlar olarak daha rahat anlaşılabilir.

Her lipit molekülü suyu iten hidrofobik bir kısma ve suda çözünen hidrofilik bir kısma sahiptir. Hücre zarı bu moleküllerin oluşturduğu çift katlı bir yapıdan meydana gelir. Hidrofilik kısımlar bir araya gelen hidrofobik kısımları sandviç yapacak şekilde dışarı bakarak hücre zarının iç ve dış yüzeyini meydana getirirler. Bu yapı hücre boyutlarında inşa edildiğinde şaşırtıcı derecede güçlü bir bariyer oluşturur. Su, hücre zarından serbestçe geçebilirken daha büyük moleküllerin hücre içine ve hücre dışına iletilebilmesi için aktif taşıma yapılması gerekir. Bu nedenle hücre zarında yer yer karmaşık protein moleküllerinden oluşan porlar ve pompalar bulunur (bkz. s. 112).

Hücre zarının yapısı

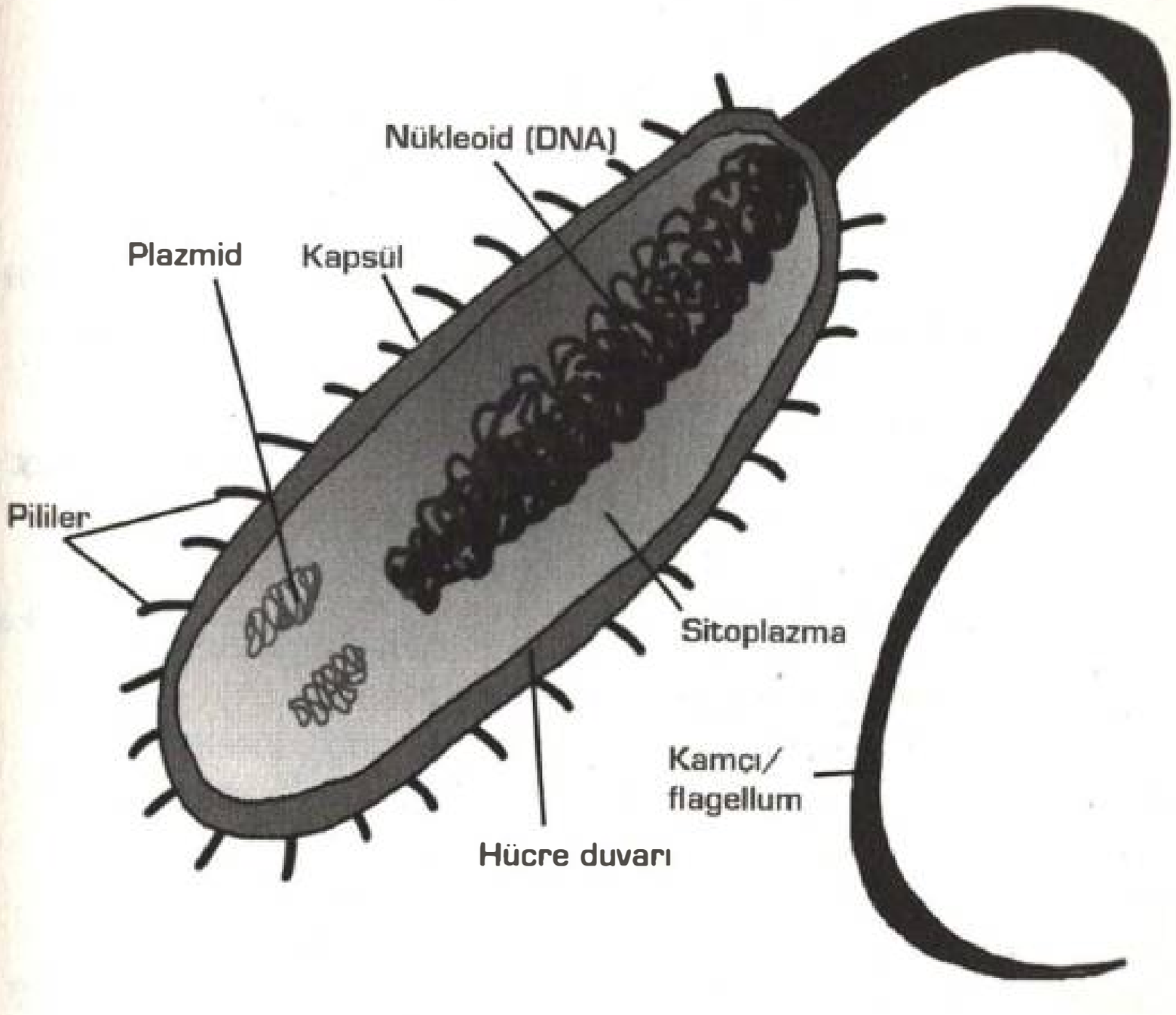


Prokaryot

En küçük ve en basit hücreler bakterilere ve onların kuzenleri olan arkelere aittir. Bu organizmalar prokaryot olarak sınıflandırılır ve hücreleri, ökaryot olarak sınıflandırılan bitkiler, mantarlar ve hayvanların hücrelerinden oldukça farklıdır.

Prokaryot hücrelerin çoğu 1 µm (1 mikrometre – metrenin milyonda biri) ila 5µm aralığında bir uzunluğa sahiptir. Boyutları büyük oranda hücre zarları tarafından sınırlandırılır (bazı bakteriler çift zarlıdır) ve diğer hücre türlerine kıyasla daha az akışkan ve daha az esnektir. Kimi hücrelerin kamçı (flagellum) denilen ve burgu gibi dönerek hücrenin ilerlemesini sağlayan uzun, kıvrılan, kuyruk benzeri uzantıları vardır. Hücre zarının yüzeyinde, bu yüzeye tutunan kısa, saç benzeri uzantılar olan pililer bulunur. Hücrelerin iç yapısı, sitoplazmada serbestçe dolaşan DNA molekülleri dışında görülebilir yegâne yapılar olan ve genetik kodun okunup işlendiği ribozomlardan meydana geldiği için oldukça basittir (bkz. s. 104).

Prokaryotik hücre

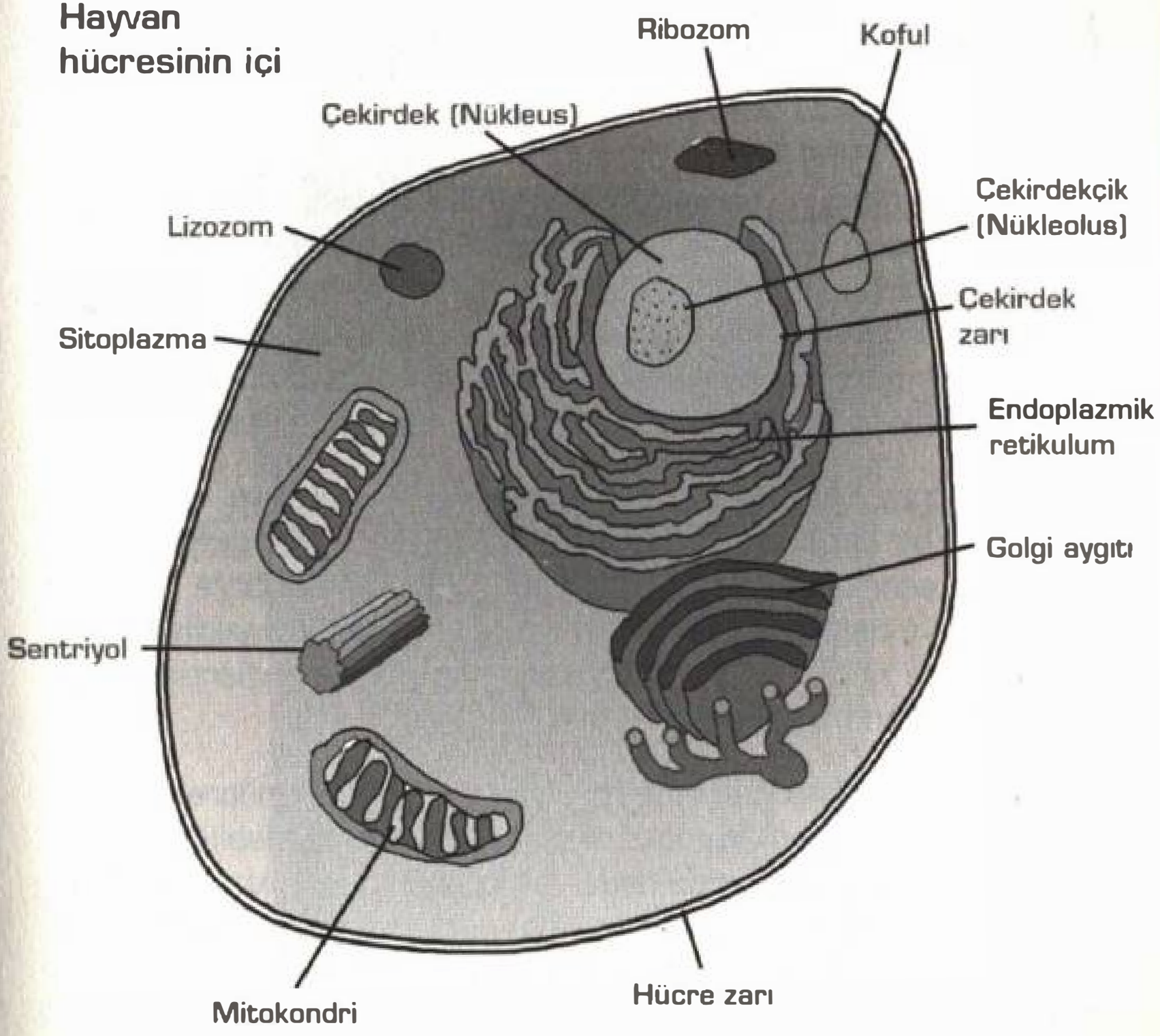


Hayvan Hücreleri

Vücudunuzdaki hücreler tüm hayvan hücreleri ve amipler gibi birçok tek hücreli ökaryot canlının hücreleriyle aynı yapıları paylaşır. Bir hayvan hücresi, kolesterol içermesi nedeniyle güçlenen hücre zarı sayesinde prokaryot bir hücrenin yaklaşık yirmi katı uzunluğundadır (ve hatırı sayılır ölçüde daha geniş hacimlidir). Bir hayvan hücresi hareket etmesini sağlayan bir kamçıya/flagelluma sahip olabilir ve bazılarında yine hareketli ancak daha kısa uzantılar olan siller bulunabilir. Bu yapılar hareket kabiliyeti sağlamanın yanı sıra besin açısından zengin bir akımı hücrenin üzerine çekmek amacıyla da kullanılır.

Ökaryot hücreler daha büyüktür ve bu durum sitoplazmadaki materyalin dağıtımı için yalnızca pasif difüzyona güvenemeyecekleri anlamına gelir. Bunun yerine hücrelerde faydalı moleküllerin taşınmasında rol oynayan bir mikrotübül ağı bulunur. Bu hücreler aynı zamanda organel adı verilen ve hücre metabolizmasının çeşitli safhalarını kontrol eden bir dizi yapıya sahiptir. Son olarak, hayvan hücreleri DNA'larını hücre çekirdeğinde (nükleus) bulundurmalarıyla da bakteri hücrelerinden farklılaşırlar.

Hayvan hücresinin içi



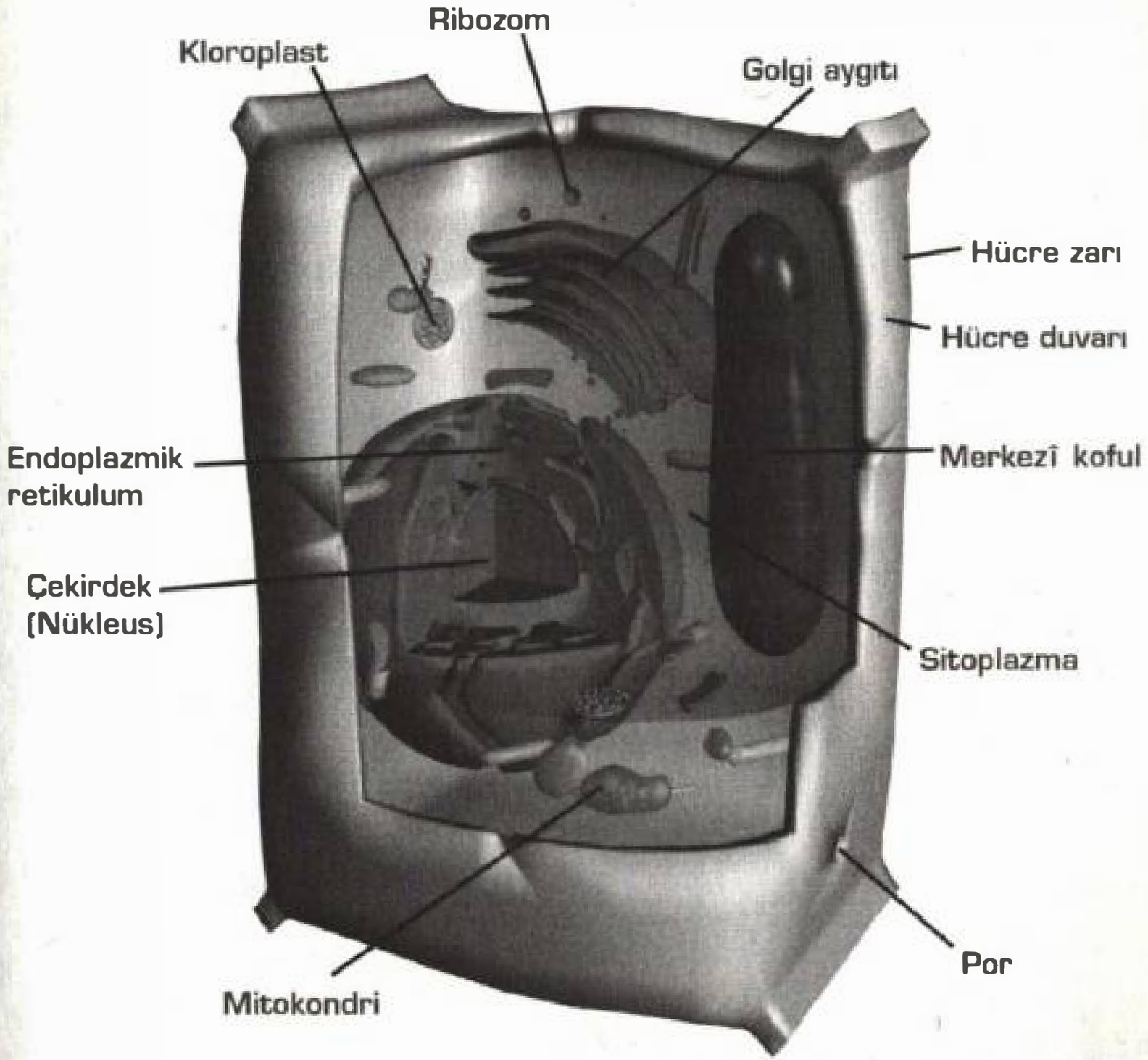
Bitki ve Mantar Hücreleri

Başka bir ökaryot canlı örneği olan bitkilerin hücreleri, hayvan hücreleriyle birçok özellik paylaşır. Genetik materyali bulunduran bir çekirdeğe ve hücre zarının içinde faaliyet gösteren benzer bir organeller topluluğuna sahiptirler. Ancak yapılarında fotosentezin gerçekleştiği kloroplastlara da sahip olmaları nedeniyle hayvan hücrelerinden önemli bir farklılık gösterirler.

Başka bir önemli ayrım da bitki hücrelerinin hücre zarını çevreleyen bir çepere sahip olmasıdır. Hücreye suyun girip çıkmasıyla esnek hücre zarının hacmi değişebilirken hücre duvarı katı ve değişmez kalır. Hücre duvarı selüloz adı verilen ipliklerden ve zincire benzer bir yapıyla birbirlerine bağlanan şeker moleküllerinden meydana gelir.

Hayvanların daha yakın akrabaları olsalar da mantar hücreleri bitkiler ve hayvanların ara noktası olarak değerlendirilebilir. Fotosentez yapmazlar ve bu nedenle kloroplastları yoktur ancak hücre duvarları bulunur. Duvar, selüloz yerine deniz kabuklularında ve böceklerde de bulunan kitin isimli bir polimerden meydana gelir.

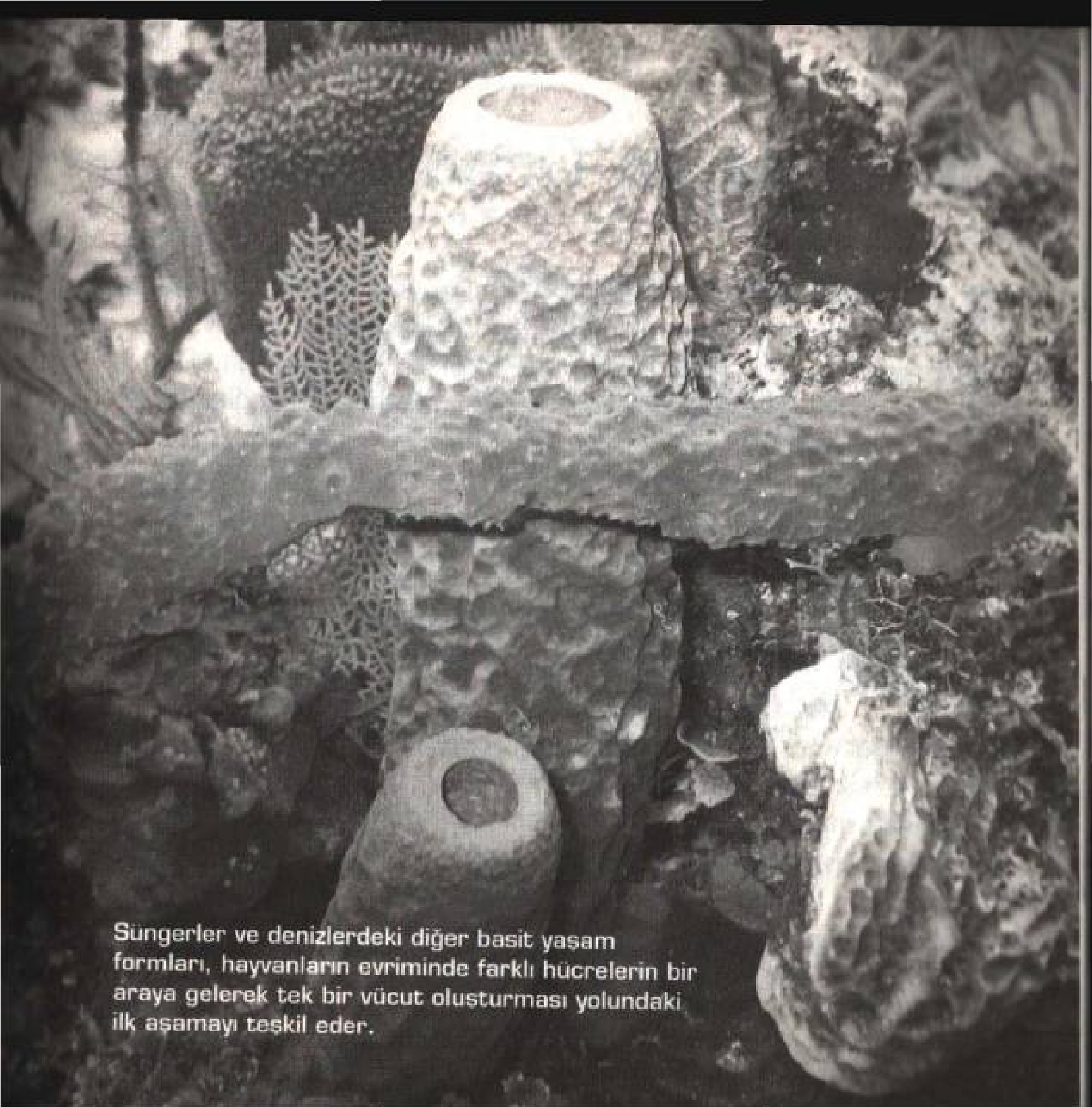
Bitki hücresinin içi



Çok Hücrelilik

En çok aşina olduğumuz organizmalar, doğal olarak, genellikle trilyonlarca hücrenin birlikte çalışmasıyla meydana gelen canlılardır. Bu çok hücreli yaşam biçiminin aksine bakteriler ve bir dizi ökaryotun hayatta kalmaları için tek bir hücre yeterlidir. Ancak aradaki fark pek keskin hatlı değildir. Birçok tek hücreli organizma koloniler oluşturur. Örneğin, boğaz iltihabı gırtlağınızda yaşayan bir bakteri kolonisinden kaynaklanır. Tek hücrelilerin oluşturduğu kolonilerde bazı hücrelerin daha geniş bir koloninin desteklenmesi için belirli görevlerde uzmanlaştıkları bir iş bölümünün varlığının kanıtlandığı birçok durum mevcuttur.

Bütünün hayatta kalmasını garantilemek adına genetik olarak aynı olan hücrelerin çeşitli şekillerde uzmanlaşmalarının görüldüğü çok hücreli bir organizma bu durumu bir adım ileriye taşır. En basit örneği, vücut yapısını inşa etmek, beslenmek, kendisini savunmak ve üremek için yalnızca dokuz tip hücreden faydalanan süngerlerdir.



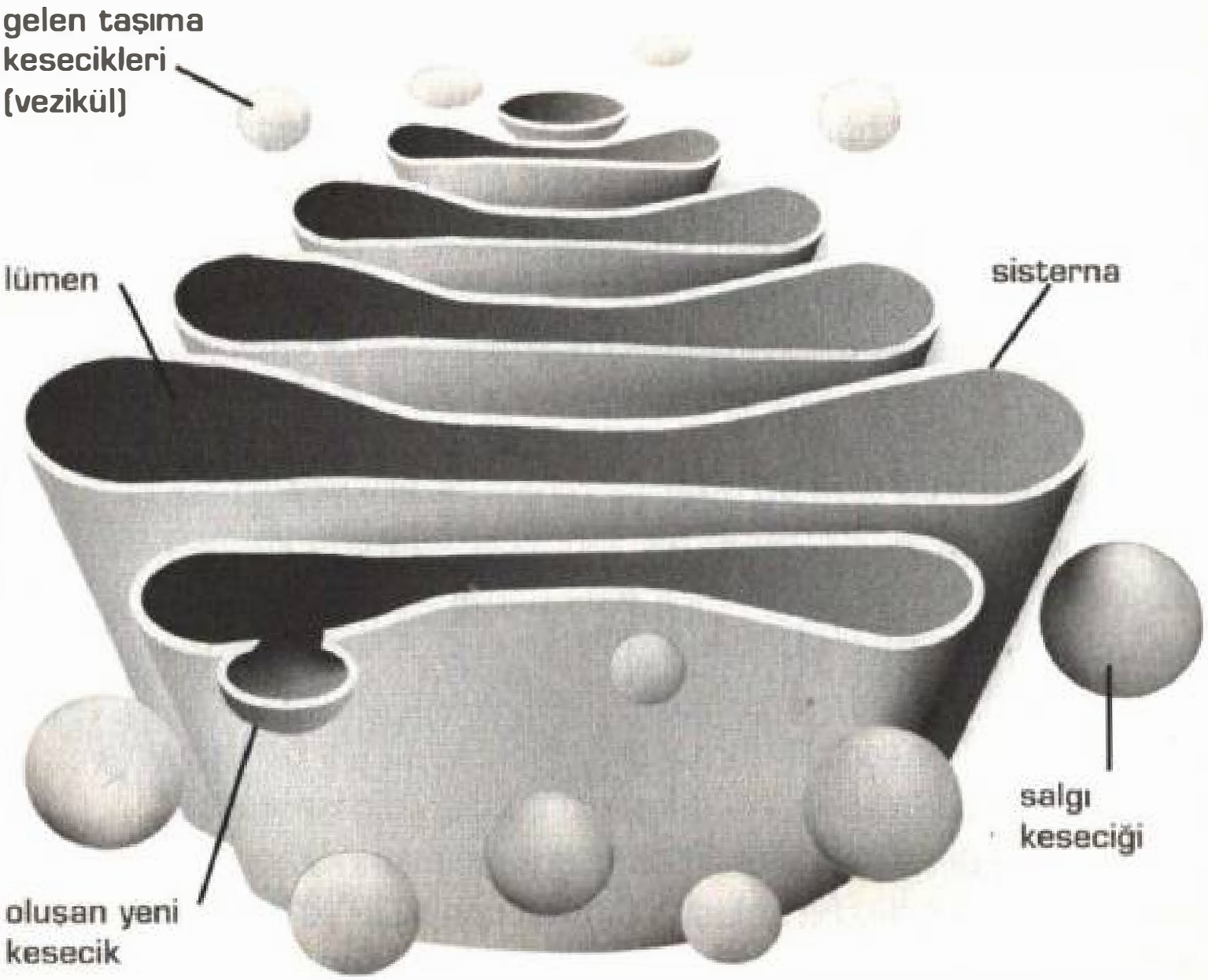
Süngerler ve denizlerdeki diğer basit yaşam formları, hayvanların evriminde farklı hücrelerin bir araya gelerek tek bir vücut oluşturması yolundaki ilk aşamayı teşkil eder.

Çekirdek ve Organeller

1930'larda elektron mikroskobunun icat edilmesiyle hücrelerin içinin tahmin edilenden çok daha karmaşık olduğu gözler önüne serildi. O zamana dek ökaryot hücrelerde gözlemlenebilen tek unsur çekirdekti (nükleus). Ancak yeni teknolojinin sağladığı yüksek çözünürlük hücre içini çok daha detaylı incelememizi ve organel olarak adlandırdığımız birçok farklı yapıyı keşfetmemizi sağladı. Çekirdeğin etrafında bir değil iki zar olduğu ve her ikisinde de genetik materyalin içeri girip dışarı çıkmasına izin veren birçok por bulunduğu gösterildi. Ayrıca genetik materyalin çekirdeğin merkezinde bulunan çekirdekçik (nükleolus) isimli bir bölgede saklandığı da öğrenilmiş oldu.

Diğer organeller arasında tüplerden bir iletişim ağı kuran endoplazmik retikulum da bulunuyordu. Golgi aygıtı hücreden salgılanan materyallerin hazırlanmasında rol alırken lizozom da istenmeyen maddelerin toplanıp ortadan kaldırılmasından sorumluydu. Hücrenin enerji santrali olan mitokondriler tüm ökaryotlarda mevcutken, bitki hücrelerinde bir de kloroplastlar bulunuyordu.

Golgi aygıtı



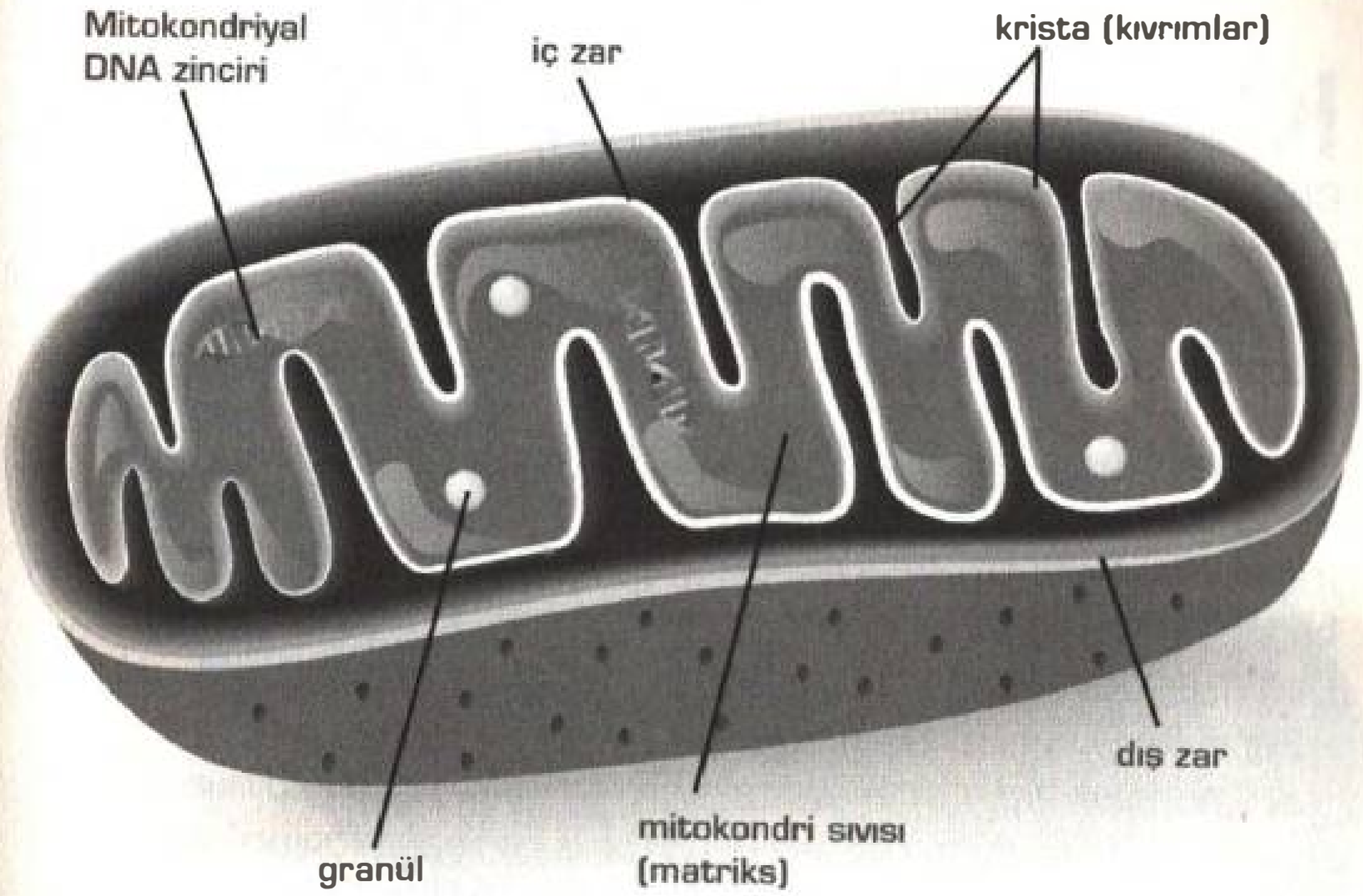
Golgi aygıtı kimyasalları paketleyerek kesecikler haline getirir ve bu kesecikler hücre zarı ile birleşerek kimyasalları hücre dışına atar.

Mitokondri

Mitokondriler hücre içinde solunumun gerçekleştiği, metabolizmada kullanmak adına glikoz ve diğer yakıtlardan kontrol edilebilir ölçülerde enerjinin üretildiği yerlerdir. Her ökaryotik hücrede birden fazla mitokondri mevcuttur ve kas hücreleri gibi çok enerji tüketen hücreler yüzlerce mitokondri barındırabilir.

Bir mitokondrinin dışında hücre zarına benzer bir zar bulunurken, içinde krista adı verilen, kendi üstüne katlanarak birçok dar ve kapalı kanal oluşturan başka bir zar daha mevcuttur. Solunum iç zarın, yani kristanın duvarlarında gerçekleşir. Burada gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda glikoz molekülü aşamalı olarak oksitlenir ve açığa çıkan enerji her adımda ADP (adenozin difosfat) denilen bir kimyasal tarafından gelecekte kullanılmak üzere yakalanır. Enerji girdisi ATP (adenozin trifosfat) oluşturulması için ADP'ye bir fosfat eklenmesini olanaklı kılar. Daha sonra hücre içine iletilen ATP molekülleri, enerjiye ihtiyaç duyulması durumunda ADP'ye dönüşerek depoladıkları enerjiyi açığa çıkarabilirler.

Mitokondrinin içi

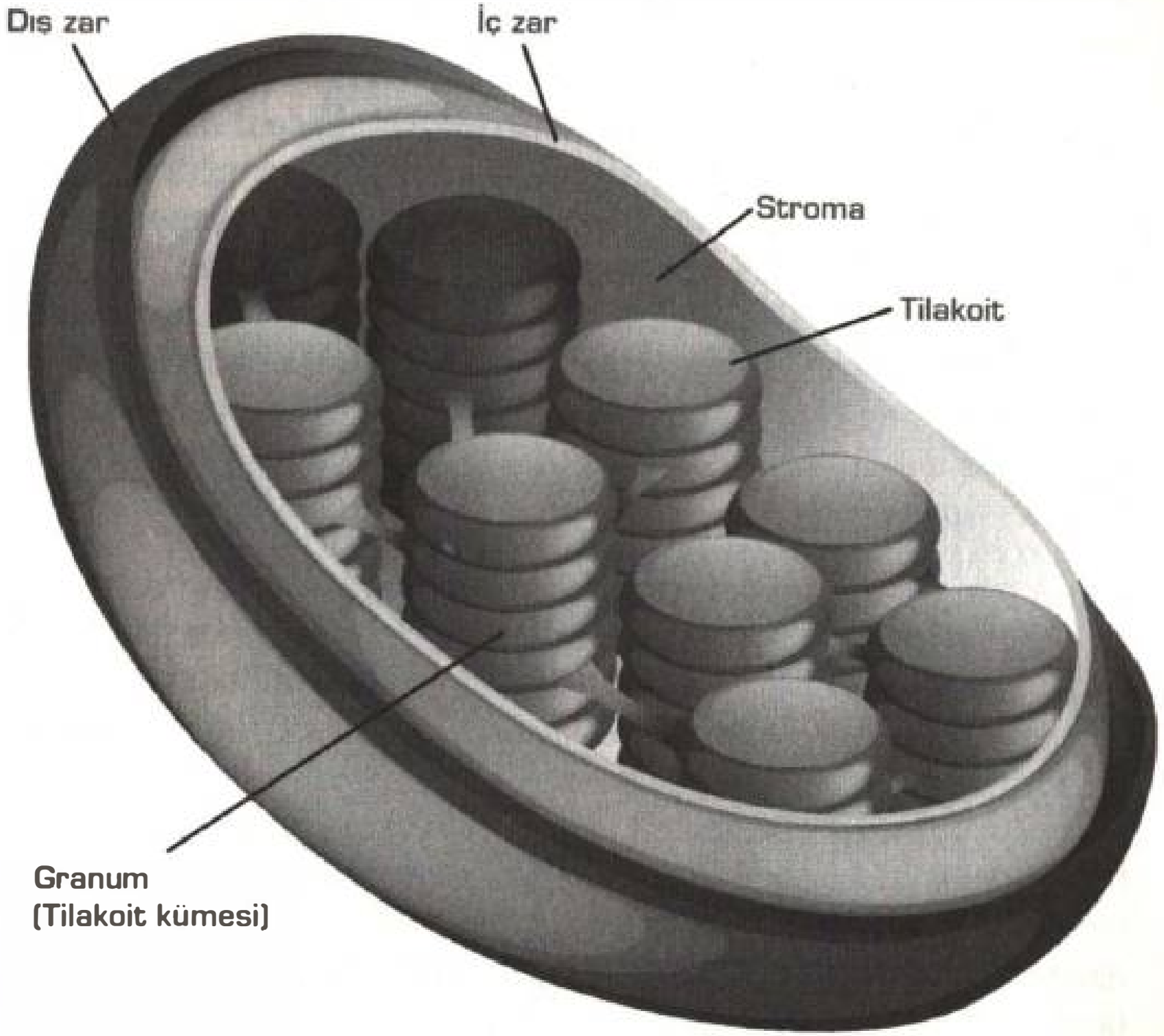


Kloroplast

Kloroplast olarak isimlendirilen yeşil renkli organeller bitki hücrelerinde fotosentezin gerçekleştiği yerlerdir. Bitkinin kökleri gibi fotosentez yapılmayan kısımlarında ve fotosentez yapan prokaryotlarda kloroplast bulunmaz. (Diğer metabolik aktivitelerde olduğu gibi fotosentez de prokaryotların sitoplazmasında gerçekleşir.)

Kloroplast kendisine ait ek bir dış zarın yanı sıra zar yapısına sahip disklerden meydana gelen tilakoitlere de sahiptir. Klorofil molekülleri üst üste eklenerek granumlar (grana) oluşturan bağımsız tilakoitlere bağlanır ve üzerlerine ışık düştüğünde klorofiller bu enerjinin bir kısmını ATP molekülü tedariki için kullanır (bkz. s. 68). Bu işlem fotosentezin ilk aşamasını teşkil eder ve "aydınlık evre reaksiyonları" olarak adlandırılır. Üretilen ATP'ler daha sonraki "karanlık evre reaksiyonları"na, yani fotosentezin ikinci aşamasına yakıt sağlarlar. Grananın arasını dolduran sıvı olan stromada gerçekleşen bu aşama, karbondioksit ve sudan glikoz şekeri üretilmesini sağlar.

Kloroplastın içi

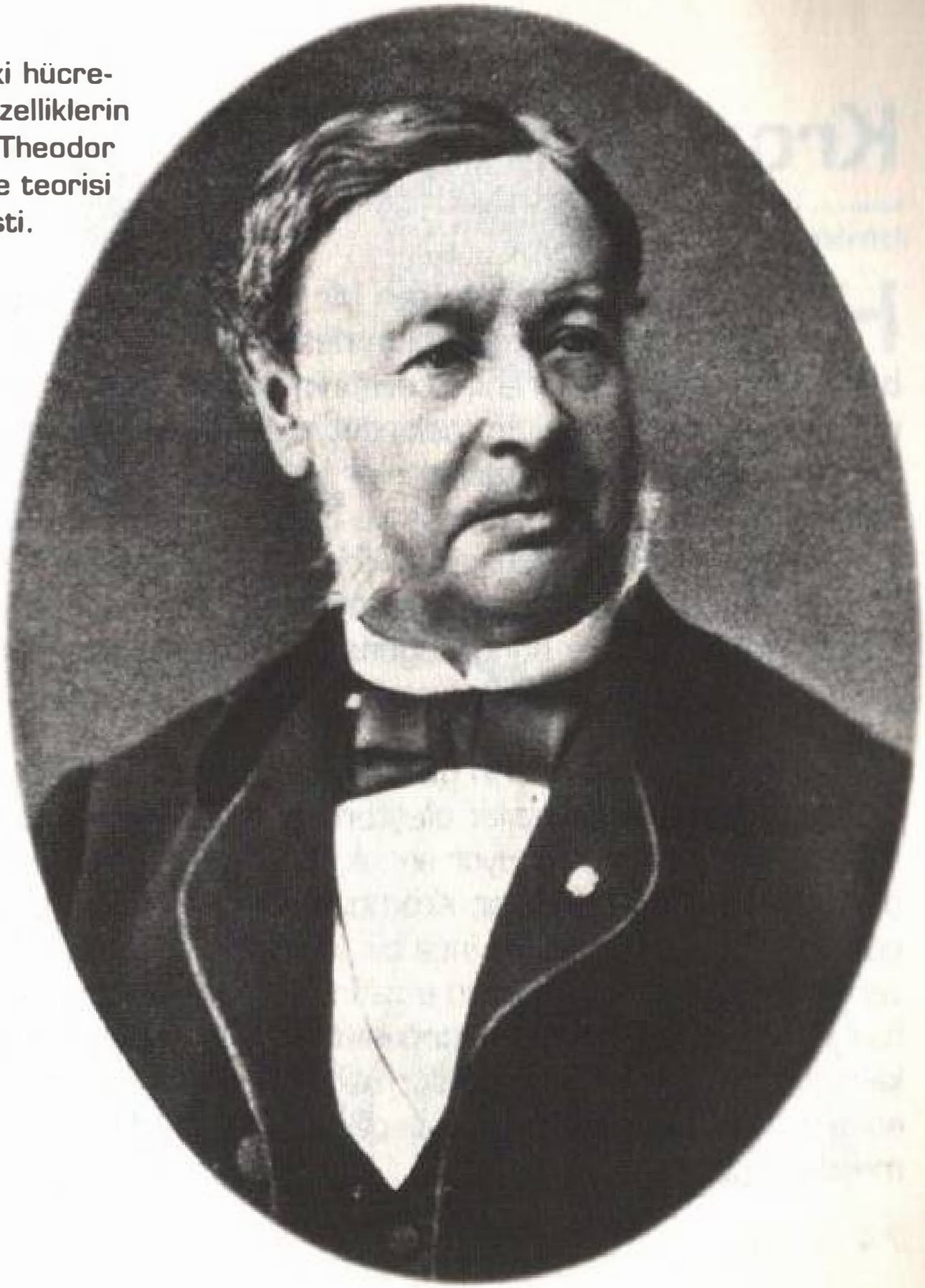


Hücre Teorisi

Başlangıçta "mikroskobik hayvanlar" (animalcules) olarak adlandırılan tek hücreli canlılar mikroskopinin öncüleri tarafından keşfedildiklerinde, biyologlar onların diğer yaşam biçimlerinin çürüyen kalıntılarından kendiliğinden gelişen organizmalar oldukları varsayımında bulunmuşlardı. O zamanlar çok hücreli yaşamın biyogenezle oluştuğu, yani bir canlının bir başkasını ortaya çıkardığı düşüncesi hâkimdi, tek hücreli yaşamın ise canlı olmayan materyalden, yani abiyogenezle oluştuğu düşünülüyordu.

Ancak 1838'de Alman fizyolog Theodor Schwann (diğer bilim insanlarının da katkılarıyla) gittikçe artan abiyogenez karşıtı kanıtları değerlendirerek günümüzde "hücre teorisi" olarak adlandırılacak teoriyi öne sürdü. Schwann'ın teorisi üç aşamadan oluşuyordu: İlk olarak, organizmalar bir ya da daha fazla hücreden meydana gelebilirdi. İkincisi, en basit yaşam formu hücre idi. Son olarak da tüm yeni hücreler daha eski hücrelerden meydana geliyordu. Bu üç basit kural modern biyolojinin temelini oluşturacak ve genetik sürecin anlaşılmasında son derece büyük bir rol oynayacaktı.

Sinir, kas ve bitki hücrelerindeki ortak özelliklerin farkına varması Theodor Schwann'a hücre teorisi için ilham vermişti.

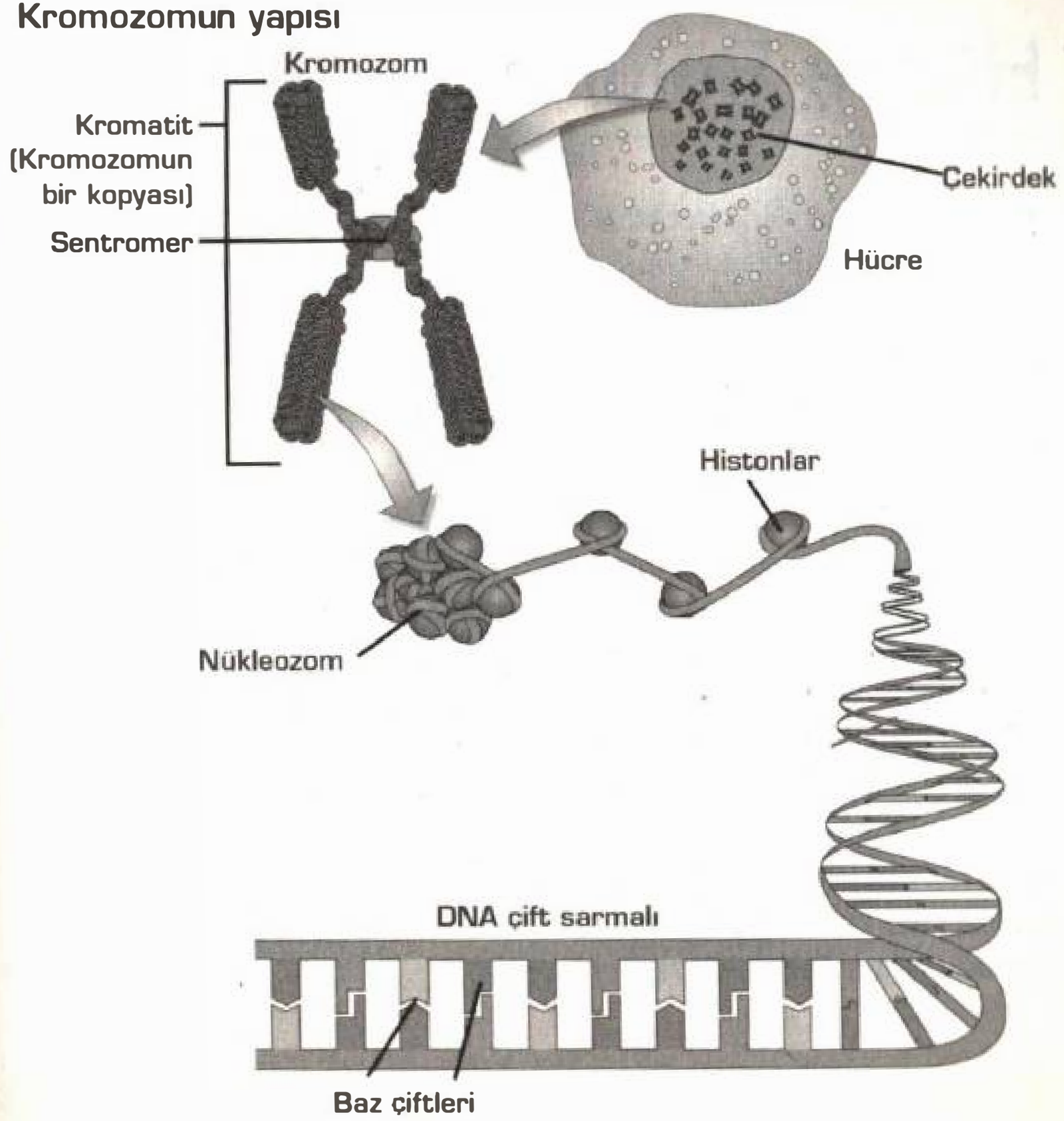


Kromozom

Hücre teorisine uygun düşen bir şekilde, her yeni hücre daha eski bir hücrenin ikiye bölünmesinden meydana gelir. Hücrenin bölünmesi orijinal hücrenin içeriğinin hemen hemen eşit bir şekilde dağılmasını sağladığı için, çekirdeğin de ikiye ayrılmasını gerektirir. Bu süreç üzerindeki ilk çalışmalar çekirdeğin renkli bir materyalle dolu olduğunu ortaya çıkarmış ve bu materyale kromatin adı verilmişti. 1BBB'de Heinrich Wilhelm Gottfried von Waldeyer-Hartz bölünmenin gerçekleşmesinden önce yayılmış haldeki kromatinin iplik benzeri yapılara dönüştüğünü ve sonra iki yeni hücre arasında paylaşıldıklarını görerek bu yapılara "kromozom" adını verdi.

Günümüzde kromozomların genomu oluşturan DNA moleküllerinin tutunması için iskele yapılar oluşturduğunu biliyoruz. İnsan hücrelerinde kırk altı kromozom bulunuyor ancak bu sayı türden türe oldukça büyük farklar gösterebiliyor. Kromozom çoğunlukla tek başına gözlemlenemeyecek kadar ince bir formdadır çünkü DNA'nın histon adı verilen iğnemsi proteinlerinin etrafına dolanan bulutsu kromatin öbekleri halinde bulunan kromozom, çoğunlukla tek başına gözlemlenemeyecek kadar ince bir formdadır. Bu sarmallar yalnızca hücre bölünmesi esnasında mikroskop yardımıyla görülebilecek kalınlıktaki yapılar meydana getirir.

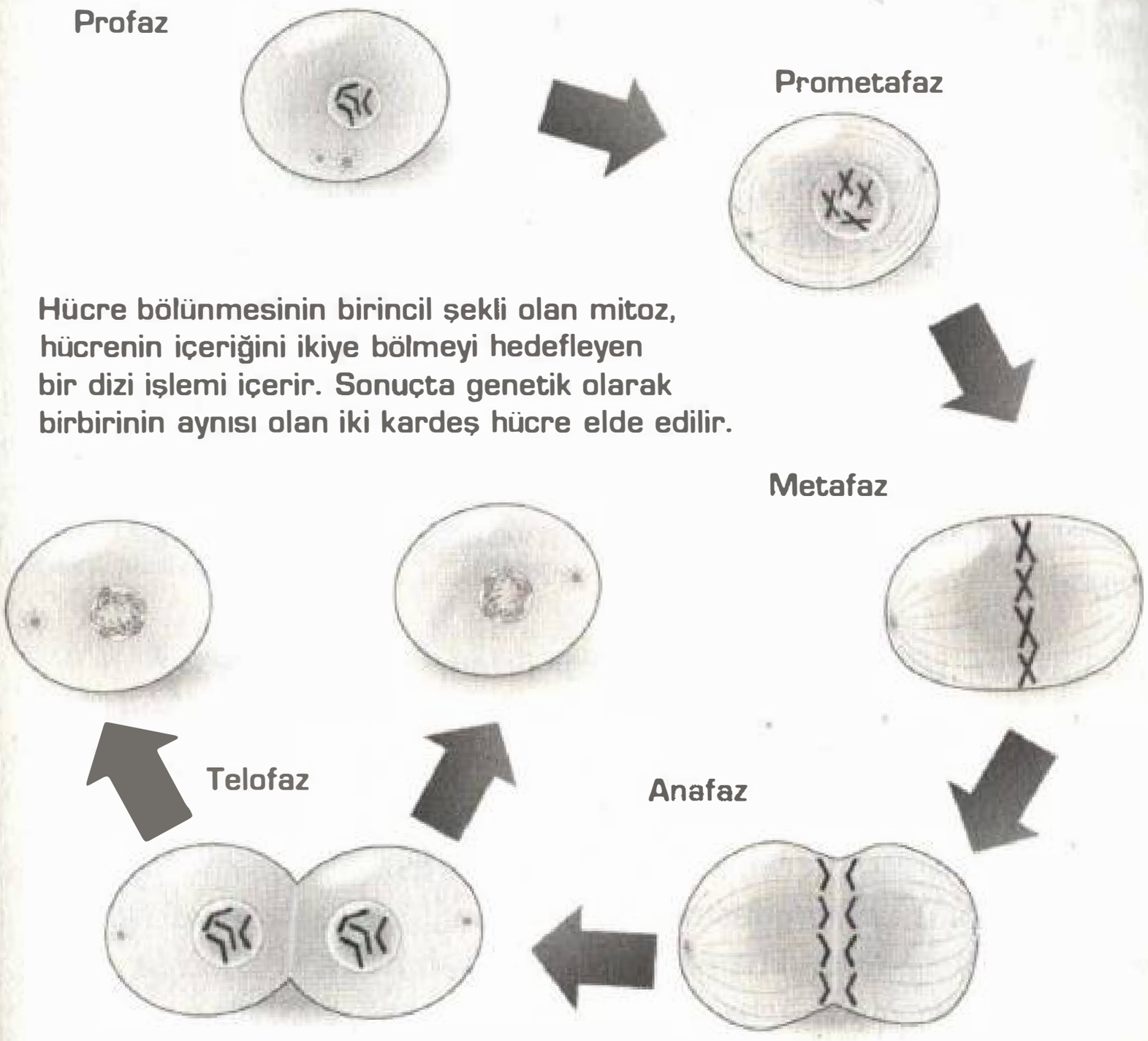
Kromozomun yapısı



Hücre Bölünmesi: Mitoz

Hücre bölünmesinin temel işlemine, yani canlıların vücutlarının büyümesini sağlayan işleme mitoz adı verilir. Yunanca dokuma kelimesinden türetilen mitoz isminin ardında mitoz bölünme öncesinde iplik benzeri mikrotübüllerin kromozomları iki gruba ayırarak hücrenin zıt uçlarına çekmesi yatar.

Mitoz bölünme birkaç karmaşık aşamada tamamlanır. Özetlemek istersek: İlk adımda kromozom kendini eşler. Bu aşamada genellikle kromozomlarla bağdaştırılan ve kromozomun birbirine bağlanmış iki kopyasından meydana gelen bir kromatit çiftinin oluşturduğu X şeklindeki yapı meydana gelir. Kromozom kendini eşledikten sonra çekirdek zarı çözünerek kromozomların hücre boyunca dizilmelerine izin verir. Daha sonra mikrotübüller kromatitleri birbirinden ayırarak geçici bir süre için hücredeki kromozom sayısını iki katına çıkarır. Son aşamada hücrenin ortasında yeni bir hücre zarının gelişmesiyle hücre ikiye ayrılır.

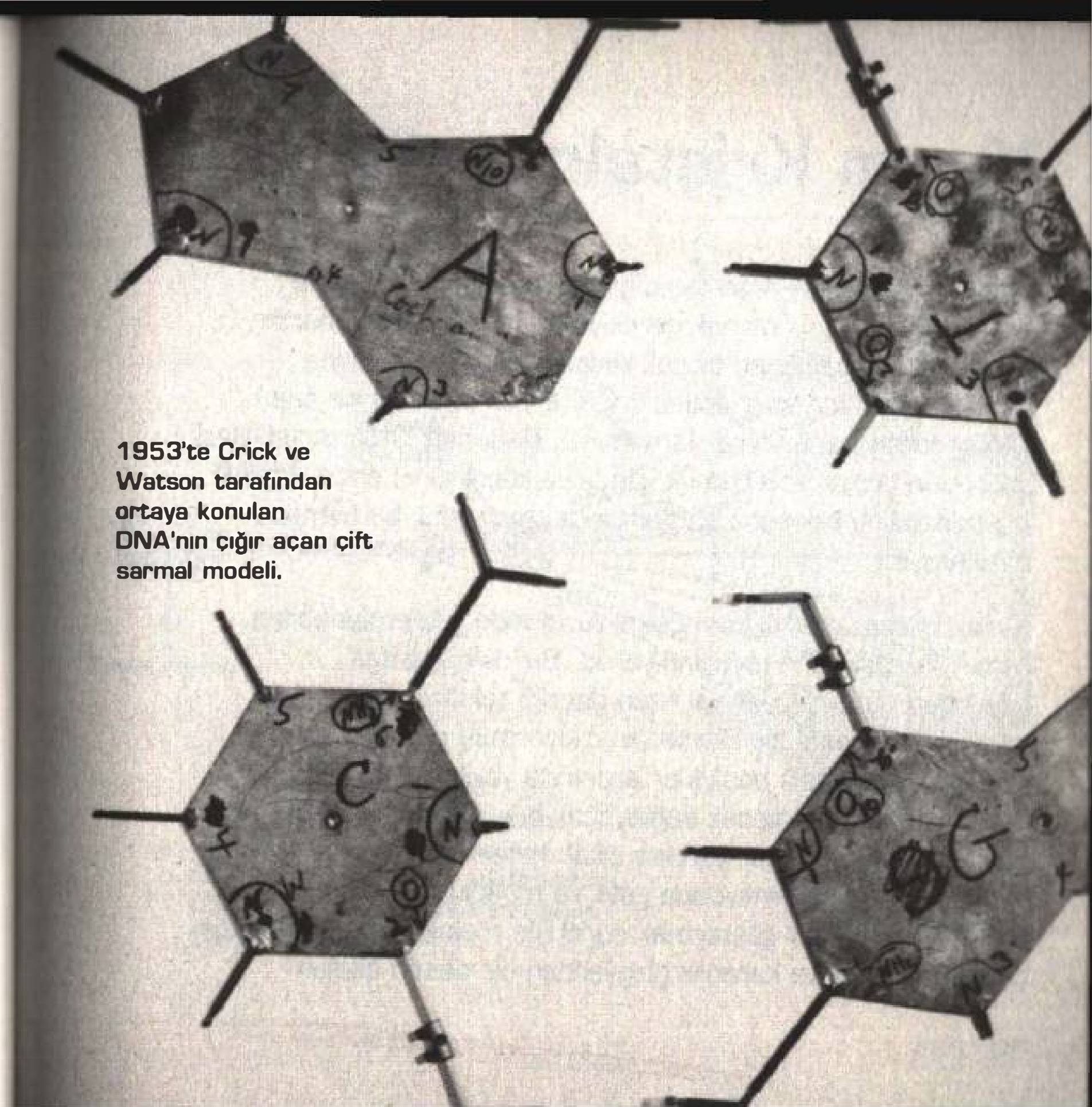


Hücre bölünmesinin birincil şekli olan mitoz, hücrenin içeriğini ikiye bölmeyi hedefleyen bir dizi işlemi içerir. Sonuçta genetik olarak birbirinin aynısı olan iki kardeş hücre elde edilir.

DNA

Bilimin en meşhur üç harfli kısaltması "deoksiribonükleik asit"e karşılık gelir. DNA genetikteki en önemli kimyasaldır çünkü bütün genlerimizin kodu onun uzun ve karmaşık yapısında saklıdır. Her insan hücresinde bulunan DNA'nın uzunluğu uçtan uca eklendiğinde iki metreye ulaşır ve insan vücudunda bulunan tüm DNA'nın uzunluğu Dünya'dan Güneş'e altmış altı kez gidip dönme mesafesine karşılık gelir. Hücrenin DNA'sının büyük bir çoğunluğu hücrenin çekirdeğindedir, küçük bir miktarı da mitokondride bulunur.

DNA ilk kez 1869'da İsviçreli doktor Friedrich Miescher'in iltihaplı yaraları kapatmak için kullanılan bandajları incelemesi sonucunda izole edilmişti. Bulunan riboz şekeri, fosfatlar ve nitrojen bulunduran organik asitler kısa sürede hücre çekirdeğinin içeriğiyle ilişkilendirilerek asitlerine nükleik asit adı verilmişti. 1928'de DNA'nın kromozomlarda bulunduğu ve uzun zamandır yanıtı aranan, nesilden nesle genleri taşıyan materyalin DNA olduğu onaylanmıştı. Artık cevap bekleyen soru, bunu nasıl yaptığıydı.

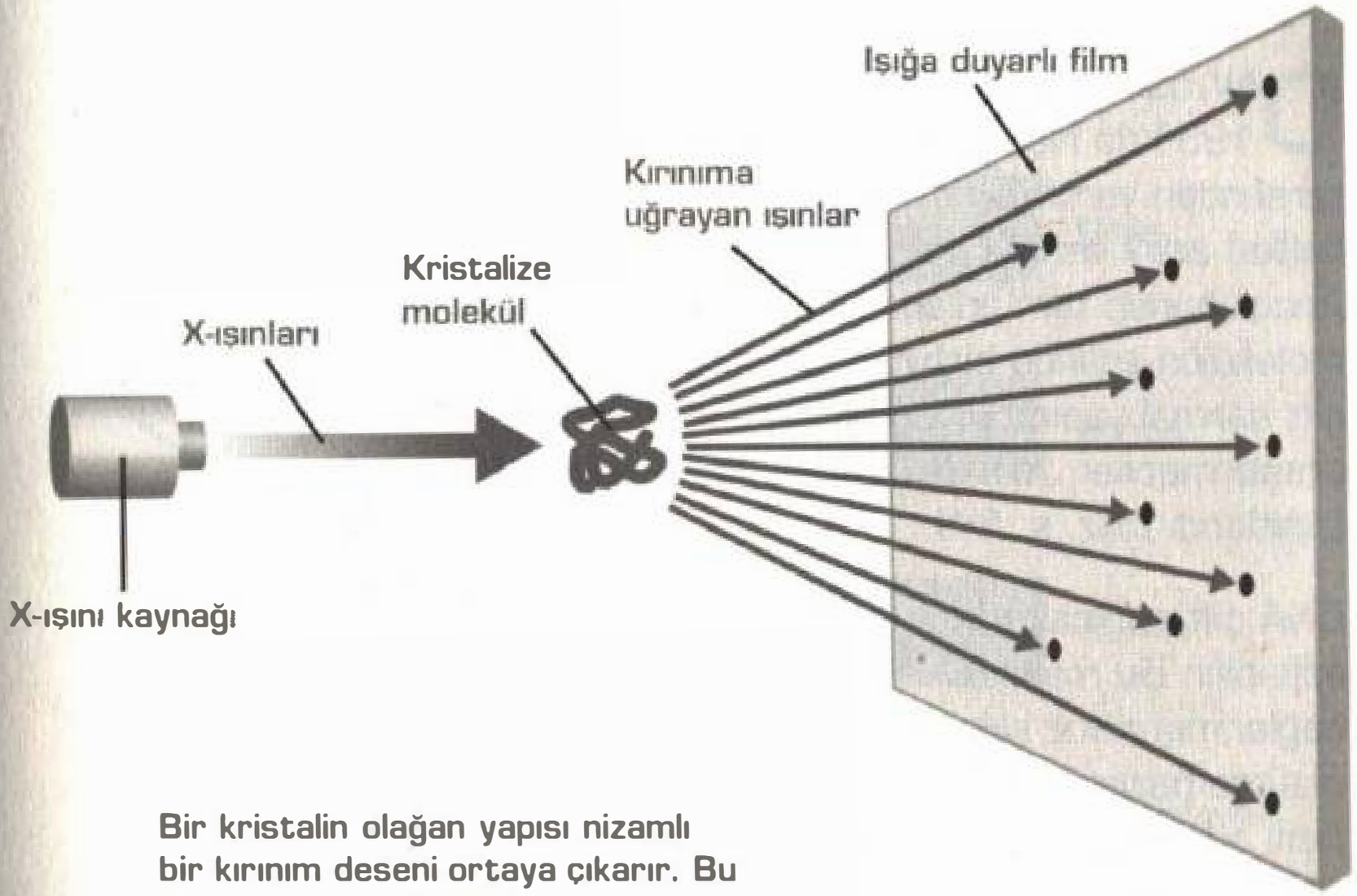


1953'te Crick ve Watson tarafından ortaya konulan DNA'nın çığır açan çift sarmal modeli.

X-ışını Kristalografisi

DNA'nın genleri nasıl taşıdığını anlamak için öncelikle onun yapısını çözmek gerekiyordu. DNA bir polimerdir, yani birbirine bağlanan birçok küçük birimden meydana gelir. Bu birimler ayırt edilebilmişti ancak birbirlerine nasıl bağlandıkları henüz anlaşılamamıştı. Bağımsız DNA molekülleri doğrudan gözlemleyebilmek için fazla küçüktü ve öncü X-ışını kristalografisi tekniği 1950'lerde bulunana dek bu bilmece çözülemedi.

X-ışını kristalografisi tüm dalga türlerinde gözlemlenebilen kırınım özelliğinden faydalanıyordu. Bir dalga, dalga boyundan daha dar bir yarıktan geçtiği takdirde her yönde yayılarak noktasal bir kaynaktan çıkıyormuş gibi davranır. X ışınları moleküldeki boşluklar arasında yayılırken kırınımın gözlemlenmesine olanak sağlayacak büyüklükte bir dalga boyuna sahiptir. Diğer yandan çıkan kırınıma uğramış dalgalarda girişim meydana gelir ve moleküldeki boşlukların ilgili pozisyonlarını göstermek suretiyle molekülün şeklini açığa çıkaran aydınlık ve karanlık çizgilerden bir desen oluşur.

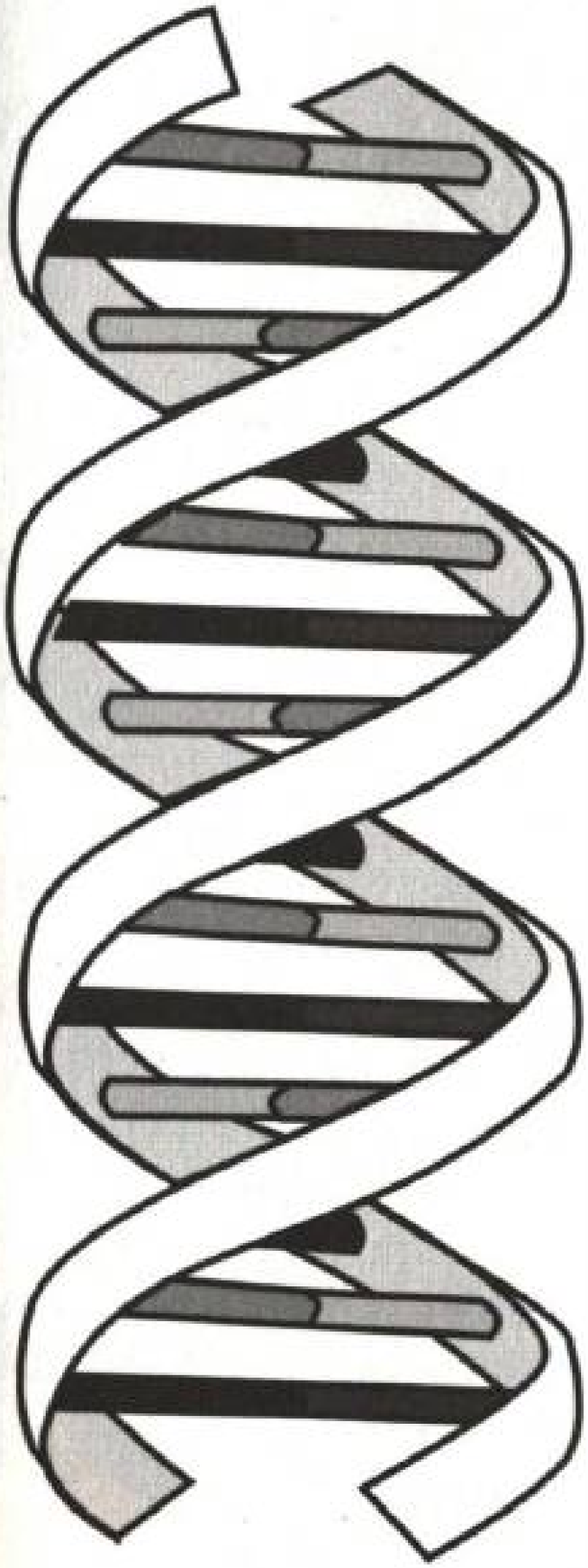


Bir kristalin olağan yapısı nizamlı bir kırınım deseni ortaya çıkarır. Bu desenler dikkatle analiz edildiklerinde DNA gibi organik moleküllerin yapısı gözler önüne serilebilir.

Çift Sarmal

DNA'dan elde edilen ilk X-ışını kristalografisi sonuçları 1951'de Nobel ödüllü Amerikalı kimyager Linus Pauling tarafından yorumlandı. Pauling DNA'nın alfa sarmal (alfa heliks) adını verdiği spiral bir yapıda olduğunu öne sürdü. Ancak bunun tam anlamıyla doğruyu yansıtmadığı ve bu molekülün aslında birbirine bağlı iki DNA ipliğinin oluşturduğu çift sarmal yapıda olduğu, 1953'te Cambridge'de araştırmacılar James Watson ve Francis Crick tarafından kanıtlandı (bkz. s. 84).

DNA çift sarmalı bükülmüş bir merdiven olarak hayal edilebilir. Bu merdivenin iki "kolu" fosfatlarla birbirine bağlanmış riboz şekerlerinden oluşurken, "basamakları" da basitçe bazlar olarak adlandırılan, şeker zincirlerinin arasında dizili nükleik asit çiftlerinden meydana gelir. Bu eşsiz yapı DNA'nın baz çiftlerinin ayrılmasıyla iki ayrı iplik oluşturmasına olanak sağlar. DNA'da dört farklı baz türü vardır ve genlerin kodladığı bilgi, bu bazların çift sarmaldaki dizilimleri aracılığıyla taşınır.



Adenin

Timin

Sitozin

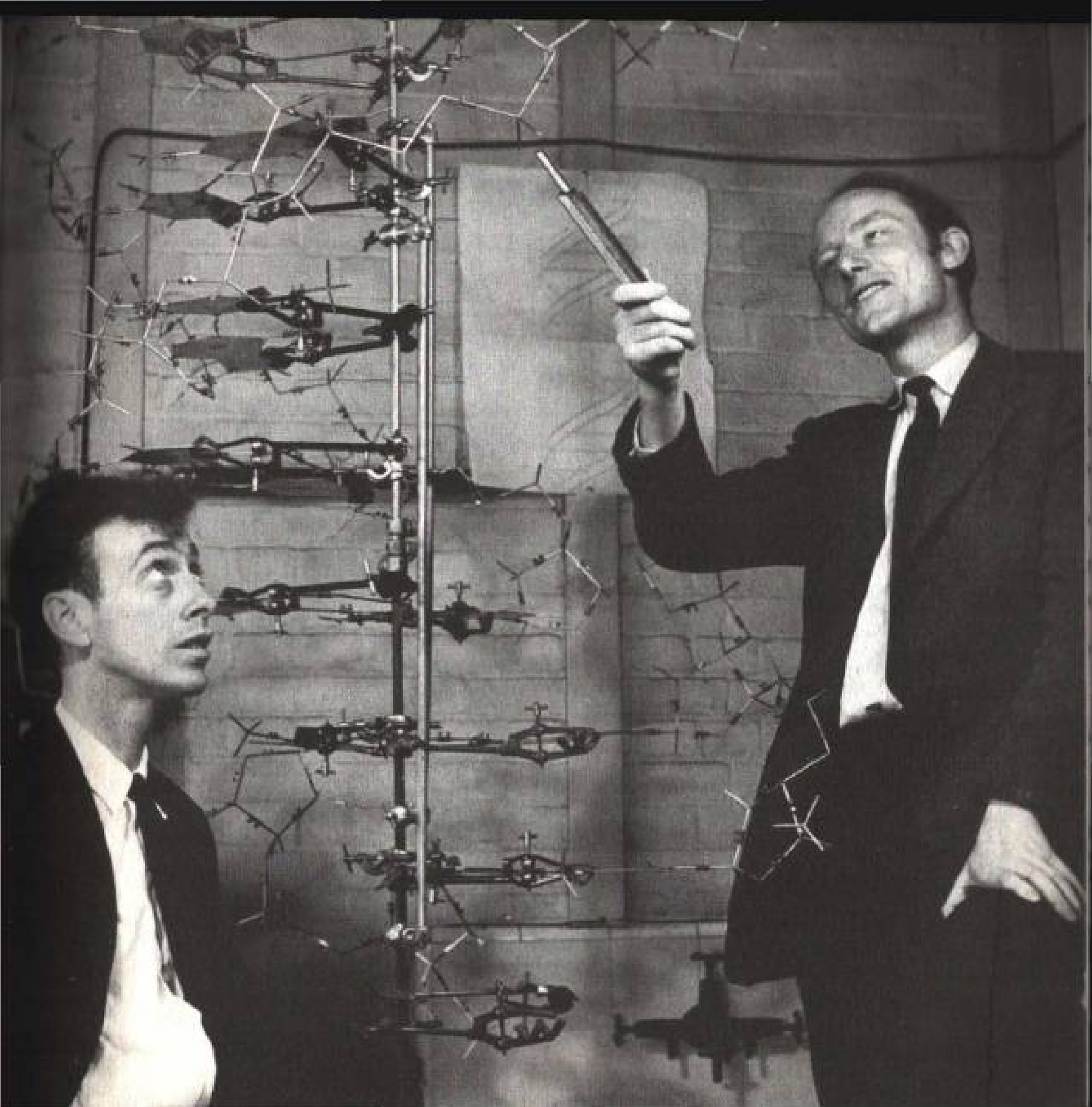
Guanin

Şeker-fosfat
omurgası

Crick ve Watson

Francis Crick ve James Watson, DNA'nın çift sarmal yapısını keşfettikleri ve genetik bilginin bu yapıda nasıl saklanabileceğini ortaya koydukları çalışmaları için 1962 yılında tıp alanında Nobel Ödülü almaya hak kazandıklarında, çalışmalarının üzerinden on yıl geçmişti.

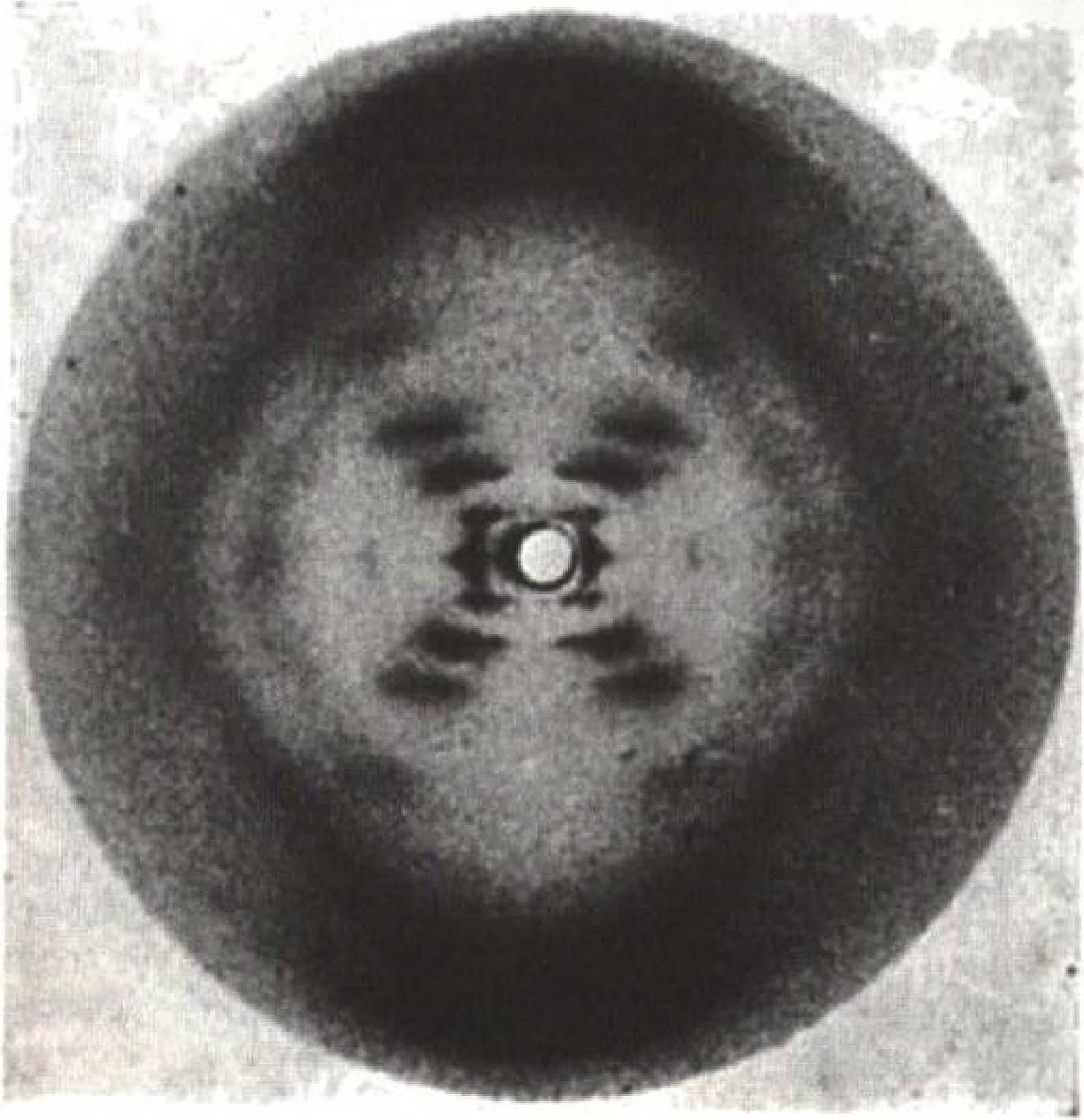
İngiliz bilimci Crick (yan sayfada, sağda) biyolojiyle ilgilenmeye başlamadan önce II. Dünya Savaşı'nda X-ışını kırınımını açıklamaya yönelik matematiksel teoriler geliştiren bir fizikçiydi. Watson (solda) ise Amerikan bir moleküler biyologdu ve Crick'le Cambridge'de, DNA'nın günümüzde herkesçe bilinen yapısını geliştirmek üzere iş birliği yapacakları Cavendish Laboratuvarı'nda bir araya gelecekti. X-ışını kırınımı deneylerini Crick ve Watson gerçekleştirmemişti. Veri onlara bir laboratuvarın şefi olan Maurice Wilkins tarafından Londra'daki King's College'dan tedarik edilmişti. Wilkins görüntüleri kendisi toplamadığı halde 1962'de Crick ve Watson'a verilen ödülü onlarla paylaştı. Oysa elde edilen bulgular için kritik önem taşıyan kanıtlar Wilkins'in merhum meslektaşı Rosalind Franklin tarafından toplanmıştı. Süreçte kendisine danışılmayan Rosalind Franklin'in bu keşifteki rolüne dair şiddetli tartışmalar günümüzde de devam etmekte.



Fotoğraf-51

Özellikle bir X-ışını kristalografisi fotoğrafı Crick ve Watson'ın DNA'nın moleküler yapısının ardında yatan sırrı çözmelerinde merkezî öneme sahipti. Kromozomlarda bulunan DNA'nın gerçek yapısının çift sarmal olduğuna dair fikirlerinin kanıtı, ünlü "Fotoğraf-51"deki aydınlık ve karanlık bölgelerin dağılımında gizliydi.

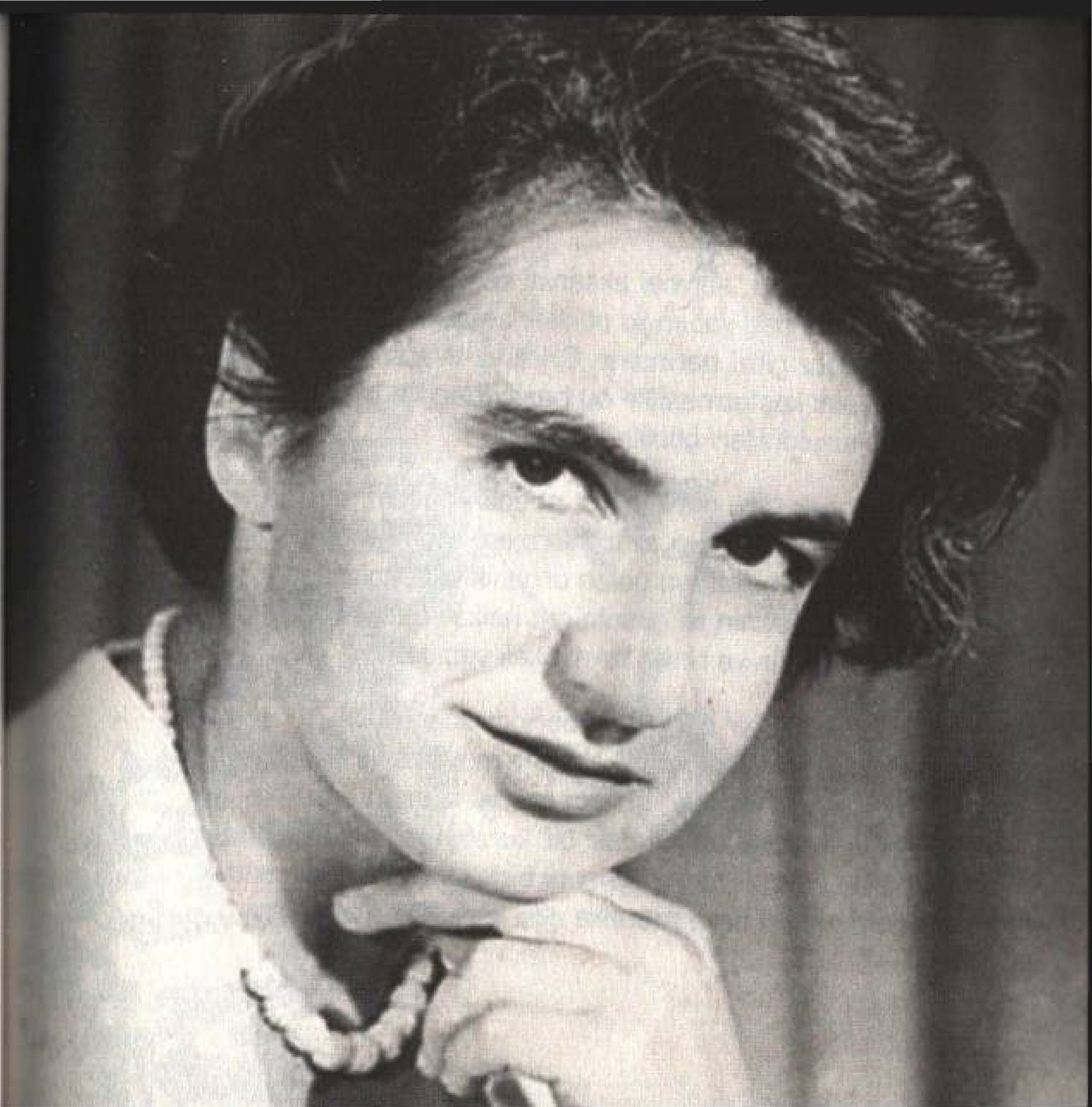
Fotoğraf-51 çoğunlukla Rosalind Franklin'e atfedilse de aslında King's College'da (Londra) Franklin'in gözetiminde çalışan doktora öğrencisi Raymond Gosling tarafından üretilmişti. Franklin'in daha sonra üzerinde çalışmak üzere dosyaladığı fotoğraf birkaç ay sonra Gosling tarafından Maurice Wilkins'e verilmişti. Wilkins fotoğrafı James Watson'a ilettiğinde Watson görselin potansiyelinin hemen farkına varmıştı çünkü 1940'larda kimyager Linus Pauling, California Institute of Technology'deki ekibiyle birlikte, sarmal yapıdaki birçok proteinden X şeklindeki kırınım desenlerinin elde edildiğini göstermişti; Fotoğraf-51, DNA'nın da sarmal bir yapıya sahip olabileceğini iddiasını taşıyordu.



Rosalind Franklin

Nobel komitesi 1962 yılında Crick, Watson ve Rosalind'in bir zamanlar çalışma arkadaşı olan Wilkins'e ödül vermeye karar verdiğinde Rosalind hayata gözlerini çoktan yummuştu. Franklin, tehlikeli seviyelerdeki X-ışınlarına defalarca maruz kalmasının yol açmış olması muhtemel olan yumurtalık kanseri nedeniyle 1958'de otuz yedi yaşındayken hayatını kaybetmişti. Nobel kuralları ödülün ölümden sonra verilemeyeceğini belirtir. Bu nedenle, eğer yaşasaydı Franklin'in ödülün verildiği üç bilim insanının yanında eş kazanan olarak gösterilip gösterilmeyeceğini hiçbir zaman bilemeyeceğiz.

Franklin'in DNA araştırmalarına olan katkısı ilerleyen yıllarda daha geniş kitlelerce tanınmaya başladı. Ancak Rosalind Franklin'in çığır açan buluşu aslında Fotoğraf-51 değildi. Franklin B-DNA adını verdiği hücre çekirdeğinde bulunan DNA'nın oldukça hidrate yapıda olduğunu keşfetmişti. (A-DNA biyolojide nadir karşılaşılan ve daha az hidrate olan yapıya verilen isimdir.) Crick ve Watson'ın nihai başarısı B formundaki DNA'nın sağa dönük sarmal yapısını modellemeleriyle elde edilmişti.

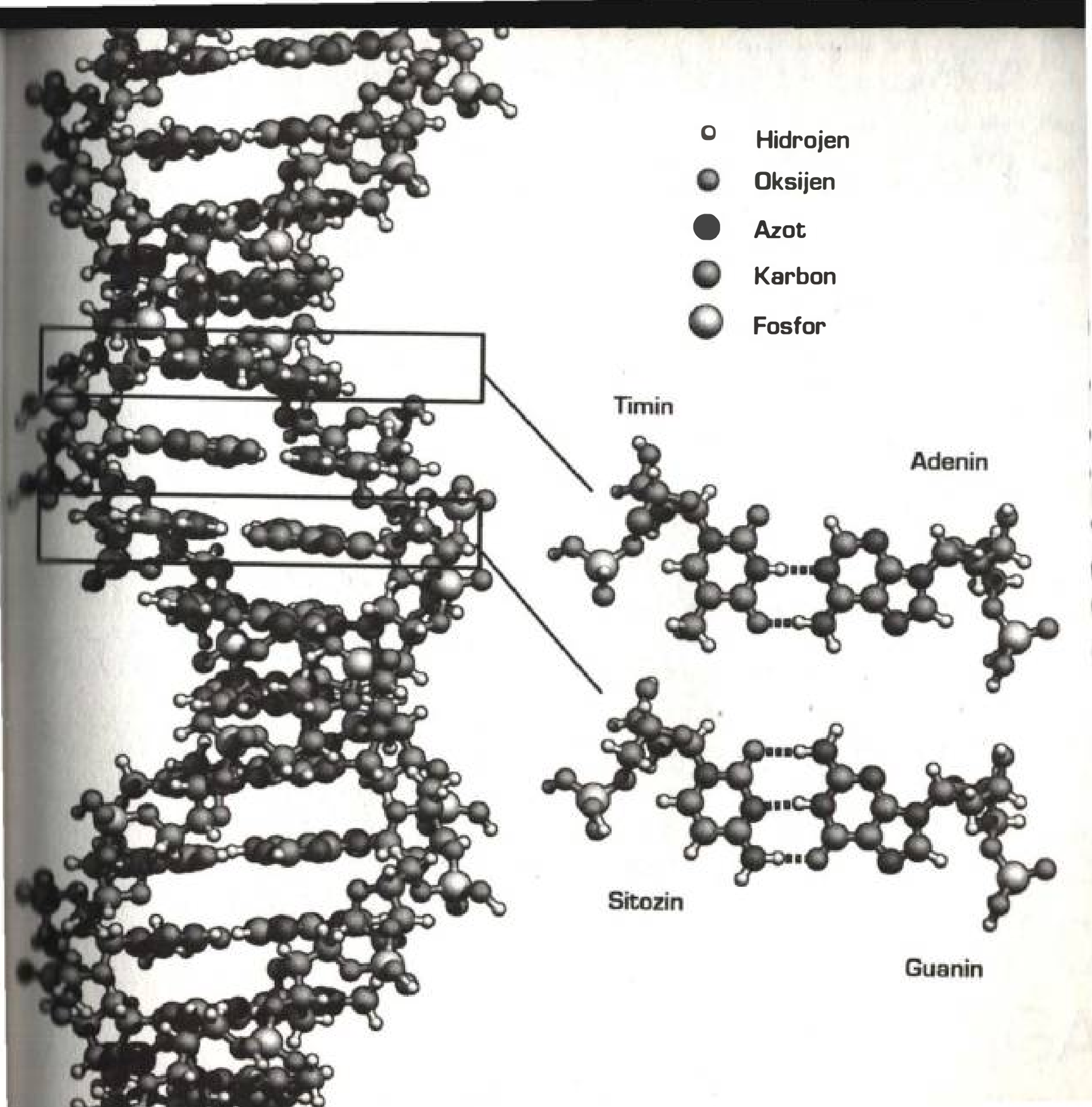


Baz Çiftleri

DNA çift sarmalı, sarmal eksenini kesecek şekilde birbirleriyle bağ yapan iki nükleik asitten oluşan milyonlarca "baz çifti" barındırır. Crick ve Watson'ın çift sarmal yapısını keşfetmesiyle bu baz çiftlerinin bir dizi basit kurala tabi kuruldukları görülmüştü.

DNA'da dört baz türü mevcuttur: adenin, guanin, sitozin ve timin. Bu bazların her biri azot (nitrojen) atomları barındıran ve halka şeklinde bir araya gelen organik bileşenlerden meydana gelir. Adenin ve guanin çift halkalı benzer bir yapıyı paylaşırken, sitozin ve timin tek halkalı yapıdadır.

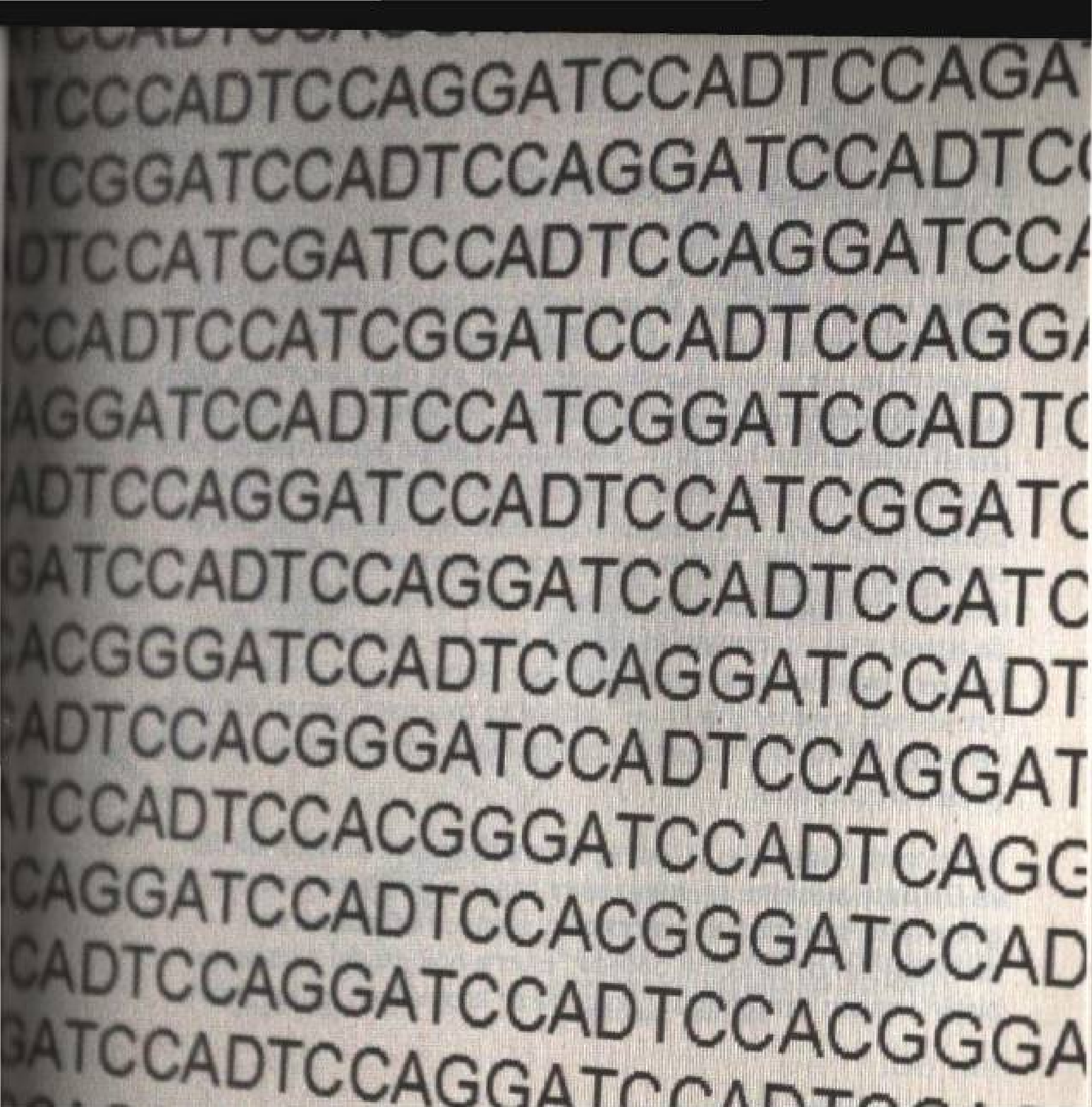
Sarmal molekülün bir baz çiftini barındıracağı "bir basamağında" yalnızca üç halkalık yer mevcuttur. DNA'da adenin her zaman timinle, guanin ise her zaman sitozinle eşleşir. Eşleşmenin yönüne dair bir kural yoktur. Sarmalın bir zincirinde bu dört bazdan herhangi biri mevcut olabilir ancak diğer zincirinde bu baza mutlaka çifti karşılık gelecektir.


Hidrojen
Oksijen
Azot
Karbon
Fosfor
Timin
Adenin
Sitozin
Guanin

Genetik Kod

Dört DNA bazı olan adenin, guanin, sitozin ve timin genellikle her bazın baş harfiyle oluşturulan dört harflik bir kodla kısaltılır: AGCT (sitozin: cystosine). İnsan Genom Projesi, insan hücresinde bulunan DNA'daki kodun bu karakterlerden üç milyarın üzerinde barındırdığını gösterdi. Bu kod basılırsa yüz otuz ciltlik bir metin oluştururdu; her harf bir saniyede okunduğu takdirde tümünün okunması doksan beş yıl sürerdi ve bu kodun büyük çoğunluğunun anlamı bizim için hâlâ bir muamma.

Her bir DNA molekülü çift sarmal yapıda olduğu için, iki DNA ipliğinin birbiri etrafında kıvrılmasıyla oluşur. Her iplik AGCT alfabesinin kullanıldığı milyonlarca harf uzunluğunda bir kod taşır. Dahası, bir iplikteki koda her zaman onun "ayna görüntüsündeki" kod karşılık gelir. Ancak bu ipliklerden yalnızca biri hücresel süreçlerde kullanılan "canlı" genetik kodu taşır; işte bu zincire "anlamlı iplik", karşısındaki ipliğe ise "kalıp iplik" adı verilir.

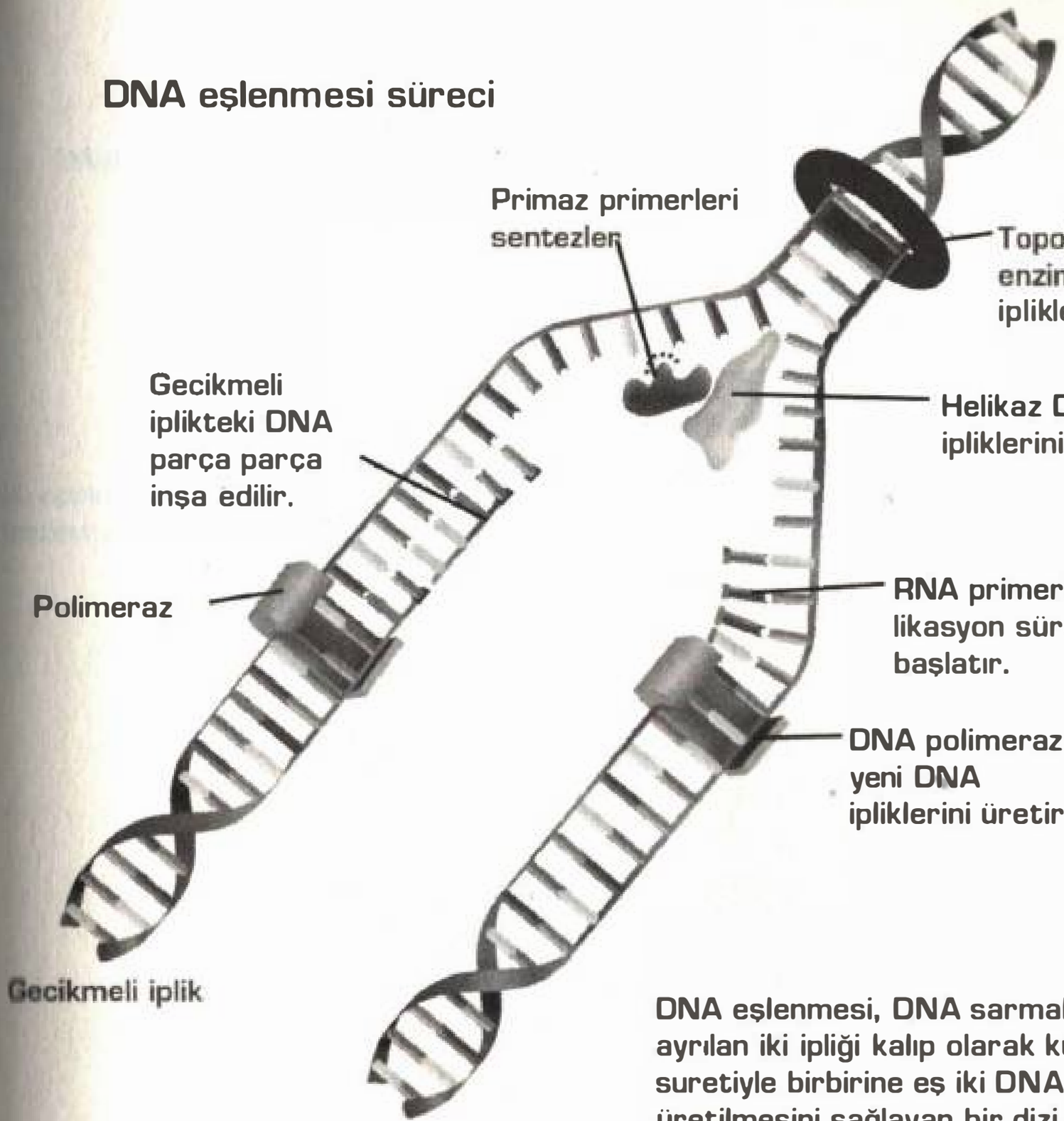

TCCCADTCCAGGATCCADTCCAGA
TCGGATCCADTCCAGGATCCADTC
DTCCATCGATCCADTCCAGGATCCA
CCADTCCATCGGATCCADTCCAGGA
AGGATCCADTCCATCGGATCCADTC
ADTCCAGGATCCADTCCATCGGATC
GATCCADTCCAGGATCCADTCCATC
ACGGGATCCADTCCAGGATCCADT
ADTCCACGGGATCCADTCCAGGAT
TCCADTCCACGGGATCCADTCAGG
CAGGATCCADTCCACGGGATCCAD
CADTCCAGGATCCADTCCACGGGA

Kendini-eşleme

Her hücre bölünmesi sırasında hücre çekirdeğindeki DNA'nın kopyalanması -ya da eşlenmesi- gerekir. Eşlenme (replikasyon) süreci DNA çift sarmalının bir zincirinin, eşi olan zincir için kalıp oluşturabileceği olgusundan faydalanır. Replikasyon, otokataliz olarak adlandırılan bir işlem aracılığıyla tamamen kimyasal yollarla gerçekleşebilir ancak hücre içinde gerçekleştiğinde, kopyanın aslına olabildiğince sadık üretilmesinin güvence altına alınması adına, enzimler tarafından yoğun bir şekilde kontrol edilir. Çift sarmal (bir fermuar gibi) açılarak iki ipliğe ayrılır. Bireysel bazlar her iki iplikte de açıkta kalan çiftleriyle eşleşir ve mevcut yerlerinin sabitlenmesi için yeni bir riboz omurga oluşturulur. Sonuç olarak birbirine eş iki çift sarmal meydana gelir ve "düzeltme okuması" yapan enzimler herhangi bir hatanın yapılmadığından emin olmak adına eşleşen çiftleri kontrol eder.

Kromozom düzeyinde bu süreç kromatitler olarak adlandırılan ve DNA'nın birbirine eş kopyalarını taşıyan iki yapının meydana gelmesiyle sonuçlanır. Kromatitler, sentromer adı verilen bir noktadan birbirlerine bağlıdır. Hücre bölünmesi sırasında birbirlerinden ayrılarak bağımsız birer kromozom haline gelir.

DNA eşlenmesi süreci

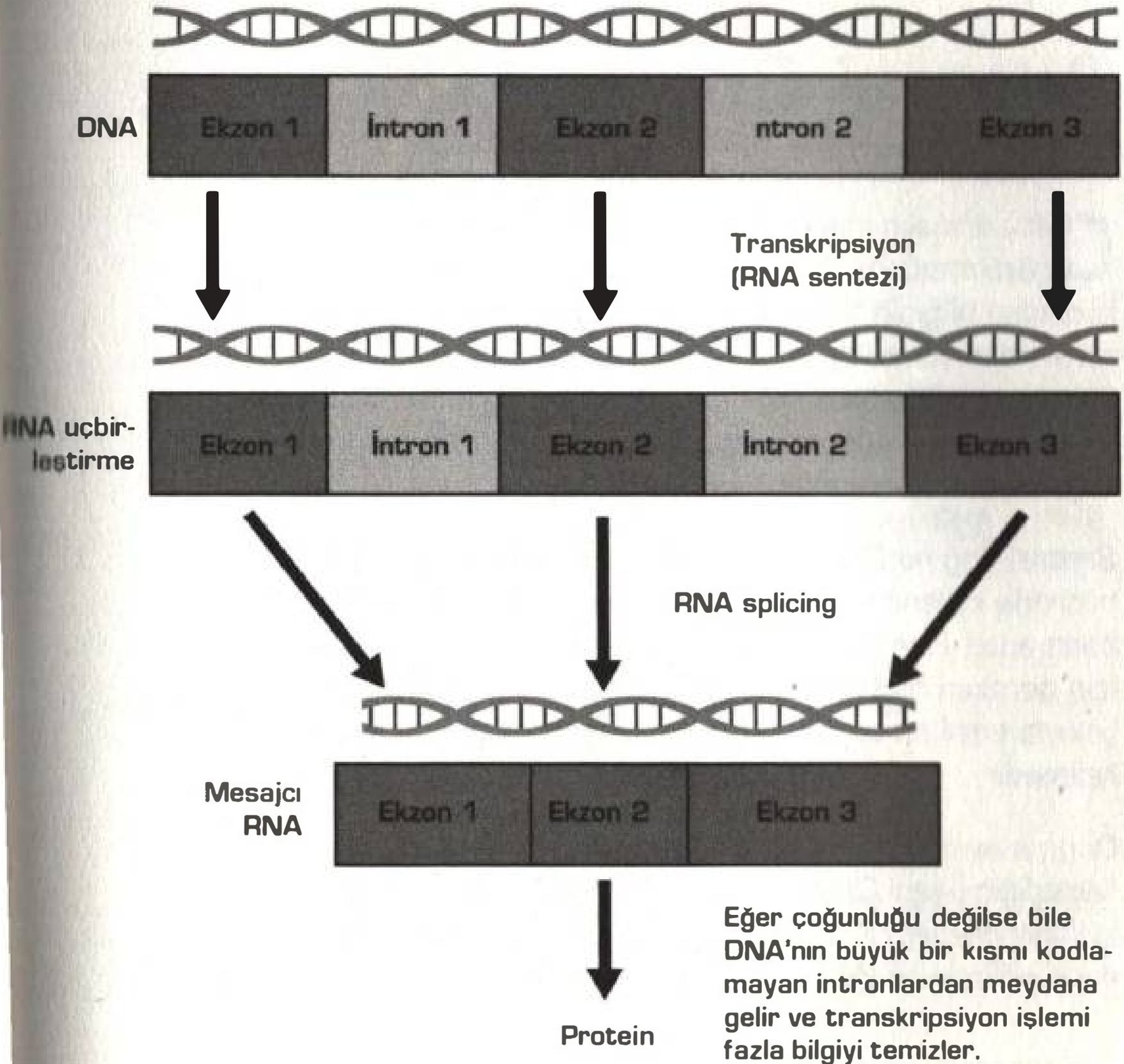


DNA eşlenmesi, DNA sarmalını açan ve ayrılan iki ipliği kalıp olarak kullanmak suretiyle birbirine eş iki DNA molekülü üretilmesini sağlayan bir dizi enzim tarafından yönetilir.

Çöp DNA

Replikasyon işlemine hücredeki tüm DNA dahil edilir. Ancak DNA'daki kodun hücre tarafından okunması gerektiğinde ipliğin yalnızca belirli kısımları kullanılır, kalan kısımlar göz ardı edilir. Çift sarmalın anlamlı bir kod ifade eden parçaları ekzon, kullanılmayan parçaları ise intron olarak adlandırılır.

Farklı uzunluklardaki intronlar DNA üzerinde ekzonların arasına dağılmış durumdadır. İntronlar genellikle işlevleri olmadığı ve orada bulunmalarının yegâne sebebinin hücrenin onları da aynı DNA'nın diğer kısımlarına yaptığı gibi orijinaline sadık kalarak kopyalaması olduğu düşünüldüğü için "çöp DNA" olarak isimlendirilir. Ancak tercih edilen bilimsel isim "kodlamayan DNA" olmalıdır çünkü bu kısımların işlevi halen tartışılmaktadır ve henüz bilgimiz dahilinde olmayan bir amaçları olabilir. En güncel tahminlere göre insan DNA'sının yüzde doksanı kodlamayan DNA formundadır. Bu oran bakteriler gibi daha basit organizmalarda çok daha yüksektir çünkü DNA'larının zar zor yüzde onu intronlardan oluşur. Bu durum intronların DNA karmaşıklaştıkça doğal olarak ortaya çıkan yapılar olduğunu gösteriyor olabilir.



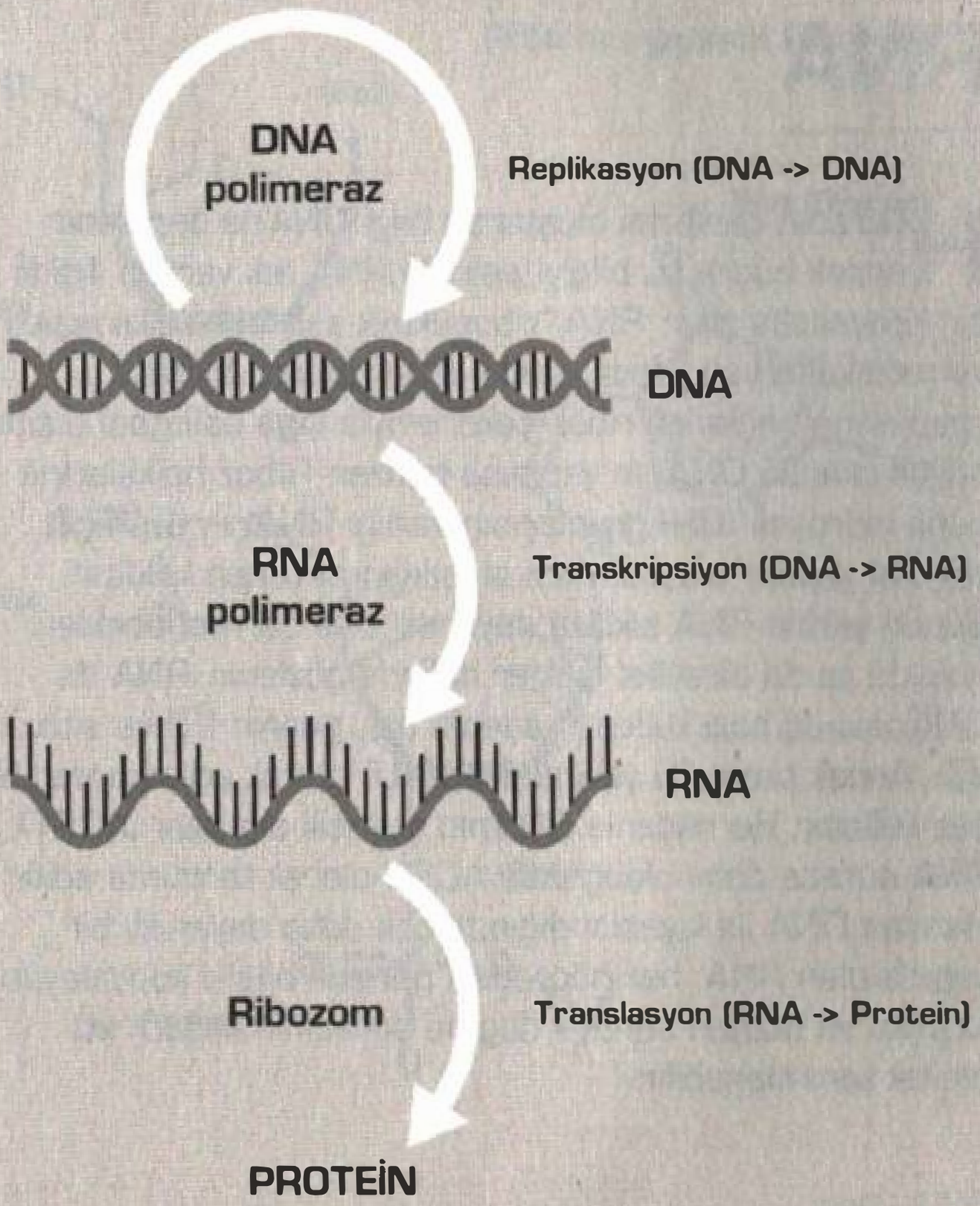
Eğer çoğunluğu değilse bile DNA'nın büyük bir kısmı kodlamayan intronlardan meydana gelir ve transkripsiyon işlemi fazla bilgiyi temizler.

Santral Dogma

Çift sarmalın keşfi, genetik kalıtımın gizemlerinin çözülmesinde ilk adımı teşkil ediyordu. DNA'da kodlanan bilginin hücrede nasıl deşifre edildiği ve hücre tarafından yönetildiği tümüyle ancak takip eden onlarca yıl boyunca çözülerek ortaya çıkarılabildi. Hayranlık uyandıran bu mekanizma günümüzde moleküler biyolojide "santral dogma" olarak adlandırılıyor.

Santral dogma DNA'nın sistron adı verilen ve canlı bir hücrede kullanılan belirli bir proteine karşılık gelen kısmını ifade eder. Her sistron tek bir tür proteinin üretilmesi için gereken bilgiyi içerir. Yani "sistron" ve "gen" kalıtım yoluyla edinilen bir birim bilgiye karşılık gelen anlamdaş iki kelimedir.

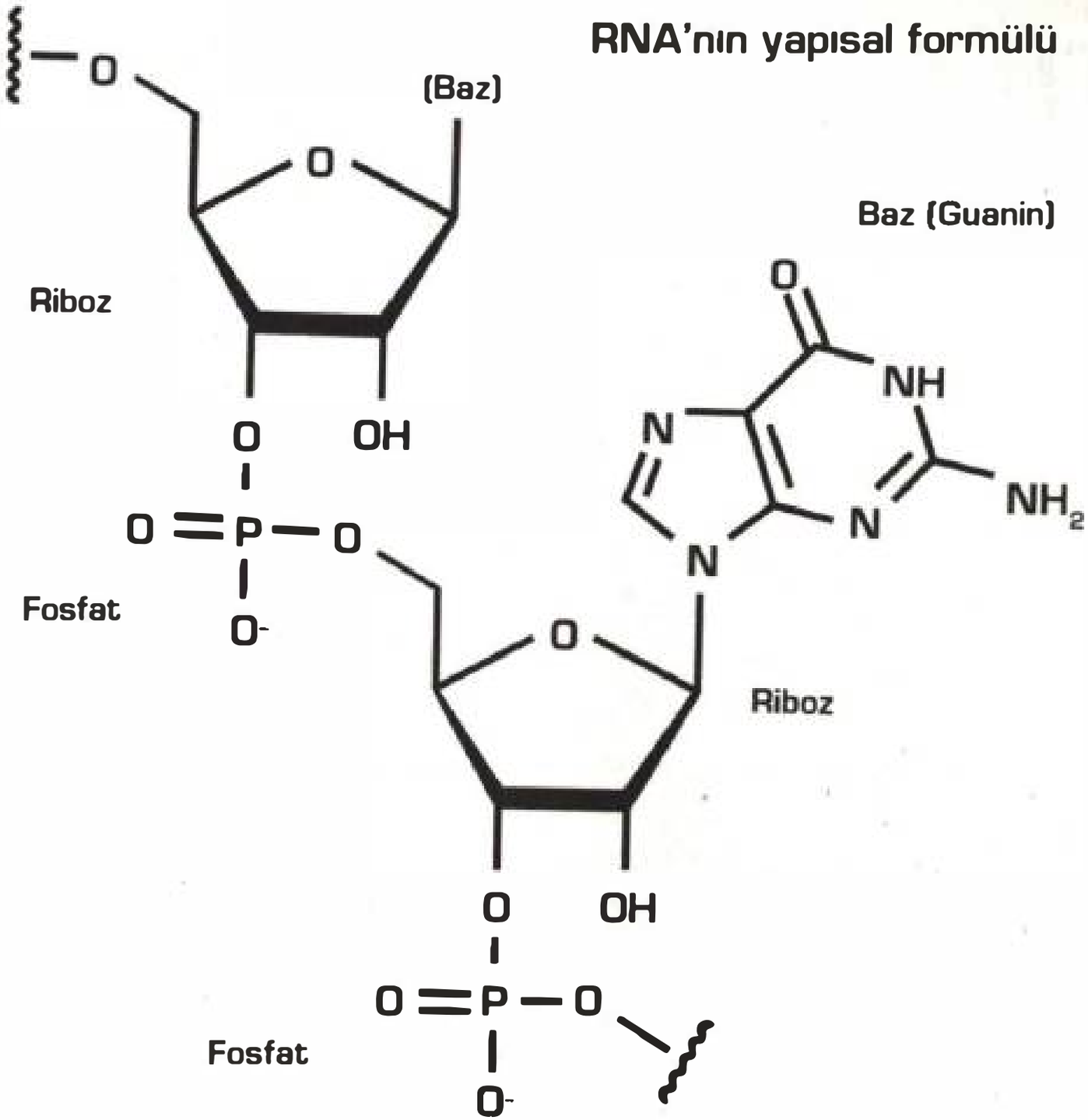
Dogma aynı zamanda sistrondaki bilginin yalnızca bir yönde ilerlediğini, yani DNA'daki kodun bir protein üretmek için kullanılabileceğini, ancak proteinin yeniden DNA kodu olarak ifade edilmeyeceğini de anlatır.


DNA
polimeraz
Replikasyon (DNA -> DNA)
DNA
RNA
polimeraz
Transkripsiyon (DNA -> RNA)
RNA
Ribozom
Translasyon (RNA -> Protein)
PROTEİN

RNA

Hücrenin genlerini oluşturan bilgi DNA'da depolanır ancak hücre bu bilgiyi aslında RNA adı verilen ilişkili bir kimyasalla okur. RNA "ribonükleik asit"in kısaltılmışıdır ve moleküllerinin yapısı, şeker omurgasının fosfat gruplarına bağlanan riboz şekerleriyle inşa edilmesi dışında büyük oranda DNA'nın yapısına benzer. Riboz halkalarına bağlı hidroksil (DH) gruplarının varlığı RNA'nın uzun çift sarmal yapılar oluşturması olasılığını ortadan kaldırır. Bunun yerine RNA sıklıkla dayanıklı kısa sarmal öbekleri halinde ya da bireysel iplikler halinde gözlenir. RNA da DNA'daki üç bazı kullanır: adenin (A), guanin (G) ve sitozin (C). Ancak timin (T) yerine urasil (U) olarak adlandırılan bir baz kullanır. Bu nedenle DNA'nın genetik alfabesi (ACGT), RNA sürece dahil olduğunda ACGU olarak tercüme edilir. Hassas DNA ile kıyaslandığında çok daha dayanıklı bir yapıda olan RNA, her hücredeki genetik bilgiyi kopyalayan, taşıyan ve okuyan santral dogma sürecinin koşum atı olarak tanımlanabilir.

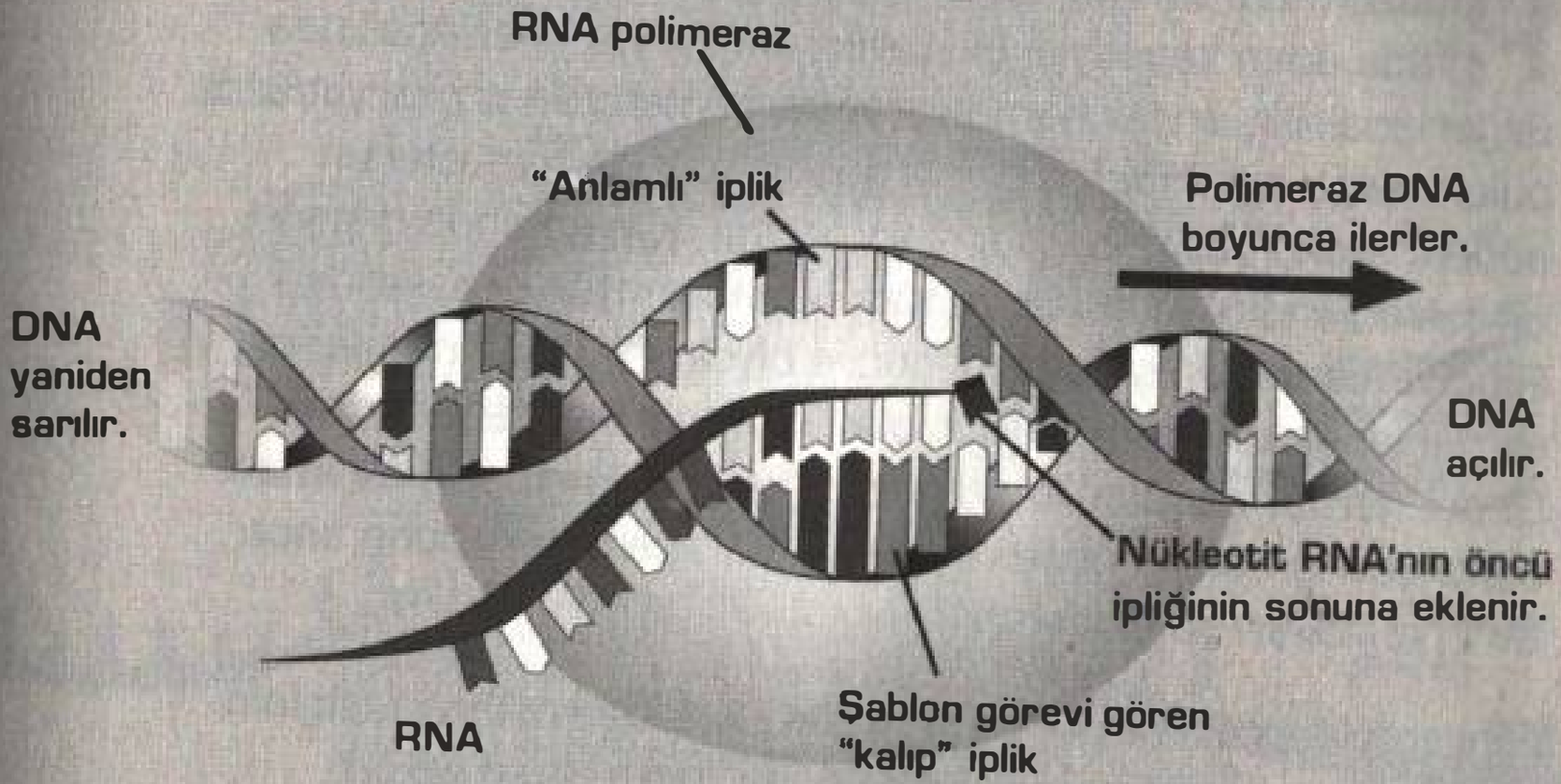
RNA'nın yapısal formülü



Transkripsiyon

Genler hücre çekirdeğinde saklanırken kodladıkları proteinler dışarıda, yani hücrenin sitoplazmasında, özellikle de ribozom olarak adlandırılan küçük organellerde toplanır. Bu nedenle genlerin çekirdekteki DNA'dan kopyalanmaları ve çekirdek dışına taşınmaları gerekir. Kopyalama işlemine transkripsiyon denir ve DNA sarmalının tamamen eşlenmesinden farklı olarak kopyalanmış tek bir RNA ipliği oluşturulur. Transkripsiyonun amacı, DNA sarmalının protein inşa edilmesi için gerekli bilgiyi taşıyan kısmı olan "anlamlı" ipliğinin bir kopyasının oluşturulmasıdır. Bu nedenle sarmal, bir fermuar gibi açılarak "kalıp" iplik üretilen RNA parçası için bir şablon olarak kullanılır.

Bu kopya gendeki ekzonlara ek olarak tüm intronları da içerir ve intronlar kırpılarak düzenlenmiş bir kopya meydana getirilir. Çekirdekte üretilen düzenlenmiş ipliğe "mesajcı RNA" (mRNA) adı verilir. Daha sonra bu RNA ribozoma olan yolculuğuna başlamak üzere çekirdek zarından dışarı taşınır.

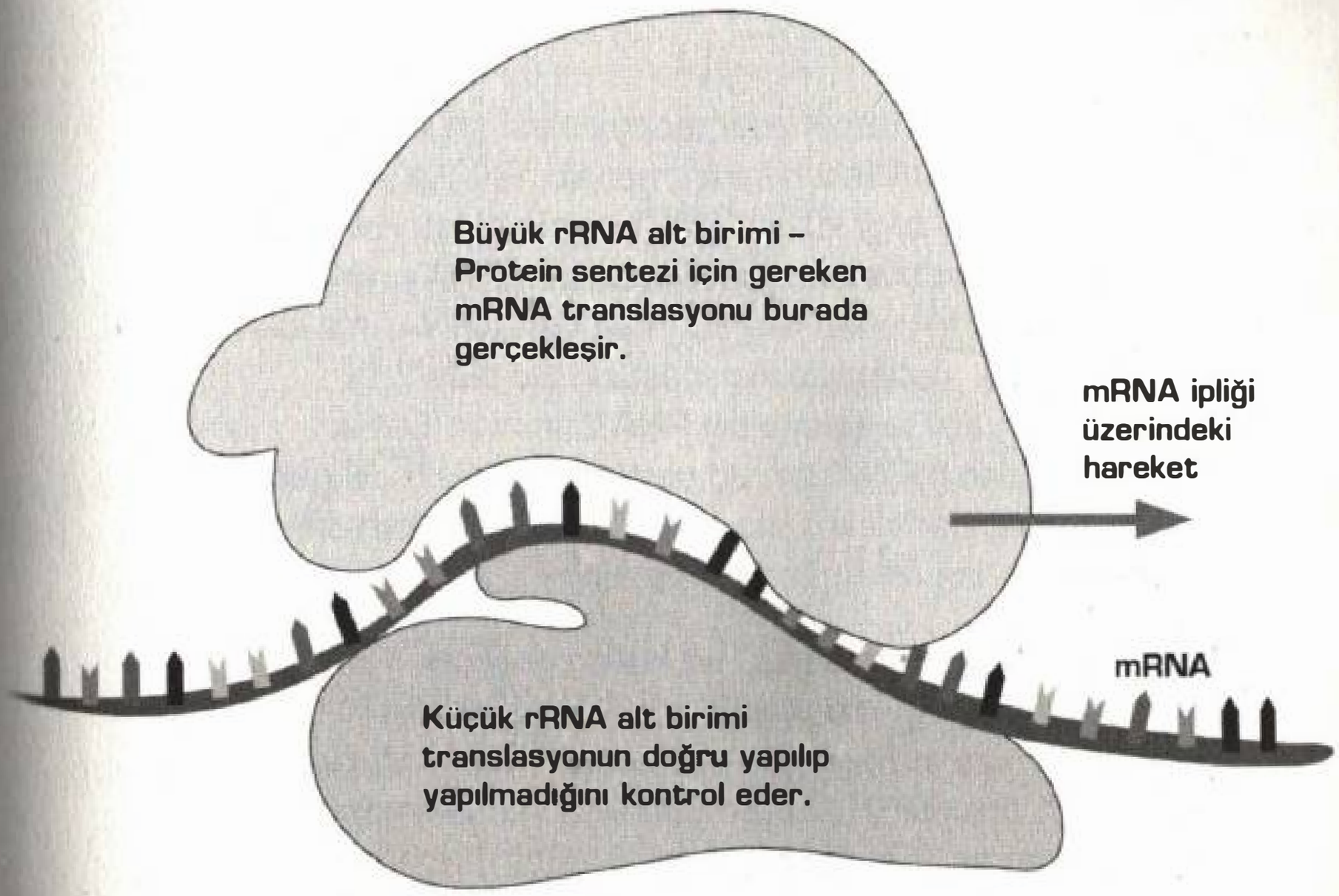

RNA polimeraz
"Anlamlı" iplik
Polimeraz DNA boyunca ilerler.
DNA yaniden sarılır.
DNA açılır.
Nükleotit RNA'nın öncü ipliğinin sonuna eklenir.
Şablon görevi gören "kalıp" iplik
RNA

Ribozom

Ribozom adı verilen küçük yapılar genellikle hücre araçlarını ifade eden kapsayıcı bir terim olan organeller arasında değerlendirilir, ancak hem ökaryotlarda hem de prokaryotlarda bulunmaları açısından diğer organellerden ayrılır. (Bunun nedeni prokaryotların, tanımları gereği bünyelerinde organel olarak adlandırılan büyük yapılar barındırmıyor olmalarıdır.) Ribozomların geniş dağılımı hücre biyolojisindeki önemlerine ve başlangıçtan beri mevcut olan niteliklerine işaret eder. Genel görüş, ribozomların ökaryot ve prokaryotların evrimsel olarak ayrışmasına neden olan önemli aşamadan daha önce evrimleştikleri yönündedir.

Ribozomlar, mRNA (mesajcı RNA) ipliğinde kodlanan bilginin okunduğu ve protein sentezlemek için kullanıldığı yerdir. Ribozomun kendisi de büyük oranda, işlevine uygun olarak rRNA ya da "ribozomal RNA" olarak adlandırılan başka bir RNA yapısından meydana gelir. Biri büyük biri küçük olmak üzere rRNA iki alt birim oluşturur. Her mRNA ipliği translasyon adı verilen okuma işlemi sırasında bu iki alt birimin arasından geçirilir.

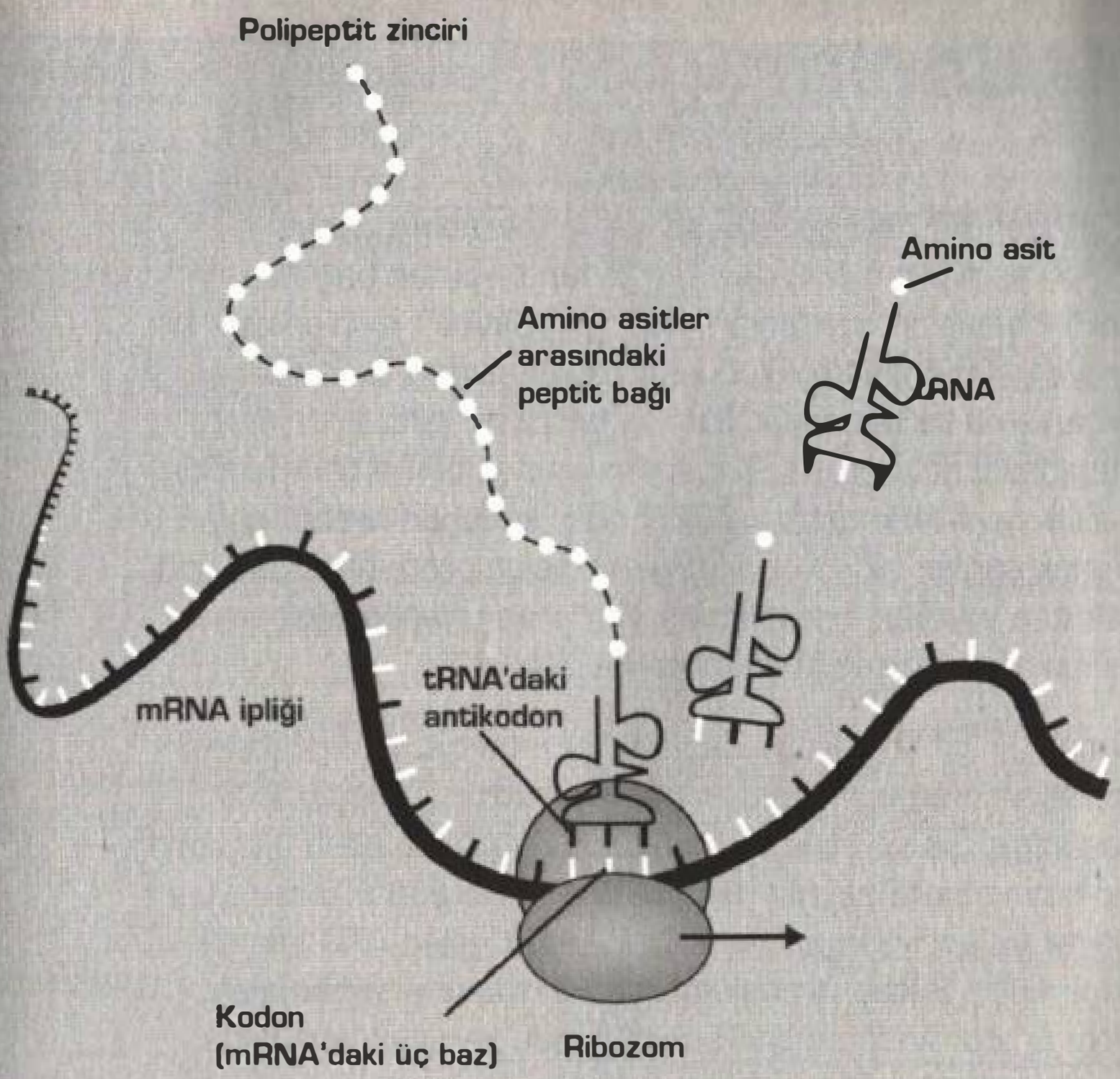
Ribozomun yapısı



Translasyon

Protein sentezi iki temel aşamadan oluşur: hücre çekirdeğinde DNA'daki bilginin mesajcı RNA'ya kopyalanması ve bu bilgi kullanılarak protein oluşturulmasını sağlayan işlem olan translasyon. Ribozom mRNA'yı yine başka bir RNA yapısı olan "taşıyıcı RNA"dan (tRNA) meydana gelmiş bir okuma sistemiyle karşılaştırır. Bu tRNA, bir ucunda üç bazın açıkta kaldığı bir RNA zinciridir. Bazlar ribozomda tutulan mRNA'daki üç partner baza karşılık gelir. mRNA'nın her üç harflik koduna kodon, tRNA'daki karşılık gelen üç harfine ise antikodon adı verilir.

mRNA ribozomdan her adımda bir kodon geçecek şekilde ilerler, böylece her bir kodonla birer tRNA eşleşebilir. tRNA'nın diğer ucunda protein molekülünün yapı taşı olan bir amino asit bulunur. Her kodon-antikodon eşlenmesi belirli bir amino asite karşılık gelir ve belli bir proteinin oluşturulabilmesi için gereken yüzlercesi arasında belirlenmiş bir yeri vardır. Protein, gendeki tüm kodonların doğru sırayla okunması sonucu bir araya getirilir.


Polipeptit zinciri
Amino asit
Amino asitler
arasındaki
peptit bağı
tRNA
mRNA ipliği
tRNA'daki
antikodon
Kodon
(mRNA'daki üç baz)
Ribozom

Kodonlar

Kodon bir nevi genetik dünya ile metabolik dünya arasındaki arayüzdür. Bir kodon birbirine bağlı üç harflik basit bir baz zinciri iken, gen belli bir sıralamayla bir araya gelmiş olan bir kodonlar topluluğudur. Bu sıralama, organizma tarafından kullanılan belirli bir proteinin altyapısını oluşturacak bir amino asit zincirine çevrilir. Dört harflik genetik kod altmış dört olası kodonun üretilmesine olanak sağlar (4^3). Ancak organizmalar protein sentezi için yalnızca yirmi üç çeşit amino asit üretir, yani birçok amino asit birden fazla kodonla temsil edilir.

Ancak bir genin nerede başlayıp nerede bittiğini gösteren işaretleme amaçlı kodonlar da mevcuttur. Örneğin ATG başlangıç (ya da start) kodonudur. Onu takip eden her kodon bir amino asite çevrilir. (Bu durum, takip eden ve metiyonin olarak adlandırılan amino asite karşılık gelen ATG için de geçerlidir.) Süreç, translasyonun durmasına sebep olan olası üç dur kodonundan biriyle gende karşılaşılana kadar devam eder.

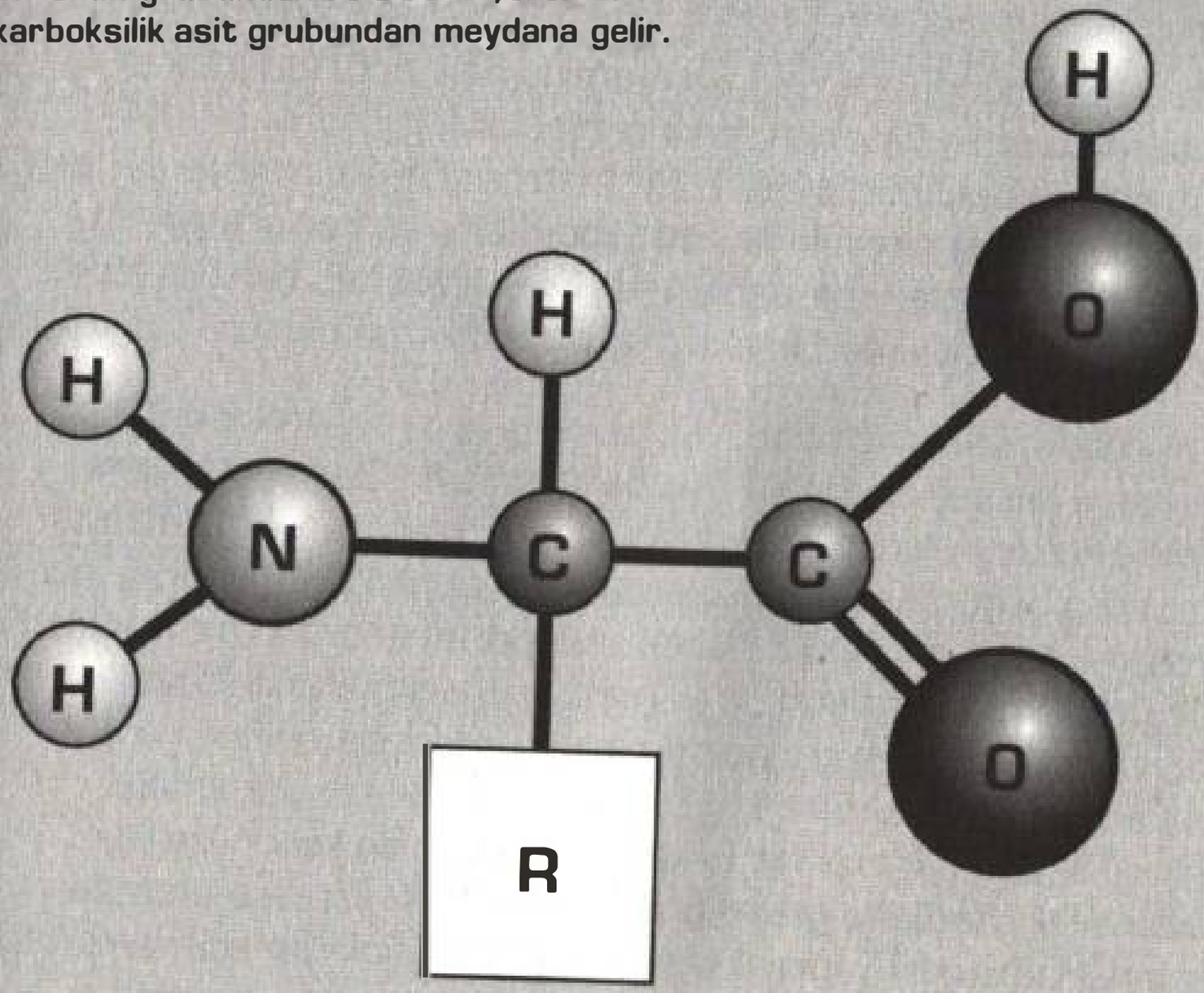
Kodonlar	Kodlanılan	Kodonlar	Kodlanılan
ATG	START	TTA, TTG, CTT, CTC, CTA, CTG	Lösin
GCT, GCC, GCA,GCG	Alanin	AAA, AAG	Lizin
CGT, CGC, CGA, CGG, AGA, AGG	Arginin	ATG	Metiyonin
AAT, AAC	Asparagin	TTT, TTC	Fenilalanin
GAT, GAC	Aspartik asit	CCT, CCC, CCA, CCG	Prolin
TGT, TGC	Sistein	TCT, TCC, TCA, TCG, AGT, AGC	Serin
CAA, CAG	Glutamin	ACT, ACC, ACA, ACG	Treonin
GAA, GAG	Glutamik asit	TGG	Triptofan
GGT, GGC, GGA, GGG	Glisin	TAT, TAC	Tirozin
CAT, CAC	Histidin	GTT, GTC, GTA, GTG	Valin
ATT, ATC, ATA	İzolösin	TAA, TGA, TAG	DUR

Amino Asit

Amino asitlere proteinlerin yapı taşları dendiğini sıkça duymuşsunuzdur. Bu bir dereceye kadar doğru olsa da, aslında beş yüzün üstünde amino asitten yalnızca yirmi üçü bu amaçla kullanılmaktadır. (Bunların azımsanamayacak bir miktarı proteinlerle bağlantısız metabolik rollere sahiptir.) Basitçe ifade etmek gerekirse, amino asitler organik (karbon bazlı) bir kimyasallar grubunu teşkil eder. Her biri, sirke ve limon suyunu da asitlendiren grup olan bir karboksilik asit grubu ve azot (nitrojen) içeren bir amin grubu bulundurur.

Azot içeriği son derece önemli bir unsurdur. Havanın neredeyse yüzde seksenini oluşturan azot biyosferde oldukça yaygın görülen bir elementtir. Ancak hayvanlar serbest hidrojene doğrudan erişim sağlayamaz, bunun yerine başka organizmaların bedenlerini tüketerek protein inşa etmelerini sağlayacak aminleri elde eder. Bitkilerse topraktaki azotlu bileşikleri kullanarak amino asit üretebilir. (Çiftçiler bu nedenle gübre kullanır.) Yine de bitkiler dahi atmosferdeki azot gazını nitrat formunda elde edebilmek için onu "bağlayacak" bakterilerden medet ummak zorundadır.

Tüm amino asitler, herhangi bir boy ya da şekilde olabilecek karbonlu bir molekül olan R grubuna bağlanan NH_2 içeren bir amin grubundan ve COOH içeren bir karboksilik asit grubundan meydana gelir.



Protein

İnsan vücudunda, her biri uzun amino asit zincirlerinden inşa edilenyüz binin üzerinde farklı protein kullanılır. Tek bir amino asit zincirine polipeptit denir. Bir sistron (DNA birimi ya da "gen") bir polipeptit zincirini ifade eden kodu taşır ve her protein en az bir polipeptitten meydana gelir. Birçok protein her biri farklı sistronlarda kodlanan iki ya da üç polipeptitten oluşur.

Bir protein, yapısında dört yüz ila yirmi yedi bin arasındaki herhangi bir sayıda amino asit barındırabilir. Bu boyutlardaki moleküllerde bulunabilecek farklı asit permütasyonlarının sayısı limitsiz gibi görünse de, genlerdeki hassas kodlanma sırası her proteine eşsiz bir şekil kazandırarak proteine özgün bir metabolik rol atar. Amino asitlerin sıralaması proteinin birincil (primer) yapısını teşkil ederken zincirin çeşitli yerlerinde bulunan amino asitler arasında kurulan bağlar nedeniyle oluşan bükülmeler proteinin ikincil (sekonder) yapısını, bu yapının kendi üzerine katlanarak meydana getirdiği daha karmaşık yapı ise proteinin üçüncül (tersiyer) yapısını teşkil eder. Proteinin birincil yapısındaki tek bir değişiklik yeni bir ikincil ve üçüncül yapı oluşturarak oldukça farklı bir molekülün ortaya çıkmasına sebep olur.

Proteinin yapısı

Bir proteinin yapısı en azından üç seviyede anlaşılmalıdır. Bu yapılar bir arada her proteine sahip olduğu eşsiz şekli kazandırır.



Amino asit

Birincil protein yapısı bir amino asit zinciridir.

İkincil protein yapısı amino asit dizisinin kendi arasında hidrojen bağı kurmasıyla oluşur.

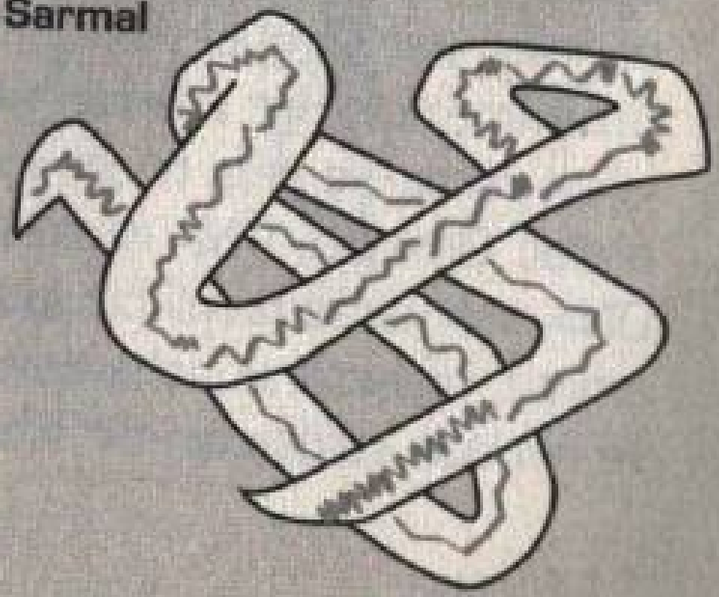


Pileli tabaka



Sarmal

Üçüncül protein yapısı alfa sarmallar ve pileli tabakalar arasında belirli etkileşimlerin oluşması sonucu ortaya çıkar.



Enzim

Proteinlerin etle ve özellikle kasla anlamdaş düşünülmesi sık rastlanan bir durumdur. Kasların kasılmasının eşleşmiş protein moleküllerinin birbirini itmesiyle meydana geldiği her ne kadar bir anlamda doğru olsa da, protein hayvan vücudunun tamamında yapısal rollere sahiptir. Bunun başlıca örneği, derinin temel katmanını ve vücudu bir arada tutan diğer bağ dokuları meydana getiren kolajendir.

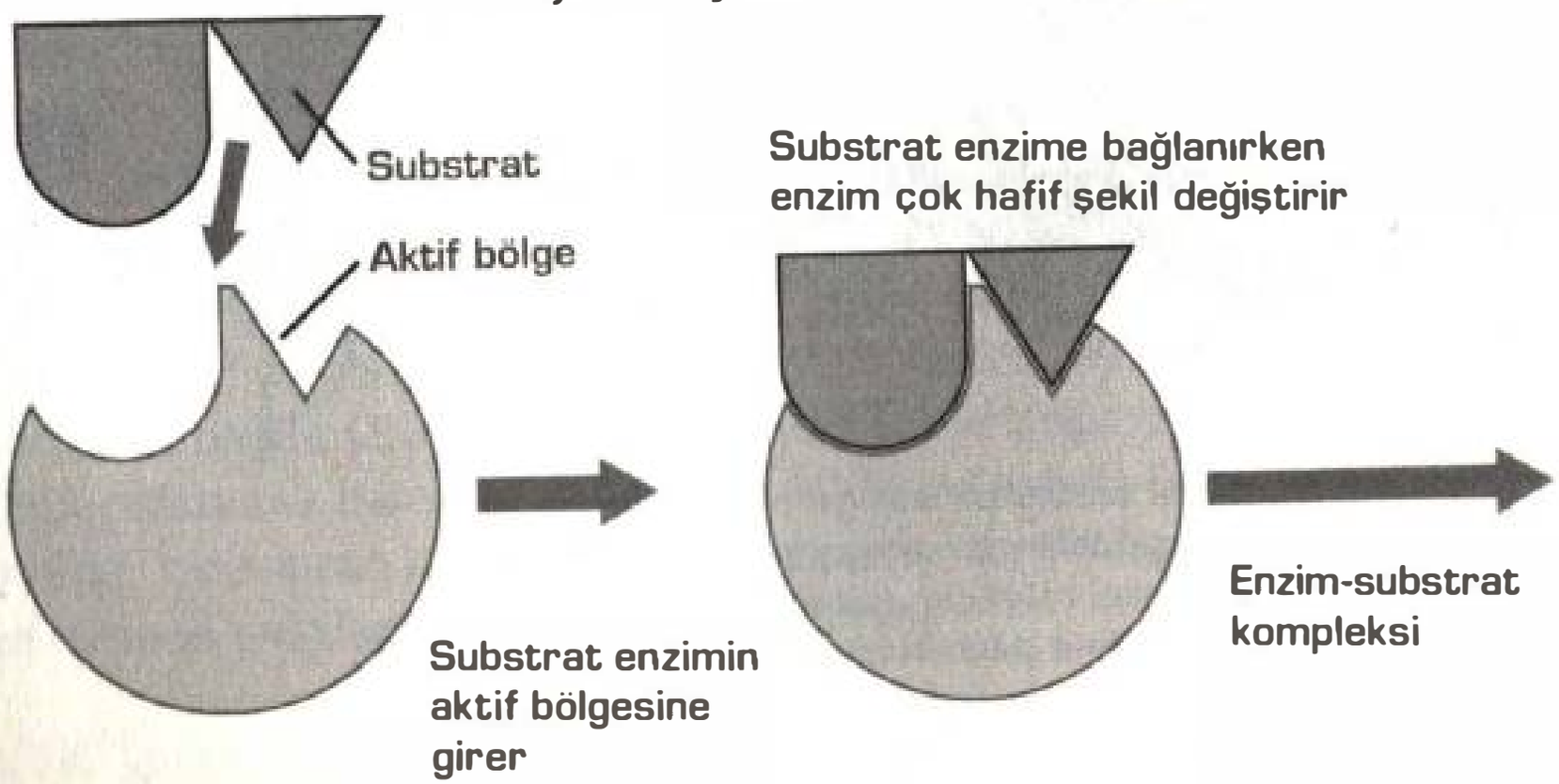
Ancak proteinlerin çoğu enzim olarak işlev gösterir. Enzimler, organizmanın canlılığının sürdürülebilmesi için gerekli olan birçok kimyasal reaksiyonu kolaylaştırmaları nedeniyle kimyasal katalizörlerin biyolojik karşılığı olarak görülebilir. Bu reaksiyonlarda derinlemesine rol almalarına rağmen reaksiyon sırasında tüketilmezler. Her enzimin şeklinden kaynaklanan belirli bir dizi işlevi vardır ve hem hücre içinde hem de hücre dışında görev alırlar. Örneğin, DNA replikasyonu hücre çekirdeğinde yer alan DNA polimeraz isimli bir enzim tarafından yönetilir. Buna karşılık amilaz, nişastanın daha basit şekerlere ayrıştırılması için ağızda ve midede salgılanan bir sindirim enzimidir.



Bir enzimin işlevi şeklinden ileri gelir. Katlanmış molekül diğer maddeleri bir araya getirerek başka türlü gerçekleşmesi mümkün olmayacak bir şekilde birbirleriyle etkileşime geçmelerini sağlar.

Anahtar-kilit Teorisi

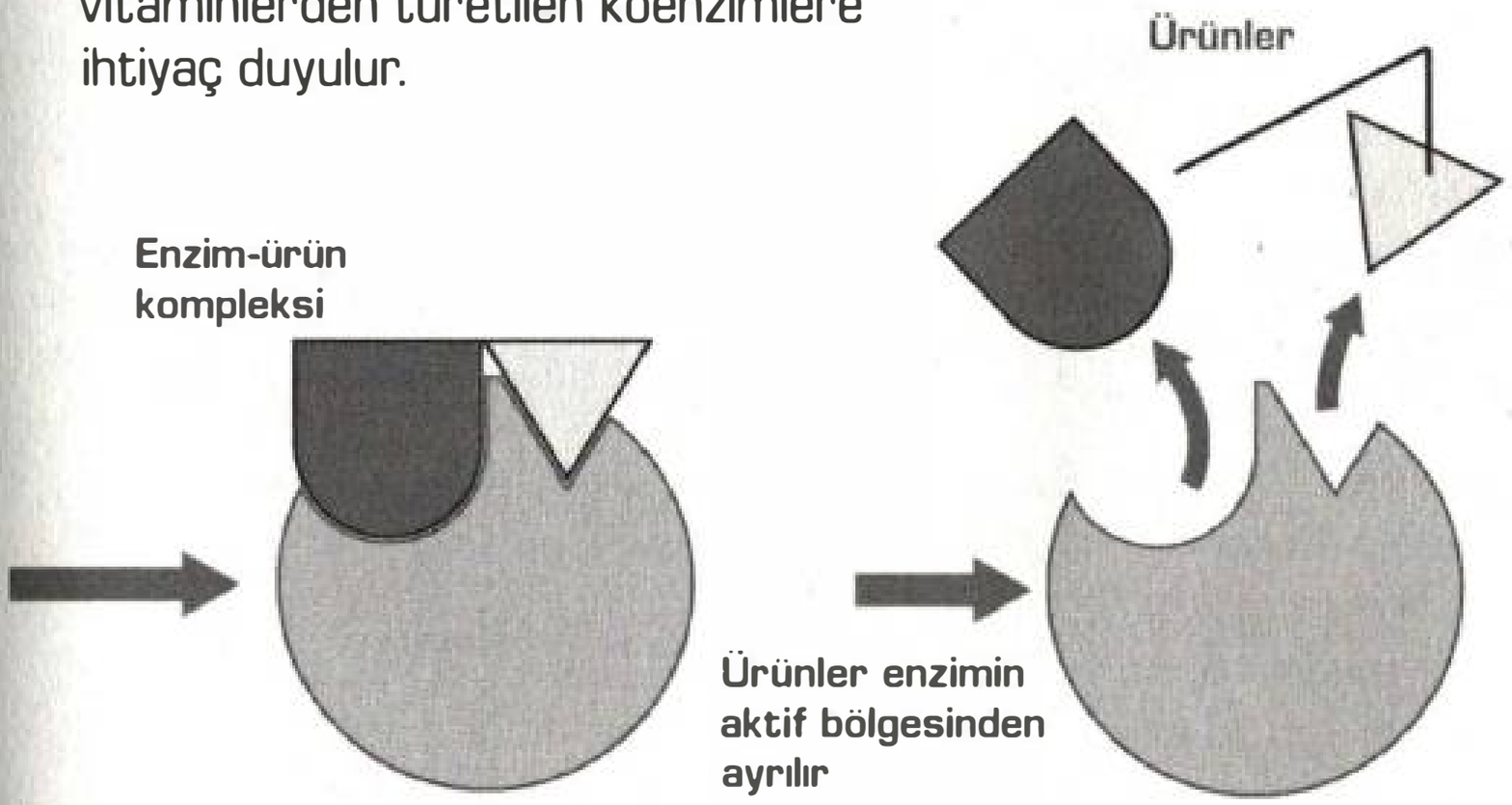
Bir enzim, substrat adı verilen belirli hedef moleküller üzerinde etki gösterir. Substrat, enzim faaliyeti sonucu parçalanan bir molekül olabilirken, faaliyet sonucu birleştirilen iki ya da daha fazla molekülü de ifade edebilir. Enzim, reaksiyonun spontane başlaması için gereken enerji çok yüksek olacağı için, substratların başka türlü gerçekleşmesi mümkün olmayan reaksiyonlara girmesini mümkün kılar. Yani bir enzim substratları öyle bir şekilde manipüle eder ki, bu



enerji engeli ortadan kalkar. Bunun nasıl gerçekleştiğine dair üretilmiş en iyi tahmin "anahtar-kilit teorisi"dir.

Bu modelde enzim "kilit" görevi görür, yani substratla bağlanmasını sağlayan özel bir şekle sahip olan aktif bir bölgesi vardır. Substrat bu aktif bölgeye tam olarak uyan "anahtar"dır.

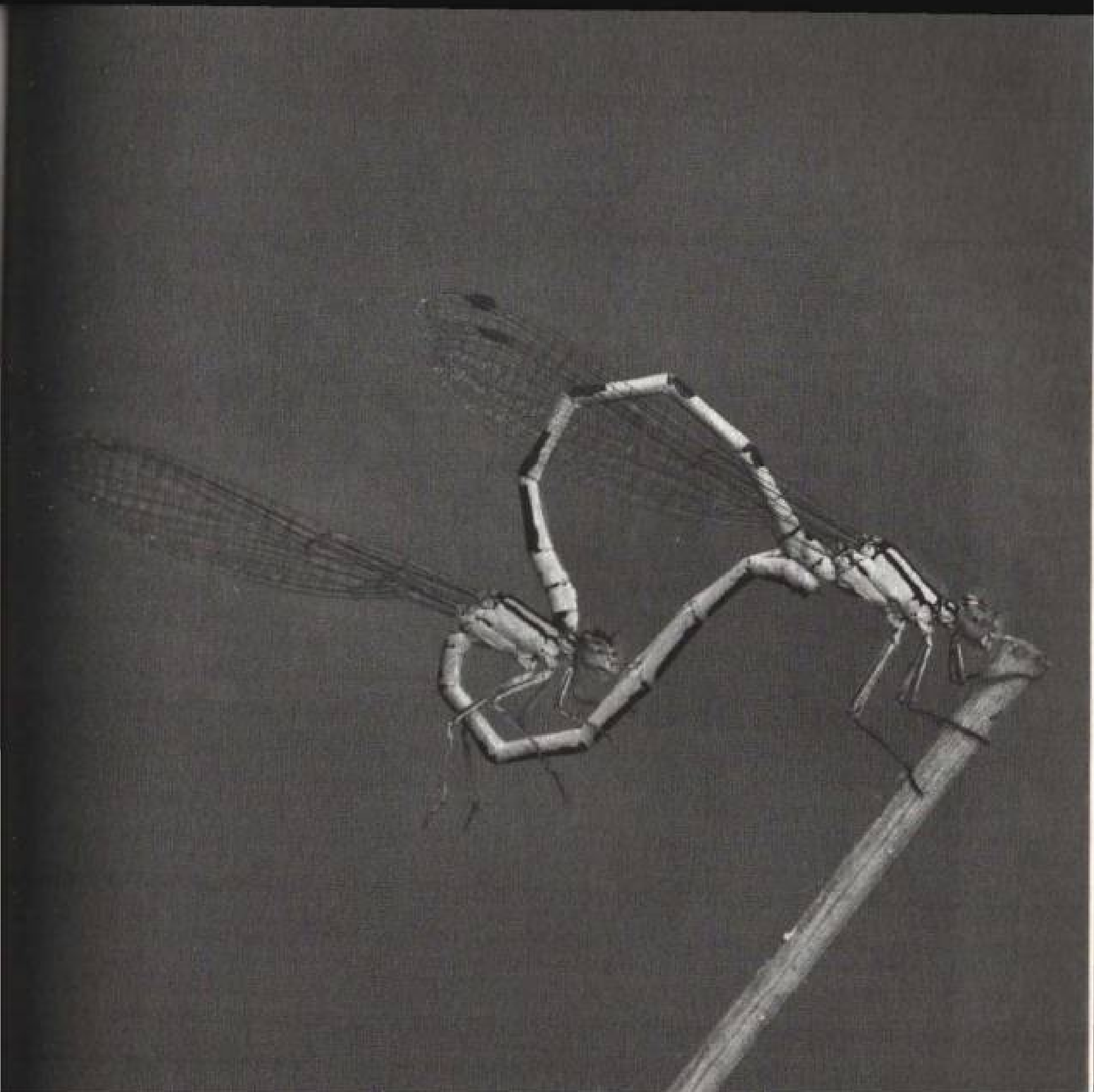
İç içe geçtiklerinde, enzim substrattaki bazı bölgeleri birbirinden uzaklaştırarak belirli bağları zayıflatırken bazı bölgeleri de yakınlaştırarak reaksiyonun gerçekleşmesini sağlayabilmektedir. Sıkça enzimin tam olarak işlev gösterebilmesi için katılımcı moleküllere ya da genellikle vitaminlerden türetilen koenzimlere ihtiyaç duyulur.



Eşey

Dünya'daki yaşam için önemini, örneğin tüm insanların kelimenin tam anlamıyla bu şekilde meydana geldiği gerçeğini göz önünde bulundurduğumuzda, eşeyli üremenin halen bir nevi muamma olarak kaldığını söyleyebiliriz. Bitkilerin ve hayvanların büyük çoğunluğunun yavrularını üretmek için faydalandığı eşeyli üremenin ilk bakışta fark edilen avantajları ortada: eşeyli üreme ile meydana gelen yavrunun her iki ebeveynden de kalıtım yoluyla edindiği genlerin bir karışımına sahip olması. Eğer partnerler akıllıca seçilirse, daha zayıf genler daha güçlüleriyle eşleşebilir ve hayatta kalma şansının artmasını sağlayan etkin bir çeşitlilik üretilebilir. Ancak böyle bir sistemin tam olarak nasıl evrimleştiği bilgisi esrarını koruyor. İlk eşeyli organizmalara, tüm genlerini her nesle aktaran ve çoğalmak için eş bulmak zorunda olmayan soyu tükenmiş eşeysiz üreyen canlıların üstünlük sağlaması işten bile değil gibi görünüyor.

Buna rağmen günümüzde eşeyli üreme hayvanlar ve bitkiler arasındaki en baskın stratejiyi teşkil ediyor. Bu durum, yaşam formlarının büyük bir çoğunluğunun iki tipe (ya da iki cinsiyete) ayrıldığı anlamına da geliyor: dişi ve erkek. Eşeyli üremede yavru üretilmesi için iki tipin/cinsiyetin birlikte çalışması gerekiyor.

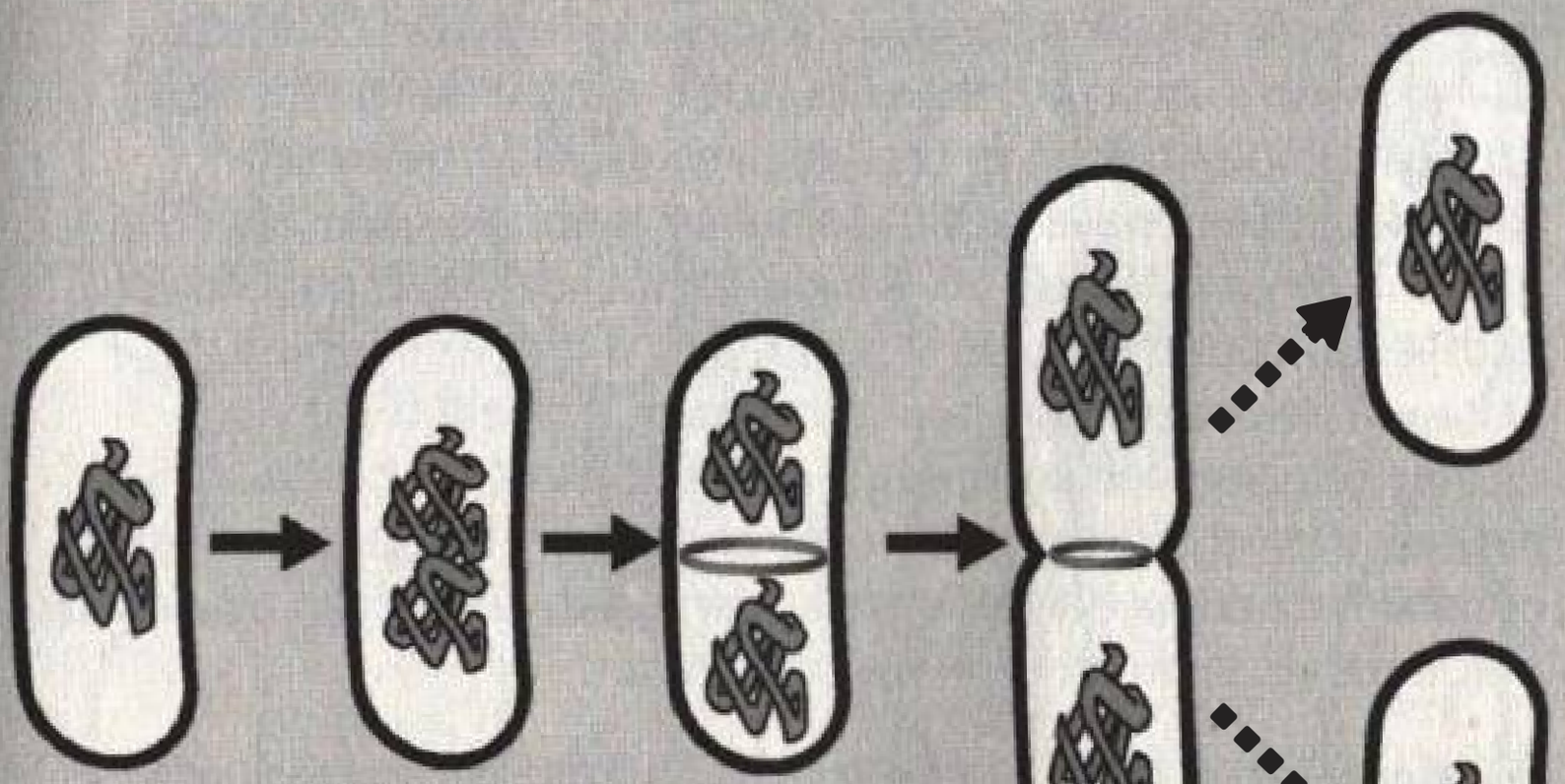


Bölünerek Çoğalma

Eşeyli üreme ortaya çıkmadan önce tüm yaşam formları eşeysiz çoğalıyordu. Bu, tüm yavruların bir ebeveynden geldiği ve tüm bireylerin kendilerini çoğaltma yetisine sahip olduğu anlamına gelir. Eşeysiz üreme, çabuk ve etkin olmanın yanı sıra tek bir bireyin boş bir yaşam alanını doldurabilmesine de izin verir. Eşeysiz üremenin en basit şekli bölünerek çoğalmadır ya da daha basitçe ifade etmek istersek, ikiye bölünmedir.

Yalnızca tek hücreli canlılar bölünerek üreyebilir. Bu yöntem tüm bakterilere ve diğer prokaryotlara ek olarak birçok tek hücreli ökaryot tarafından da kullanılır. Süreç mitoz benzeri bir hücre bölünmesini içerir (bkz. s. 76). Organizmanın genetik malzemesi kopyalanır, hücrenin hacmi iki katına çıkar ve hücre bölünerek iki yeni hücre meydana getirir. Bu aşamada artık ebeveyn ve yavru hücre kavramı ortadan kalkar. Bir hücre orijinal hücre olarak tanımlanabilir ancak genel hatlarıyla, ebeveyn hücrenin iki yavru hücre meydana getirdiği söylenebilir. İdeal koşullarda bir bakteri her yirmi dakikada bir bölünme gerçekleştirebilir, yani bir hücre yirmi dört saatte beş sekstilyon ($5x10^{21}$) hücre meydana getirebilir.

Bölünerek çoğalma üremenin en basit şeklidir ve tek hücreli canlılar tarafından ikiye bölünerek birbirinin eşi iki kopya oluşturmak suretiyle sayıca artmak için kullanılır.



Hücrenin merkezinde yer alan DNA

DNA kendini eşler.

DNA hücrenin iki ucuna göç eder; proteinlerden meydana gelen halka merkezde kalmaya devam eder.

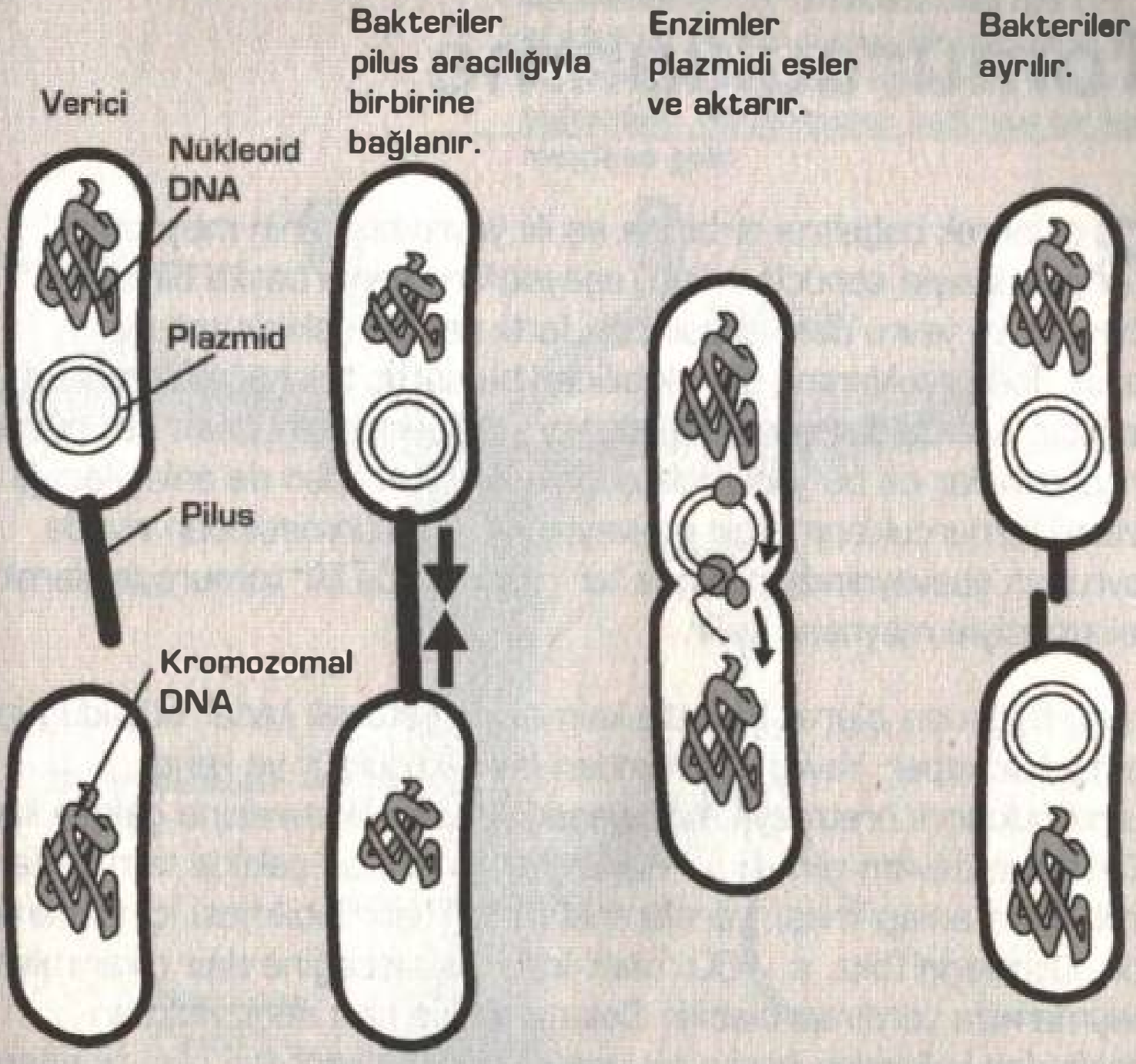
Protein halkası daralarak zarı ve hücre çeperini içe doğru çeker.

Hücre ikiye bölünür.

Konjugasyon

Bölünerek çoğalma sonucu meydana gelen yavru hücreler ebeveyn hücrenin genlerinin yüzde yüzüne sahip oldukları için, bakteriden bakteriye ortaya çıkan çeşitlilik minimum düzeydedir. Bir kefeye hızlı çoğalmanın avantajları konulacaksa, diğerine de çeşitlilikteki bu eksiklik konmalıdır. Eğer popülasyon üstel artış gösterebiliyorsa, popülasyona gerçekleştirilen her saldırıda da benzer oranların söz konusu olacağı toplu yok oluşlar gözlemlenebilir, ziraeğer bir tehdit unsuru bir bakteriyi öldürebiliyorsa diğerlerini de öldürebilecektir. Bu sorunla başa çıkılabilmesi adına bakterilerde konjugasyon adı verilen bir genetik malzeme aktarımı yöntemi evrimleşmiştir.

Bu işlemde alıcı bakteriye DNA aktaran verici bir bakteri mevcuttur. Verici bakterinin genomunun yalnızca küçük bir kısmı, plazmid ya da DNA halkası formunda, alıcıya aktarılır. Verici bakteri alıcıya hücre zarında bulunan ve geçici bir bağlantı kurmaları için iki hücreyi birbirine çeken, pilus isimli kıl benzeri bir uzantıyla tutunur. Konjugasyon yalnızca eğer alıcıda benzer bir plazmid yoksa gerçekleşir. Bu durum, genlerin her konjugasyon sonucunda yayılacağının kesinleştirilmesini sağlar.



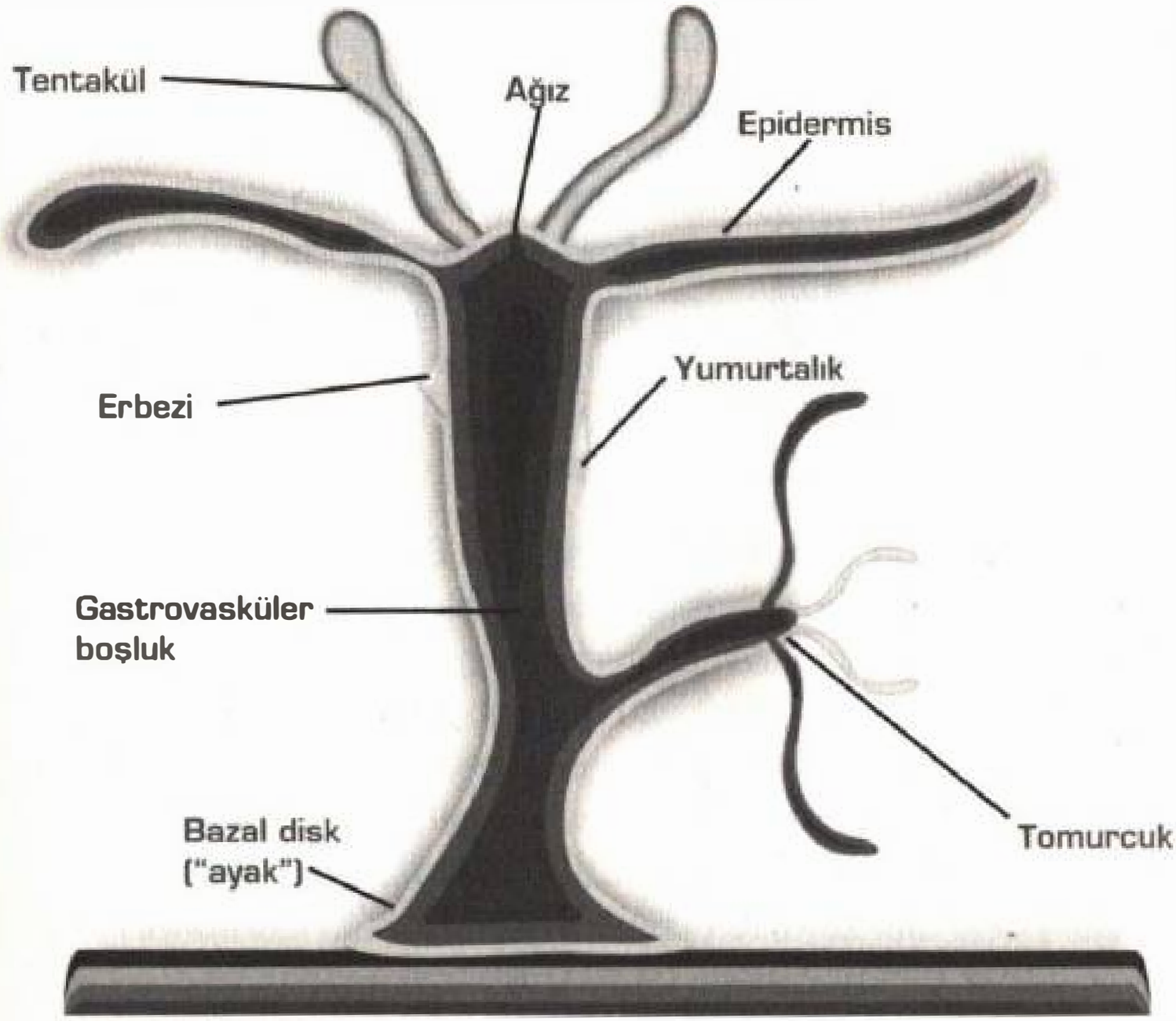
Konjugasyon kimi zaman bakteriyel eşeyli üreme olarak da adlandırılabilir. Süreç küçük bir DNA halkasının bir hücreden akraba olmayan başka bir komşu hücreye aktarılmasını içerir.

Tomurcuklanma

Bölünerek çoğalma birbirine eş iki yavru hücrenin meydana gelmesiyle sonuçlanırken, eşeysiz üremenin başka bir türü ebeveyn ve yavru canlı arasındaki farkı net bir şekilde ortaya koyar. Tomurcuklanma olarak bilinen bu süreç tek hücrelilere özgü değildir. Mercanlar, yassı solucanlar, süngerler gibi basit çok hücreli organizmalar da bu yöntemle çoğalabilir. İsminden de anlaşılacağı üzere, tomurcuklanma bir ebeveynin ikiye bölünmesinden ziyade yavrunun ebeveynin bedeninde bir çıkıntı ya da bir tomurcuk olarak gelişmesiyle meydana gelir.

Yavru bağımsız olarak hayatta kalmasına yetecek kadar büyüdüğünde tomurcuk kopar. Yavru ebeveynden daha küçüktür ve kendi tomurcuklarını üretmeye başlayacağı yetişkinlik evresine gelene kadar büyümeye devam etmelidir. Hayvanların nasıl bu şekilde tam bedenler ürettiğinin anlaşılması, yaralanmaların iyileştirilebilmesi için insanlardaki kök hücrelerin (bkz. s. 400) nasıl kullanılabileceğine dair çıkarımlara ulaşmamıza yardımcı olabilir. Solucanlar ve bazı denizyıldızları tarafından kullanılan başka bir eşeysiz üreme yöntemi olan rejenerasyon (yenilenme) ile üremede birkaç parçaya ayrılan ebeveyn canlının her parçası büyüyerek tam birer beden meydana getirir.

Denizanasının bir akrabası olan hidroid, büyüyerek ve vücudunun bir parçasını ya da tomurcuğunu suya bırakarak kolayca çoğalabilir. Bu parçadan bağımsız bir birey meydana gelir.

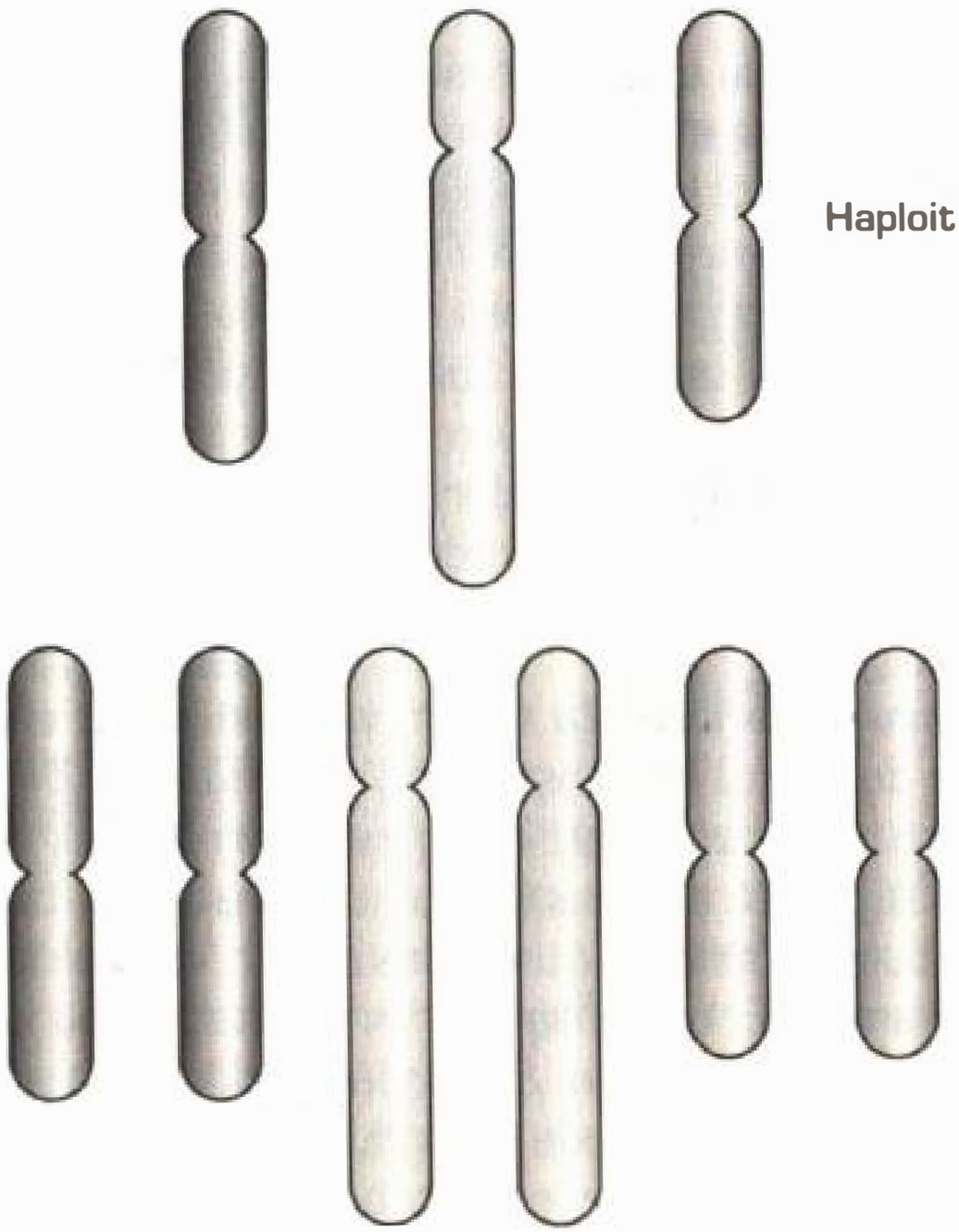


Ploitlik

Eşeysiz üreme tüm genetik materyalin bir sonraki nesle aktarılmak üzere çoğaltılmasından ibarettir. Eşeyli üreme ise yavrunun her iki ebeveynden de genetik materyal almasını gerektirir. Mendel'in Bağımsız Dağılım Yasası tüm alellerin birbirinden bağımsız olarak aktarıldığını belirtir. Bu durum dişi ebeveynin alellerin yarısını, erkek ebeveynin de alellerin diğer yarısını aktardığı fikrini olanak dışı kılar. Bunun yerine, her iki cinsten ebeveynden de birer tam alel seti temin eden yavrunun hücrelerinde bir çift alel seti bulunur.

Bu kavram "ploitlik" prensibi ile özetlenir. Eşeysiz üreyen bir canlı monoploittir, yani hücrelerinde bir alel seti mevcuttur. Eşeyli üreyen organizmalar diploittir ve çifter alel setine sahiptir ancak eşeyli üreme sırasında bu çift set yeniden ayrı birer sete ayrılır. Ayrışmanın sonucu olarak yalnızca bir alel seti bulunduran eşey hücreleri, yani gametler meydana gelir. Kimi zaman kafa karışıklığına sebep olsa da, gametler bazen bir canlının diğer hücrelerindeki alel sayısının (diploit) yarısını bulundurdukları için haploit olarak tanımlanırlar.

Haploit sayısı bir tam alel setindeki kromozom sayısına karşılık gelir. Vücuttaki hücrelerin çoğu diploittir, yani iki tam kromozom seti içerirler.



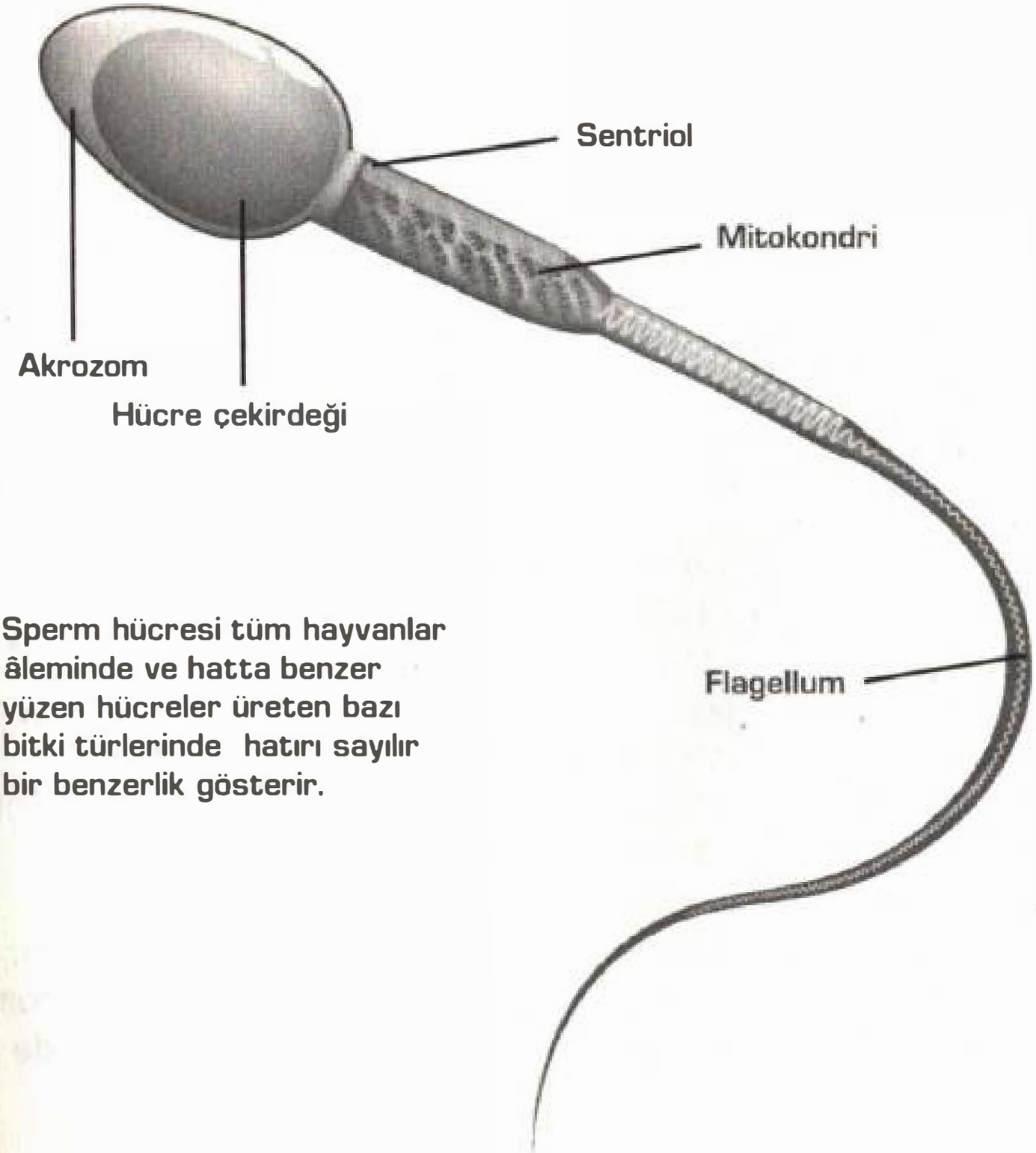
Haploit (N)

Diploit (2N)

Sperm

Erkek gameti ya da eşey hücresi spermdir. Genel anlamda, sperm tek bir flagellum tarafından itilen oldukça hareketli bir hücredir. Bu tür kendi kendine hareket etme kabiliyetine sahip olan ve aktif olarak yüzebilen eşey hücreleri, hayvanlara ek olarak yosunlar, eğrelti otları ve kozalaklı ağaçlar da dahil olmak üzere şaşırtıcı sayıda canlı tarafından kullanılır. Çiçekli bitkilerle mantarlar hareket kabiliyetine sahip olmayan spermler üretir. Bitkiler söz konusu olduğunda polen tanecikleri veya benzer yapıların içinde bulunan bu hücreler de hareket eder ancak alternatif taşıma yöntemlerine bel bağlamak zorundadır (bkz. s. 164).

Cinsler arasındaki fark kısaca sperm ve onun karşıt unsuru olan yumurta (ya da ovum) karşılaştırılarak açıklanabilir. Bir sperm gerekirse üstün gayret gerektiren mesafeleri aşabilir ancak yalnızca küçük bir yük olan haploit genetik materyali taşır. Sperm yumurtayla buluştuğunda yükünü yumurtanın içine aktarır ve görevini tamamlar. Erkek cinsinin üremeye katkısı bu işlemle tanımlanabilir. Bu durum aynı zamanda erkeklerin, biyolojik kaynaklar ve enerji göz önünde bulundurulduğunda, asgari eforla çok yüksek sayıda eşey hücresi üretebildiği anlamına gelir.

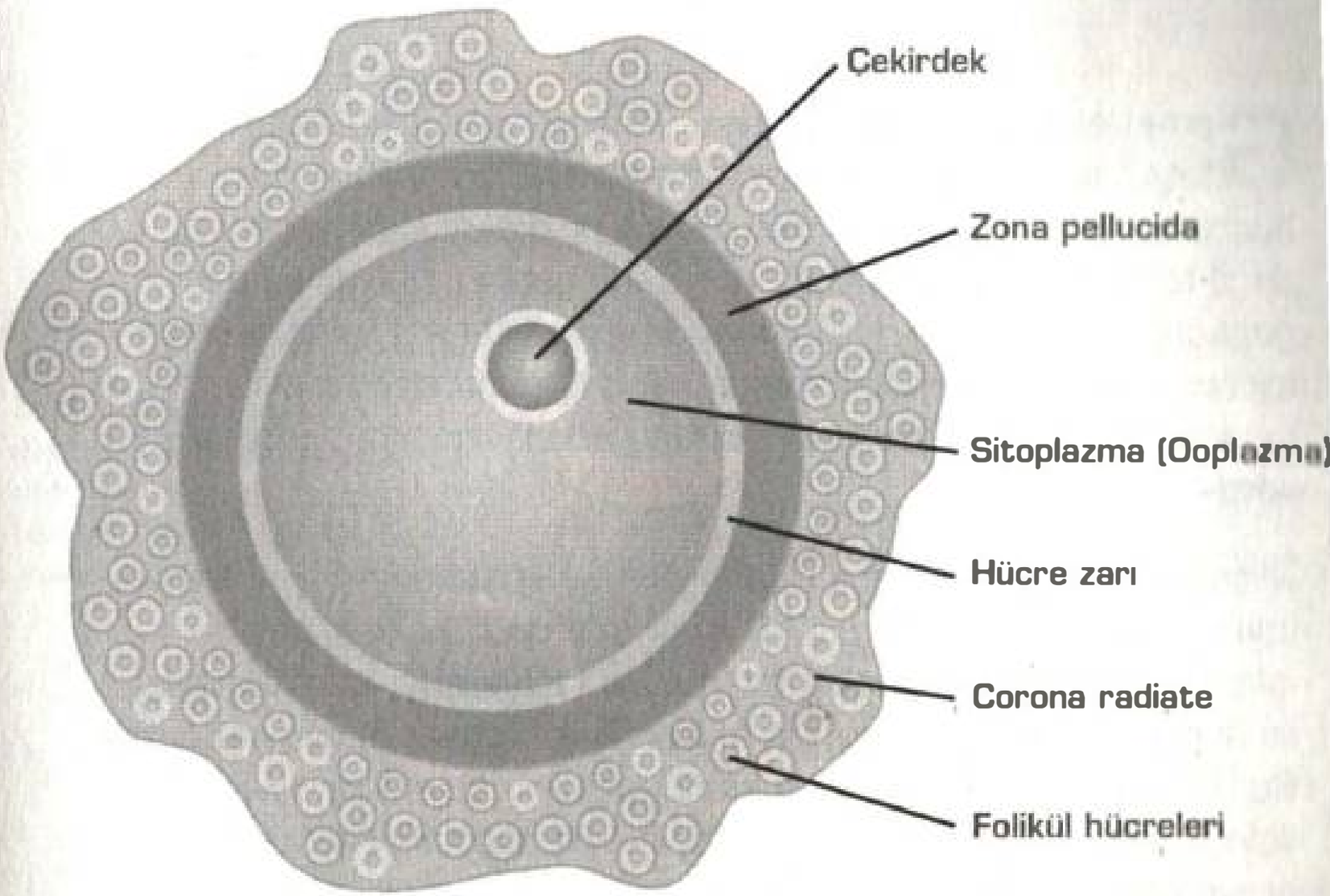


Sperm hücresi tüm hayvanlar âleminde ve hatta benzer yüzen hücreler üreten bazı bitki türlerinde hatırı sayılır bir benzerlik gösterir.

Ovum

Aynı zamanda yumurta hücresi olarak da adlandırılan ovum, dişi eşey hücresidir. Tipik olarak 0,1 mm genişliğinde ve çıplak gözle görülebilme sınırında olan yumurta, uzun kuyruğuyla birlikte yaklaşık 0,05 mm uzunluğunda olan erkek sperminden daha farklı olamazdı muhtemelen. Kuş ve sürüngen yumurtalarında bulunan hücrelerin bu ölçülerden katbekat büyük olduğunu da belirtmeliyiz.

Ovumun çok daha büyük olması, amacının bir göstergesi niteliğinde. Sperm gibi haploit olan yumurta, çekirdeğinde genlerin yarısını oluşturan bir tam set bulundurur. Spermin genetik yükü aynı zamanda yeni bir bireyin üretilmesi için gereken enerjiyi sağlayabilecek besin ve hücresel donanıma sahip olan yumurtaya geçer. Bu materyal hücrenin, yumurta hücresi özelinde "ooplazma" olarak adlandırılan ancak genellikle yumurta sarısı olarak bilinen hacimli sitoplazmasında saklanır. Her hücre gibi ooplazma da zarla çevrilidir ancak yumurta hücresini çevreleyen, ekstra koruma sağlamanın yanı sıra başarılı spermi kabul ederken herhangi bir rakip spermin girmesini engelleyen ek katmanlar da bulunur.

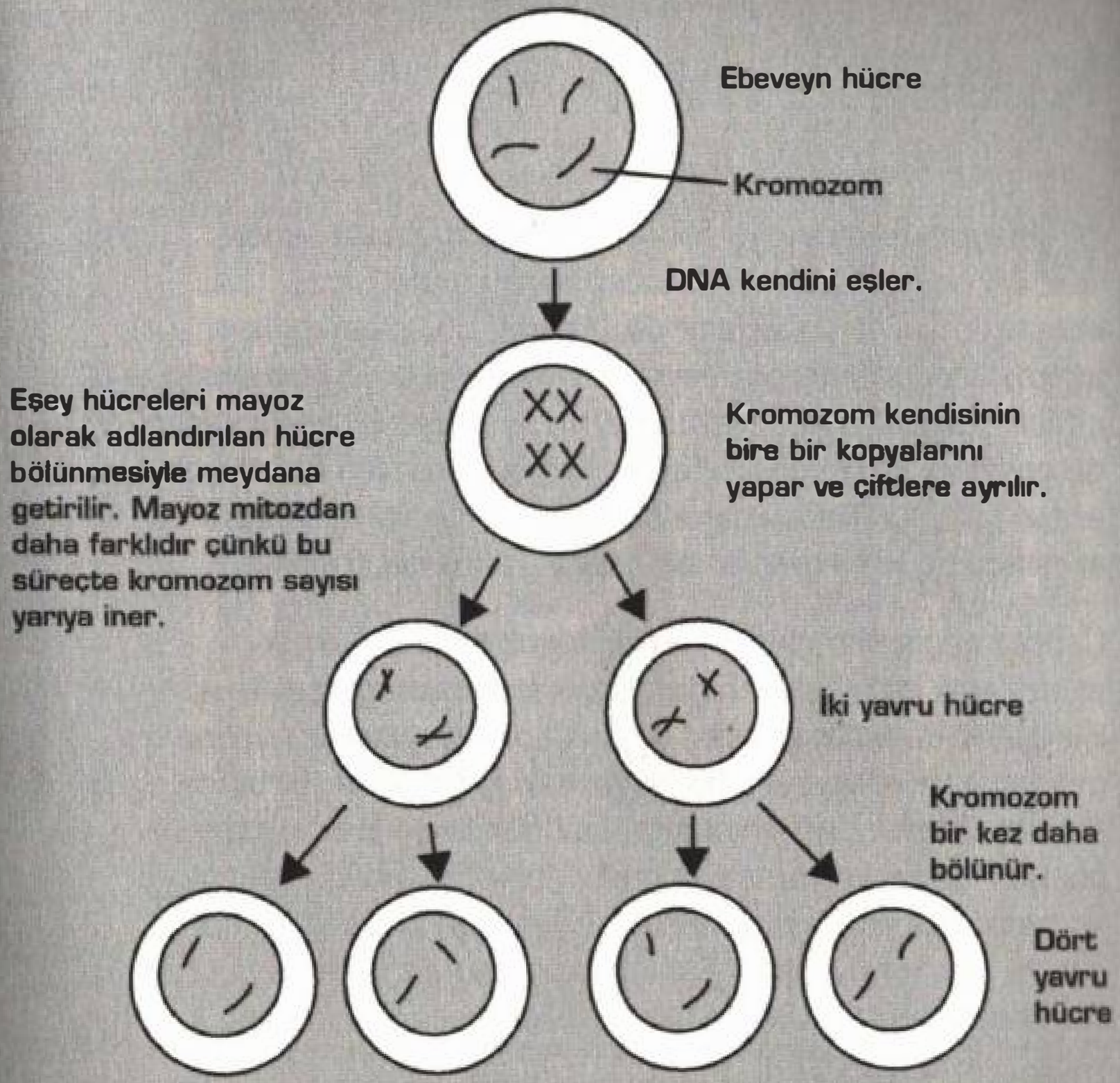


Yumurta hücresi (ovum), sperm hücresindeki kromozomları edindikten sonra yeni bir organizmaya ait ilk hücre olebilmesi için gerekli olan materyali barındırır.

Mayoz

Gametler hayvan vücudundaki yegâne haploit hücreleri teşkil eder. Bu nedenle mayoz adı verilen özel bir tür hücre bölünmesiyle üretilirler. Bu işlem diploit bir hücreden iki değil tam dört haploit hücre meydana getirir. Mayoz bölünme gonadlarda, yani eşey organlarında gerçekleşir. Dişi gonadının evrensel terminolojisinin yumurtalık olduğunu söyleyebiliriz ancak insanlarda testis olarak adlandırılan erkek gonadının birçok ismi vardır.

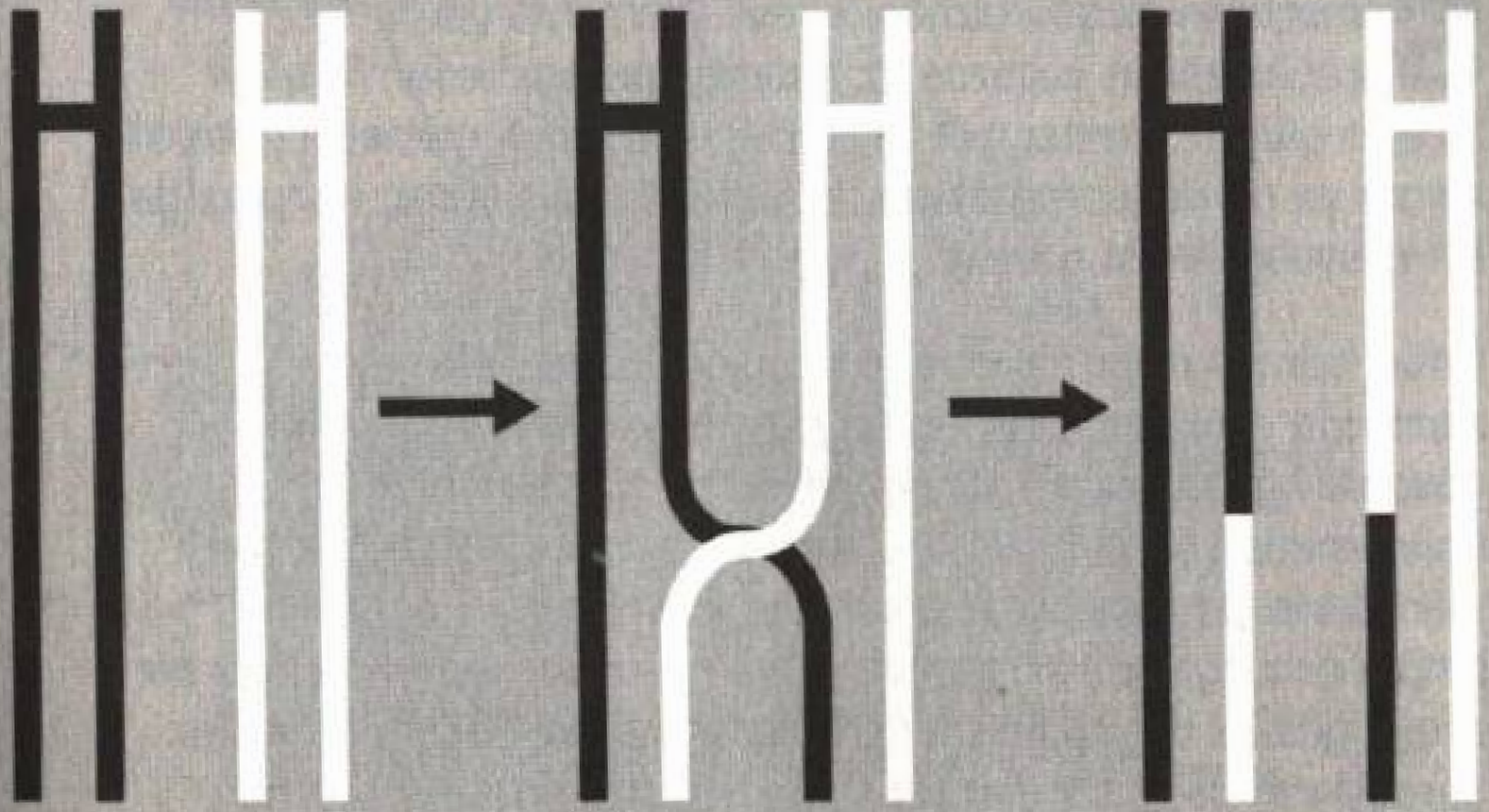
Mitoz bölünmede genetik materyalin ayrılmasında görev alan aynı ipliksi mekanizma (bkz. s. 76) mayozda da rol alır ancak bu iki işlem arasında son derece önemli bir fark vardır, çünkü mayoz iki hücre bölünmesi içerir. İlk bölünme iki haploit hücre oluşturur. Bu, homolog kromozomların, yani her biri ebeveynden kalıtım yoluyla alınan ve aynı alelleri taşıyan kromozom çiftlerinin bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilir. İlk bölünmede homolog çiftler ayrılırken ikinci bölünmede de kardeş kromatitlerden meydana gelen kromozomlar mitozda olduğu gibi ikiye ayrılır. Sonuç olarak ebeveyn hücrenin yarı sayısında kromozom bulunduran dört yavru hücre meydana gelir.


Ebeveyn hücre
Kromozom
DNA kendini eşler.
Kromozom kendisinin bire bir kopyalarını yapar ve çiftlere ayrılır.
Eşey hücreleri mayoz olarak adlandırılan hücre bölünmesiyle meydana getirilir. Mayoz mitozdan daha farklıdır çünkü bu süreçte kromozom sayısı yarıya iner.
İki yavru hücre
Kromozom bir kez daha bölünür.
Dört yavru hücre

Krosing-over

Mayoz, bir ebeveyn hücreden kalıtım yoluyla alınan kromozomların diğerinden alınan setle iyice karıştırılmasıyla sonuçlanır. Bu, mayoz bölünmenin ilk aşamasında kromozom seviyesinde gerçekleşir. Homolog çiftler rastlantısal bir şekilde ayrılır, yani her iki ebeveynden de gelen kromozomlar ortaya çıkan hücrelerden birinde bir araya gelebilir. Ancak buna ek olarak, homolog kromozomlar arasında da kromozomal bir çapraz geçiş gerçekleşir.

Çapraz geçiş homolog çiftlerin mayoz bölünmenin ilk aşamasına hazırlanırken hizalandıkları sırada gerçekleşir. Bu aşamada kromozomlar iki özdeş kromatitten meydana gelmiştir ve komşu kromozomlardaki kromatitler birbirine dolanır. Çapraz geçişin olduğu bu noktalarda kromozom öbekleri kopar ve komşuyla takas edilir. Bunun sonucunda, kromozomlardaki bir zamanlar özdeş olan kromatitler farklı genler taşımaya başlar. Sonuçta mayoz ile meydana getirilen dört haploit hücrenin her biri artık kromozomların eşsiz birer versiyonunu barındırır.



Mayoz sırasında gerçekleşen krosing-over ebeveynlerden alınan kromozomların karıştırılarak yavruya geçirilecek eşsiz kombinasyonların oluşması sonucunu doğurur.

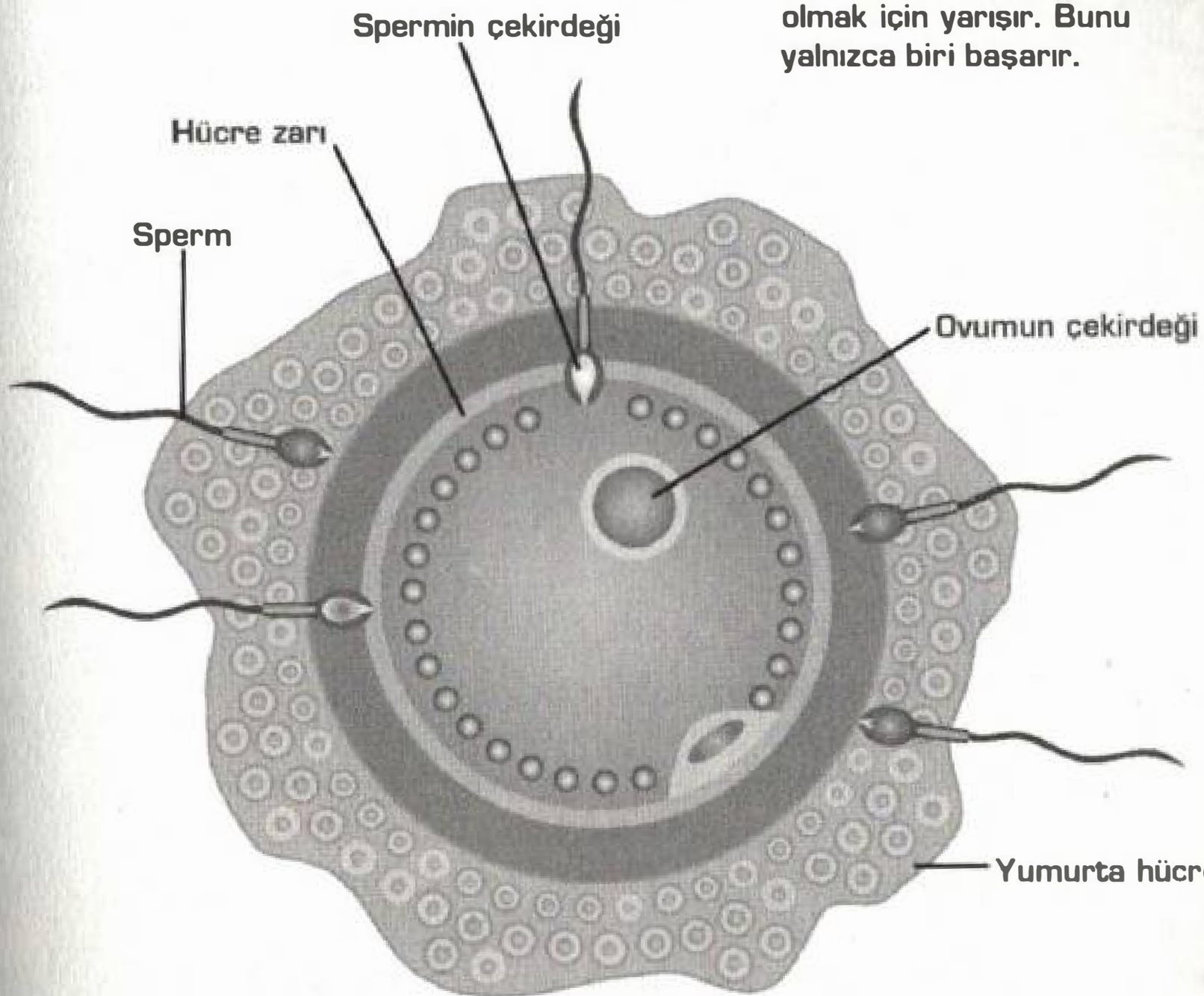
Gebe Kalma

Gametlerin oluşturulması eşeyli üremeyle yavru üretilmesinin yalnızca ilk aşamasını teşkileder. Yeni bir bireyin oluşturulması için bir erkek ve bir dişi gametin gebe kalma ya da döllenme olarak adlandırılan bir süreç sonucunda bir araya gelmesi gerekir.

Gebe kalmanın gerçekleşebilmesi için gametlerin aynı zamanda aynı yerde bir araya gelmeleri gerekir. İnsanlar güvenilirliği bilinen bir cinsel birleşme yöntemi olan iç döllenmeden yararlanırlar ki birçok hayvan türü de çok farklı tekniklerle de olsa bu yolu kullanır. Balıklar, kurbağalar ve birçok omurgalı canlı, sperm ve yumurtanın beden dışında bir araya geldiği dış döllenmeden medet umar. Gelişmiş bitkiler gametlerin pasif bir şekilde taşındığı tozlaşma sürecinden faydalanır (bkz. sf. 164).

Hücresel boyutta bir sperm bir yumurtayı döller. Sperm yumurtanın dış katmanlarında bir oyuk açarak kromozomlarını bırakır ve hücreyi diploit hale getirir. Hücre artık bir "zigot"tur, yani yeni ve eşsiz bir bireyin ilk hücresidir.

Spermler yumurtaya ulaşıp oyuk açacak ilk sperm olmak için yarışır. Bunu yalnızca biri başarır.



Embriyo

Embriyo gelişmekte olan bir organizmanın ilk aşamasını teşkil eder. Bu aşama genellikle organizmanın yumurtadan çıkacağı ya da doğacağı zaman olan, bağımsız bir birey olarak yaşayabileceği an gelene kadar hızla büyümesini kapsar. Bitkiler embriyonun tohum içinde saklandığı başka bir yöntem kullanır. Bitkinin temel gelişimi ve büyümesi tohumun çimlenip bağımsız yaşayan bireysel bir filiz olana kadar başlamaz.

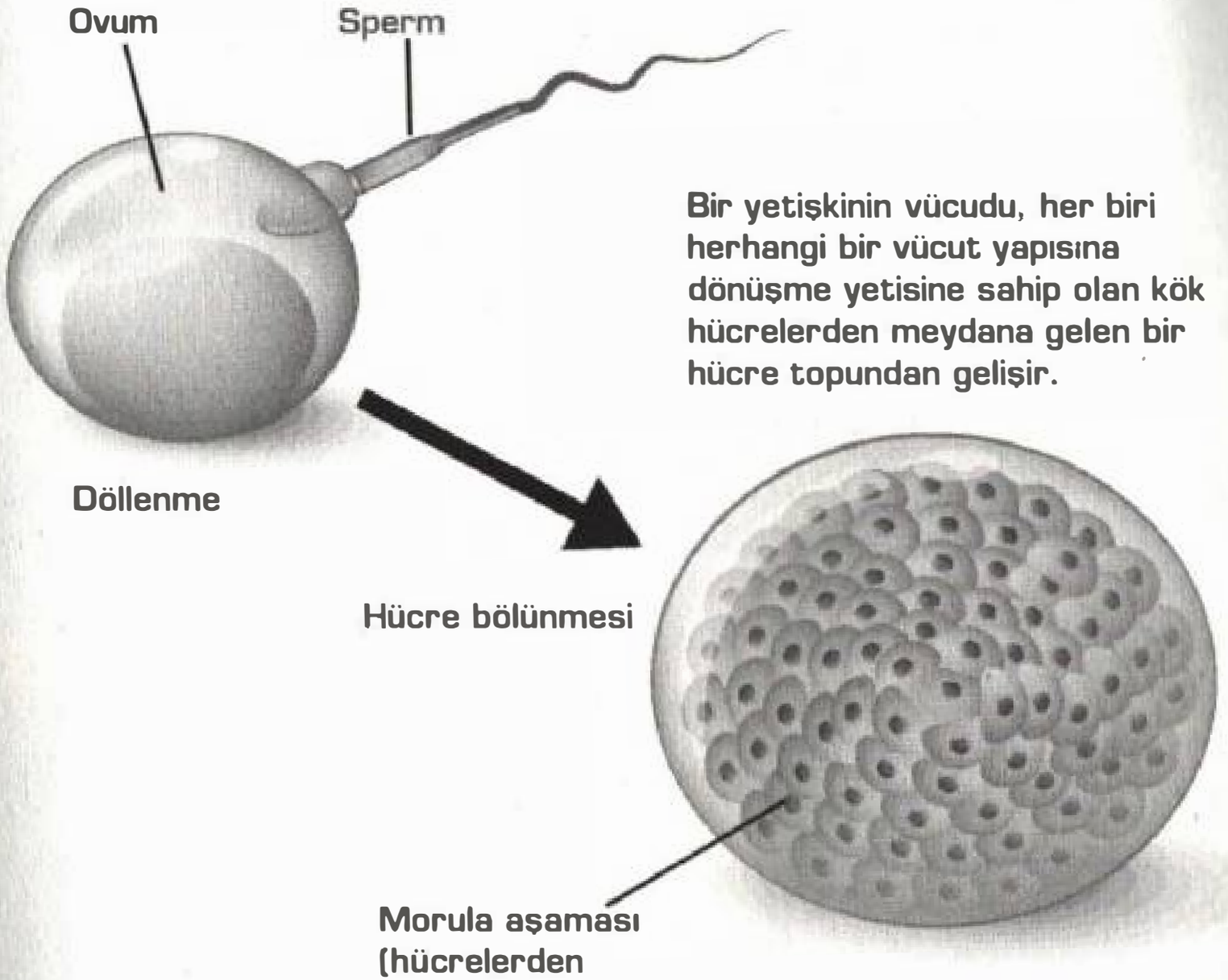
Tüm embriyolar zigot olarak adlandırılan tek bir hücreden yola çıkar. Bu hücre iki haploit eşey hücresinin birleşmesinin ürünüdür. Zigot, yumurta sarısındaki ya da ooplazmadaki depolanmış enerjiyi kullanarak mitoz bölünme geçirir ve kısa sürede hücrelerden oluşan bir top formuna gelir. Hayvanlarda bu öbeğe blastula adı verilir ve bu aşamadan sonra hücreler hayvan vücudunu meydana getirecek farklı tabakalar ve doku türleri oluşturmak üzere farklılaşmaya başlar. Bitki embriyoları hipokotil denilen bir embriyonik sap, bir kök ya da kökçük ve bir ya da iki adet besin depolayan yaprak olan kotiledonu barındırır.



Kök Hücre

Hasar görmüş ya da hastalıklı vücut parçalarının yeniden inşa edilebilmesi potansiyelini sunabilecek yeni bir tıbbi araç olarak tanıtılan "kök hücre" gittikçe daha çok aşina olduğumuz bir kavrama dönüşüyor. Tıpta edineceği yer gayet mümkündür çünkü tüm vücut yapıları en başında kök hücreler tarafından inşa edilir. Her karmaşık organizma belirli görevleri yerine getirmeleri için özelleşmiş olan birçok farklı hücre türünden meydana gelir. Özelleştikten sonra bir hücre ya da ondan çoğalan hücreler başka bir göreve atanamaz. Yalnızca bir kök hücre işlev değiştirme yetisine sahiptir.

Zigot "totipotent" (tam-yetili) bir kök hücre olarak tanımlanır. Bunun anlamı daha fazla totipotent hücre üretebileceği ve herhangi bir hücre türüne özelleşebileceğidir. Embriyonun büyümesi birbirini takip eden çeşitli aşamalarda özelleşerek birçok hücre türünü oluşturan bu totipotent hücrelerle gerçekleşir. Gelişimini tamamlamış bir yetişkinin vücudunda da kök hücreler mevcuttur: "pluripotent" (çok yetili) olarak isimlendirilirler çünkü yeni bir embriyo yaratmak için kullanılamasalar da vücutta hâlihazırda bulunan herhangi bir hücre türüne dönüşme yetisine sahiptirler.

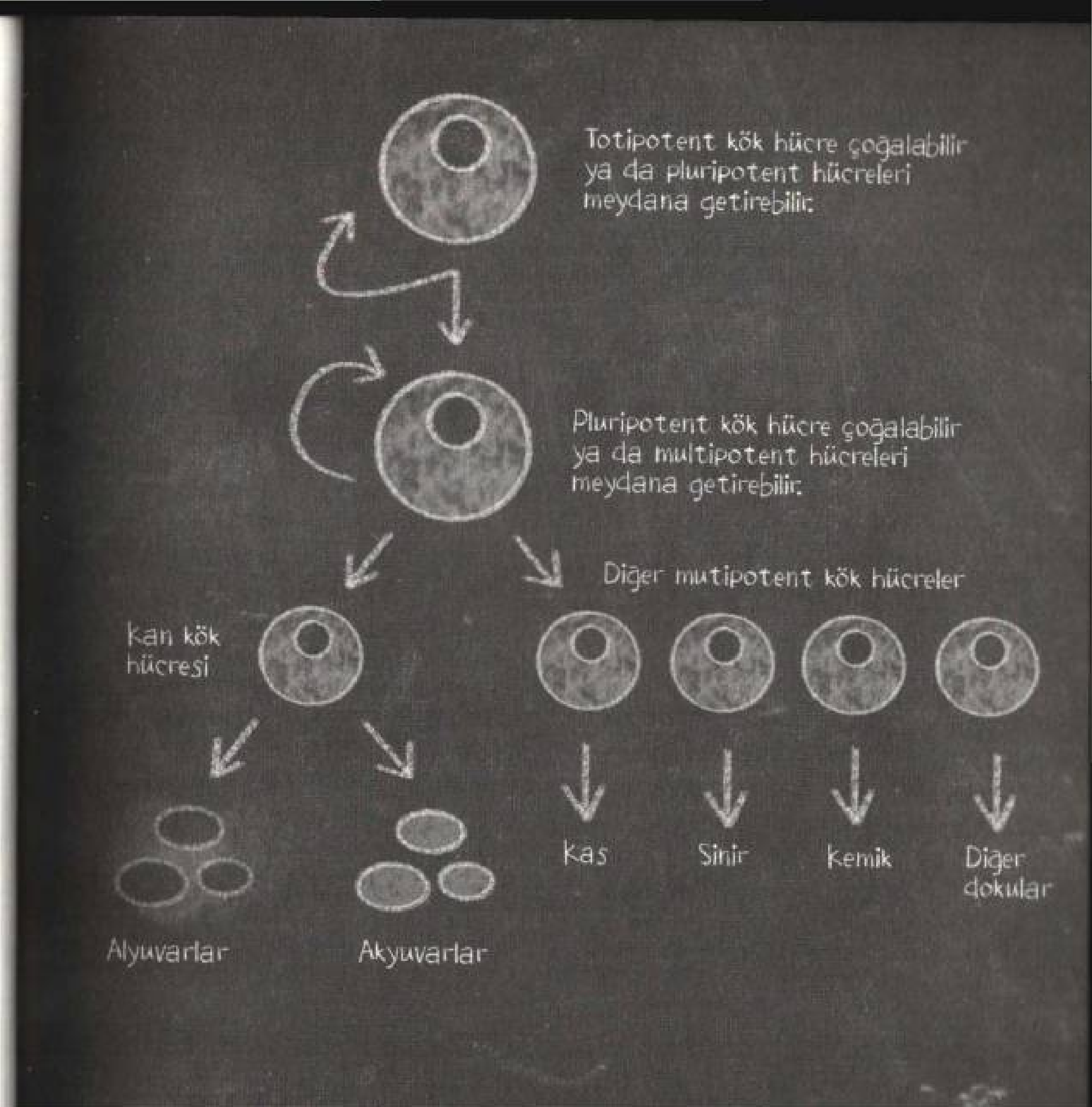


Bir yetişkinin vücudu, her biri herhangi bir vücut yapısına dönüşme yetisine sahip olan kök hücrelerden meydana gelen bir hücre topundan gelişir.

Hücre Farklılaşması

Çok hücreli bir beden genetik olarak birbirine özdeş olan ve birbirleriyle iş birliği yapan bir hücreler topluluğudur. Her hücre, belirli genler yardımıyla vücuttaki belirli görevleri yerine getirebilecek şekilde özelleşmiştir. Vücutta üç ana hücre türü vardır: eşey hücreleri, somatik hücreler ve kök hücreler. Kök hücreler diğer iki hücre türünü meydana getirirken, eşey hücreleri gelişerek gametlere, somatik hücreler de geri kalan tüm diğer hücrelere dönüşür.

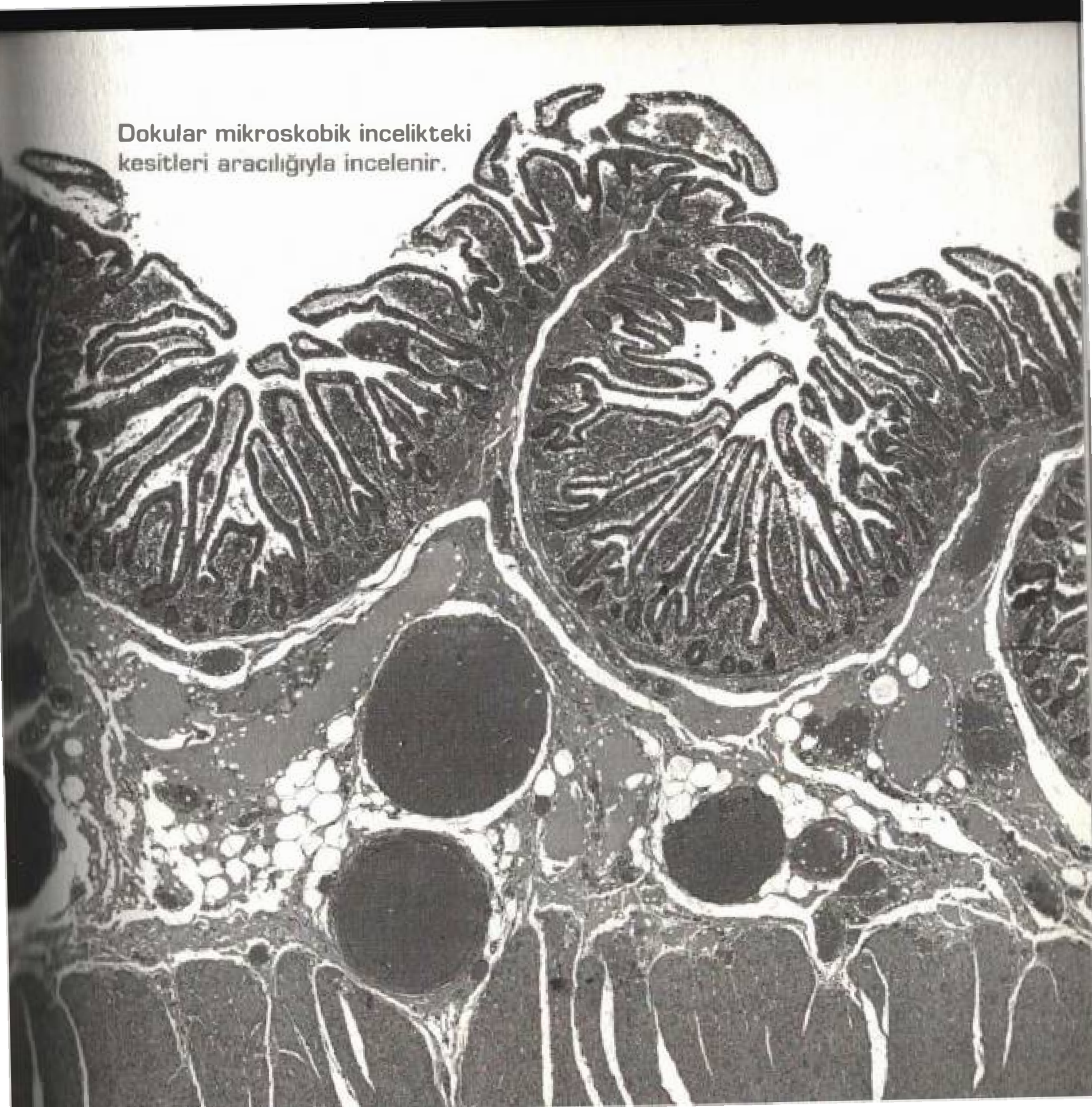
Somatik hücreler ardışık olarak kök hücrelerden meydana gelir. Totipotent bir hücre pluripotent hücrelere, onlar da multipotent (birkaç yetili) hücrelere dönüşürler. Bunlar, farklı kan hücresi türleri gibi, benzer hücreleri içeren bir sınıftaki tüm hücrelere dönüşme yetisine sahiptir. Bu hücreler, örneğin bir alyuvarın oluşumunda görüldüğü üzere hücrenin belirli bir somatik hücreye dönüşüp potansiyelinin limitine erişmesii için birkaç aşamadan geçebilir. Bu süreçte karaciğer hücreleri dışındaki somatik hücreler genellikle kendi kendilerine bölünemez; yani yeni hücreler kök hücreler vasıtasıyla üretilir.


Totipotent kök hücre çoğalabilir ya da pluripotent hücreleri meydana getirebilir.
Pluripotent kök hücre çoğalabilir ya da multipotent hücreleri meydana getirebilir.
Diğer multipotent kök hücreler
Kan kök hücresi
Kas
Sinir
Kemik
Diğer dokular
Alyuvarlar
Akyuvarlar

Doku

Biyolojik anlamıyla dokular, bize vücutta rol alan farklı sistemleri anlayabilmemizin önünü açar. Bir doku aynı kaynaktan, yani belirli bir kök hücre tipinden türetilen ve vücutta ihtiyaç duyulan belli bir görevi gerçekleştirmek için aynı genetik bilgiyi kullanan hücreler grubu olarak tanımlanır. Kaslar, bağırsak duvarı ve bitkilerin köklerinden ve yapraklarından geçen damarlar dokulara örnek gösterilebilir.

Süngerler gibi basit organizmalar hariç tutulduğunda, neredeyse tüm hayvan dokularının embriyonun gelişim sürecinin başlangıcında oluşan üç hücre katmanından türediği söylenebilir. (Konudan bağımsız olmakla beraber, bitkiler de üç katmanlı bir gelişim sürecine tabidir.) Ektoderm, yani dış katman; beyin, cilt, dişler ve ter bezlerini de meydana getiren sinir dokuya gelişir. Mezoderm, yani orta katman; kemikler, kan damarları, kıkırdak yapı ve kasların gelişeceği bağ dokuya dönüşür. Son olarak endoderm, yani iç katman; akciğerler, sindirim kanalı ve karaciğer gibi iç organları oluşturur.



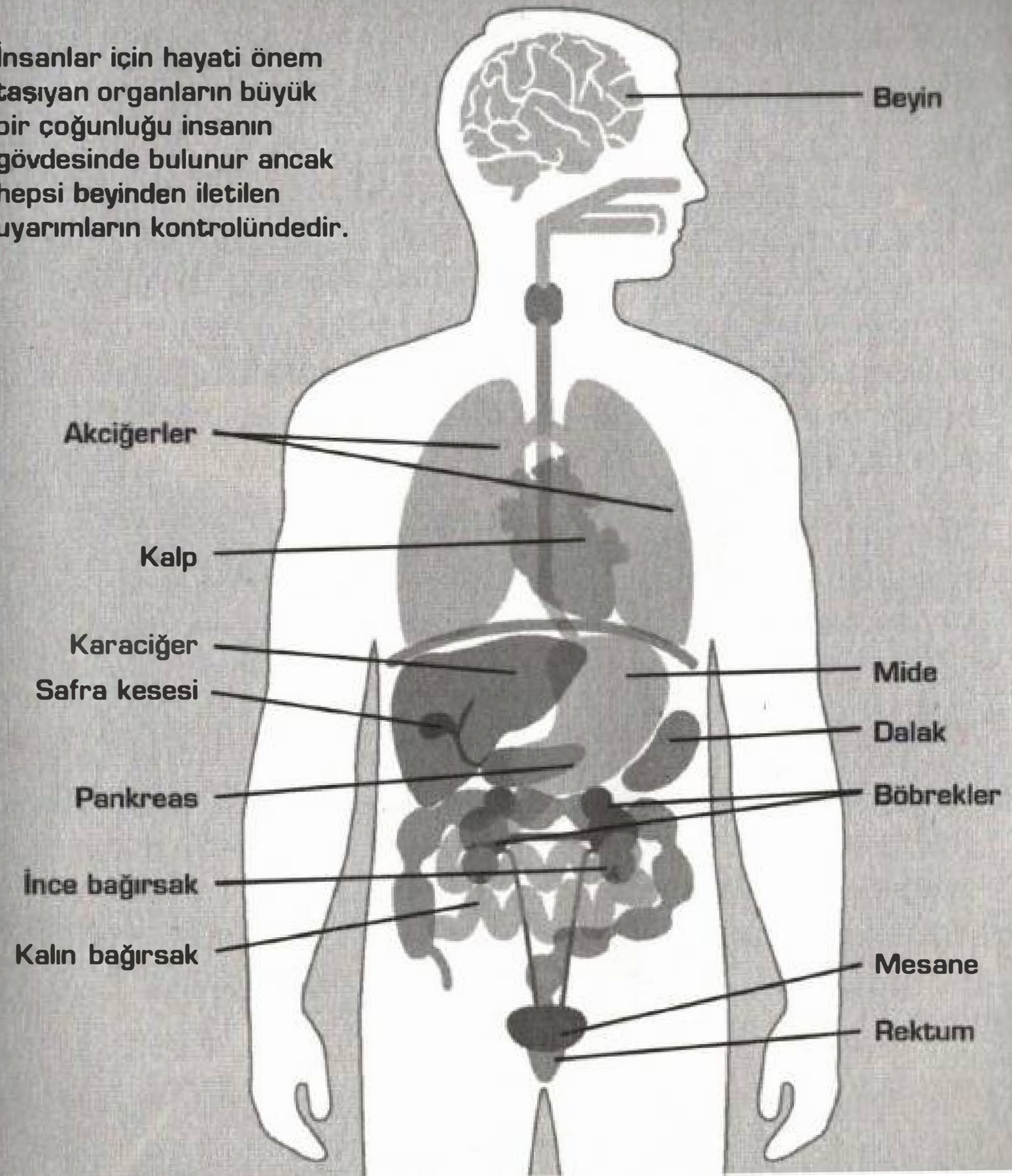
Dokular mikroskobik incelikteki kesitleri aracılığıyla incelenir.

Organlar

Organ karmaşıklık skalasında dokudan sonraki aşamayı teşkil eder. Bir organ kısaca vücuttaki belirli bir ana işlevi gerçekleştirmek üzere bir araya gelmiş farklı dokuların toplamı olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, bir bitkinin organları her biri farklı doku grupları içeren kökleri, sapı, yaprakları ve çiçekleridir. İnsanlarda organlar söz konusu olduğunda genellikle onlarsız yaşamın sürdürülemeyeceği beyin, kalp, akciğerler, karaciğer, böbrekler gibi hayati organlardan bahsedilir. Tüm hayvanlarda bizim hayati fonksiyonlarımızı gerçekleştiren organlarımıza benzer bir organ vardır. (Örneğin, balıklarda akciğer yerine solungaç bulunurken, böceklerde boşaltımı sağlamak için böbrekler yerine malpighi kanalcığı adı verilen bir organ bulunur.)

Hayati olduğu düşünülen organlara ek olarak vücutta burun, gözler, çeşitli salgı bezleri ve elbette ki eşey organları gibi birçok başka organ bulunur. Zaman zaman bireysel organları sinir sistemi, sindirim sistemi ve dolaşım (kan) sistemi gibi daha büyük vücut sistemlerinin temel parçaları olarak değerlendirmek onları anlamamızı kolaylaştırır.

İnsanlar için hayati önem taşıyan organların büyük bir çoğunluğu insanın gövdesinde bulunur ancak hepsi beyinden iletilen uyarımların kontrolündedir.



Yumurtlama Yetisi

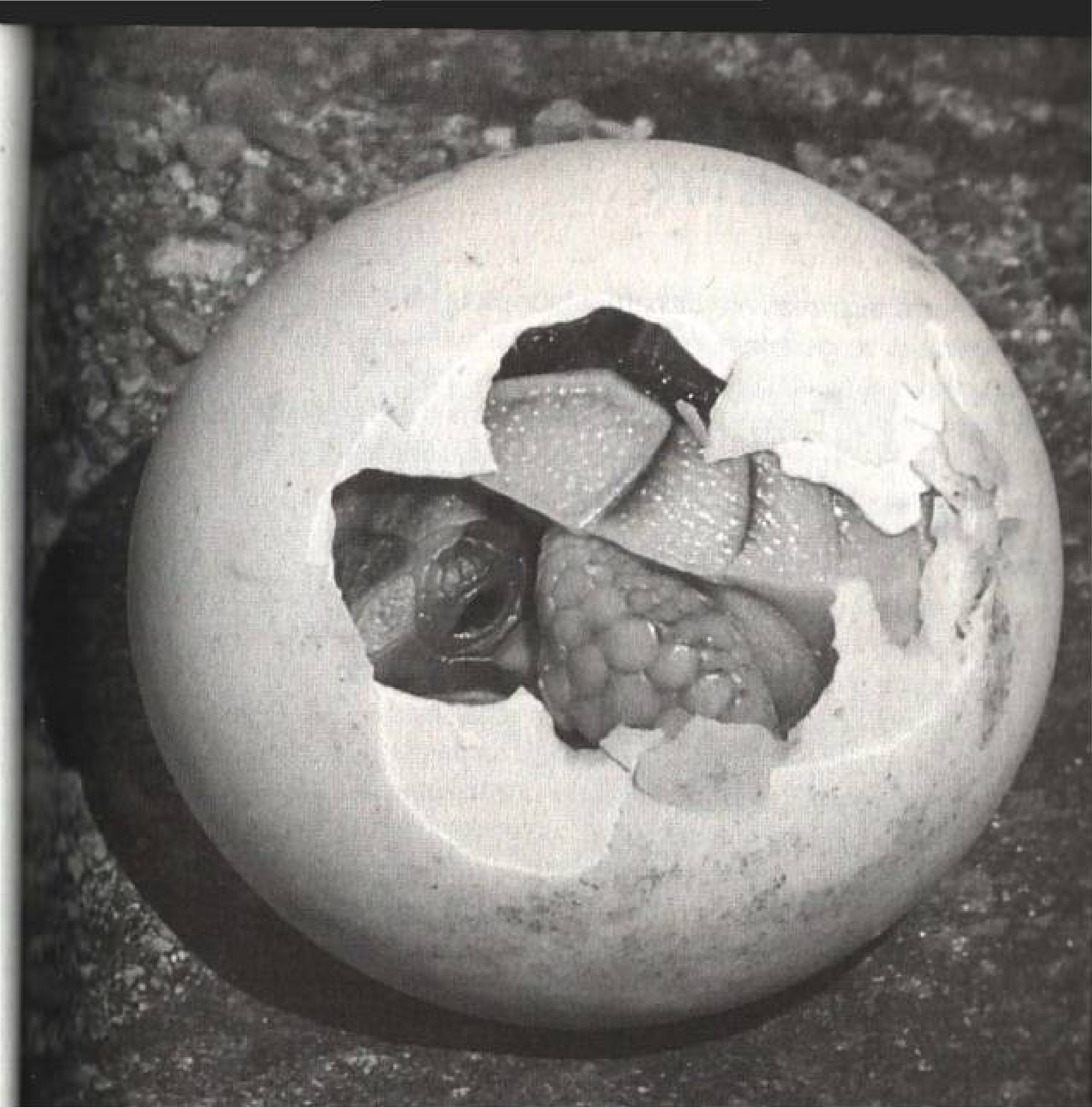
Yumurtlama yetisi hayvanların büyük çoğunluğunun yaşam döngüsünde yer alır. Yumurtlayan organizmalar tamamen anne bedeninin dışında gelişir. Bunun en bilinen örneği iç döllenme gerçekleştikten sonra yumurtalarını dışarı bırakan kuşlar ve sürüngenlerdir. Embriyonun büyümesi annenin vücudunu terk edene kadar başlamış sayılmaz.

Daha basit ve daha ilkel bir yumurtlama yöntemi balıklar, kurbağalar ve su omurgasızları tarafından kullanılır. Dış döllenmeyi içeren bu süreçte dişi yumurtalarını bırakırken erkek de sperminin yumurtalarla olabildiğince etkili bir şekilde karışabilmesi için zamanlamasını ayarlamaya çabalar. Döllenmiş yumurtalar yalnızca akıntıya bırakılabileceği gibi güvenli bir yere de saklanabilir. Kimi zaman da ebeveynlerden biri ya da ikisi de yumurtalar için bir tür koruma sağlar. Dış döllenmede sahnedeki son ebeveyn erkektir ve dişi, bebekleri erkeğin eline bırakıp olay yerinden uzaklaşabilir. Bunun sonucu olarak, iç döllenme yapan canlılarda görülenin aksine, yavruların başlıca bakıcıları çoğu zaman erkek balıklar ve kurbağalardır.



Yumurta

Yumurtlayan canlı embriyolarının gelişiminin tamamı, yumurta adı verilen ve kendi kendine yetebilen bir muhafazada gerçekleşir. Bu noktada terminoloji kafa karıştırıcı olabilir. Bahsi geçen yumurta temel olarak ovumun unsurlarından meydana gelir ancak artık zigotu içermektedir. Sürüngenlerin çoğu (ördek gagalı platipusların da üyesi olduğu tek delikli memeliler de dahil olmak üzere) ve onların evrimsel torunları, içinde yumurta sarısını bulunduran sert kabuğuyla rahatlıkla yumurta olarak tanınabilecek yapılar yumurtlar. Kabuk ovumun, yani yumurta hücresinin etrafında oluşur ve aslında tüm yapı yine de, vücuttaki diğer hücrelere kıyasla devasa bir boyutta olan tek bir hücredir. Kabuk hücreyi su geçirmez yapar, böylece içindeki yumurta sarısı kıvamındaki yakıt stoku kurak yaşam alanlarında da muhafaza edilebilir. Ancak kabuk hava geçirir çünkü içindeki embriyonun oksijene ihtiyacı vardır ve bu nedenle kabuklu yumurtalar su altında hayatta kalamaz. Yumurtlayan hayvanların çoğu tarafından bırakılan kabuksuz yumurtalar için genellikle bu durumun tersi geçerlidir. Örneğin böcekler yumurtalarının kurumasını önlemek için onları bal mumumsu bir kılıfla kaplar ve yumurtaların gelişimlerinin başarıyla tamamlanabilmesi için genellikle su altında ya da en azından nemli tutulmaları gerekir.



Doğurganlık

Yumurta bırakmanın alternatifi embriyonun annenin içinde geliştiği ve gelişiminin nispeten ileri bir safhasında yumurtanın koruyuculuğu olmadan dünyaya geldiği "doğurganlık"tır. Doğurganlığın ustaları memelilerdir ancak süreç bire bir aynı gerçekleşmese de akrepler, köpekbalıkları ve bazı kertenkeleler de bu konuda oldukça başarılıdır.

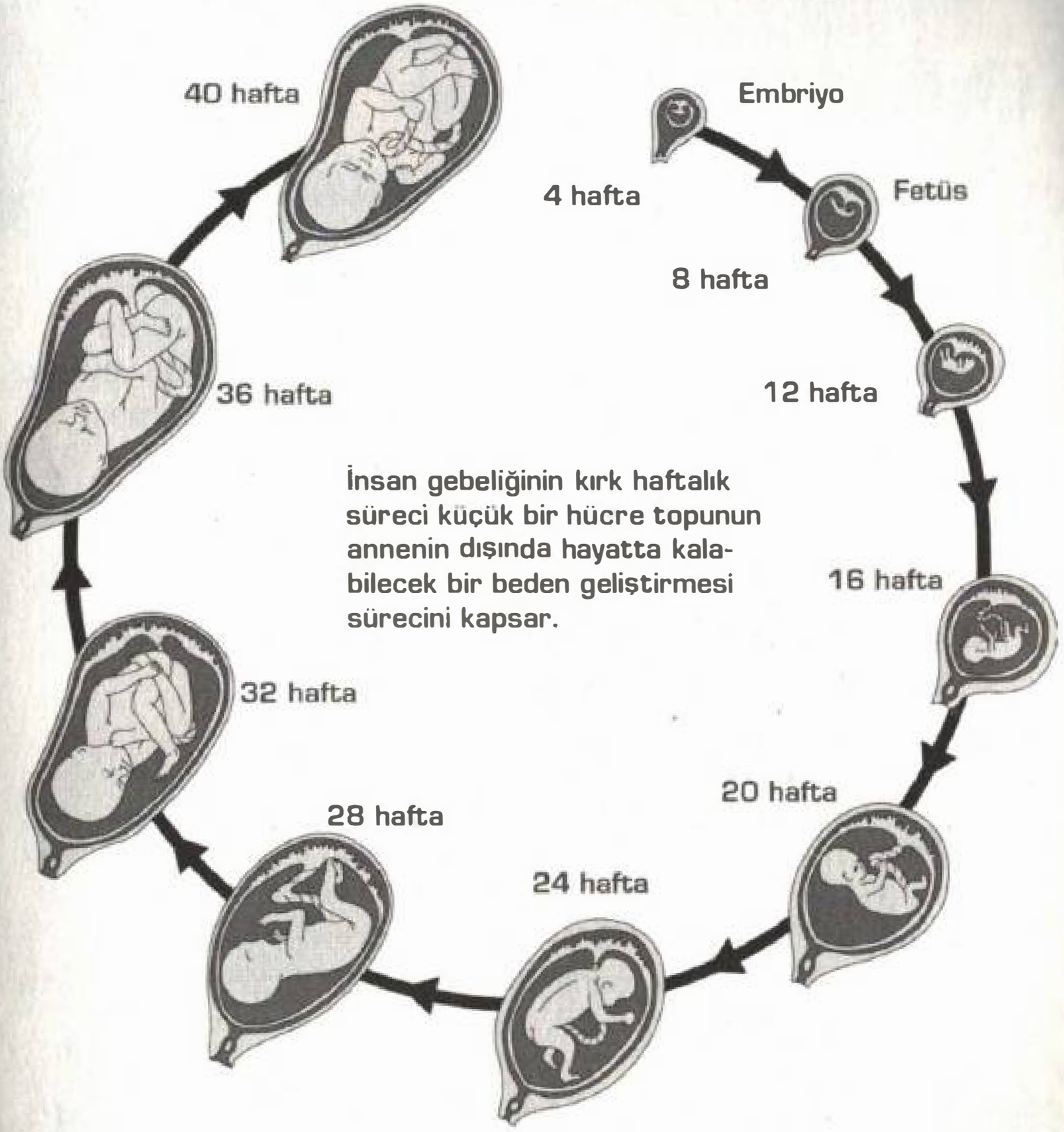
Aslına bakılırsa doğurganlık (viviparite) ve canlı doğurma (ovoviviparite) arasında önemli bir fark vardır: Bunlardan ikincisi yumurtaların doğrudan anneden beslenmedikleri ancak güvende olmaları için annenin içinde saklandıkları, yumurta salınımı ve canlı doğum yapmanın arasında bir konumdadır. Bazen yumurta annenin içinde çatlar ve yavru kardeşlerini yiyebilir. Bu tür yamyamlık içeren doğurganlık büyük köpek balıklarında gözlemlenir. Yavruların annenin yumurtalıklarında üretilen döllenmemiş yumurtaları yedikleri başka bir beslenme yöntemi de oofajidir. Son olarak, doğurganlığın insanlarda da görülen başka bir çeşidi besinin annenin vücudundan plasenta ya da benzeri bir organ aracılığıyla tedarik edilmesini kapsar.



Gebelik

Doğurgan hayvanlarda embriyonun, gelişimi sırasında annenin içinde geçirdiği süreye gebelik adı verilir. Memelilerde "hamilelik" kelimesini kullanma eğiliminde olsak da bu kelime embriyonun aktivitesini ifade eden gebelikten farklı olarak annenin içinde bulunduğu durumu ifade eder. Memeli olmayan canlılarda yavruyu taşıyan bireyler nadiren hamile olarak adlandırılır. Bunun yerine "gebe" tabiri tercih edilir.

Embriyo gebelik sırasında uterus (rahim) denilen bir alanda bulunur. Burası genellikle yumurtalığı genital açıklığa bağlayan yumurta kanalının genişleyebilen bir kısmından meydana gelir. İçerideki embriyo besini anneden tedarik eder. Akrepler bunu uterustan gelişen divertül isimli bir çıkıntı aracılığıyla annenin bağırsaklarına bağlanarak uterus duvarından geçen besinleri toplamak suretiyle gerçekleştirir. Memelilerin büyük çoğunluğunda embriyolar annenin kan akışına plasenta aracılığıyla bağlanır. Bu organ da embriyo ile beraber blastuladan gelişir. Keselilerin uterusu işlevsel bir plasentayı barındırmak için fazla küçüktür. Bu nedenle yavrular gebelik dönemini dışarıdaki bir kesenin içinde tamamlar.


Embriyo
4 hafta
Fetüs
8 hafta
12 hafta
16 hafta
20 hafta
24 hafta
28 hafta
32 hafta
36 hafta
40 hafta
İnsan gebeliğinin kırk haftalık süreci küçük bir hücre topunun annenin dışında hayatta kalabilecek bir beden geliştirmesi sürecini kapsar.

Çoklu Doğum

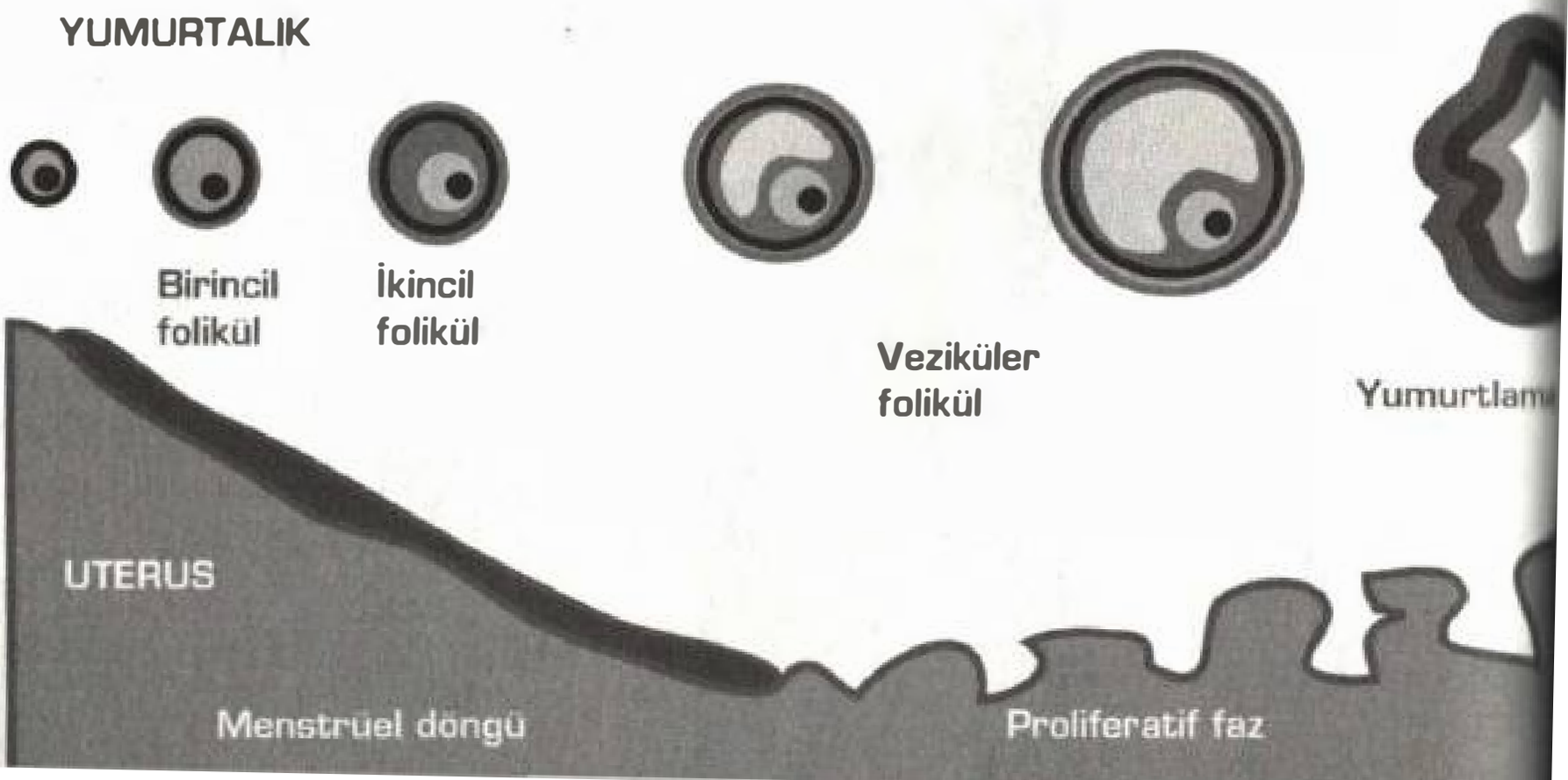
Tek bir hamilelik çoklu gebelik içerebilir ve birden fazla yavrunun doğmasıyla sonuçlanabilir. Annenin yumurtalığından birkaç yumurtanın salınımının gerçekleştiği daha küçük memelilerde normal olan budur. Virginia keseli sıçanları, en fazla on üç yavruyu emzirebilmelerine ve çoğu yavrunun hemen ölmesine rağmen, tek seferde ellinin üzerinde yavru doğurabilir. Bu tür yavrular fraternaldir, yani aynı anda doğmalarına rağmen farklı zigotlardan gelişmişlerdir. Bu da başka zamanlarda doğan kız ya da erkek kardeşlerden daha yakın akraba olmadıkları anlamına gelir. İnsanları ele alırsak, bu şekilde doğan iki bebek çift yumurta ikizi olur ve ancak bir kardeş kadar benzerler.

Ancak tek bir döllenmiş yumurtadan, yani zigottan da çoklu doğum gerçekleşebilir. Örneğin anne armadilloların, zigotun gelişiminin erken döneminde bölünmesi ya da kopması sonucunda tek bir zigottan özdeş dördüzler doğurması alışılagelmiş bir durumdur. Bu durum insanlarda gözlendiğinde, genetik olarak özdeş olan ve bu nedenle mutlaka aynı cinsiyette olan tek yumurta ikizleri dünyaya gelir.

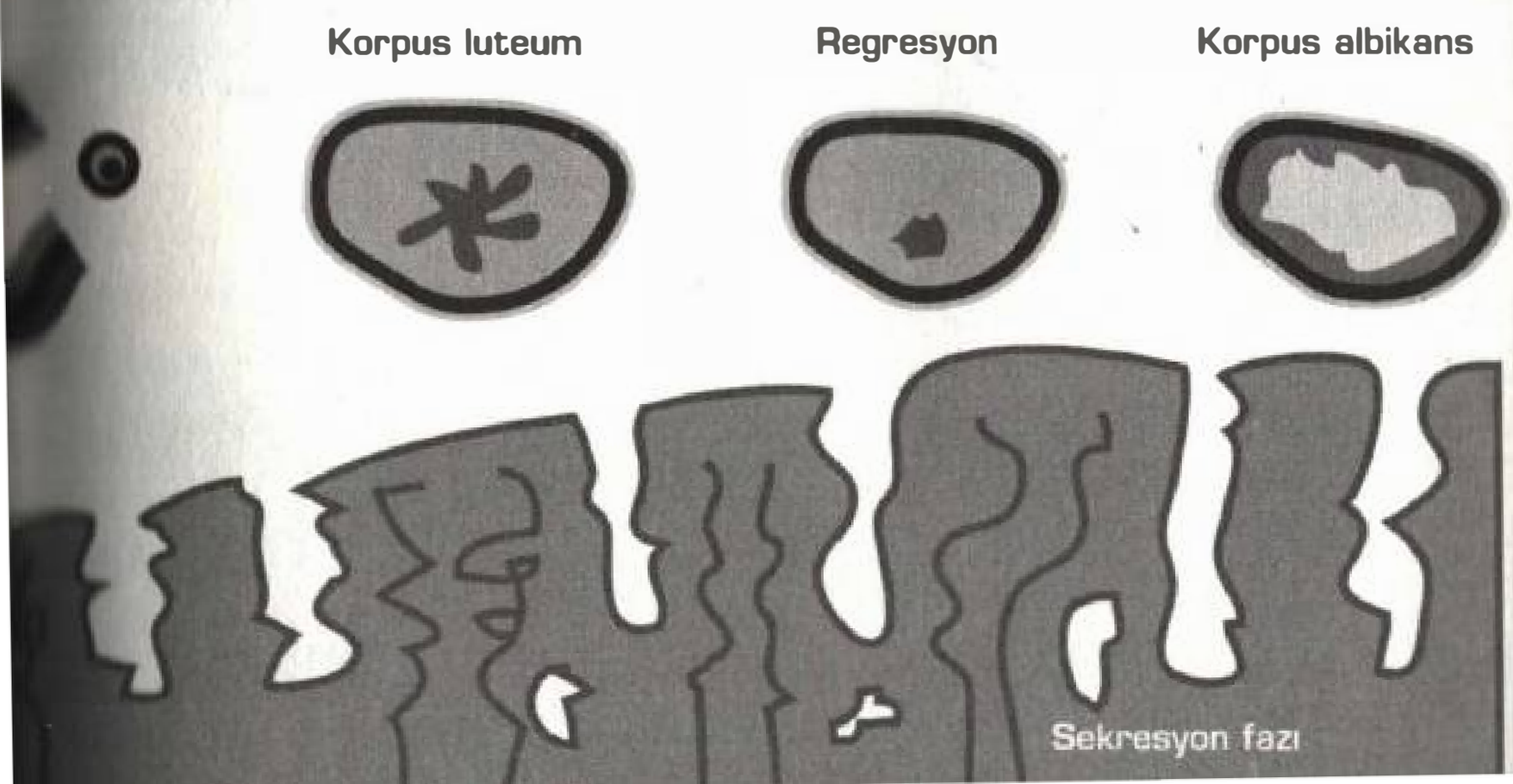


Östrus Döngüsü

Plasentalı tüm memeli hayvanlarda görülen östrus döngüsünün amacı uterusu (rahmi) döllenmiş yumurtayı kabul etmesi için hazırlamak ve meydana gelen embriyonun desteklenmesini sağlamaktır. Gelişimin ilk haftasında zigot ve blastula uterusun içinde yüzer haldedir. Bu dönemden sonra daha büyük bir boyuta ulaşmış olan hücre topu, annenin kan akışıyla bağlantı kurması için gereken plasenta bağını oluşturacağı rahim duvarına yerleşir.



Östrus döngüsü, yumurtlama (ovülasyon) olarak adlandırılan bir işlemle, olgunlaşan yumurtanın yumurtalıktan rahim duvarının kalınlaşarak yumurtayı kabul etmek için en uygun hale geldiği zamanda çıkmasını temin etmeye çalışır. Eğer yumurta uterusa ilerleyişi sırasında bir spermle karşılaşırsa, ortaya çıkacak olan zigot döngüyü durdurur ve her şey embriyonun gelişi için hazır hale getirilir. Eğer döllenme gerçekleşmezse, yumurta hücresi bozulur ve rahim duvarındaki kalınlaşan dokuyla birlikte menstrüel kanamayla atılır. Bundan sonra yeni bir yumurtanın olgunlaşacağı ve rahim duvarının bir kez daha kalınlaşacağı döngü yeniden başlar.



Partenogenez

Yunanca "bakireden doğma" anlamını taşıyan kelimeden türetilen partenogenez, bitkilerin yanı sıra birçok omurgasız canlıda, balıklarda, amfibilerde (iki yaşamlılar) ve sürüngenlerde de gözlemlenebilen bir eşeysiz üreme yöntemidir. Partenogenezin birkaç anormal örneği kuşlarda da görülmüştür ancak memelilerde gözlemlendiğine dair herhangi bir kayıt bulunmamaktadır. Partenogenez eşeyli üreme mekanizmalarından faydalanır ancak yavrular yumurtaların döllenmesine gerek duymadan meydana getirilir. Bu durum, mayoz bölünme sırasında (bkz. s. 132) yalnızca iki diploit yavru hücre oluşturulması sayesinde mümkün olur. Bunun tam olarak gerçekleştiği adımlar farklılık gösterse de, bir noktada haploit hücre çiftleri yeniden birleşerek birer diploit hücre meydana getirir.

Bazı türler yalnızca partenogenezle çoğalabilir. Bu türlerin tüm üyeleri dişidir. Ancak mevcut iyi koşullardan istifade etmek için partenogenezle çoğalıp koşulların değişmesi durumundaysaeşeyli üremeye dönen türler de mevcuttur. Bazı sistemlerde dişinin yumurtasının uyarılması için erkeğin spermi (ya da polen) yine de gerekli olabilir ancak spermin genleri yavruya aktarılmaz.



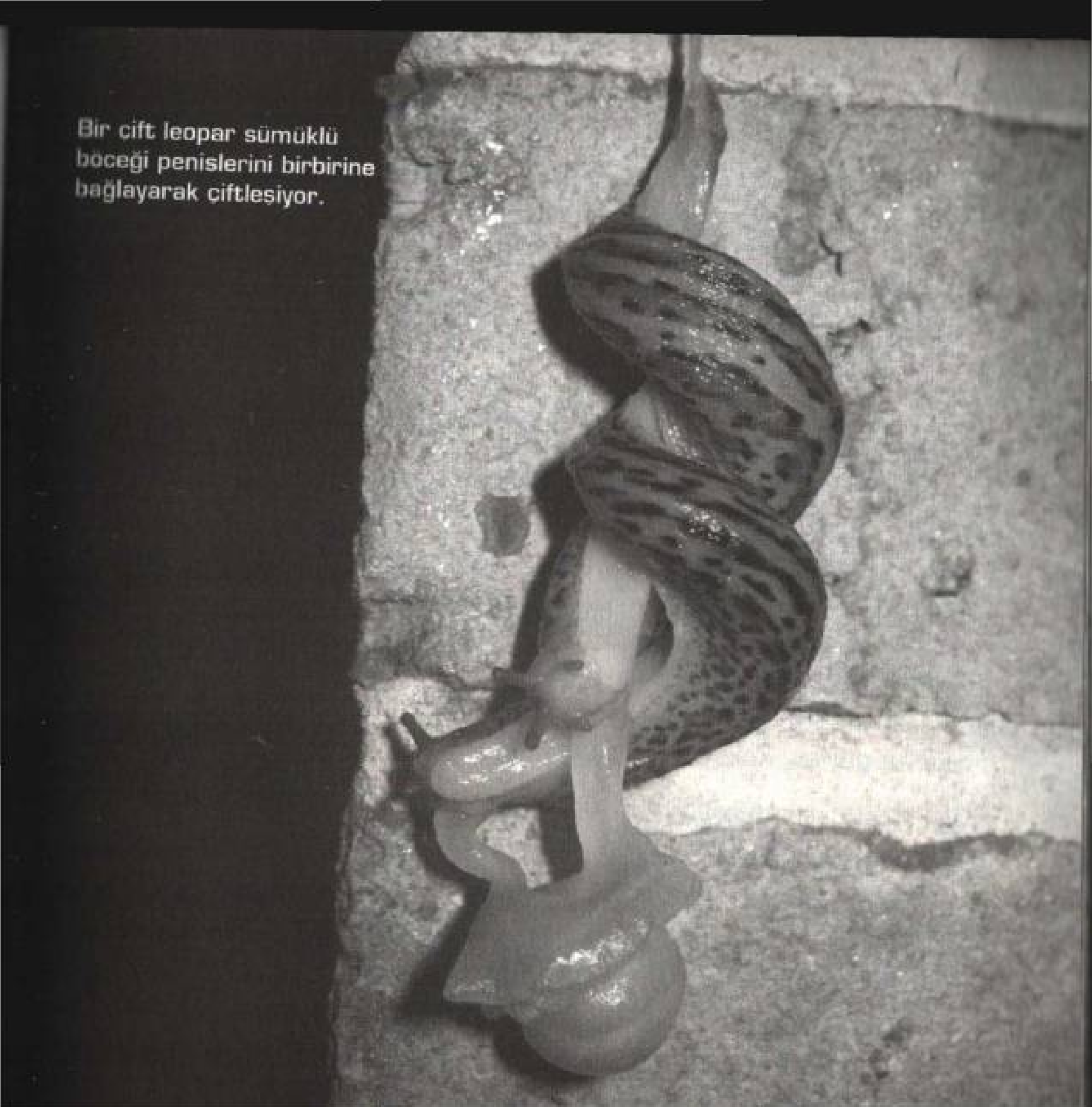
Bir yaprak biti, vücudunda hâlihazırda kendisiyle özdeş torunlarının gelişmekte olduğu, yavrusunu doğuruyor.

Hermafroditler

Hermafrodit kelimesine dair zaman zaman kavram yanılgılarına düşülebilmektedir çünkü birçok kişi erdişilerin cinsel ilişkiye girmeden çoğalabileceklerini düşünür. Bu kafa karışıklığı muhtemelen hermafrodit canlıların kendileriyle cinsel ilişkiye girebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bir hermafrodit hem erkek hem de dişi eşey organına sahip olan organizmadır. Bu durum çiçekli bitkilerin genelinde bir normdur ancak bazı hayvanlarda da görülür.

Salyangozlar, sümüklü böcekler ve yer solucanları eş zamanlı hermafroditlere örnek teşkil eder. Yani aynı zamanda her iki eşey organına da sahiptirler ve (hepsi olmasa da) kimileri kendi yumurtalarını kendi spermleriyle dölleyebilir. Ardışık hermafroditler yaşamlarının başında bir cinsiyete sahip olup yaşları ilerledikçe ve büyüdükçe başka bir cinsiyete dönüşür. Amphiprioninae familyasına mensup olan palyaço balığı erkek doğar ancak hayatının ilerleyen döneminde dişiye dönüşür. Belki de Kayıp Balık Nemo 2'nin yapılmamış olmasının nedeni budur...

Bir çift leopar sümüklü böceği penislerini birbirine bağlayarak çiftleşiyor.



Tozlaşma

Tozlaşma, her biri tohum üreten çiçekli ve kozalaklı bitkiler gibi gelişmiş bitkiler tarafından kullanılan bir gamet taşıma yöntemidir. Erkek eşey hücreleri bir polen taneciğinde muhafaza edilir ve bir bitkiden diğerine ulaşmak için gereken yolculuğu bu cisim gerçekleştirir. Kozalaklı bitkiler, erkek kozalaklardaki mikroskobik polen taneciklerinin kozalaklardan uçurularak civarda bulunan alıcı bir dişi kozalağa ulaştırılması için rüzgâra bel bağlar. Otlar ve meşe ağaçları gibi çiçekli bitkiler rüzgârla tozlaşmadan medet umar: çiçekleri genellikle uzun, tutamlar halinde ve göze çarpmayan çiçeklerdir çünkü göz alıcı olmaktan ziyade rüzgârı almak için oluşmuşlardır. Polenlerinin taşınması için böceklere ve diğer hayvanlara güvenen çiçekler tozlaştırıcıları kendilerine çekmek amacıyla parlak, kokulu ve nektar yüklü olur.

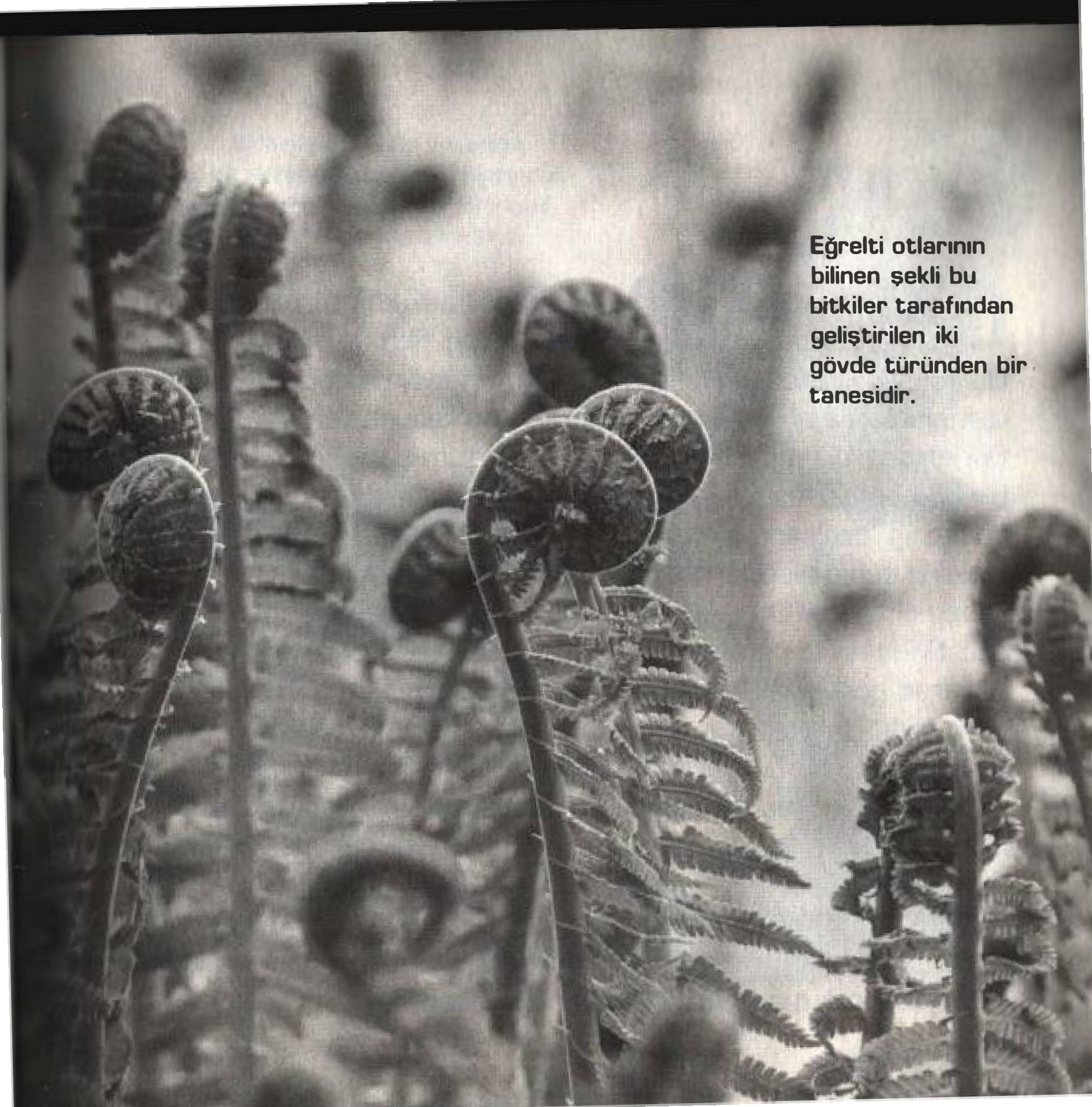
Polen başka bir bitkiye ulaştığında tepecik adı verilen uzun ve yapışkan bir alıcı tarafından toplanır. Polen eşey hücrelerini yumurtalara ulaştırabilmek için aşağı doğru bir oyuk açar. Döllenme gerçekleştikten sonra her bir yumurta, genellikle yumurtalık ve çiçeğin kalıntılarından meydana gelen bir meyve ile kaplanan, tohum kesesinin içinde muhafaza edilen bir embriyoya gelişir.



Nesillerin Değişimi

Hayvanlarda haploit olan (yani tam kromozom setinin yarısı kadar kromozom bulunduran) yegâne hücre, üremeyi sağlayan gametlerdir, ancak bu durum bitkiler için geçerli değildir. Bunun yerine bitkilerde, bitki yapısının dönüşümlü olarak diploit yapı ve haploit yapı arasında geçiş yaptığı, "nesillerin değişimi" adlı bir olgu gözlemlenir.

Erkek polen taneciklerinden ve çiçeğin derinlerinde bulunan yumurta muhafazası olan tohum taslağından da anlaşılabileceği gibi, daha gelişmiş bitkilerde gametofitler küçük ve tamamen sporofite bağımlıdır. Ancak yosunlar, eğrelti otları gibi "daha az gelişmiş" bitkilerde bu iki nesil daha büyük yapılar meydana getirir. Yosunlarda baskın form gametofit iken "daha gelişmiş bitkilerin" atası olan eğrelti otlarında temel yapıyı sporofitler teşkil eder. Sporofitte gerçekleşen mayoz bölünme (bkz. s. 132) ile salınan haploit sporlar, daha sonra içlerinde eşey hücrelerinin (sperm ve yumurta) üretileceği gametofitleri oluştururlar. Yoğun yağmurlar sırasında komşu bitkilere yüzen spermler de bir sonraki sporofit neslini meydana getirecek olan yumurtaları döller.



Eğrelti otlarının bilinen şekli bu bitkiler tarafından geliştirilen iki gövde türünden bir tanesidir.

Evrim

Organizmaların zamanla bir formdan başka bir forma değişebileceği ya da evrimleşebileceği fikri en sık Charles Darwin ile ilişkilendirilir. Darwin'in fikirleri evrime dair sürdürülen tartışmalara galip gelse de, kesinlikle bu konuda yürütülmüş ilk fikirler değildi. Yunan filozof Aristoteles tüm doğal varlıkların evrende bir rolü gerçekleştirmek üzere çaba sarf ettiklerine inanıyordu ve bu inanış, canlıların o amaçlarına ulaşmak için formlarını değiştirme yetisine sahip oldukları düşüncesinin tohumlarının atılmasına sebep olmuştu. On sekizinci yüzyılda modern bilimsel metotların geliştirilmesi ile canlıları kataloglayan doğa bilimciler arasında iki karşıt görüş şekillenmişti. Kimileri her organizmanın belirli bir tür çeşidine ait olduğunu ve bunun doğanın değişmeyen bir yanını teşkil ettiğini savunuyordu. Kimileri de Dünya'nın (o zamanlar daha iyi anlaşılmaya başlanmış olan) muazzam yaşını bir delil olarak gösteriyor ve o günkü canlı türlerinin geçmişte daha farklı şekillerde yaşamış olabileceklerini söylüyordu. Charles Darwin'in dedesi olan (bkz. s. 176) Erasmus Darwin büyük hayvanların mikroskobik atalardan türediklerini ileri sürüyordu. Zorluk bunun gerçekleşmesini sağlayabilecek mekanizmayı bulmakta yatıyordu.

Kuşlar, dinozorlar ve sürüngenler ortak bir atayı paylaşır; biçimlerindeki farklılıkları maruz kaldıkları evrimsel baskılar ve süreçlerin çeşitliliğine borçludur.



Kendiliğinden Türeme

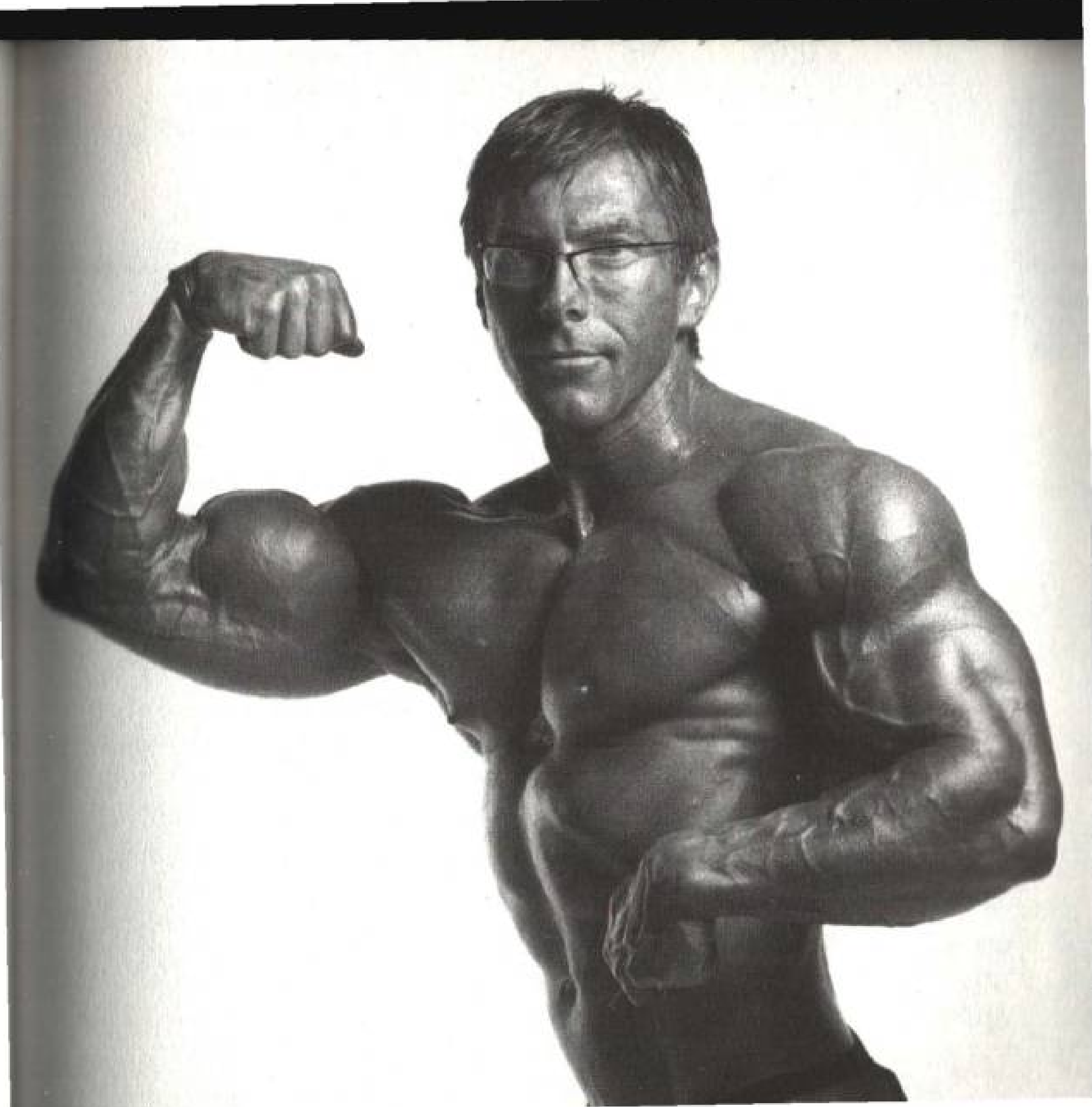
Organizmaların nasıl evrimleştiğine dair geliştirilen ilk fikirlerin özünde, yaşamayan canlılardan sürekli yeni yaşamın oluştuğu düşüncesi bulunuyordu. Bu "kendiliğinden türeme" görüşü, (o zamanlar haklarında halen derinlemesine araştırılmalar yürütülmesi gereken) mikroorganizmaların ölü organizmaların çürüyen kalıntılarından ve atıklarından oluştuklarını belirtiyordu. Henüz hücre teorisinin (bkz. s. 72) oluşturulmasının önünde onlarca yıl vardı ve çürüyen madde üzerinde hiç yoktan var olmuş gibi görünen küfler ve diğer mikroplar için kendiliğinden türeme en iyi açıklama gibi görünüyordu. Kıvrılarak gübrelerden çıkan sinek larvaları, kurtçuklar gibi daha karmaşık yaşam formlarının dahi doğrudan inorganik materyalden oluştukları varsayılıyordu. Her ilkel yaşam formunun biyolojik skalada ilerlemek için çabaladığı fikrinden yola çıkılarak, kendiliğinden türemenin evrim için gereken kaynak materyali sunduğu düşünülüyordu. Organizmaların faal bir şekilde kendilerini geliştirme arayışı içinde olduklarını öneren bu "teleolojik zorunluluk" doğrudan Aristocu felsefeden geliyor ve evrimin ardındaki itici güç olarak görülüyordu. Bu fikir günümüzde bile sarsılması zor bir konuma sahip.



Edinilmiş Özellikler

Modern biyoloji bilimi doğa bilimcilerin çalışmalarından doğdu. Bu kişiler çoğu kez doğal dünyayı belgeleyen ve en önemlisi de kataloglayan on sekizinci yüzyıl rahipleriydi. Her organizma belli bir dizi ortak özelliğe sahip üyeleri içeren belirli bir takıma (ya da türe) aitti. Bu "özgül" özellikler, o organizmanın eşsiz özünün toplamı olarak görülüyor ve değişmez kabul ediliyordu. Kalıtımın anlaşılmasından önceki o yıllarda bu görüşe itiraz etmek oldukça güçtü.

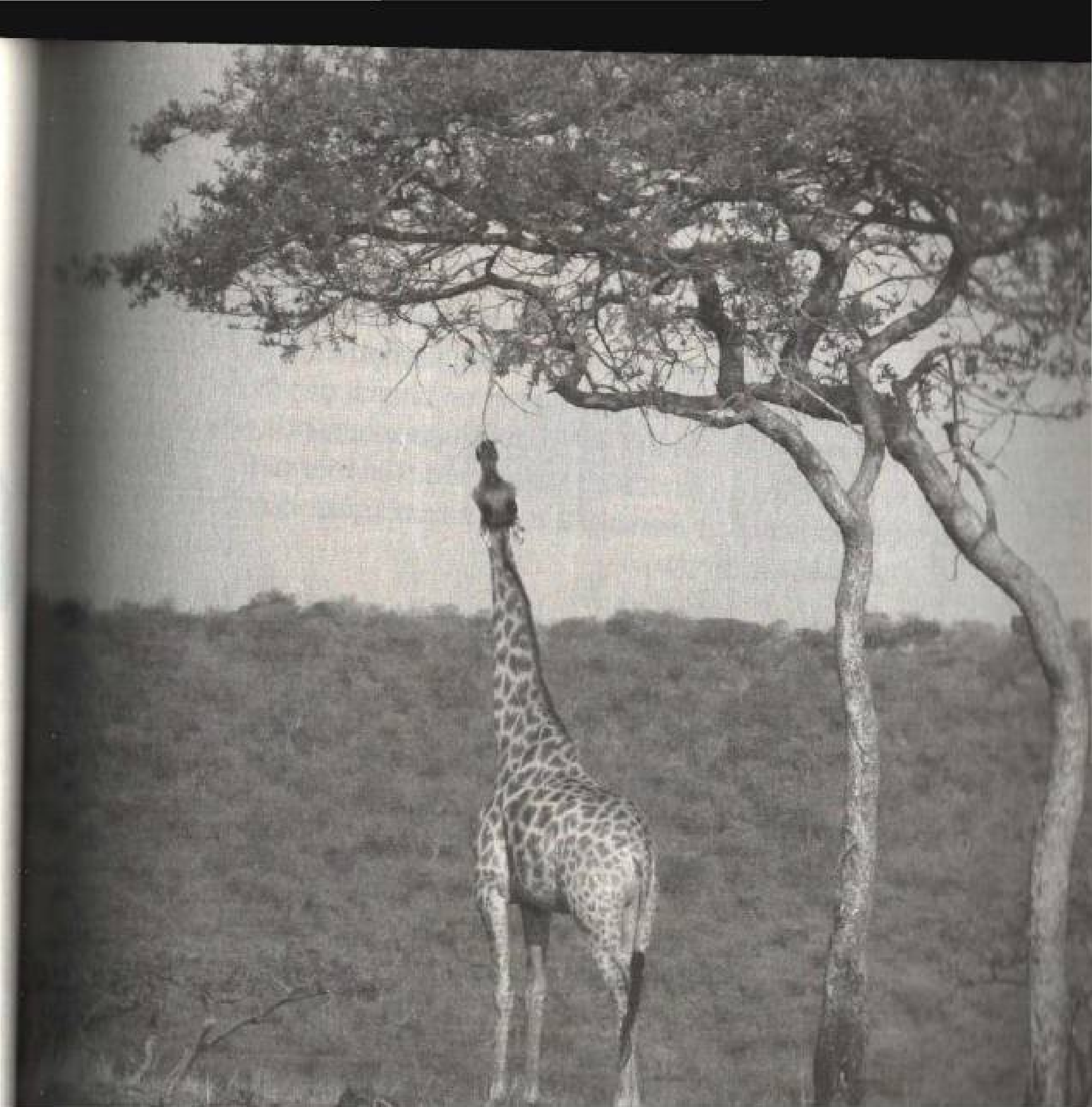
Bu nedenle türlerin nasıl birbirilerinden farklılık göstererek evrimsel bir değişime yol açabileceklerine dair bir yol bulmak gerektiğinde doğa bilimciler spesifik olanlardan ziyade "edinilmiş özellikler"e başvurdular. Bunlar, vücut geliştiren bir kişinin kaslarından el derisinin ağır iş sonucu kalınlaşmasına dek vücudun kendi aktivitesinin ve çevresel etkenlerin sonucu olabilecek herhangi bir özellik olabilirdi. Evrime dair ilk teoriler bu tür edinilen özeliklerin bir sonraki nesle aktarılarak türlerin evrimini mümkün kılabileceğini öne sürüyordu.



Lamarkçılık

Evrime dair ilk tam teşekküllü teori 1809'da Fransız doğa bilimci Jean-Baptiste Lamarck tarafından ortaya atılmıştı. Türlerin nesiller süresince değişim gösterebilmelerini sağlayan yöntem için "transmutasyon" terimini kullanmıştı. Bu teori Darvincilik tarafından yürürlükten kaldırılmış olsa da, merkezî fikri epigenetiğin (bkz. s. 354) keşfi ile günümüzde yeniden gündeme gelmiştir.

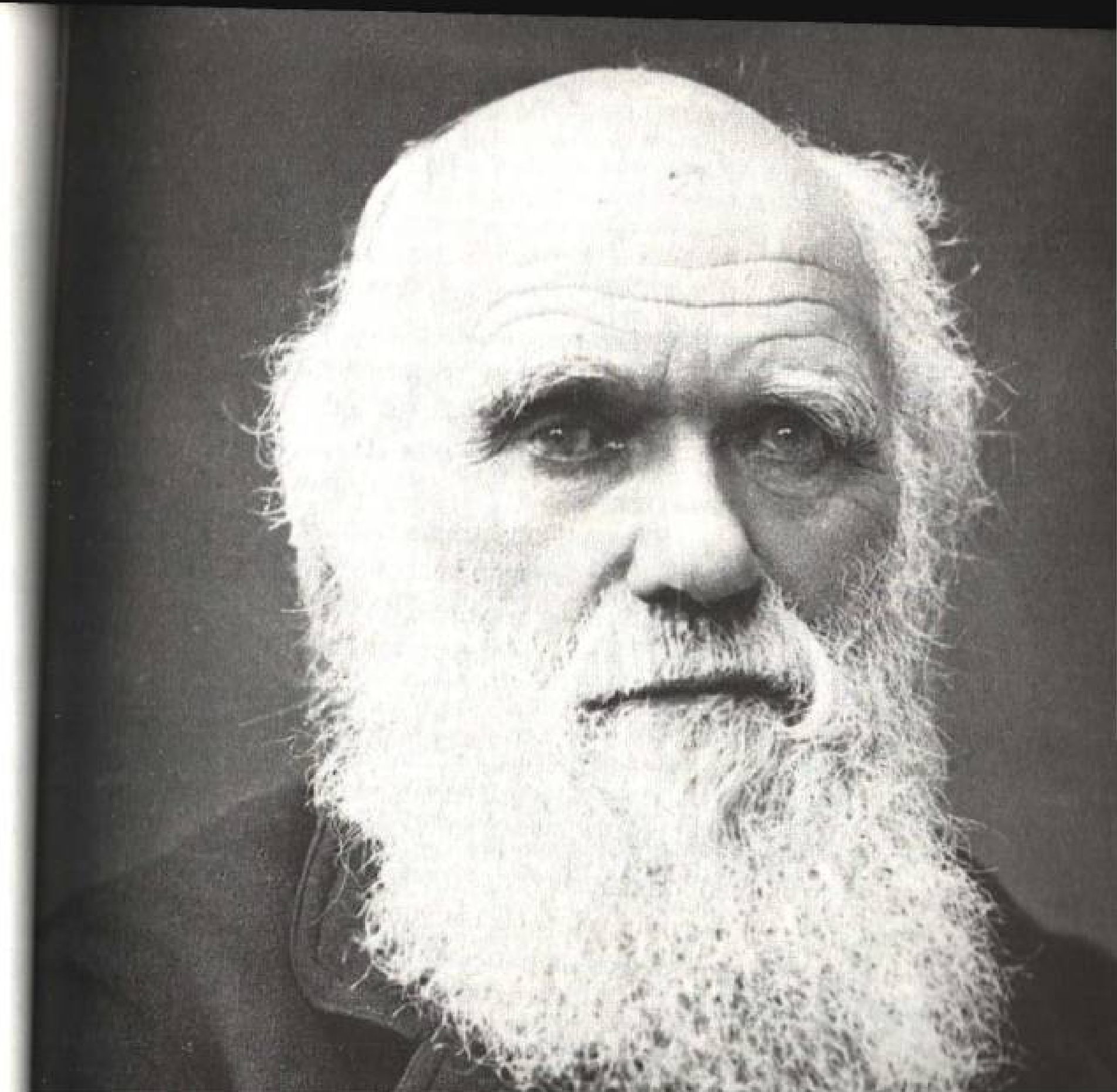
Lamarck evrimin bir yönü olduğuna inanıyordu. Doğa daha karmaşık yapılara doğru gelişmeye ve ilerlemeye çalışıyordu. Bununla beraber, evrimin bir organizmanın kendisinden öncekilere kıyasla çevresine daha iyi adapte olması için işlev gösterdiği düşüncesini de öne sürmüştü. Lamarkçılığın değişime sebep olan faktörleri hayatta edinilmiş özelliklerdi. En meşhur yanlış örneğinden bahsedecek olursak, her zürafa nesli en taze yaprağa erişebilmek adına boynunu gerecekti. Bu daha uzun boyun özelliği yavrularına geçecek ve devam eden süreç daha da uzun nesillerin ortaya çıkmasına sebep olacaktı. Günümüz zürafaları "yeterince uzun" addediliyor ve bu nedenle yukarı gitme eğiliminin sona erdiği düşünülüyordu.



Charles Darwin

Charles Darwin (1809-82) tüm zamanların en ünlü bilim insanları arasındadır ve doğal seçilimden kaynaklanan evrim teorisi bilimsel düşünceye yön veren en önemli geçişler arasında kabul edilir. Darwin bir bilim devi oluşu konusunda pek de konuşkan değildi ve savunucuları arasında din liderlerinin de bulunduğu teorisinin zıt inanışlara karşı savunulması işini çoğunlukla başkalarına bıraktı.

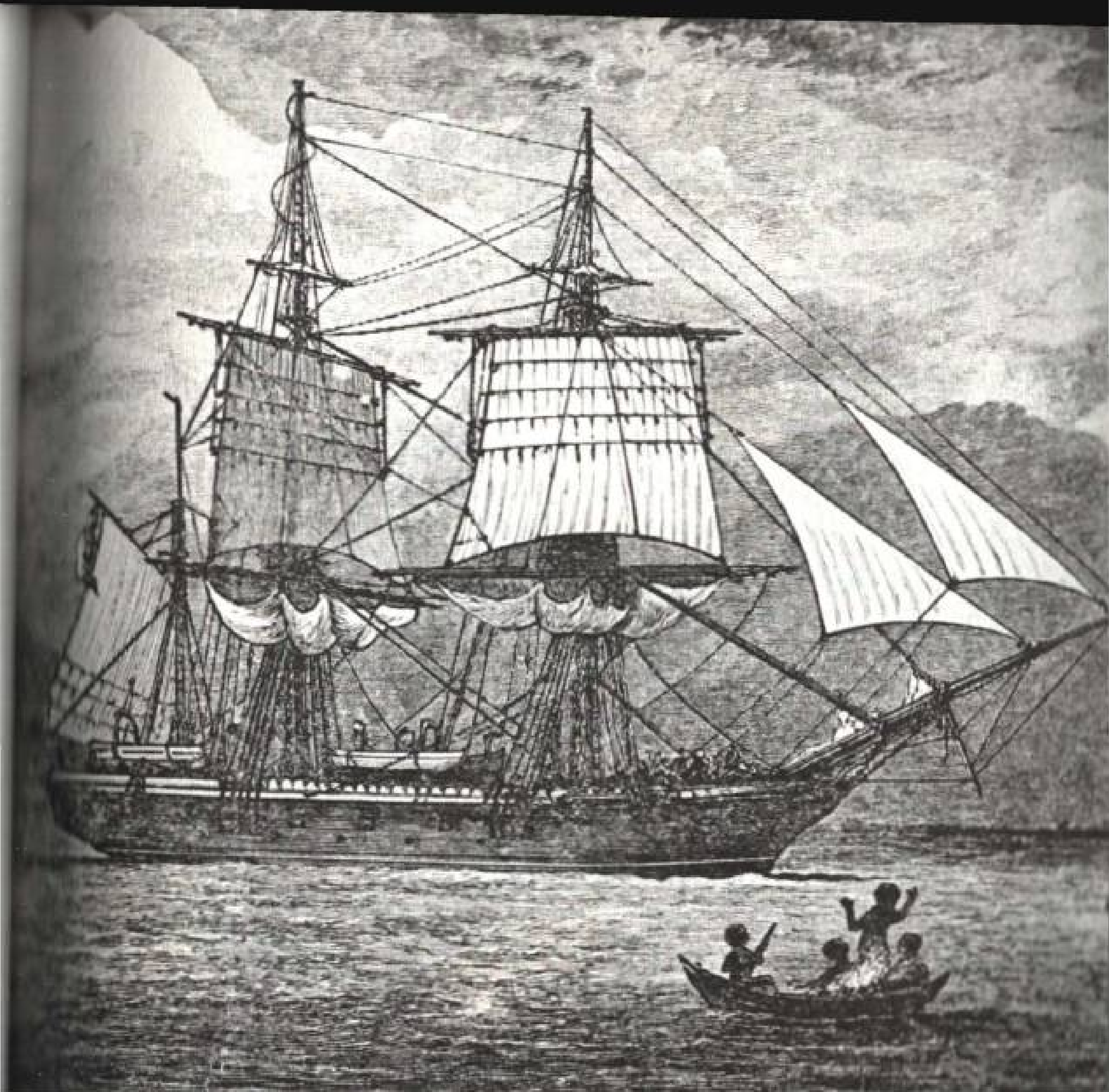
İngiltere'de Shropshire'da dünyaya gelen Darwin'in babası doktor, annesi ise Wedgwood porselenlerinin servetinin varisiydi. Başta Edinburg'da tıp eğitimi almaya başlayan ancak pek başarılı olamayan Charles, ironik bu ya, babası tarafından din adamı olmak üzere Cambridge'e gönderildi. Orada, civardaki kırsal alanda bulunan böcekleri konu alan detaylı çalışmaları ile Darwin'in doğa tarihine olan ilgisi iyice pekişti. Aynı zamanda, doğa tarihini Tanrı'nın işlerine delil niteliğinde değerlendiren bir teolog olan William Paley'nin çalışmalarını da inceleyen Darwin'in seçmeci eğitimi onu, düşünülemeyeni düşünmeye itecek uygun bir noktaya getirmişti.



Beagle'ın Yolculuğu

Charles Darwin, evrim teorisini oluşturmasını sağlayan en güçlü gözlemlerinin çoğunu deniz yoluyla dünyayı dolaşan HMS Beagle'ın güvertesindeki yolculuğu sırasında yaptı. Beagle'ın görevi, Güney Amerika ve Pasifik adalarının kıyılarının araştırılmasını kapsayan barışçıl bir görevdi. Daha sonra Britanya'nın ulusal hava tahmini kurumu olan Met Office'in kurucusu olacak olan Kaptan Robert FitzRoy, bilimsel düşünceyi benimsemiş sivillere yolculuğunda kendisine eşlik etme çağrısında bulunmuştu. Birkaç ay önce mezun olmuş olan Darwin, kendi masraflarını karşılaması gerekmesine rağmen bu teklifi kabul etti.

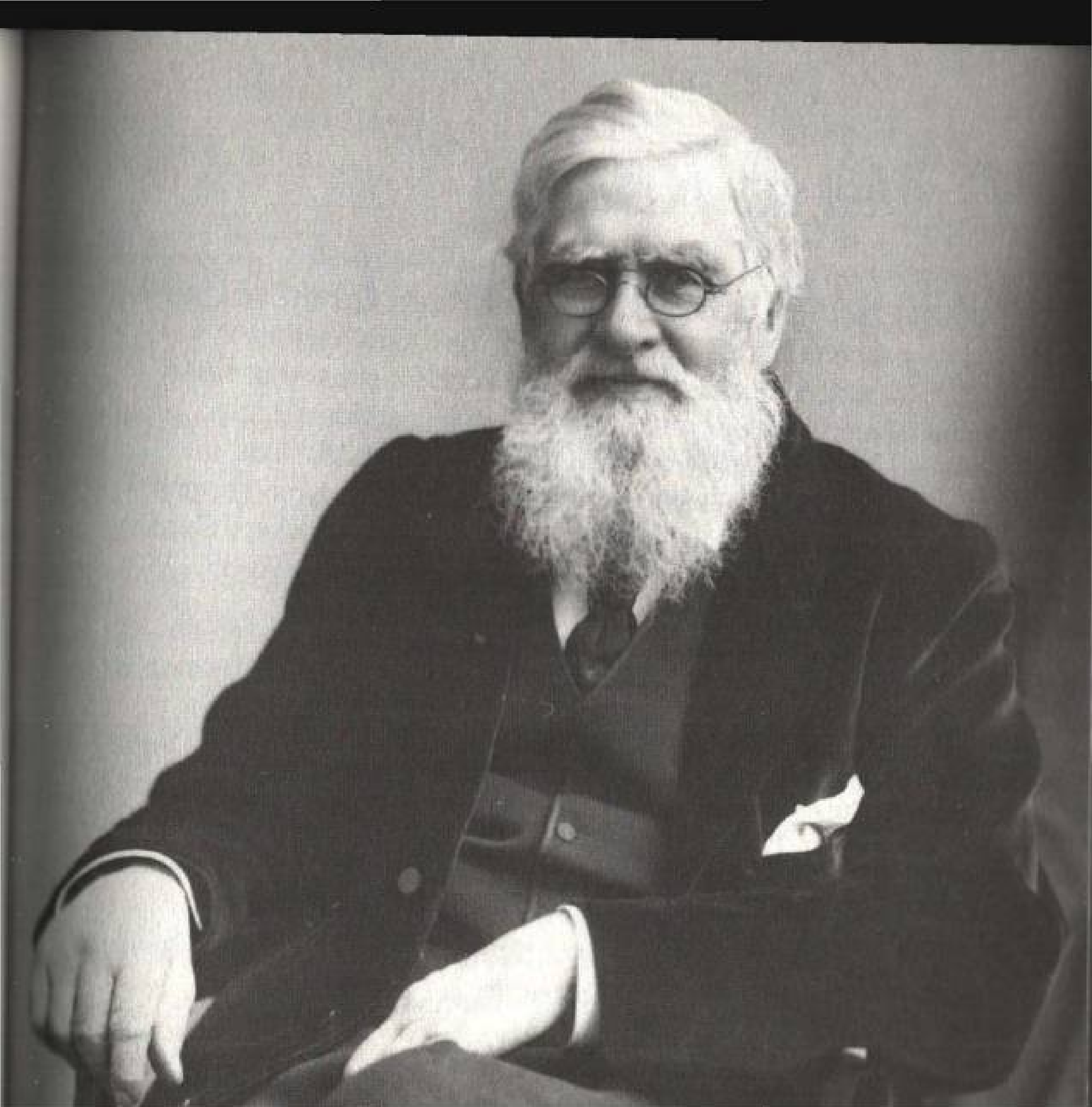
Yolculuk Darwin'i Afrika'ya, Güney Amerika'ya, Yeni Zelanda'ya, Avustralya'ya ve Orta Pasifik'teki Galapagos Adaları da dahil olmak üzere çok sayıda adaya götürdü. Darwin'in büyük oranda karada, farklı yerlerde bulduğu canlıları toplayıp karşılaştırarak geçirdiği yolculuk beş yıl sürdü. Evrim teorisinin çıkış noktası farklı kıtalarda bulunan, belli ki akraba olmayan türler arasında bulduğu benzerlikler olmuştu.



Alfred Russel Wallace

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında evrimin hayvanların bedenlerini nasıl şekillendiriyor olabileceğini düşünen yegâne doğa bilimci Darwin değildi. Engin teorisinin üzerinde kafa yorarken göreceli tek başınalığının mahremiyetinde yaşamayı tercih eden Darwin'in aksine Galli kâşif Alfred Russel Wallace (1823-1913) Malezya ve Endonezya adalarında kendi keşif yolculuğunu gerçekleştiriyordu. Dünyanın bu bölgesi, bir yanında antik Avustralya kökenli, diğer yanında ise Asya kökenli hayvanların bulunduğu bir sınır teşkil ediyordu. Bugün Wallace Line olarak adlandırılan bu sınır Celebes Denizi ve Lombok Boğazı arasından geçmektedir.

Wallace en yakın akrabalığa sahip canlıların komşu bölgelerde bulunduğunu ve aralarındaki farkların, âdeta her tür kendi komşusundan türemiş gibi, kademeli bir ardışıklık gösterdiğini görmüştü. 1850'lerde Darwin'e yazan Wallace ona bu evrimin nasıl gerçekleşmiş olabileceğine dair fikirlerini sormuştu. Böylece Darwin de uzun süredir fikir aşamasında olan teorisini nihayet meydana çıkarmak için kışkırtılmış oldu.



Türlerin Kökeni

HMS Beagle'dan dönüşünün ardından kuzeni Emma Wedgwood ile evlenen Charles Darwin konforlu bir taşra hayatı sürmeye başladı. Ancak on çocuklarından üçünü küçük yaşta kaybetmenin yüküne ek olarak geliştirmek için uzun yıllar üzerinde çalıştığı teorisinin muazzam çıkarımlarının ağırlığını da omuzlarında hissediyordu. Teorisini yalnızca birkaç meslektaşı duyma şansına erişmişti fakat Darwin çalışmalarını önünde sonunda *Doğal Seçilim* (*Natural Selection*) isimli dev bir kitapta sunmayı planlıyordu.

Lakin Darwin 1858'de Alfred Russel Wallace'tan ana hatlarıyla kendisininkine benzeyen bir evrim teorisinden bahseden bir mektup aldı. İkili o yıl Linnaean Society'de ortak makaleler yayımlarken, Darwin fikirlerine dair daha kısa bir çalışma karalamak adına *Doğal Seçilim*'e ara verdi. Sonuç olarak *Türlerin Kökeni* (*On the Origin of Species*) ilk kez 1959 yılında basılabildi. Kitap, aralarında insanların da bulunduğu pek çok örnekle organizmaların nasıl uzak geçmişte ortak bir atadan geldiğini açıklıyordu. İnsanlığın kendisine dair görüşü üzerinde bu derece çarpıcı bir etki bugüne kadar ancak birkaç kitap tarafından yaratılabilmiştir.

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.,

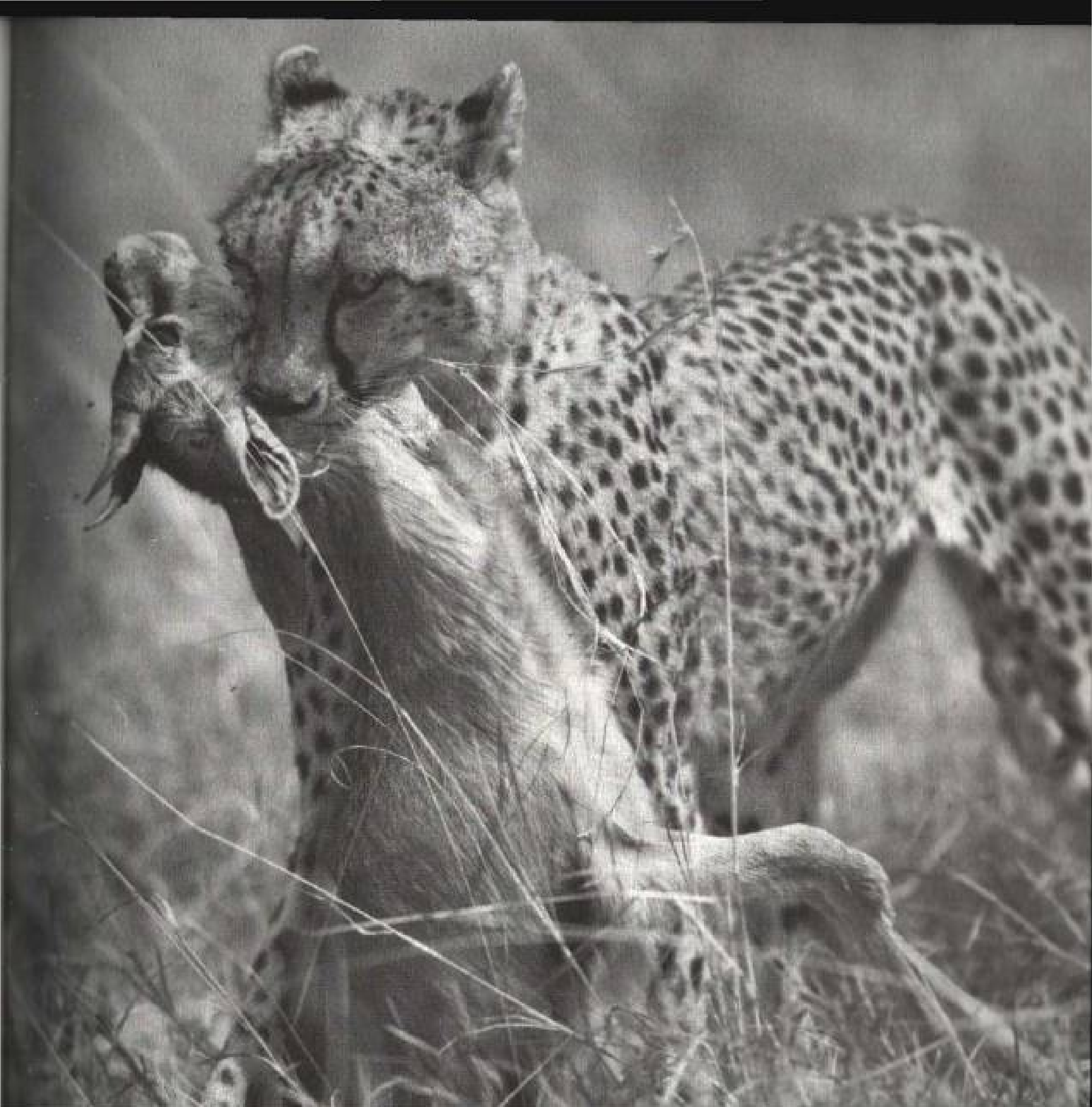
FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNÆAN, ETC., SOCIETIES;

AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H. M. S. BEAGLE'S VOYAGE ROUND THE WORLD.'

Doğal Seçilim

Charles Darwin'in evrim teorisinin başvurduğu "doğal seçilim" ilkesi fikrinin çıkış noktalarından biri de 1798'de Thomas Malthus (1766-1834) tarafından yazılan ve hem Darwin hem de Wallace tarafından okunan *Popülasyon İlkesi Üzerine Bir İnceleme* (*Essay on the Principle of Population*) idi. Malthus'un çalışması insan popülasyonundaki artışın gıda yetiştirme yeterliliğinin önüne geçerek küresel bir kıtlığa sebep olacağına dair uyarıda bulunuyordu.

Teknolojik gelişmeler bugüne dek bu "malthusyan" felaketin gerçekleşmesine engel olmuş olsa da, bu fikir Darwin'in doğa bilimci zihninin insan olmayan popülasyonların nasıl bir kontrol mekanizmasına tabi olduklarını sorgulamasına sebep olmuştu. Darwin'in mantığı onu vahşi bir popülasyonun erişebileceği gıda, alan vb. kaynakların limitli olması nedeniyle yalnızca belirli bir popülasyon büyüklüğünün desteklenebileceği çıkarımına ulaştırmıştı. Popülasyonun yalnızca bir kısmı hayatta kalıp geri kalanı ölecekti, ancak bu hayatta kalma mücadelesi tesadüfi olmayacaktı. Doğa kazananlarını seçecekti. İhtiyaç duyulan kaynakları en iyi kontrol edebilenler hayatta kalırken bunu başaramayanlar ölecekti. Darwin'in muhteşem katkısı, doğal seçilimin türlerin değişimi üzerindeki gücünü fark etmesi olmuştu.



Rekabet

Thomas Hobbes'dan (1588-1679) farklı kelimelerle bir alıntı yapmak istersek, hayatın "nahoş, vahşi ve kısa" olduğunu söyleyebiliriz. Bu durum özellikle uzun bir hayat sonrası ilerleyen yaş nedeniyle gerçekleşen ölümlerin ender olduğu vahşi popülasyonlar için geçerlidir. Başlangıçta evrim teorileri sürecin doğaüstü bir gelişme hedefiyle güvence altına alındığını varsaysa da, Darwin evrime gücünü kazandıran yegâne unsurun hayatta kalma yarışı olduğunu anlamıştı.

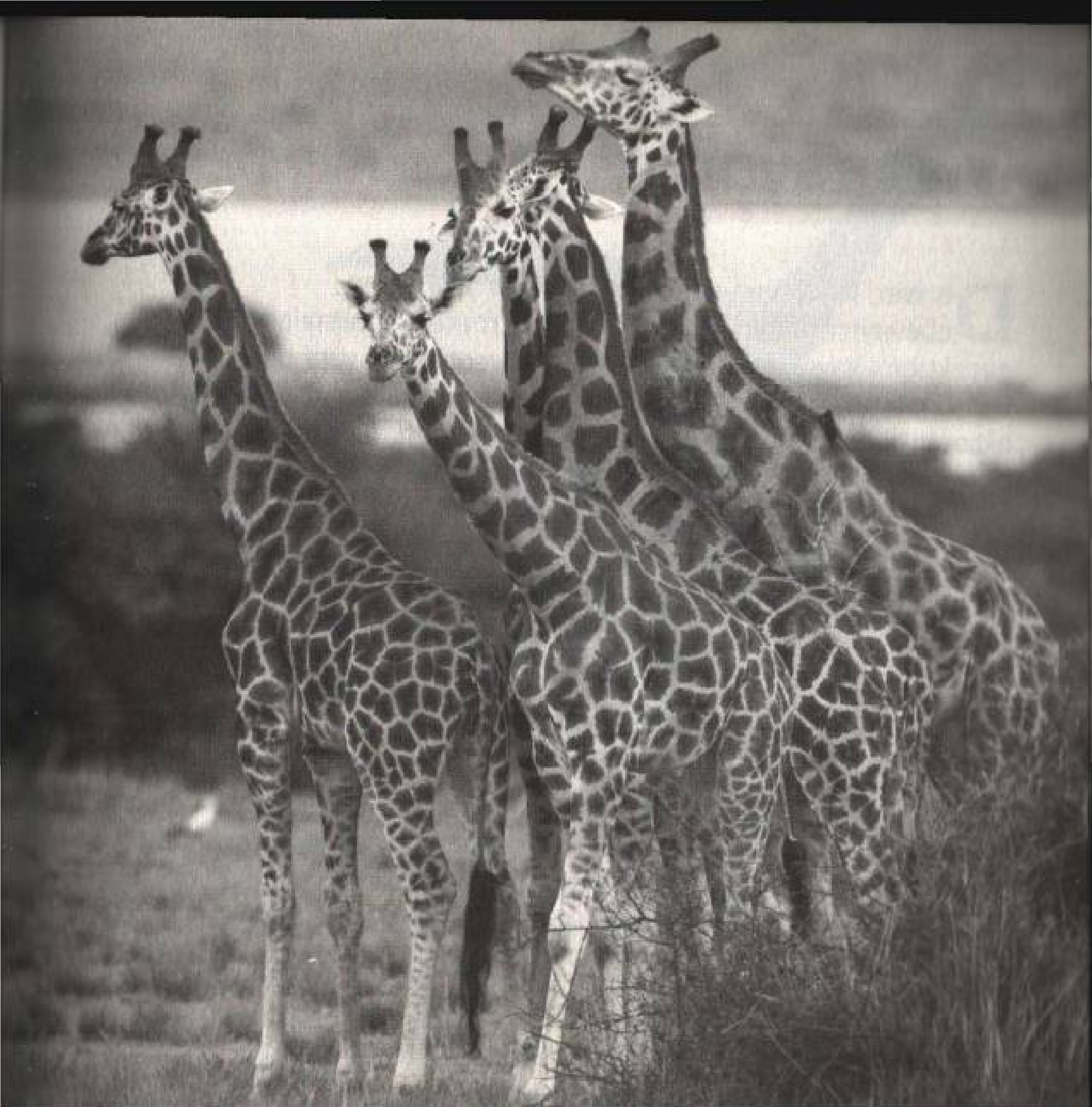
Tüm yaşam hayatta kalmak için rekabet halindedir. Besin, oksijen, su ve enerji kaynaklarına ek olarak bunların kullanılacağı alan için de savaş verilir. En zorlu yarış, aynı gereklilikleri aynı yöntemle elde etmeye çalışan aynı türün üyeleri arasında gerçekleşir. Dahası, hayatta kalma dürtüsü aslında sonuçta yalnızca bir amaca hizmet eder. Hayatta kalmanın maksadı üremektir ve bireyler de bunun gerçekleşmesi ihtimalini artırmak için mücadele ederler. Doğal seçilim yarışı sadece daha zayıf olan bireylerin ortadan kaldırılması için değil, aynı zamanda onların üreyerek genlerini bir sonraki nesle aktarmalarına engel olmak için de gerçekleştirilir.



Çeşitlilik

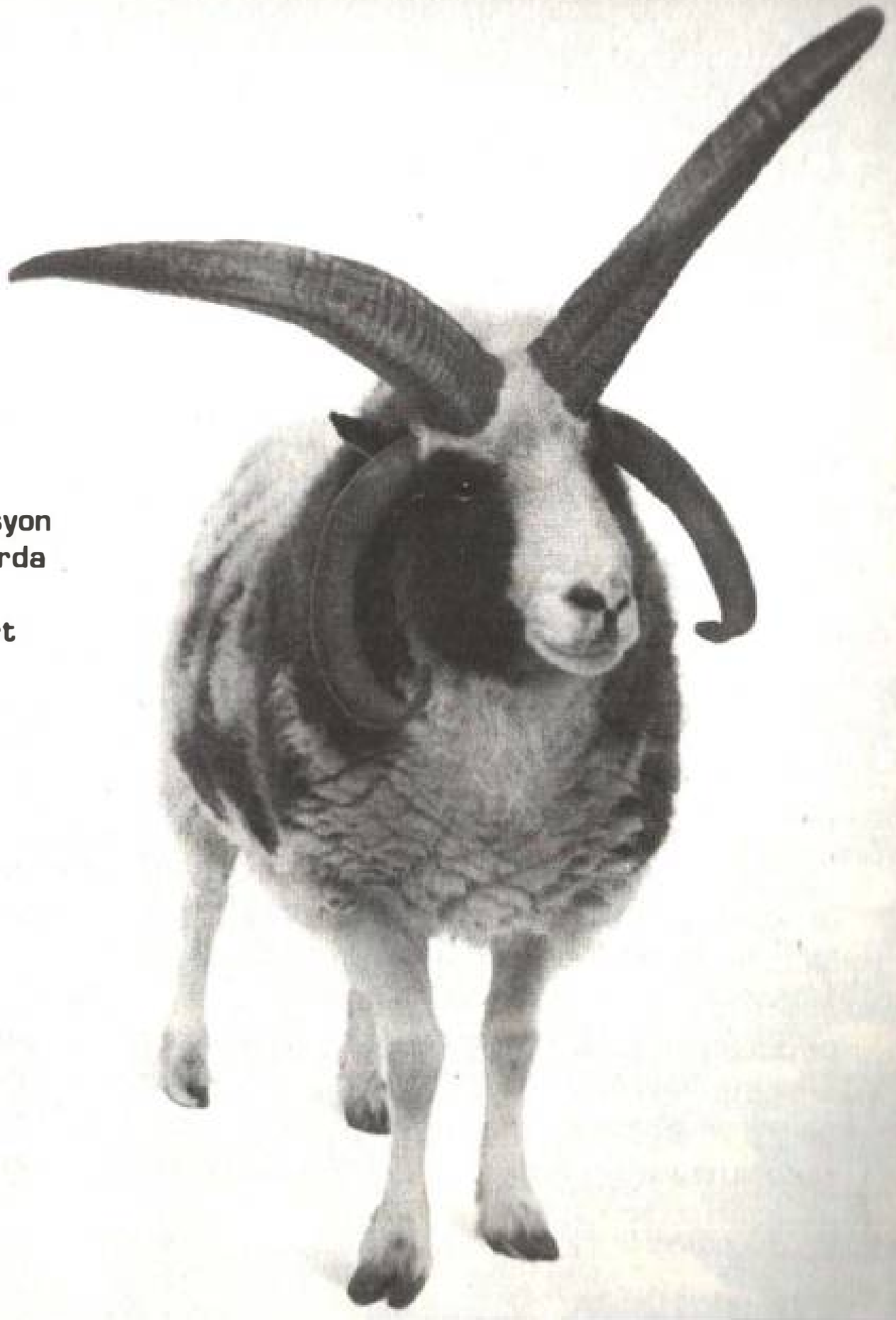
Doğal seçilim bir araca ihtiyaç duyar, zira eğer bir popülasyondaki bireylerin tamamı birbirinin aynısı olsaydı hiçbiri bir diğeri üzerinde avantaj sağlayamazdı. Ancak doğanın işleyişi böyle değildir. Her popülasyonda belirli bir derecede çeşitlilik gözlenir ve bir bireyin başarılı, diğerininse onunla karşılaştırıldığında başarısız olması bu farklılıklardan kaynaklanır.

Lamarck (bkz. sf. 174) zürafaların uzun boyunlarının yapraklara uzanma zorunluluğundan kaynaklandığını ve (nasıl olduğunu tam olarak söyleyemese de) her nesilde gittikçe daha da uzayacaklarını öne sürmüştü. Darwin'in açıklaması kulağa bilinen gerçeklerle daha uyumlu geliyordu: Bazı zürafalar daha uzundur ve boyları onlara avantaj sağlar. Böylece daha kısa komşularına oranla daha çok yer ve daha çok üreŗler. Kısa zürafalar aç kalmaya ve yavrulayamamaya daha yatkındır. Darwin uzun zürafaların uzun yavruları olacağını ve doğal seçilimin daha uzun yavruların dünyaya getirilmesine sebep olmasıyla zürafa türünün daha uzun boylu olmak üzere evrimleşeceğini kavramıştı. Ancak tüm zürafalar hiçbir zaman aynı boyda olmayacak ve bu nedenle daima bir miktar çeşitlilik mevcut olacaktı.



Mutasyon

Darwin, teorisinin çalışabilmesi için yavruların ebeveynlerinden bir tür "genetik" materyal almalarının gerektiğini kavramıştı. Ebeveynlerin avantajları, yani doğa tarafından seçilen özellikler yavrularına bu materyal aracılığıyla aktarılıyordu. DNA ve santral dogmanın keşfi sayesinde bu genetik materyalin ne olduğunu ve nasıl işlev gösterdiğini artık biliyoruz. Bu aynı zamanda bize evrimi besleyen çeşitliliğin nereden geldiğini de gösterdi. Bir popülasyonun çeşitliliği gen havuzundaki farklı alellerden kaynaklanır. Genlerin bu alternatif versiyonları tesadüfi bir şekilde mutasyonlar, yani DNA eşlenmesi sırasında gerçekleşen hatalar sebebiyle ortaya çıkar. Bu tür hatalar gerçekleşmeseydi yaşamın evrimi mümkün olmazdı. Eğer mutasyon bir intronda gerçekleşirse herhangi bir etkisi olmaz; eğer bir ekzonda ortaya çıkarsa o gen tarafından kodlanan proteinin yapısında değişikliğe sebep olur. Muhtemelen bu bir dezavantaja sebebiyet verecek ve doğal seçilim tarafından bu gen kısa sürede gen havuzundan silinecektir. Ancak nadiren de olsa bir mutasyon yeni bir tür avantaj ortaya çıkarır ve evrim gerçekleşir.

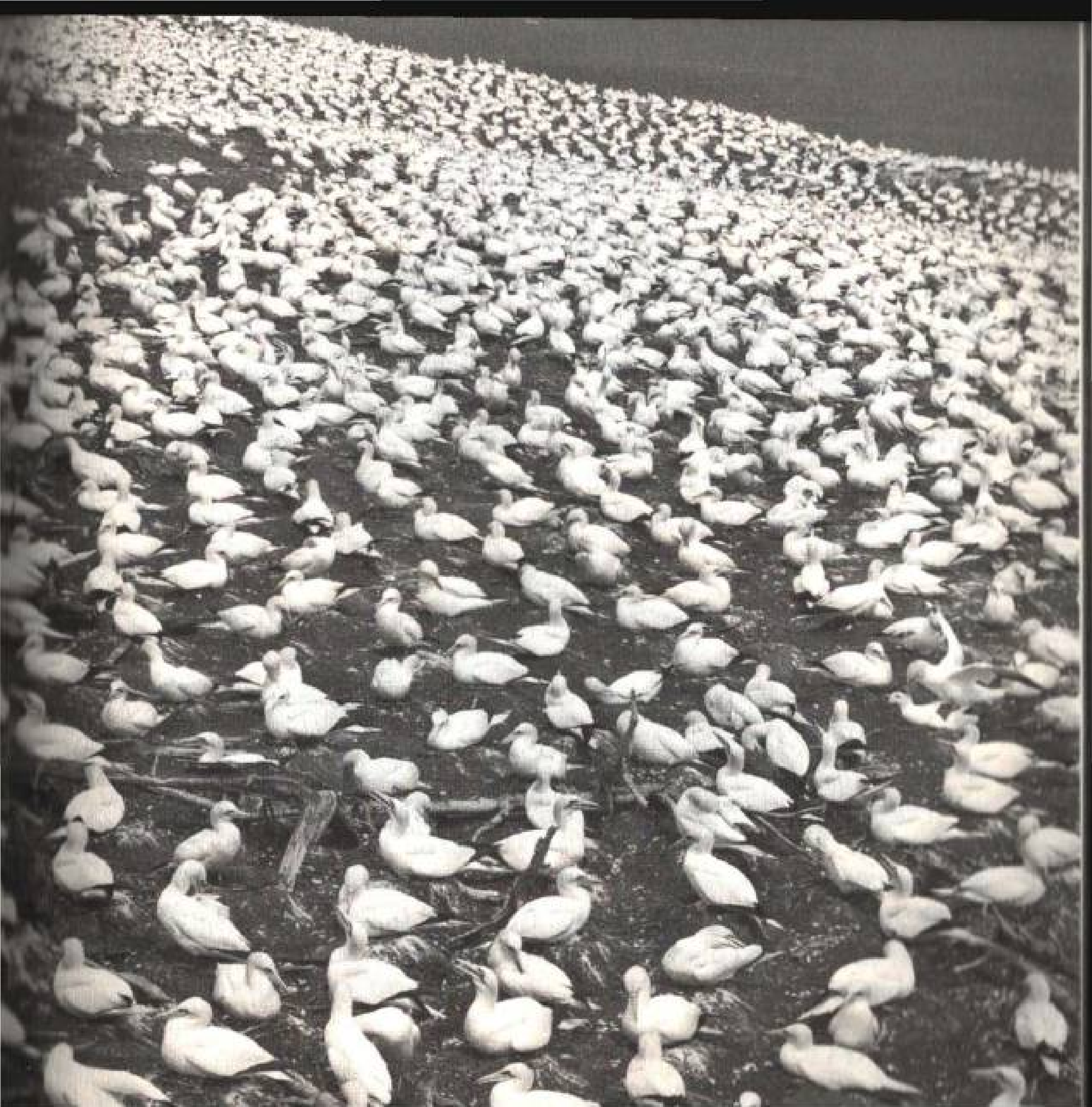


Jacob koyunları genetik bir mutasyon nedeniyle koyunlarda olağan olan iki boynuz yerine dört boynuza sahiptir.

En Güçlü Olanın Hayatta Kalması

Bu terimi kendisi ileri sürmüş olmasa da Charles Darwin "en güçlü olanın hayatta kalması" kavramını doğal seçilime dayanan evrim teorisini açıklamak için canıgönülden benimsemişti. Bu bağlamda "uygunluk" terimi bir bireyin edindiği avantajların ve dezavantajların dengesini özetler niteliktedir. Eğer avantajlı özellikler istenmeyenlere ağır basıyorsa birey "uygun" olur ve daha az uygun olan bireylere karşı verilen hayatta kalma mücadelesinde üstün gelir. Doğal seçilim en uygun olanın hayatta kalarak en çok yavruyu üretmesini temin eder. Ebeveynlerinden avantajlı özellikleri (yani genleri) alan bu yavruların da uygun olması muhtemeldir.

Eğer önceki biçimler üzerinde avantaj sağlayacak bir mutant alel ortaya çıkarsa, taşıyıcısı komşularından daha uygun olacaktır. Nesiller ilerledikçe doğal seçilim daha az uygun olan alellerin ender görülmesini ya da yok olmasını sağlarken bu mutant genin popülasyonda yayılmasına sebep olur. Meydana gelen değişiklikler algılanamayacak kadar küçük olabilir, yine de geçen nesillerin sayısı ve zamanın enginliği söz konusu olunca gerçekleşen bu ufak değişimlerin toplamı tüm bir türün değişmesine yol açabilir.



Adaptasyon

Evrim bir nevi düzeltme sürecidir. Doğal seçilim uygun olmayan genleri elerken popülasyonun bir bütün olarak hayatta kalmaya daha elverişli hale gelmesini güvence altına alır. Ancak bu denklemin başka bir yanı daha vardır. Bir bireyin uygunluğu yalnızca bulunduğu çevreye kıyasla ölçülebilir. Bir alabalık nehir yaşamına uygundur ancak çölü aşması gerekirse bir deve sürüsüyle rekabet edemez (ki tersi senaryoda bu durum develer için geçerlidir).

Bir organizma popülasyonunun içinde bulunduğu ortam sabit değildir. Durumu değişebilir ki kimi zaman bu oldukça seri gerçekleşir ve hayatta kalmak için yeni zorluklar ortaya çıkabilir. Her bir değişiklik bir bireyin uygunluğunu değiştirecektir ve bir zamanlar bireyin başarılı olmasını sağlayan genler bir noktada yetersiz kalabilir. Doğal seçilim de yeni koşullarda avantaj sağlayacak farklı alelleri destekleyerek devam eder. Bunun sonucu olarak organizmalar yeni çevrelerine uyum sağlayabilir. Yaşamı bu kadar zengin bir çeşitlilikte türler meydana getirmeye iten faktör, evrimin yeni yaşam alanlarına uyum sağlayabilecek adaptasyonlar yaratabilmesidir.



Biberli güveler endüstriyel çevre kirliliği nedeniyle kararan ağaçlarda saklanmaya uyum sağladıkça, türün koyu renklileri açık renklilere nazaran daha çok yaygınlaştı.

Türleşme

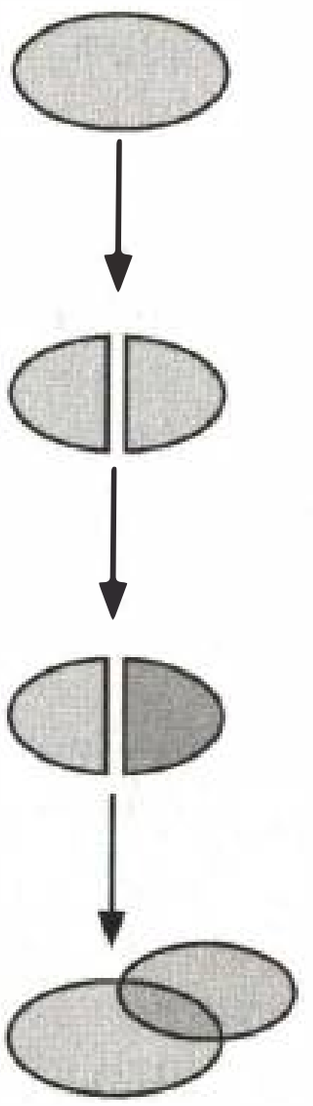
Doğal seçilim organizmaları içinde bulundukları çevreye göre şekillendirir. Milyonlarca yıl ve sayısız küçük değişiklik sonrasında bir türe ait olarak tanınan bir grup organizma o kadar büyük bir değişiklik geçirmiştir ki, yepyeni bir grup meydana getirir. Bu değişim sürecine türleşme denir ve iki temel gerçekleşme yolu vardır.

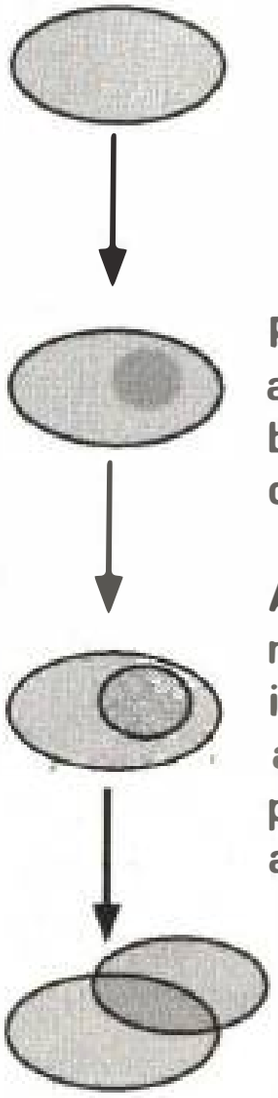
En basit mekanizma tek türü içeren bir popülasyonun fiziksel bir engelle birbirlerinden ayrılmasını içerir. Belki de olağanüstü sıcak bir yaz, bir Alp geçidini kapatan buzları eriterek keçi sürülerinden birinin diğer vadiye geçmesini mümkün kılmıştır ve buz yeniden oluşarak yolu tekrar kapatmıştır. Artık iki keçi grubu değişik besinlerin ve avcıların olduğu farklı bir çevrede yaşar. Bunun sonucu olarak da başka şekillerde evrimleşerek farklı türlere dönüşür. Türleşmenin ikinci yolu ise bir popülasyonun kendi bünyesinde gerçekleşir. Örneğin mutant bir keçi, sürünün kalanı için zehirli olan bir besini sindirebilme yetisi kazanır ve böylece değişik bir besinden istifade edebilecek bir alt popülasyon gelişir. Bu alt popülasyon mutant olmayanlarla üremeyi bırakırsa popülasyon da iki ayrı türe ayrılır.

Allopatrik türleşme

Simpatrik türleşme

Tek bir kaynak tür





Fiziksel ayrılma popülasyonu böler.

Değişik baskılar popülasyon-ları birbirinden farklılaştırır.

Yeniden bir araya gelseler dahi artık iki farklı türü teşkil ederler.

Popülasyonda avantaj sağlayan bir mutasyon ortaya çıkar.

Alt popülasyon mutasyondan istifade edebilmek adına daha geniş popülasyondan ayrılır.

Bir süre sonra alt popülasyon ayrı bir türe dönüşür.

Soy Tükenmesi

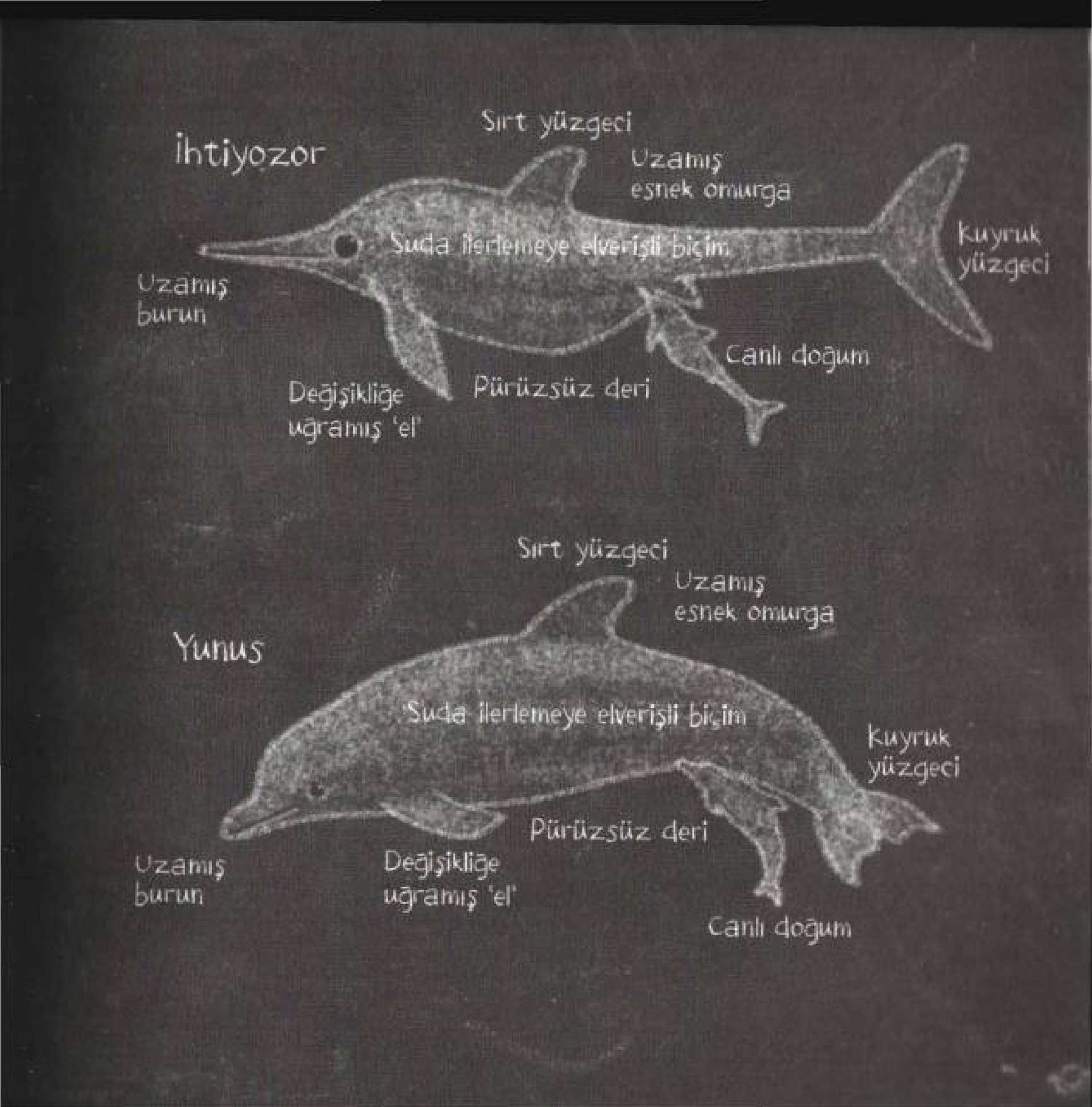
Soy tükenmesi muhtemelen daha önce yaşadığı bilinen dinozorlar ve diğer büyüleyici canlılar sayesinde iyi anlaşılmış bir kavram. Mauritius dodosunun avlanma nedeniyle 1688'de soyu tükenene dek bir türün yok olabileceği fikri neredeyse hiç dikkate alınmamıştı. 1813'te Fransız anatomist Georges Cuvier (1769-1832) soy tükenmesinin yalnızca insanların sebep olduğu doğal olmayan bir durum olmadığını ortaya çıkardı. Cuvier, mastodonların fosil kalıntılarının canlı fillerle aynı türe ait olmadığını göstermişti. Yani zaman ilerledikçe türlerin soyu tükeniyor ve yerlerine yeni türler geliyordu.

Sıkça alıntılanan bir istatistiğe göre, bugüne kadar evrimleşmiş türlerin yüzde 99,9'unun soyu tükenmiş bulunuyor. Ancak bu ifadeye bir miktar açıklık kazandırmak gerekiyor. Dodoların ve mastodonların soyu gerçekten tükenmiştir, yani bu türlerin ikisi de hayatta kalamamıştır ve ikisinin de onlardan evrimleşen bir yavru türü mevcut değildir. Ancak daha geniş bir kapsamda değerlendirildiğinde dinozorların yalnızca görünüşte soyu tükenmiştir. Günümüzde var olan kuş türleri dinozorlardan evrimleşmiştir ve bu nedenle bazı dinozor genlerini taşımaktadır.



Yakınsak Evrim

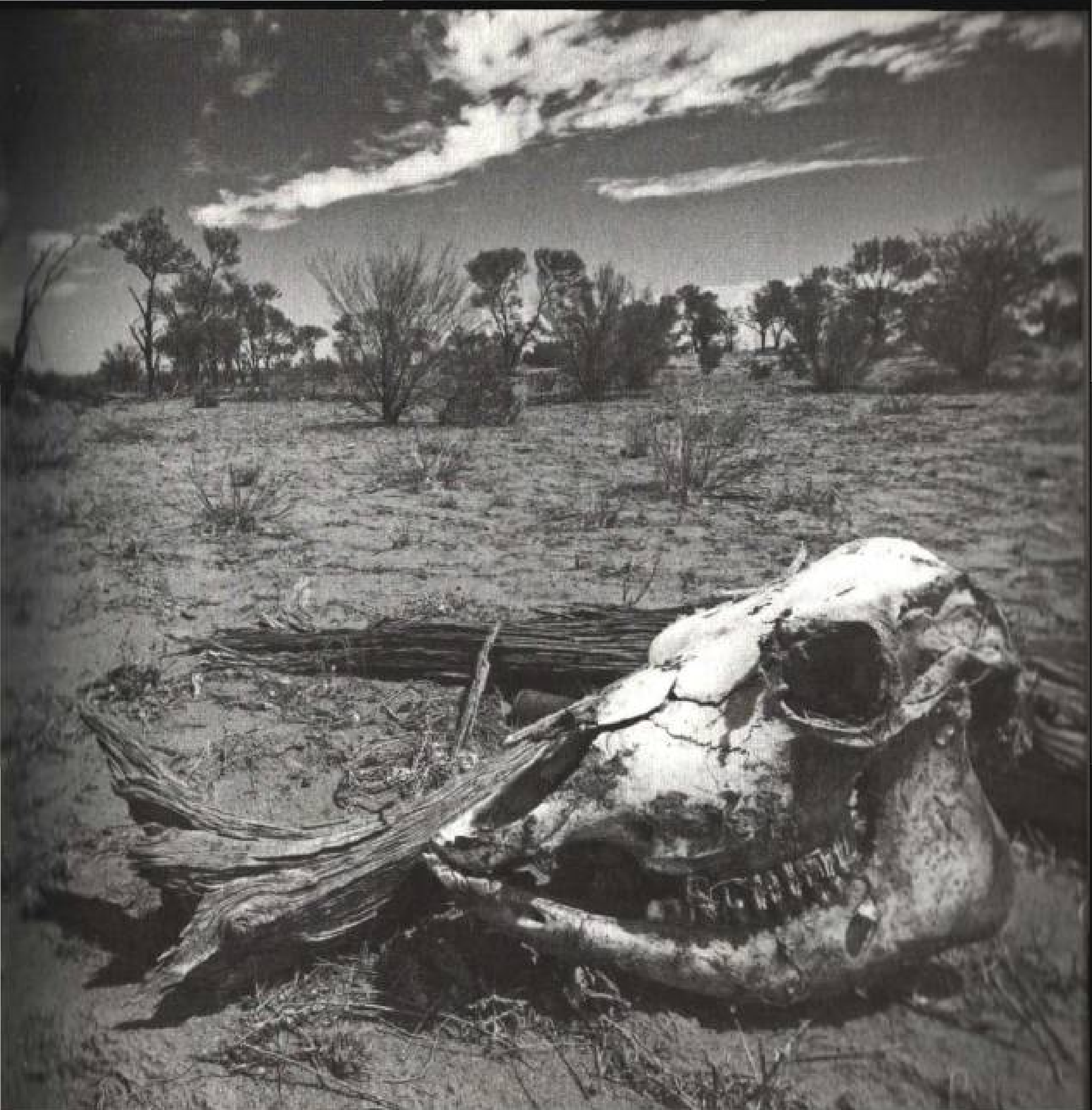
Doğal seleksiyonun geçerliliğini destekleyen en güçlü göstergelerden biri de yakınsak evrimdir. Bu, oldukça farklı atalardan gelen hayvanların aynı ortama adapte olurlarken benzer şekilde evrimleşme eğiliminde olduklarının gözlemlenmesidir. Büyük pelajik avcıların, yani açık denizlerde avlanan canlıların yakınsak evrimi bu duruma iyi bir örnek teşkil eder. Bu türlerin en yaşlısı olan köpek balıkları tipik olarak vücudu dengelemek amacıyla kullanılan yüzgeçleri ve itme için kullanılan geniş kuyruklarıyla suda ilerlemeye elverişli bedenlere sahiptir. Bundan doksan milyon yıl önce okyanuslarda avlanan deniz memelileri olan ihtiyozorlar da köpek balıklarınınkine benzer yüzgeçleri ve kuyruklarıyla aynı vücut tipine sahipti. Günümüzde aynı vücut yapısına sahip olan yunuslar da doğada benzer bir konuma sahiptir, yani aynı ekolojik nişte bulunur. Bunlar gibi balık, sürüngen ve memeli türleri bağımsız evrimleşmiş olsalar da seçilim baskısı adı verilen bir olgu nedeniyle oldukça benzer görünür. Doğal seçilimin görmeyen eli evrimi aynı yöne itme eğilimindedir, böylece akraba olmayan organizmalar belirli bir nişte hayatta kalmak için aynı adaptasyonları geliştirir.


İhtiyozor
Sırt yüzgeci
Uzamış
esnek omurga
Kuyruk
yüzgeci
Suda ilerlemeye elverişli biçim
Uzamış
burun
Canlı doğum
Değişikliğe
uğramış 'el'
Pürüzsüz deri
Yunus
Sırt yüzgeci
Uzamış
esnek omurga
Suda ilerlemeye elverişli biçim
Kuyruk
yüzgeci
Pürüzsüz deri
Uzamış
burun
Değişikliğe
uğramış 'el'
Canlı doğum

Popülasyon Genetiği

Popülasyon genetiği alanı bir gen havuzundaki alellerin görülme sıklığının nasıl değiştiğini inceler. Değişimin en büyük itici güçlerinden biri doğal seçilimdir ancak gen havuzunu değiştirebilecek tek faktör değildir. Bir diğer faktör de mutasyondur. Yaşayabilen mutasyonların (yani hızla ortadan kaldırılmayanların) görülme sıklığı oldukça düşüktür fakat yeterince uzun bir süre sonunda bu mutasyonların gen havuzu üzerinde devamlı etkiler yarattığı görülebilir. Daha hızlı etkiler "genetik sürüklenme" ya da "gen akışı" olarak adlandırılan olgular nedeniyle ortaya çıkar.

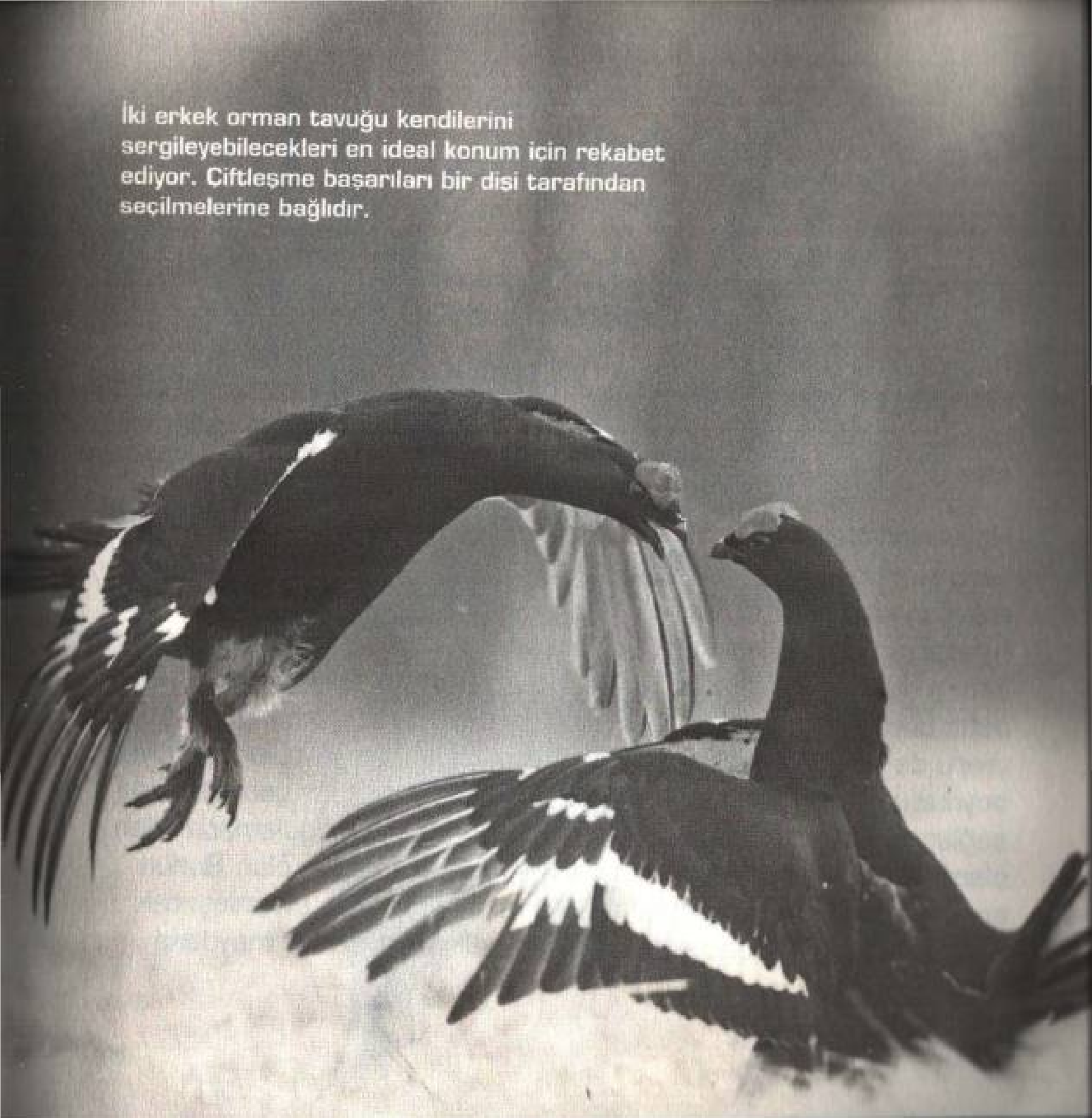
Genetik sürüklenmeye şans unsuru sebebiyet verir. Anormal bir felaket popülasyonu büyük oranda yok ederek bazı alellerin ortadan kalkmasına sebep olabilir. Daha muhtemel bir olasılık ise alellerin doğal seçilim nedeniyle değil de kalıtım sürecinin tüm o tesadüfi safhaları nedeniyle yalnızca aktarılamamış olmaları olabilir. Gen akışı ise aynı türün o ana dek bir popülasyondan izole yaşamış bireylerinin popülasyona gelmeleriyle gen havuzuna yeni genlerin katılması sonucu gerçekleşir.



Dişinin seçimi

Doğal seçilimin itici gücü üreme başarısıdır ancak erkekler ve dişiler buna erişmek için farklı yollar izler. Bu durum anizogami olarak bilinen eşey hücreleri arasındaki farklılıklara kadar indirgenebilir. Sperm yalnızca genlerin yarı setini taşır ve bol miktarda üretilmesi kolaydır. Bir erkeğin en iyi seçeneği spermlerini olabildiğince fazla yayarak mümkün olan en fazla sayıda yavru üretmeyi hedeflemektir. Dişinin seçenekleri ise oldukça farklıdır. Yumurtaları bir embriyonun oluşturulmasına izin verecek enerjiyi barındırır ve bu nedenle sperme kıyasla çok daha az sayıda üretilir. Döllenmeden sonra dişi, yavrusunun hayatta kalma şansını mümkün olduğunca arttırabilmek adına ciddi anlamda kaynak vakfetmelidir ve bunu yaparken yardım etmesi için erkeğe bel bağlayamaz. Bu nedenle dişi, tedarik edilen sperme oranla yumurtanın eksikliğinin çekilecek olmasından istifade ederek dişinin seçimi olgusuna başvurur. Bir dişi değerli üreme kaynaklarını nasıl kullanmak istediğine dair bir seçim yapmalı ve bu seçimi dikkatli yapmalıdır. Bu da erkekler arasındaki rekabete evrimleri üzerinde geniş kapsamlı etkiler yaratacak yeni bir unsur ekler.

İki erkek orman tavuğu kendilerini sergileyebilecekleri en ideal konum için rekabet ediyor. Çiftleşme başarıları bir dişi tarafından seçilmelerine bağlıdır.



Eşeysel Seçilim

Charles Darwin eşeysel seçilim kavramını detaylandırdığı *İnsanın Türeyişi*'ni (*The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*) 1871'de yayımladı. Büyük oranda dişinin liderliğinde gerçekleşen ve yönlendirici kuvveti eş seçimi olan bu tür bir seçilimin hayatta kalmaya yardımcı olacak adaptasyonlar meydana getirmesi şart değildir. Aslına bakılırsa bunun tam tersine de sebep olabilir.

Hayvanlar âleminde tanık olduğumuz geyik boynuzları ya da tavus kuşu kuyruğu gibi birçok etkileyici süs bu sürecin bir sonucu olarak meydana gelmiştir. Darwin eşeysel seçilimin doğal seçilimi geride bırakarak hayatta kalmayı güçleştirecek özelliklerin ortaya çıkmasına sebep olabileceğini görmüştü. Boynuzları örnek alalım; bir dişi eşini daha büyük boynuzları olduğu için seçer. Böylece herhangi bir erkek yavru da büyük boynuzlara sahip olacaktır ve dişi yavrular da büyük boynuzlu eşleri tercih edecektir. Bu durum pozitif bir geri besleme sağlar ve boynuzların gittikçe daha da büyüyerek uygulamada silah olarak kullanılabilecekleri boyutları aşmalarına neden olur. Bunun sonucu olarak da cinsiyetler sıklıkla farklı şekillerde evrimleşerek "eşeysel dikotomi" olarak tanımlanan belirgin ayrımlar meydana getirirler.



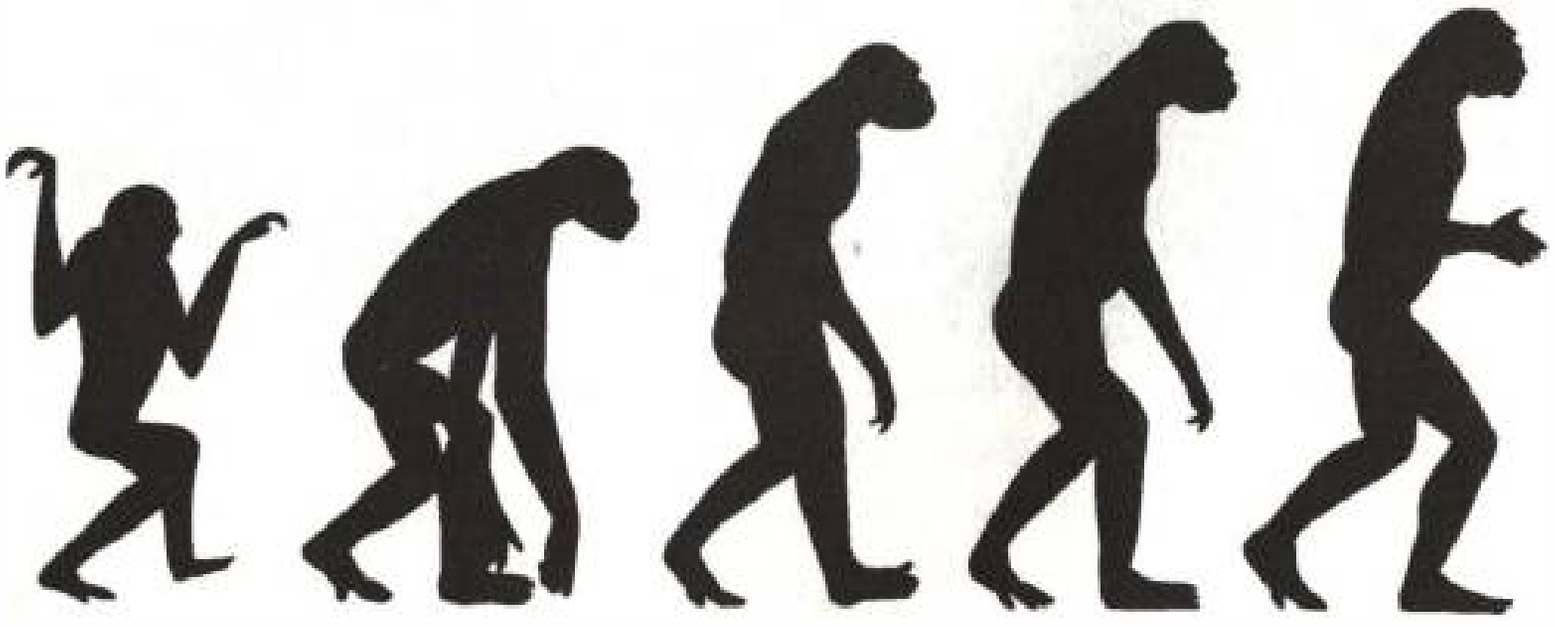
Kırmızı Kraliçe Etkisi

Hayvanlarda eş seçimi olgusu çoğu zaman boynuzlar, parlak kuyruklar, başka türden süsler gibi sinyalleri kapsar. Bu tür sinyaller eşeysel seçilim nedeniyle uçlara götürülebilecek olmalarına rağmen yine de "dürüst"lerdir. Büyük, simetrik boynuzlar geliştirmenin bedeli yüksektir ve bu bedel, geyiğin genlerinin bir bütün olarak hayatta kalmanın günlük gerekliliklerini kaldırabilecek olmasının yanı sıra iri ve genellikle işlevsiz boynuzlar geliştirmek için gereken fazladan enerjiyi de sağlayabileceğine işaret eder. Çarpık boynuzlu bir rakibin genleri hayatta kalmaya daha az elverişlidir.

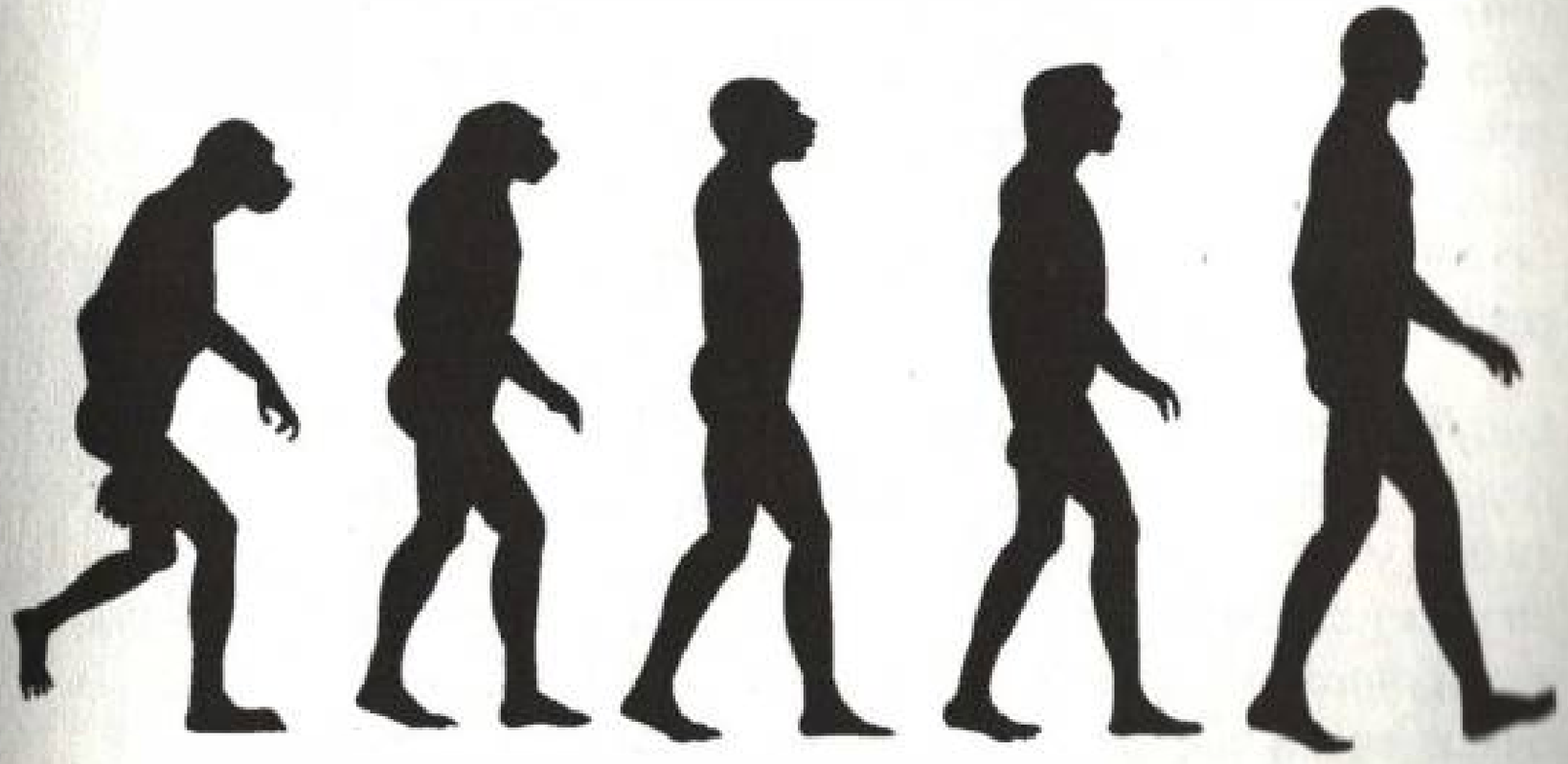
Ancak iş başındaki başka bir faktör daha bu boynuz sinyalinin dürüst olmasını sağlar. Geyik (ya da herhangi bir türün) popülasyonu, hayvanların savunmalarını aşacak şekilde göze görünmeden evrimleşen parazitler ve patojenlerin daimi saldırısı altındadır. Geyik bu saldırılarla başa çıkacak şekilde evrim geçirir ve başarılı olanlar bunu boynuzları sayesinde belli eder. Türler değişmiyor gibi görünse de evrim, ismini *Alice Harikalar Diyarında*'ki hızla koşan ancak hep aynı yerde kalan karakterden alan "Kırmızı Kraliçe Etkisi" ile daima çalışır.

İnsan Evrimi

Darwin'in evrim teorisi birçok hasımla karşılaştı ve tezinin en tartışmalı yanı insanın da tüm diğer yaşam formlarıyla aynı değişim mekanizmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmış olduğu fikriydi. Bu fikir çatışmasını, 1860'ta Darwin'in ateşli bir savunucusu olan Thomas Huxley ile Oxford Piskoposu Samuel Wilberforce arasında gerçekleşen bir münazarada Wilberforce'un hasmına yönelttiği "Anne tarafınızın mı yoksa baba tarafınızın mı maymundan geldiğini iddia ediyorsunuz?" sorusuyla özetlemek mümkün.



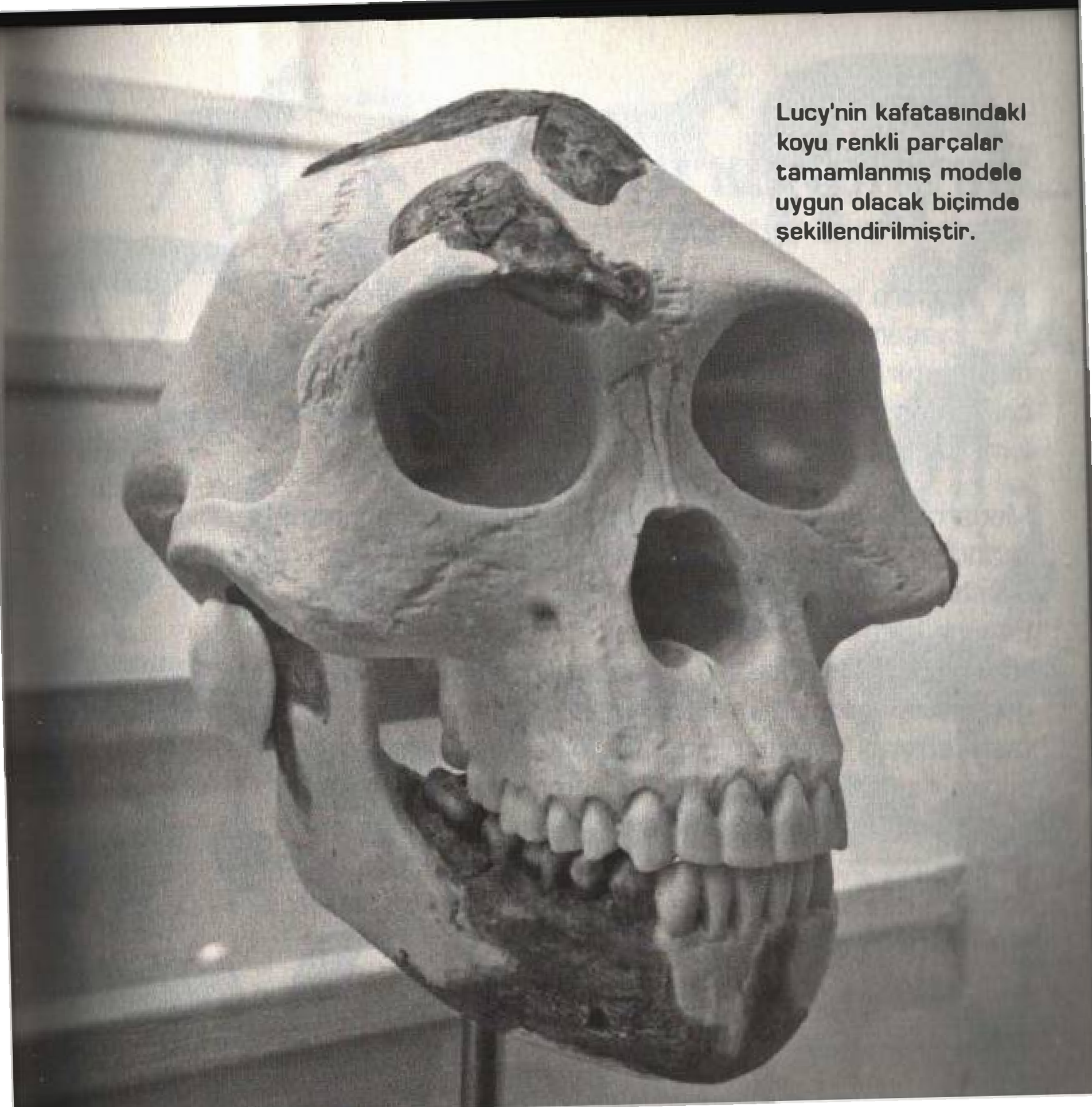
Darwin, insanlar ve başta kuyruksuz maymunlar olmak üzere primatlar arasındaki anatomik benzerliklerin bu türlerin en yakın akrabalarımız olduklarını gösterdiğini iddia etti. Bugün DNA'dan elde edilen bulgular insanların genlerinin yüzde 98,8'ini şempanzeler ve bonobolarla paylaştıklarını kanıtlarken, fosil bulgular insanların ve şempanzelerin yaklaşık sekiz milyon yıl önce yaşamış ortak bir ataya sahip olduklarını ortaya koyuyor. Ancak şempanzeler orman canlıları olarak kalırken insanlar açık çayırlarda yaşamaya uyum sağlayarak başka bir doğrultuda evrimleşmişlerdir.



Lucy

Bulunan en eski hominin (insansı) fosili, konumu günümüzde Çad'a karşılık gelen ormanlarda yaşamış şempanze benzeri bir kuyruksuz maymun olan *Sahelanthropus tchadensis*'e aittir. Kalıntılar bu canlının arka ayakları üzerinde durabildiğini gösteriyor ancak modern insanların doğrudan atası olduğuna dair herhangi bir kanıt mevcut değil. Bilinen en eski atamız bundan 3,2 milyon yıl önce (myö) Doğu Afrika'da yaşamış, iyi ayak üzerinde yürüyebilen bir kuyruksuz maymun türü olan Lucy'dir (*Australopithecus afarensis*). Lucy iki ayak üzerinde yürürken bir metreden biraz daha uzun oluyordu ancak kolları ve parmakları bize oranla çok daha uzundu ve bu da Lucy ve australopithecine ("güney maymunu") türdeşlerinin yetkin tırmanışçılar olup muhtemelen açık savan ağaçlıklarında yaşadıkları tezini ileri sürüyor.

Lucy'den bana ve size kadarki soyumuz net olmasa da, (yaklaşık 2,5 myö yaşamış, taştan basit kesici aletler yapan bir hepçil olan) *Homo habilis* ve (1,9 myö yaşamış, Afrika'nın dışına yayılmış ve ateşi kontrol edebilen ilk tür olduğu düşünülen) *Homo ergaster*'i kapsar. *Homo sapiens* yüz elli bin yıl önce Afrika'da ortaya çıkmadan önce birçok başka hominin türü Asya ve Avrupa'ya yayılmıştır.

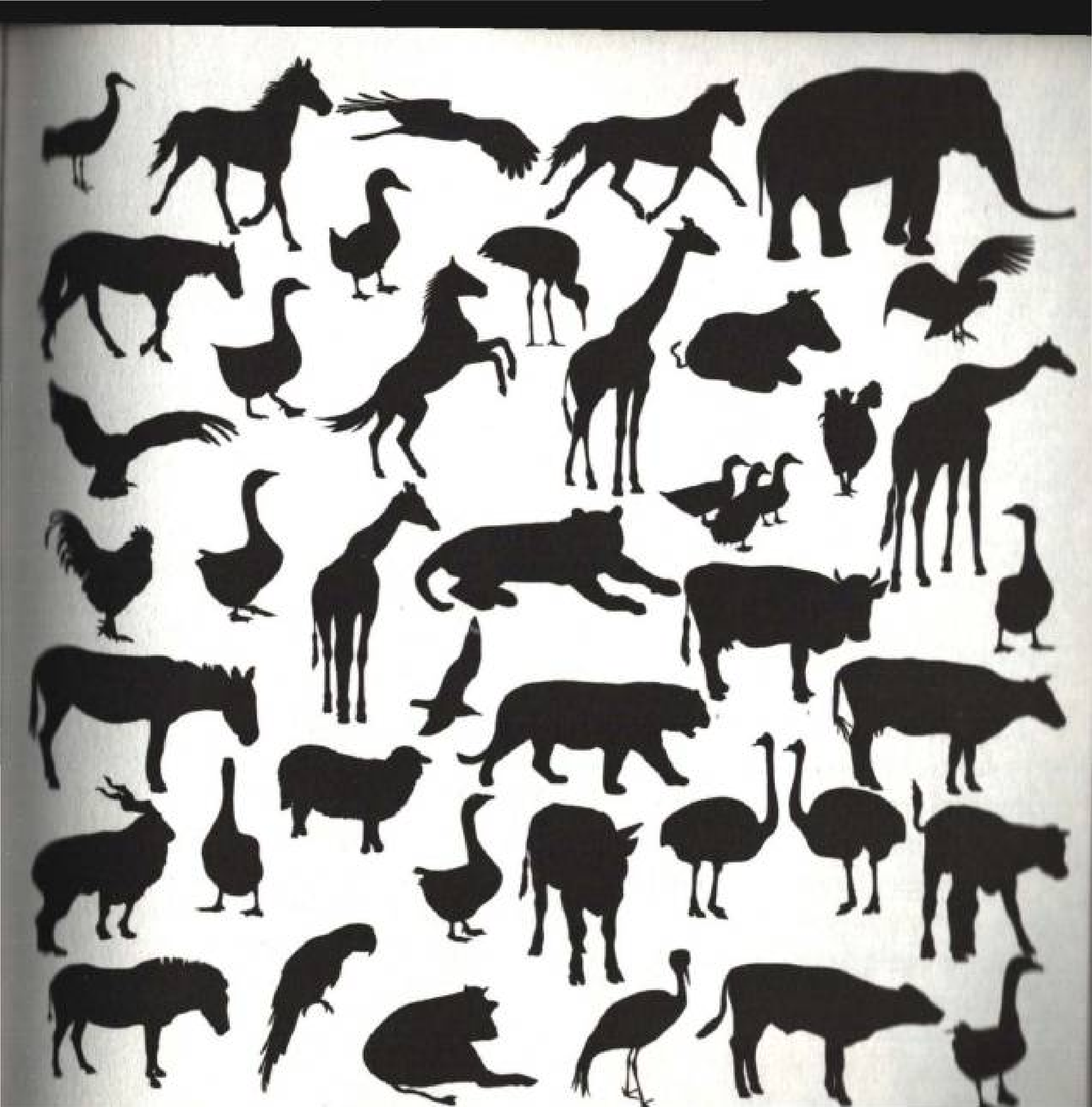


Lucy'nin kafatasındaki koyu renkli parçalar tamamlanmış modele uygun olacak biçimde şekillendirilmiştir.

Sınıflandırma

Modern biyoloji ve genetik bilimi Dünya üzerindeki yaşamın çeşitliliğine dair kavrayışın gelişmesinden doğmuştur. İlk biyologlar yaşamı anlamlı gruplara ayırmaya çalışan kişilerdi. Bu sınıflandırma sürecinin daha bilimsel ismi "taksonomi"dir.

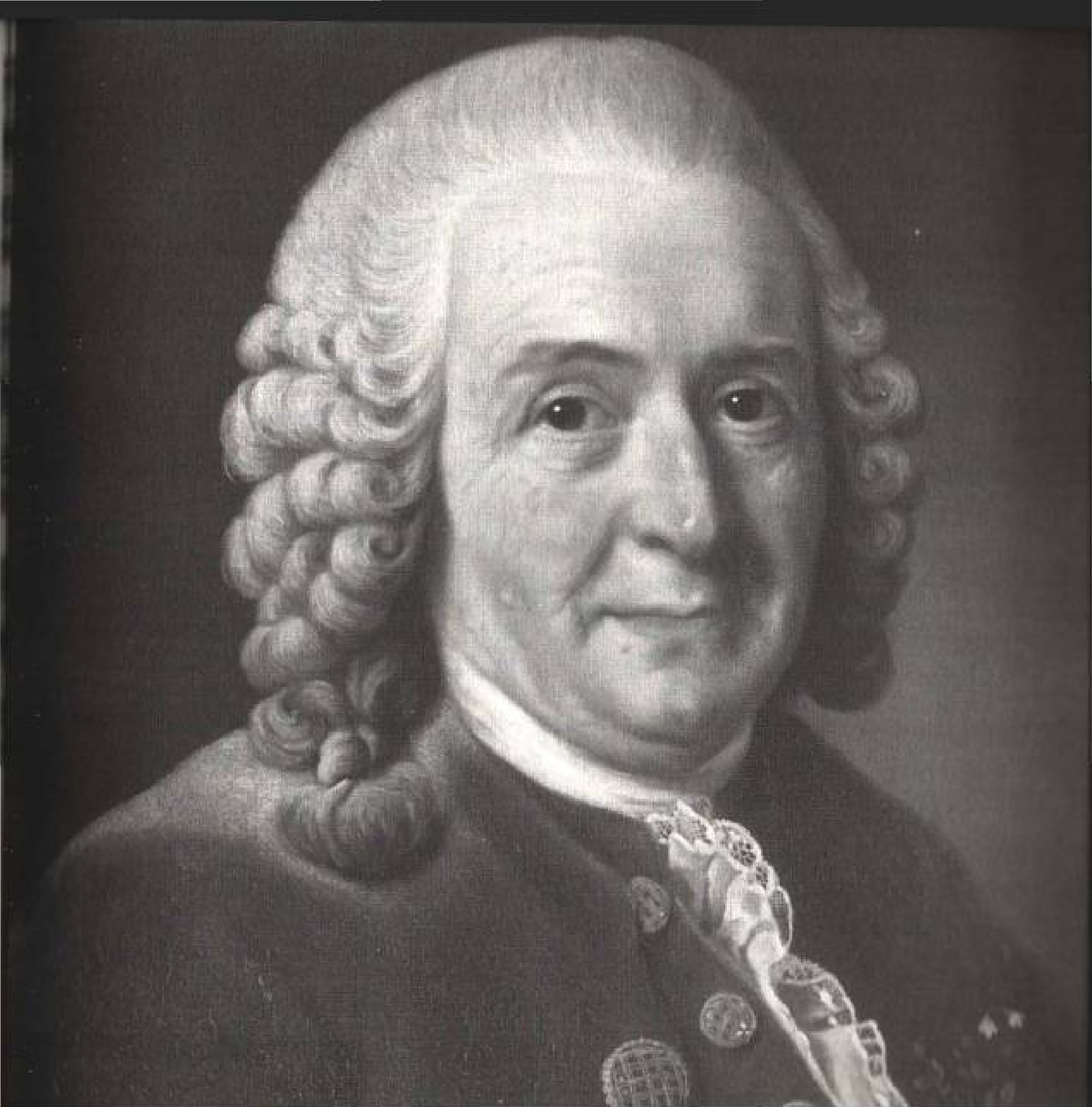
Modern bağlamda taksonomistlerin çalışmaları anatomik ayrıntıları ve sıkıntılı Latince isimler nedeniyle biyoloji bilimlerinin daha az ilgi çekici bir yönü olarak görülüyor. Bugüne kadar taksonomistler bir milyonun üzerinde türü sınıflandırmış bulunuyor ve bunlar en iyi ihtimalle günümüzde gezegenimizde yaşayan canlıların yüzde 10'unu teşkil ediyor. Taksonominin türlerin çizimlerini yaparak onlara muğlak isimler verdiği dönemden bu yana modern taksonomi tanınamayacak ölçüde değişmiş bulunuyor. Günümüzde bu alan organizmaların atalarının doğa tarihi boyunca izini sürmenin yanı sıra yaşamı daha da detaylı bölümlere ayırmak için çalışıyor.



Carolus Linnaeus

Taksonominin kurucusu İsveçli Carl von Linné (1707-78) daha ziyade Latinceleştirilmiş ismi Linnaeus ile hatırlanır. Linné kesinlikle yaşamı belirli kurallara göre düzenlemek isteyen ilk insan değildi. Aristo, her ne kadar balinaların bir tür balık olduğunu (örneğin "yunus" kelimesi Yunancada "rahim balığı" anlamına gelir) varsayması gibi hatalara düşse de bu alanın öncülerindendi. Aristo'nun hatası organizmaları doğal alanları ve yaşam tarzlarına göre sınıflandırmasından kaynaklanır.

Linnaeus on sekizinci yüzyılın ortalarında geliştirdiği bir sınıflandırma yöntemiyle *Systema Naturae*'sinde bu balina-balık hatasını düzeltmişti. Anatomik özellikleri baz alan Linnaeus sistemi, organizmaları paylaşılan özelliklerin sayısına göre bir dizi kademeli gruba ayırıyordu. Linnaeus'un tamamlanmış listesi (hevesli bir bahçeci olmasının da etkisiyle) yüzde altmışı bitkilerden oluşan on bin organizmayı içeriyordu. Modern taksonomide sınıflandırmalar büyük oranda genişletilmiş ve gözden geçirilmiş olsa da *Systema Naturae*'nin birçok yanı korunmuştur.



Linneci İsimlendirme Sistemi

Linnaeus, dönemin Avrupalı bilim insanlarınca kullanılan ortak dilinin Latince olması nedeniyle kendi isminin de Latinceleştirilmiş versiyonunu kullanmaya başlamıştı. Dil bariyerini aşmak ve bilginin daha çok yayılabilmesi için tüm önemli çalışmalar Latince yazılıyordu. Bu nedenle Linnaeus'un *Systema Naturae*'sinde organizmaların resmî isimlendirilmesi için Latince ve Yunancanın seçilmesi çok da şaşırtıcı değildi. Belirsizlikleri gidermesi nedeniyle bu gelenek günümüzde de devam eder.

Can alıcı nokta Linnaeus'un her organizmaya iki ismin verildiği çift terimli bir sistemi tercih etmesiydi. Böylece Türkçede aslan olarak isimlendirilen hayvan yalnızca ilk kelimenin baş harfinin büyük olduğu ve her iki kelimenin de italik yazıldığı *Panthera leo* olarak ifade ediliyordu. Burada kapsamlı isim *Panthera* iken *leo* türe özgül isimdir. Bu kapsamlı isim aslanın ait olduğu ve *Panthera tigris* (kaplan), *P. pardus* (leopar) ve diğer büyük kedilerin de dahil olduğu cinsi ifade eder. Özgül isim ise aslanları diğer büyük kedilerden ayırmak için kullanılır.

CLAVIS SYSTEMATIS SEXUALIS.

NUPTIÆ PLANTARUM.

Actus generationis incolarum Regni vegetabilis.

Floreſcentia.

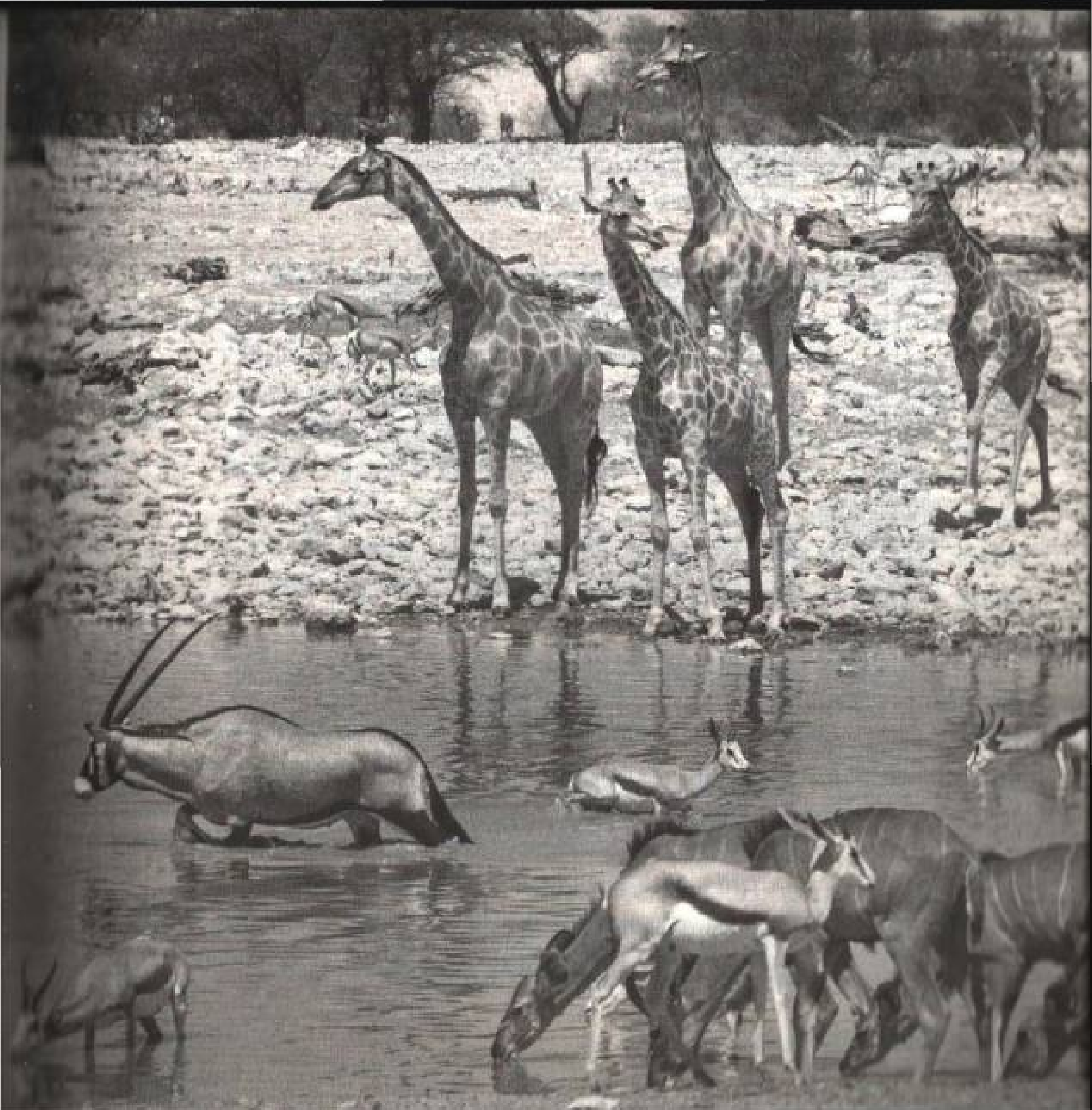
- *PUBLICÆ.*
  Nuptiæ, omnibus manifeſtæ, aperte celebrantur.
  Flores unicuique viſibiles.
  - MONOCLINIA.
    Mariti & uxores uno eodemque thalamo gaudent.
    Flores omnes hermaphroditi ſunt, & ſtamina cum piſtillis in eodem flore.
    - DIFFINITAS.
      Mariti inter ſe non cognati.
      Stamina nulla ſua parte connata inter ſe ſunt.
      - INDIFFERENTISMUS.
        Mariti nullam ſubordinationem inter ſe invicem ſervant.
        Stamina nullam determinatam proportionem longitudinis inter ſe invicem habent.
        1. MONANDRIA.
        2. DIANDRIA.
        3. TRIANDRIA.
        4. TETRANDRIA.
        5. PENTANDRIA.
        6. HEXANDRIA.
        7. HEPTANDRIA.
        8. OCTANDRIA.
        9. ENNEANDRIA.
        10. DECANDRIA.
        11. DODECANDRIA.
        12. ICOSANDRIA.
        13. POLYANDRIA.
      - SUBORDINATIO.
        Mariti certi reliquis præferuntur.
        Stamina duo ſemper reliquis breviora ſunt.
        14. DIDYNAMIA.
        15. TETRADYNAMIA.
    - AFFINITAS.
      Mariti propinqui & cognati ſunt.
      Stamina cohærent inter ſe invicem aliqua ſua parte vel cum piſtillo.
      16. MONADELPHIA.
      17. DIADELPHIA.
      18. POLYADELPHIA.
      19. SYNGENESIA.
      20. GYNANDRIA.
  - DICLINIA (a δὶς bis & κλίνη thalamus ſ. duplex thalamus.)
    Mariti & Feminæ diſtinctis thalamis gaudent.
    Flores maſculi & feminei in eadem ſpecie.
    21. MONOECIA.
    22. DIOECIA.
    23. POLYGAMIA.
- CLANDESTINÆ.
  Nuptiæ clam inſtituuntur.
  Flores oculis noſtris nudis vix conſpiciuntur.
  24. CRYPTOGAMIA.

CLA-

Tür

Bir tür, sınıflandırma sisteminin son ürünüdür. Tür, büyük oranda ortak fiziksel özellik paylaşan bir grup organizmayı ifade eder. Aynı türün üyelerinin daima birbirleriyle diğer türlerin üyelerine nazaran daha fazla ortak özellik paylaştıkları düşünülebilir, bu genellikle doğru olsa da her zaman geçerli değildir. Bir türü tanımlayan en önemli faktör, bir türe ait bireylerin kendileri de doğurgan olacak yavrular dünyaya getirecek şekilde birbirleriyle üreyebilmeleridir.

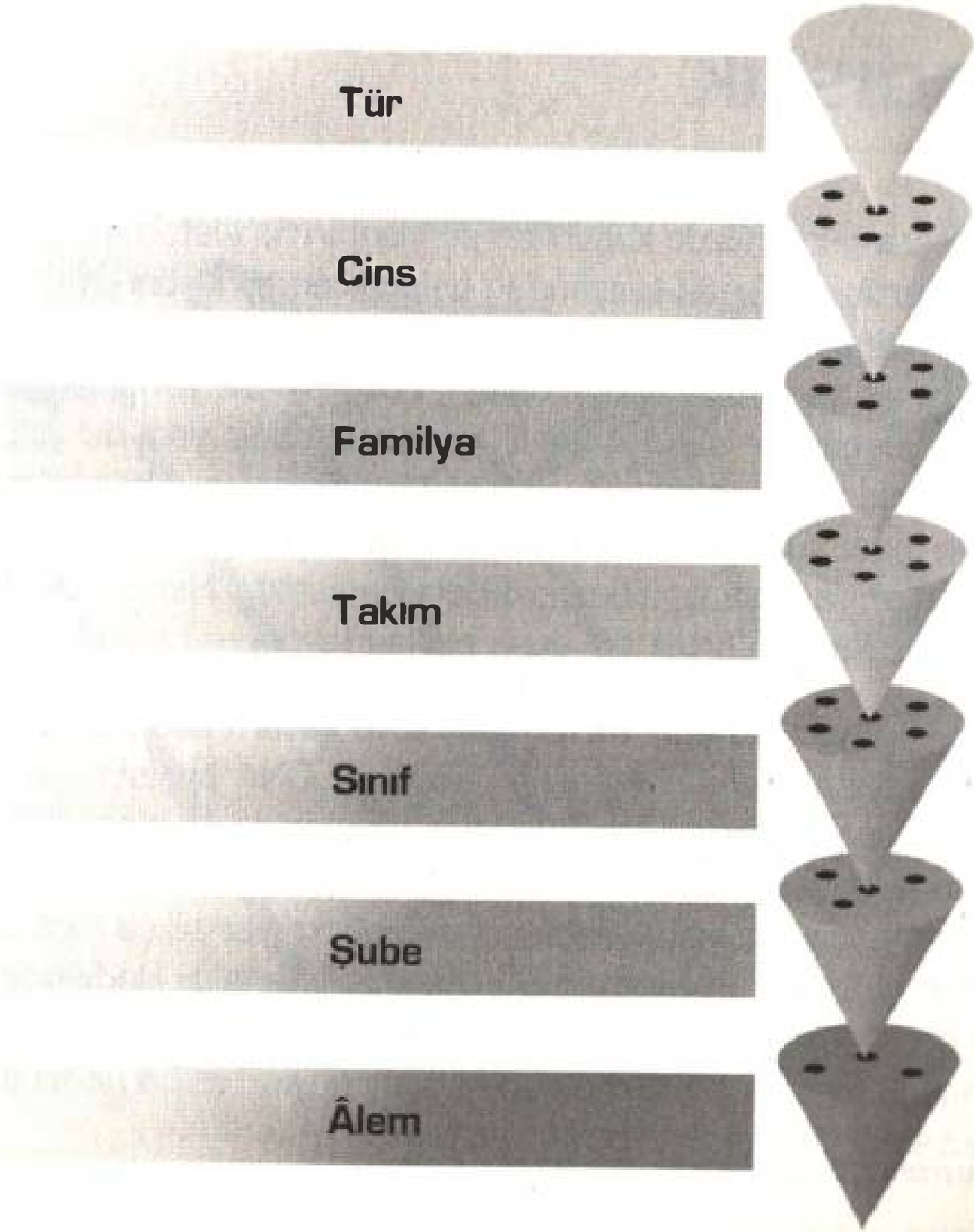
Bu olgu "gizli türler" söz konusu olduğunda özellikle önemlidir. Genellikle kuşlar, yarasalar gibi yalnızca anatomileri incelenerek etkin bir şekilde ayırt edilemeyecek iki tür mevcutsa ancak birbirleriyle üreyemiyorlarsa, bunlar aşağı yukarı benzer görünseler de iki ayrı türü teşkil ederler. Taksonomi aynı zamanda organizmaları türün bir alt seviyesine kadar da ayrıştırabilir. Birçok tür farklı bölgelerde yaşayan ve bu nedenle önemli anatomik farklılıklar gösteren ancak yine de birbirleriyle üreyebilen alt türleri kapsar.



Taksonlar

Tür ve cins Yunanca "düzenleme" kelimesinden türeyen taksonlara örnek gösterilebilir. Sınıflandırma sistemi her organizmayı üyelerinin küçük bir gen havuzunu paylaştığı bir türe dahil eder. Türler daha sonra gittikçe daha geniş gen havuzlarının paylaşıldığı bir dizi taksona yerleştirilir. Her tür bir cinse aittir ve her cins en azından bir türü içerir. Sistem cinsleri familyalara sınıflandırarak devam eder. Örneğin büyük kedi cinsi olan *Panthera*, kedi familyası olan Felidae'ye aittir. (Cins seviyesinden sonraki taksonları italik yazmak gerekmez.)

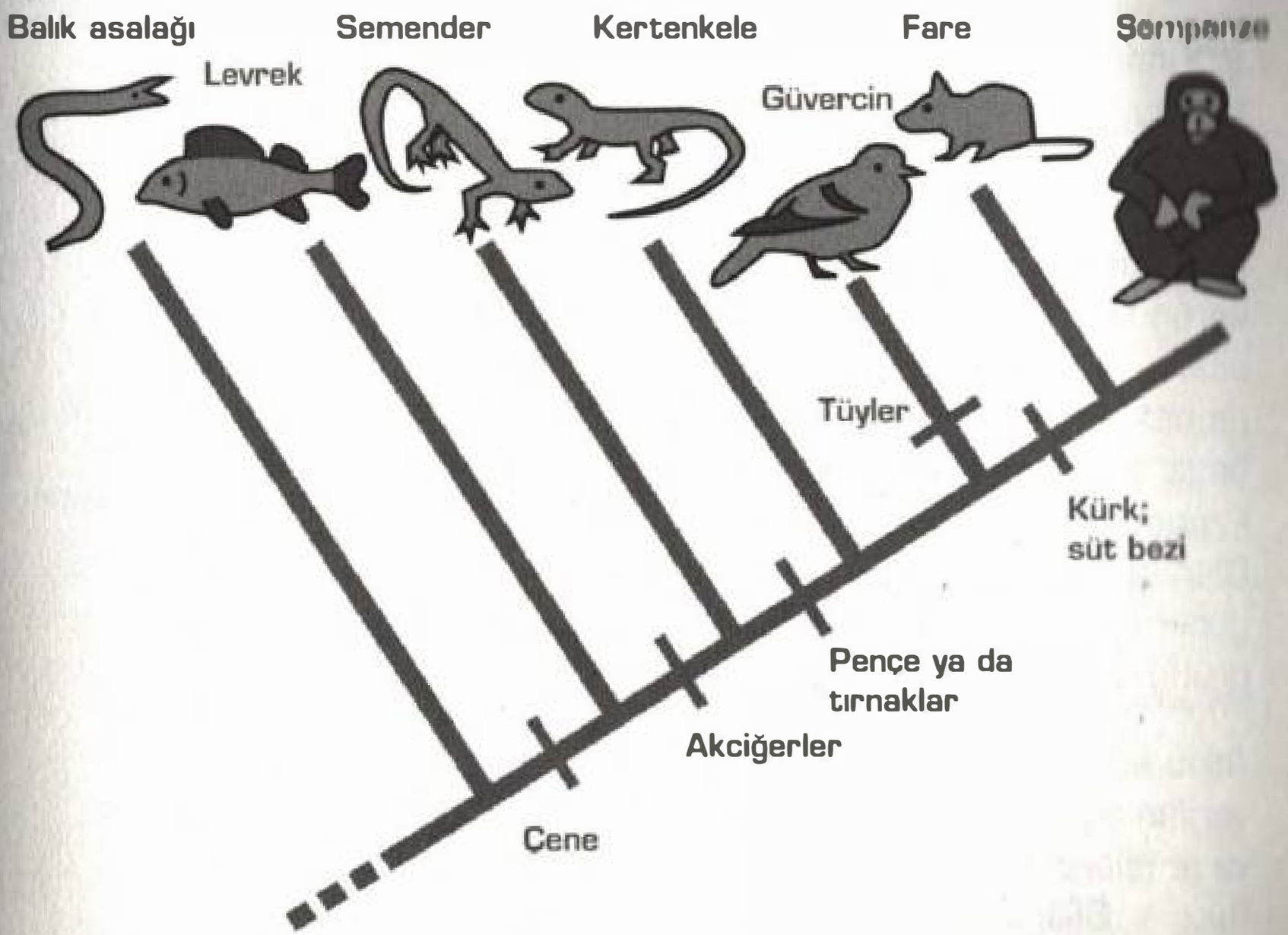
Bir sonraki takson takımdır. Felidae, Canidae (köpek familyası), Ursidae (ayı familyası) ve diğer yırtıcı hayvanların yer aldığı Carnivora takımına aittir. Carnivora, Mammalia yani memeliler sınıfında yer alan takımlardan biridir. Memeliler ise sürüngenler, kuşlar, balıklar gibi omurgalıları içeren Chordata şubesinde bulunur. Botanik sınıflandırmada şube yerine genellikle "bölüm" terimi kullanılır.


Tür
Cins
Familya
Takım
Sınıf
Şube
Âlem

Kladistik

İlk bakışta günümüzde kullanılan sınıflandırma sisteminin, 1750'lerde Linnaeus tarafından geliştirilen aynı yöntemi kullandığı düşünülebilir. Bu sistem çift isim ve takson aşamalarından faydalanmaya devam eder. Ancak yirminci yüzyılda yaşamı bir sistem dahilinde incelemenin yeni bir yolu ağır basmaya başlamıştı. Bu yol, türlerin yalnızca görünüşlerine göre ve diğer türlerle kıyaslanmalarından ziyade evrimsel akrabalıklarına göre sınıflandırıldıkları kladistikti. Her organizma grubu klad denilen ortak bir atayı paylaşıyordu.

Kladistik, soyu tükenmiş türlerin de soyu devam eden türlerle birlikte sisteme dahil edilmesini gerektirir. DNA bilgisi mevcut değilse taksonomistler organizmalar arasındaki en olası ilişkileri anatomiye dayalı istatistiksel analizler aracılığıyla bulmaya çalışırlar, ancak bu yolla üretilen sınıflandırmalar sıkça itiraza uğrar ve çoğu kez değiştirilir. Sürüngenlerin analizi kladistiğe dair güzel bir örnek teşkil eder: Doğa tarihi memelilerin ve kuşların sürüngenlerle aynı atadan evrimleştiğini söyler ve bu nedenle Amniota adı verilen aynı klada aittirler.

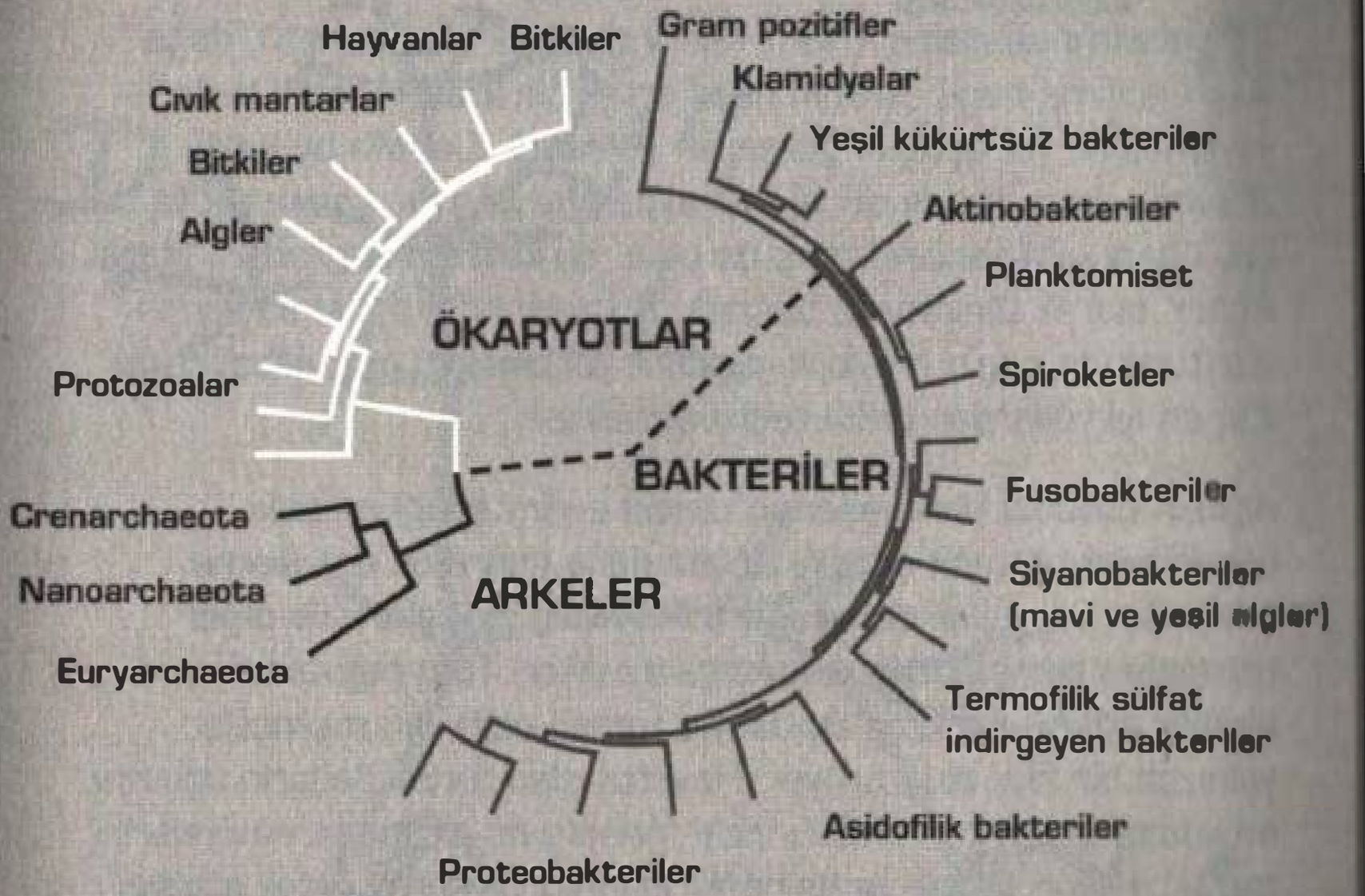


Basit omurgalı kladogramı

Âlemler ve Üst Âlemler

Sınıflandırmanın bir amacı da Dünya üzerindeki yaşama dair büyük resmi ortaya çıkarmaktır. Linnaeus bunu âlem olarak adlandırılan son bir üst takson tanımlayarak gerçekleştirdi. Linnaeus'a göre tüm yaşam ya hayvanlar ya da bitkiler âlemine aitti. Ancak mikroskobik tek hücreli canlıların keşfi yeni bir sorunu da beraberinde getirdi: Bunlar küçük hayvanlar mı, küçük bitkiler mi, yoksa başka tür canlılar mıydı? Ardından mantarların da bitkilerden ayrıştırılmasıyla âlemlerin sayısı artmış oldu. En basit sistem beş âlemi içeriyordu: Hayvanlar, Bitkiler, Mantarlar, Protistalar (amipler vb.) ve Bakteriler. Daha sonra 1977'de ONA analizi sayesinde, bakteri gibi görünen birçok hücrenin günümüzde Arkeler olarak adlandırılan bambaşka bir organizma grubu olduğu öne sürüldü.

Takip eden analizler, sayısı gitgide artan âlemlerin "üst âlem" adı verilen üç daha geniş gruba ayrılabileceklerini gösterdi. Bakteriler ve arkelerin her biri bir üst âlemi meydana getirirken, organel (bkz. s. 60) kullanan karmaşık organizmalar da ökaryotlar üst âleminde yer alıyordu.

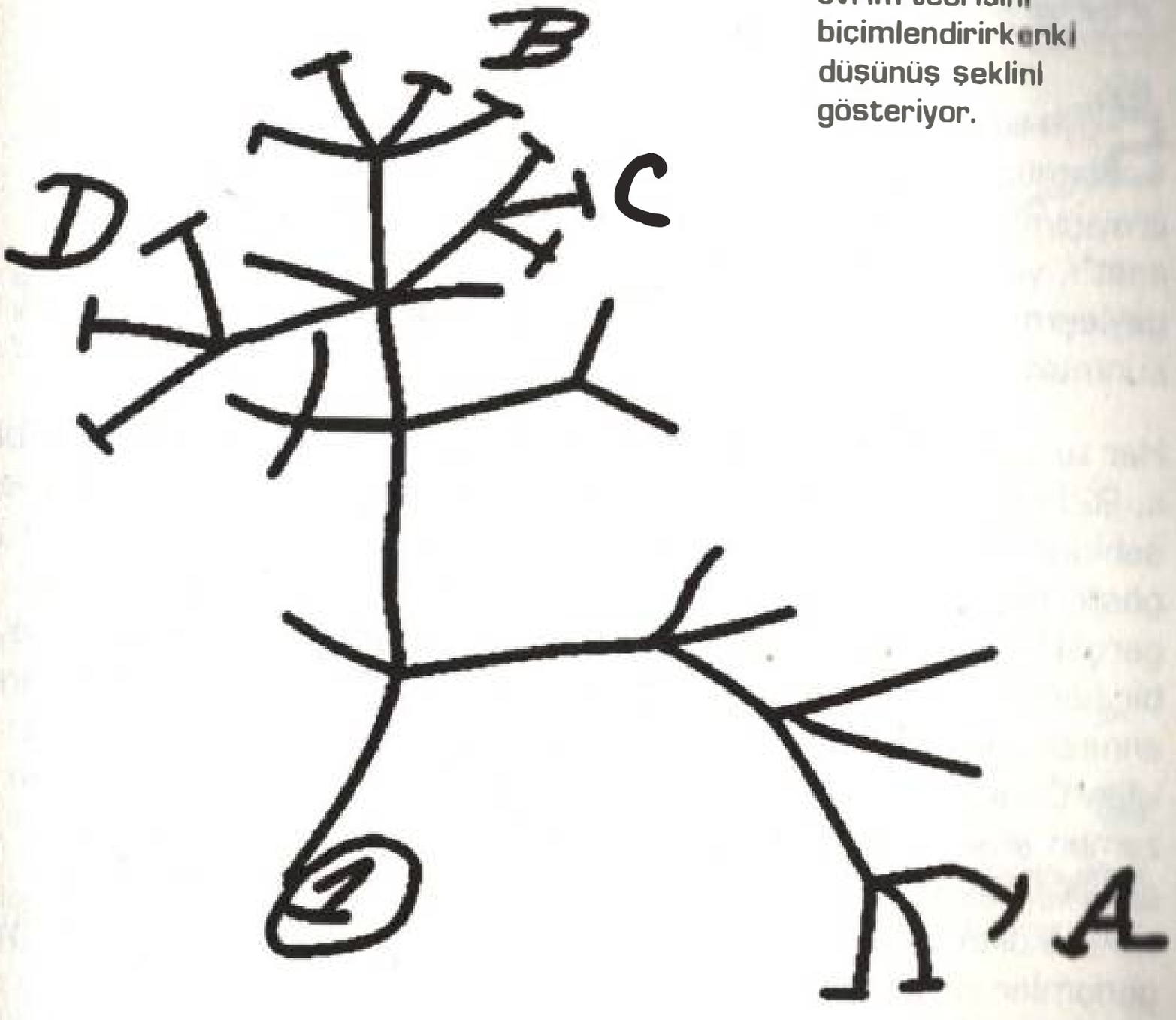


Bu şema her bir üst âlemde yaşayan canlıları oranlı olarak gösteriyor. Bitki, hayvan ve mantar âlemleri şemanın yalnızca üç kolunu oluşturuyor.

Hayat Ağacı

Darwin'in *Türlerin Kökeni* eserindeki tek illüstrasyon, doğal seçilime bağlı evrimin nasıl ortak bir atadan farklı türlerin yayılmasına yol açtığını gösteren şemaydı. Darwin bu şekli zihninde daha ziyade dik bir yüzeyde büyüyen bir sarmaşık ya da çalı öbeği gibi canlandırmış da olsa, bu kavram sonradan "Hayat Ağacı" olarak tanınmaya başladı. Bu şekil hâlâ doğal seçilimin oluşturduğu engin biyolojik çeşitlilik yelpazesini görselleştirmek için en iyi yollardan birini teşkil etmekte.

Ağacın gövdesi tüm yaşamın ondan evrimleştiği en eski organizmayı temsil ediyor. Gövde daha sonra üç üst âleme dallanıyor ve dallar da sırasıyla âlemlere, şubelere ve diğer taksonları temsil eden dalcıklara ayrılıyor. Tüm hayvanlar ve bitkiler ağacın yalnızca üç dalıyla temsil edilirken memeliler yalnızca bir filizi oluşturuyor. Hayatta olan türler dalların uçlarını meydana getirirken aralarındaki mesafe de akrabalık seviyelerini temsil ediyor. Dallar ve dalcıklar ise evrimleşerek ortak atadan ayrılan ve günümüzde soyları tükenmiş olan ara yaşam formlarını gösteriyor.



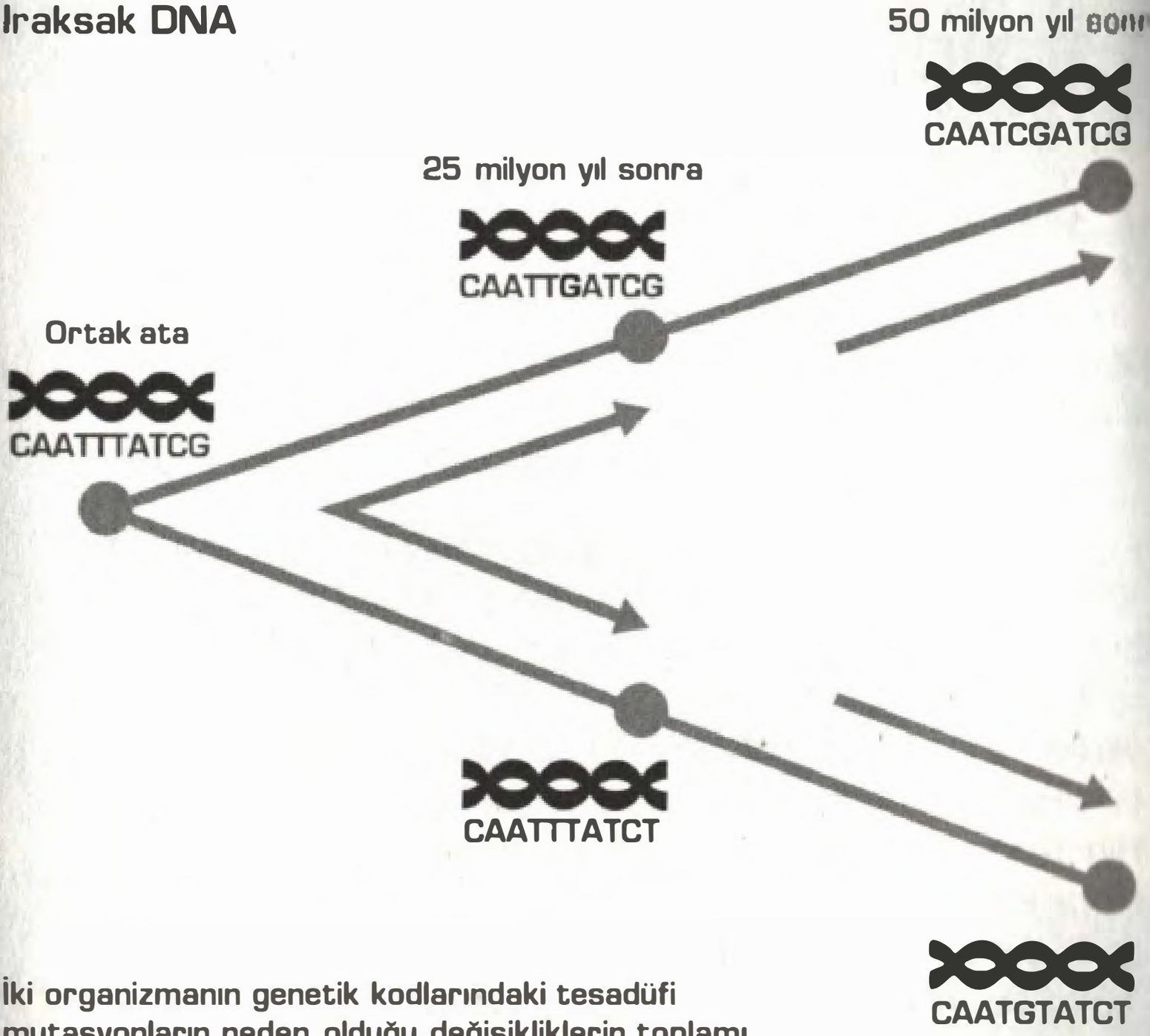
Bu basit ağaç şeması Darwin'in evrim teorisini biçimlendirirkenki düşünüş şeklini gösteriyor.

Moleküler Saat

Soyu tükenmiş tüm organizmaların fosil kalıntılarını bulmaktan henüz çok uzak olsak da, ortak atalarımız olabilecek türleri arayışımız devam ediyor. Neyse ki genom analizi bize "moleküler saat"i, yani günümüzdeki canlıların ne zaman ortak bir atayı paylaşmış olduklarını keşfetmemizi sağlayan alternatif bir yöntem sunmakta.

Her tür, en basit haliyle ifade edecek olursak AGCT harflerinden (bkz. s. 92) meydana gelen uzun bir zincir olan, kendine has bir genoma sahiptir. Moleküler saat bu harf diziliminin bir türden bir sonraki türe gösterdiği değişiklikleri kıyaslar. Çekirdekteki DNA nesilden nesle gerçekleşen çeşitlenme nedeniyle radikal değişiklikler gösterse de, bir hücrenin mitokondrisinde bulunan DNA doğrudan organizmanın annesinden kalıtılır ve bu da moleküler saatin ölçülmesini mümkün kılar. Değişiklikler mutasyon şeklinde gerçekleşir ve aynı bir saatin zaman aralıklarını göstermesi gibi aşağı yukarı sabit bir sıklıkta görülür. Bu nedenle yakın akraba olan türler arasında daha uzak akraba olan türlere kıyasla daha az farklılık gözlenir ve mitokondriyal genomlar arasındaki fark, türlerin ortak atalarından ne zaman ayrılmış olduklarına dair ölçüm imkânı sunar.

Iraksak DNA



İki organizmanın genetik kodlarındaki tesadüfi mutasyonların neden olduğu değişikliklerin toplamı, bu iki türün geçmişte hangi noktada birbirlerinden farklılaştıklarına dair bir gösterge sunar.

Ekoloji

Hiçbir organizma tek başına var olmaz; genleri ve ortaya çıkan fenotipleri çevreyle etkileşim halindedir. Yunanca "ev bilimi" anlamına gelen ekoloji, çevreyle olan bu etkileşimin etkisini inceleyen bilim dalıdır. Ekologlar sadece biyolojiyle sınırlı kalmazlar çünkü hesaplamalara jeoloji, oşinografi ve iklim bilimlerini de katmaları gerekir.

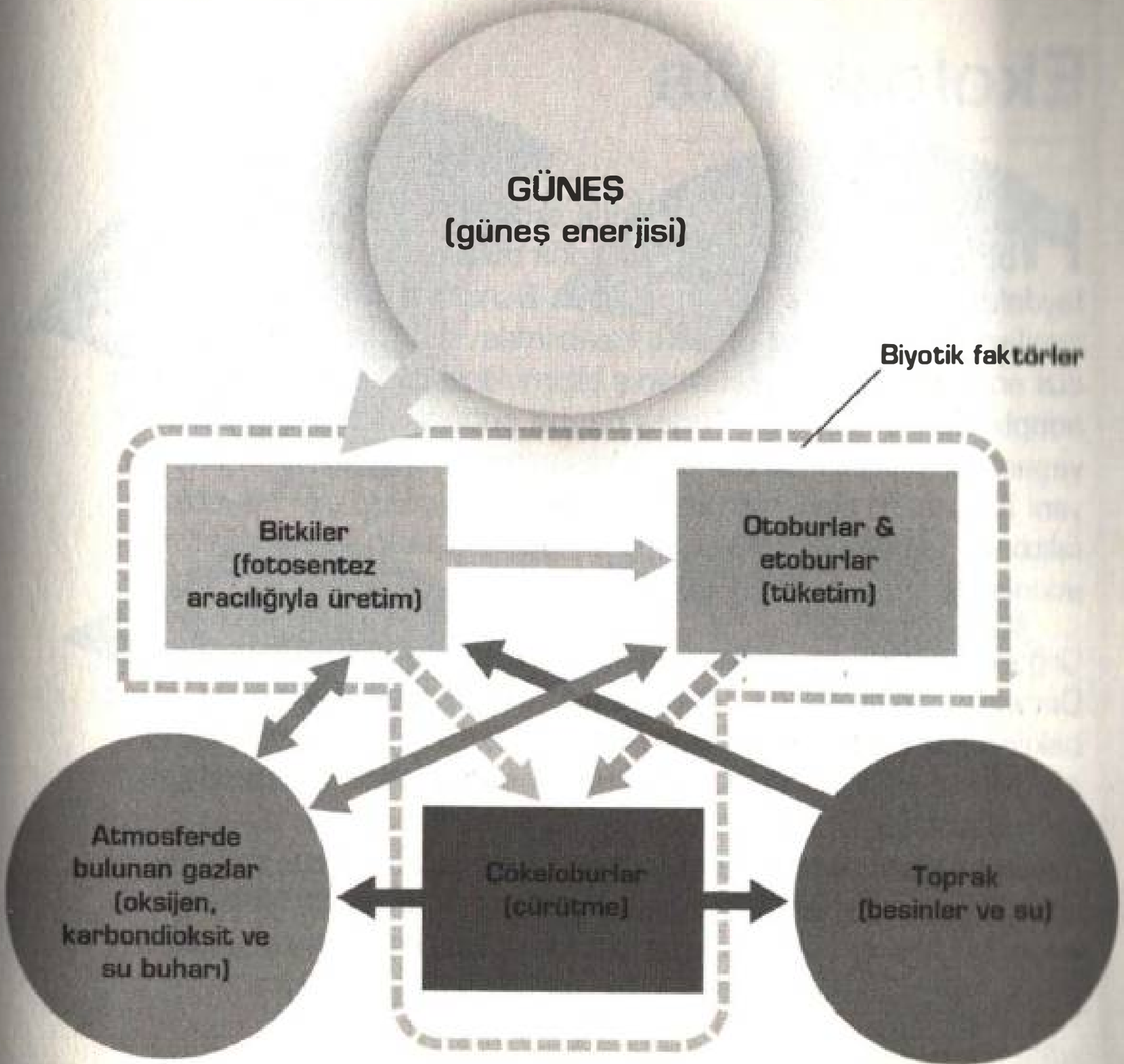
Bu da yetmezmiş gibi, gerçek hayata dayanan ekolojik araştırmaların yürütülmesi son derece karmaşık, hatta belki de imkânsızdır. Bu nedenle ekologlar vahşi yaşam topluluklarına dair modeller kurarlar. Bir model belirli bir yaşam alanı için ya da (Dünya'nın kendisini düzenleyebilen tek bir ekolojik sistem olarak mı işlev gösterdiğini inceleyen) Gaia Hipotezi'nde olduğu gibi küresel ölçekte hazırlanabilir. Ekolojik modellerin amacı vahşi yaşamdaki toplulukların başarısını ya da başarısızlığını etkileyen faktörleri anlamamızı ve daha da önemlisi, yaşam alanlarının yok edilmesi ve kirlilik gibi insan aktivitelerinin bu sistemleri nasıl etkilediğini öngörmemizi sağlamaktır.



Ekosistem

Ekosistemin aşina olunan ancak pek de net olmayan bir terim olması muhtemel. Bilimsel anlamda bir ekosistem, belirli bir yaşam alanında hayatını sürdüren yabani bir popülasyonu tanımlamanın bir yolunu teşkil eder. Ancak gerçek yaşamda bu tür ekosistemlerin var olduğunu söylemek çok da anlamlı olmaz çünkü bir topluluk ve diğeri arasında net bir sınır yoktur. Buna karşın ekosistem kavramı belirli bir yaşam alanında rol sahibi olan ekolojik faktörleri anlamamız için uygun bir araçtır.

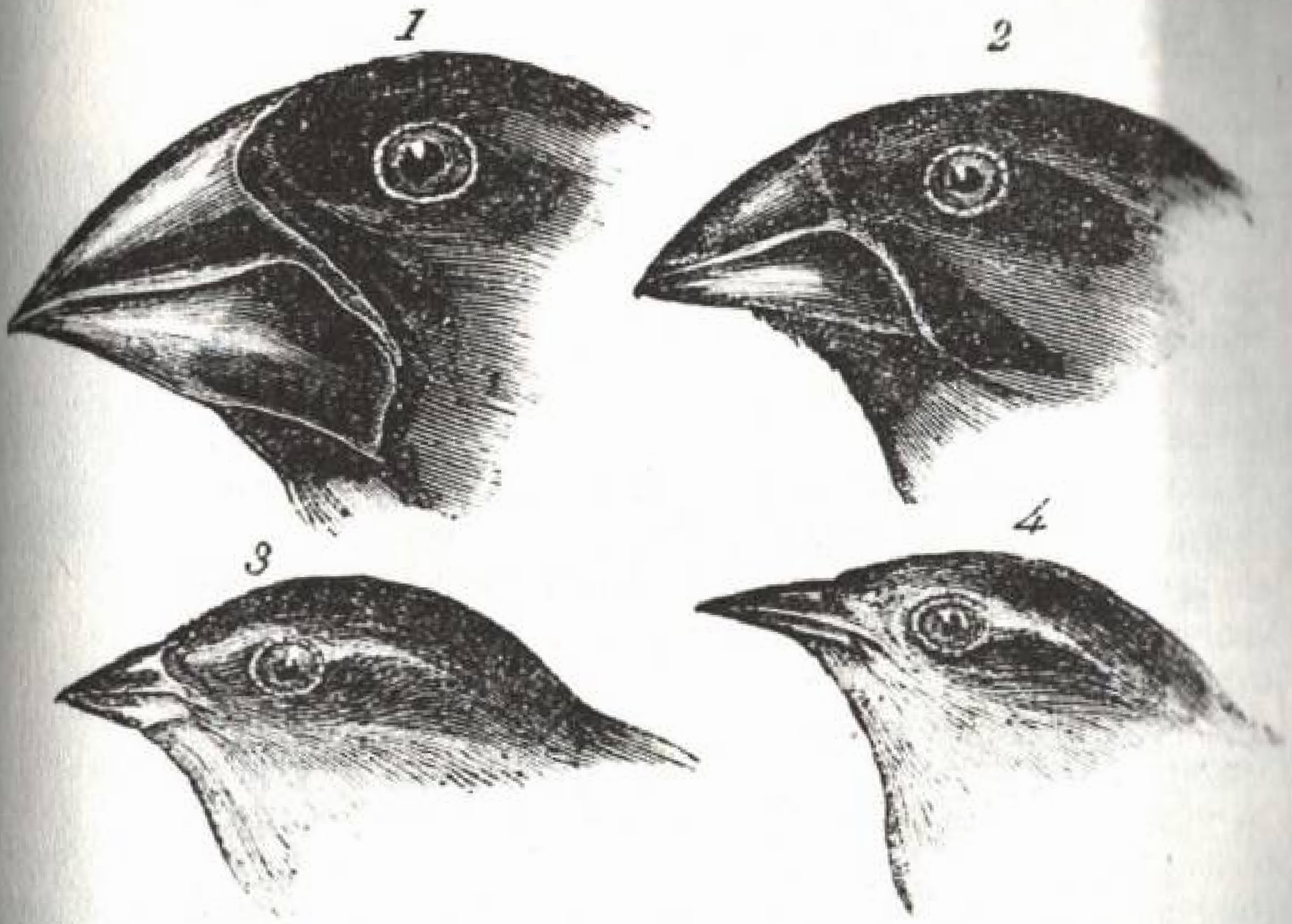
Her ekosistem kendi ekolojik faktörlerine göre nitelendirilir. Bu faktörler biyotik (canlı) ya da abiyotik (cansız) olabilirler. Biyotik faktörler aynı yaşam alanında bulunan, yiyecek ve kaynaklar için rekabet eden veya diğer türleri avlayan ya da onların paraziti olarak yaşayan farklı türler arasındaki etkileşimlerdir. Abiyotik faktörler toprak kimyası, su kaynağı ve değişen hava koşulları gibi unsurlarla ilişkilidirler. Ekologlar bu faktörlerden biri değiştiğinde ya da ortama yeni bir etmen dahil olduğunda ekosistemde nasıl değişiklikler olacağını modellerler.


GÜNEŞ
(güneş enerjisi)
Biyotik faktörler
Bitkiler
(fotosentez
aracılığıyla üretim)
Otoburlar &
etoburlar
(tüketim)
Atmosferde
bulunan gazlar
(oksijen,
karbondioksit ve
su buharı)
Çökeloburlar
(çürütme)
Toprak
(besinler ve su)

Ekolojik Niş

Her tür bir ekosistem dahilinde ekolojik bir nişi tutar. Niş bir canlı türünün yaşam alanında bulunan kaynaklardan faydalanabilme imkânını temsil eder. Bunun sonucu olarak doğal seçilim, türün o nişte hayatta kalabilmesi için ona benzersiz bir dizi anatomik özellik ve davranış biçimi kazandırmak suretiyle nişe adapte olmasını sağlar. Türleşme, bir popülasyonun henüz benzer yaşam formları tarafından tam kapasitesinde değerlendirilmeyen yeni bir yaşam alanı bulması veya iklim değişikliği gibi abiyotik faktörler sonucu karşılaşılan boş ekolojik nişlerin mevcudiyeti ile etkinleşir.

Organizmaların bir nişi nasıl doldurduğuna dair en iyi bilinen örnek Darwin'in ispinozlarıdır. Galaapagos Adaları'nda yaşayan (ve aslına bakılırsa ispinoz değil tangara olan) bu kuşları Darwin *Beagle*'la gerçekleştirdiği yolculuğu sırasında yaptığı ziyaret esnasında görmüştü. Güney Amerika'dan gelen ortak bir atadan türemişlerdi ancak adaların ekosistemlerindeki farklı nişleri tutacak şekilde evrimleşmişlerdi. Bu durum böceklerden olgun tohumlara ve düşmüş meyvelere uzanan farklı besin türlerinden fayda sağlamak üzere adapte olmuş gaga yapılarında gözlemlenebiliyordu.

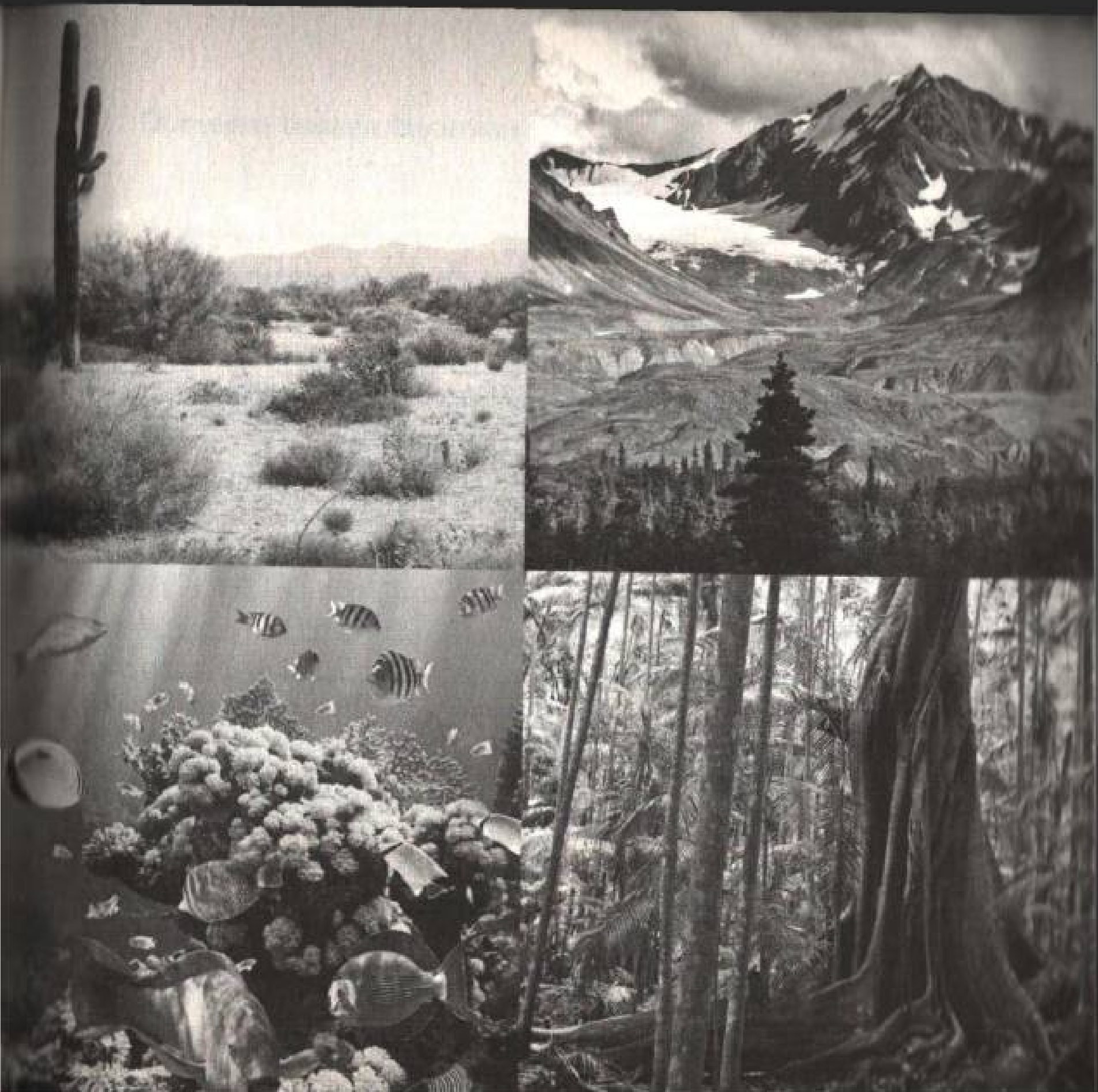


1. Geospiza magnirostris.
2. Geospiza fortis.
3. Geospiza parvula.
4. Certhidea olivacea.

Yaşam Alanı

En sade haliyle, bir yaşam alanı (habitat) bir organizmanın hayatını sürdürdüğü yerdir. Düzinelerce farklı tipte yaşam alanı sıralamak mümkündür ve bunların her birini gittikçe daha spesifik hale getirerek saymakla bitmeyen bir liste oluşturulabilir. Yine de genel hatlarıyla bir yaşam alanı, ekologların anlamlı bir ekosistem kurmasını mümkün kılacak alanlara karşılık gelir. Habitat bir mercan resifi, otlak ya da tropikal bir orman olabilir. Dünya'da nerede bulunduklarından bağımsız olarak bu yaşam alanlarının birtakım ortak özellikleri bulunur ve bu bölgelerdeki yaban hayatı oluşturan organizmalar arasında da müşterek özellikler görülür.

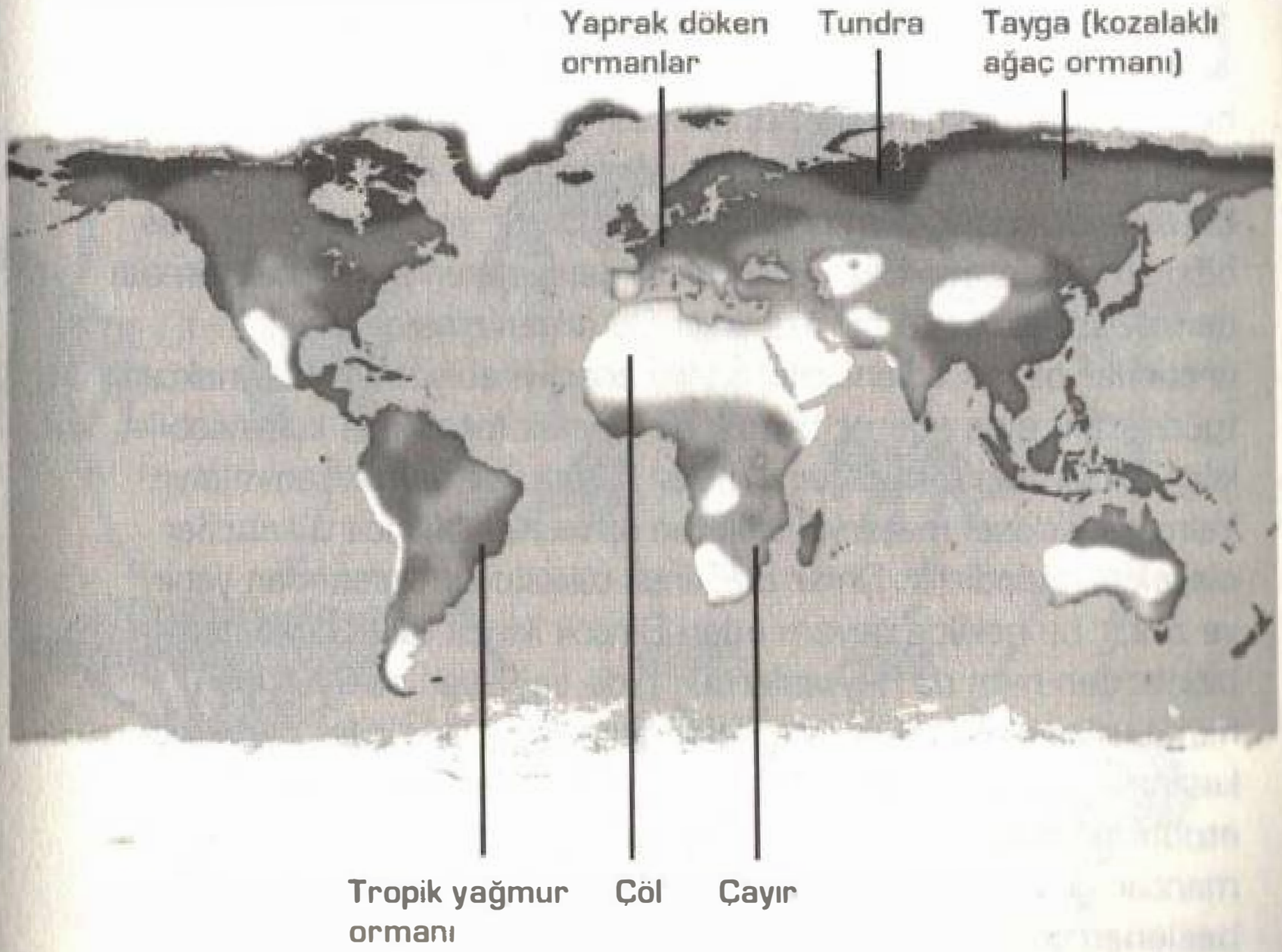
Yaşam alanları durağan değildir. Ormanda bir ağaç devrilirse bir açıklık ortaya çıkar. Organizmalar bu açıklığı işgal etmek için birbiriyle yarışır ve ilk etapta hızlı büyüyen bitkiler bu alana ulaşsa da, bir süre sonra yerlerini daha yavaş büyüyen ancak mevcut kaynaklar üzerinde hâkimiyet kuracakları kuşkusuz olan daha büyük bitkilere bırakır. Önünde sonunda bu boşluk mutlaka dolar ve habitat dengeli olduğu, yani en yüksek potansiyelinde işlev gösterdiği durumuna döner.



Biyom

Ekolojinin en büyük birimi "biyom"dur. Dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan her bir biyom geniş bir yaşam alanı kümesini kapsar. Olası biyomların sayısı bilimsel görüşe göre çeşitlilik gösterebilir ancak su biyomu, orman biyomu, çayır biyomu ve çöl biyomu listelemeye başlamak için ideal bir çıkış noktası sunar. Dünyanın değişik yerlerinde görülen farklı iklim tiplerinin etkileri de göz önünde bulundurularak bu liste genişletilebilir. Örneğin tüm çöllerde sıvı su seviyeleri düşüktür ve bu bölgeler sıcak çöller, çölümsü bölgeler ve kutup bölgeleri olarak kendi içinde ayrılabilir. Ormanlar yağış oranının yüksek olduğu alanlarda görülür ve tropik, (yaprak döken ağaçların bulunduğu) ılıman kuşak ve (kozalaklı ağaçların bulunduğu) kutup altı ormanlarına bölünebilir. Çayırlar, ağaçların yetişmesi için çok kurak olan ancak çöl olarak tanımlanmak için yeterince kurak olmayan bölgelerdir. Bunlar savan, step ya da bozkır ve tundra olmak üzere üç ana biyoma ayrılır. Son olarak su habitatları da tuzlu su deniz biyomu ile tatlı su göl ve nehir biyomları arasında paylaştırılabilir. Biyomları listelemenin ve tanımlamanın farklı yolları mevcuttur ancak her yöntem sonuç olarak gezegenin yüzeyini ekolojik faktörlerin geniş kapsamda aynı olduğu geniş ölçekli bölgelere bölmeyi hedefler.

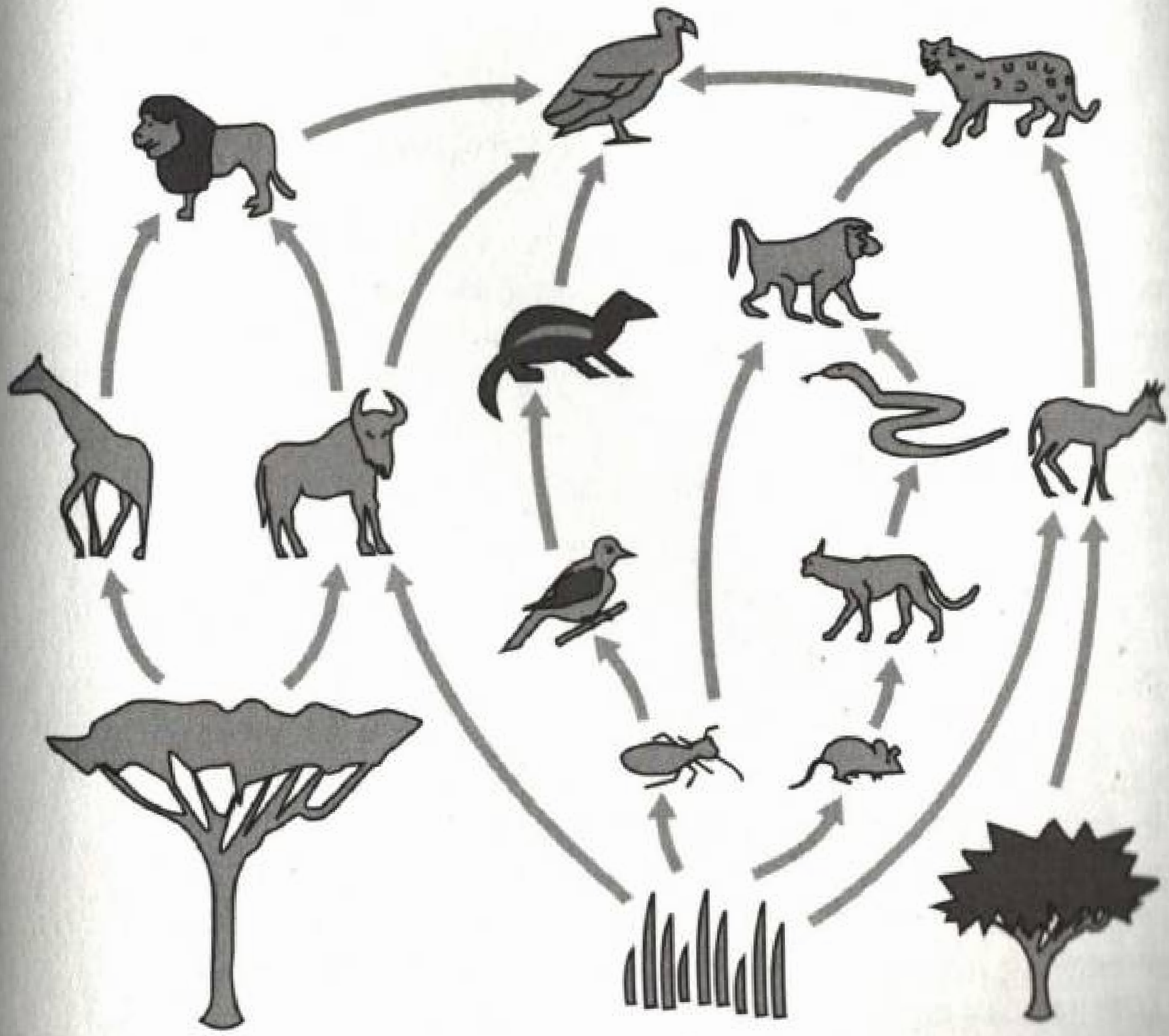
Dünyanın başlıca biyomları



Besin Zincirleri ve Ağları

Bir ekosistemin en baskın etmenlerinden biri organizmaların yedikleridir. Bu ilişkiler bir besin zinciri ya da (daha uygun bir biçimde) birçok organizmanın bir ya da birden fazla türe öğün olabileceği besin ağlarıyla gösterilebilir. Besin zincirleri bir ekosistemdeki tüm organizmaları içerir ve ilk basamağında bitkiler gibi fotosentez yapan bir organizmanın bulunacak olması neredeyse evrensel bir özelliktir. Bu organizmalar birincil üreticiler olarak adlandırılır çünkü enerjiyi abiyotik bir kaynaktan (güneşten) elde ederek biyotik bir kaynak formunda kullanılabilir kılar. Zincirdeki tüm diğer canlılar tüketiciler olarak tanımlanır. Yalnızca bitkisel materyal tüketen otoburlar birincil tüketiciler olarak isimlendirilir. Onlar da ikincil tüketiciler tarafından yenir ve zincir bu şekilde devam eder. Birçok ikincil tüketicinin hem bitkilerden hem de hayvanlardan gıda sağlayan canlılar olan hepoburlar olmaları muhtemeldir. Üçüncül tüketiciler nerdeyse kesinlikle, katı bir ete dayalı beslenme sistemine sahip olan etoburlar olacaktır. Zincirin daha da tepesinde ise bok böceği, mantar gibi diğer organizmaların kalıntılarından ve atıklarından beslenen çökeloburlar bulunur.

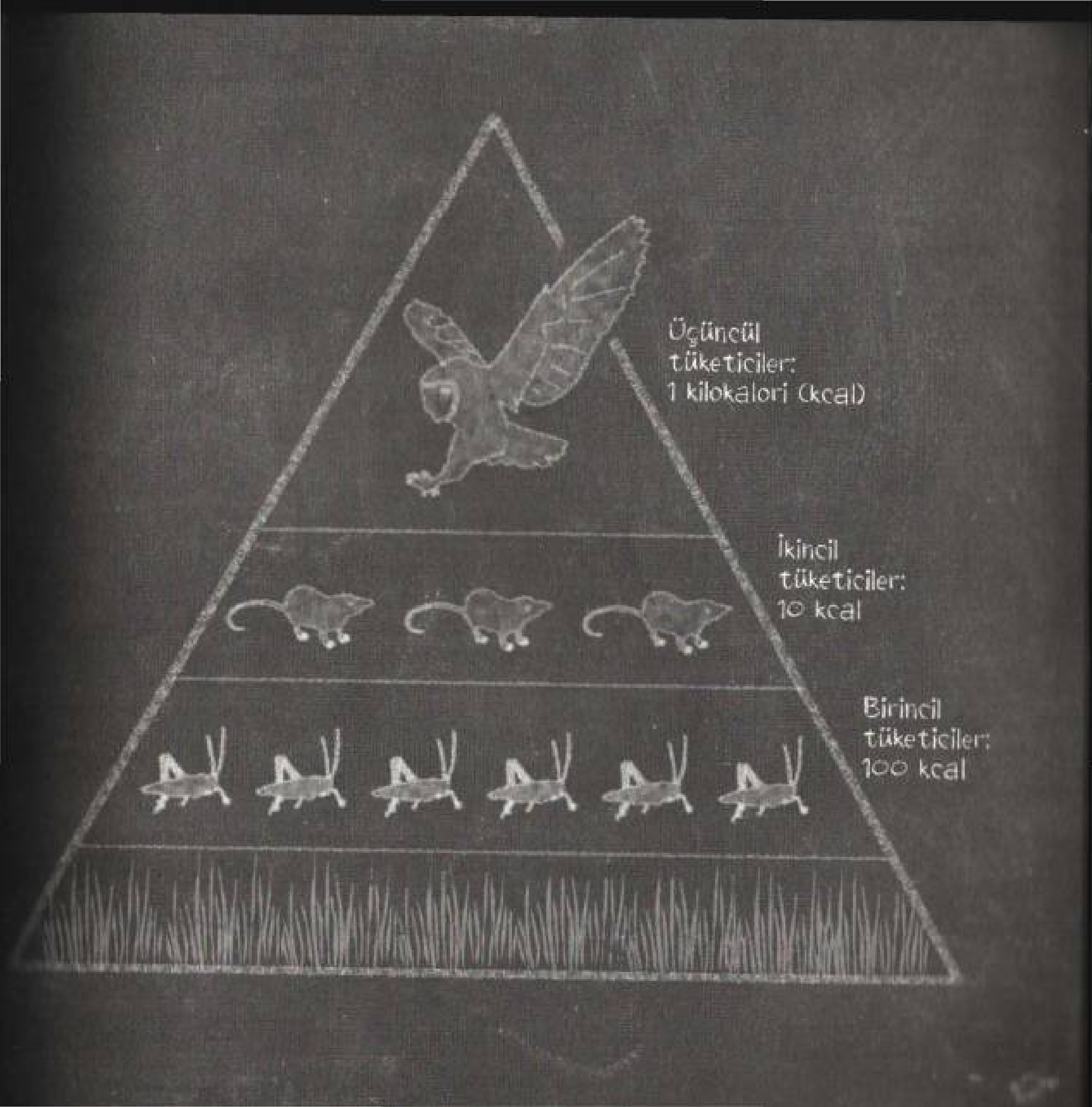
Afrika savanı besin ağı



Trofik Düzey

Bir besin zinciri gıdanın ve enerjinin bir ekosistemde elde edilme yolunu gösterir. Besinler civarda bulunan bitkilerden toplanarak tüketiciler arasında iletildikleri ve son olarak çökeloburlar tarafından ortama geri verildikleri döngüleri takip eder. Ancak enerji döngüsü bu şekilde işlemez çünkü enerji sisteme birincil üreticiler aracılığıyla dahil edilse de, zincirde üst seviyelere ilerledikçe istikrarlı bir şekilde kayba uğrar. Trofik düzey kavramı bu noktada devreye girer.

"Trofik" kelimesi Yunanca "besleyici" anlamına gelen kelimeden türetilmiştir ve besin zincirinin her bir adımı bir trofik düzeyi ifade eder. Tüm trofik düzeyler temsil ettikleri enerji miktarıyla (ya da basitçe canlı materyalin ağırlığına karşılık gelen biyokütleleriyle) ifade edilirse besin zinciri bir piramit şeklini alır. Bunun nedeni bir düzeydeki enerjinin yalnızca yüzde 10'unun bir üst düzeye aktarılabilmesidir. Sonuç olarak (en azından karasal ekosistemlerdeki) bitki materyalinin kütlesi hayvan materyaline oranla çok daha büyük olur. Bu durum aynı zamanda bir ekosistemde neden yalnızca birkaç büyük avcının hayatta kalabileceğini de açıklar; nişlerine neredeyse hiç enerji ulaşmaz.


Üçüncül
tüketiciler:
1 kilokalori (kcal)
İkincil
tüketiciler:
10 kcal
Birincil
tüketiciler:
100 kcal

Ototrof

Canlı olmanın birçok şekli vardır ve birbirinden farklı milyonlarca türün her biri bunu kendine özgü bir şekilde sağlar. Ancak tüm bu canlıları iki tertipli grup altında toplamak mümkündür: ototroflar ve heterotroflar. Birincil üreticiler ilk gruba aittir çünkü ototrof "kendisini besleyen" anlamına gelir ve bedenleri için gereken enerjiyi cansız bir kaynaktan temin edebilen organizmaları ifade eder.

Bu canlıların en bariz örnekleri fotosentez yapan bitkiler, su yosunları ve birçok bakterinin de dahil olduğu çok sayıda mikroskobik organizmayı içerir. Bunlar fototrof ya da "ışıkla beslenen" canlılardır. Ancak kimi mikrobik ototroflar enerji kaynağı olarak çeşitli kimyasalları kullanan kemotroflardır (bkz. s. 250). Bir ototrofun yapıp bir heterotrofun yapamadığı şey "karbon fiksasyonu", yani elementin genellikle karbondioksit olan inorganik formunu alıp organik şekere çevirmektir. Bu, indirgeme adı verilen kimyasal bir süreç aracılığıyla gerçekleştirilir ve solunum sırasında metabolik enerji salınımının gerçekleşmesini sağlayan oksitlenmenin tam tersidir.



Heterotrof

Heterotrof kelimesi bu canlıların karbon fiksasyonu yapamayışına bir gönderme niteliği taşıyan "başkasıyla beslenen" anlamına gelir. Heterotroflar bunun yerine ihtiyaç duydukları şekeri ve diğer ham materyalleri diğer organizmaların kütlelerini tüketerek elde ederler. Tüm hayvanlar ve mantarlar heterotroftur ve amipler ile protozoalar da dahil olmak üzere birçok mikroorganizma bu şekilde yaşar. (Euglena olarak adlandırılan bir tek hücreli kamçılı eş zamanlı olarak hem fotosentez yapma hem de tüketici olma yetisine sahiptir.)

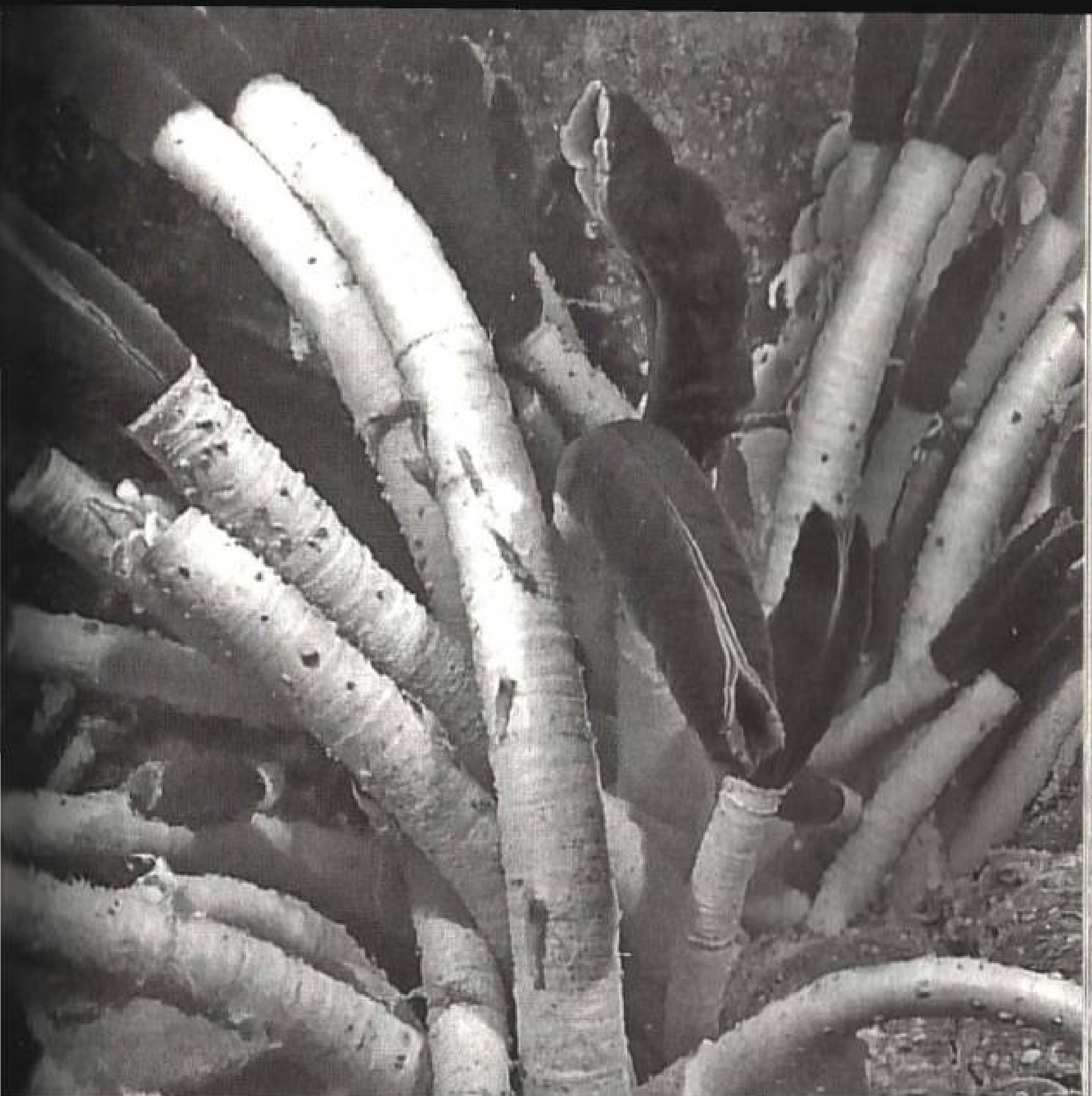
Heterotroflar hayatta kalmak için tamamen ototroflara bel bağlar. Bir aslan asla yeşillik yemese de yalnızca bunu yapan ceylanları yiyerek hayatta kalabilir. Tüketiciler yalnızca avcılar ve onların bitkisel beslenen avlarıyla sınırlı değildir. En basit hayvan olan placozoa gövdelerine temas eden organik parçacıkları soğuran hücre öbeklerinden daha fazlası değildir. Oysa (kimi zaman topraktaki 10 kilometrekareyi aşabilen yayılımlarıyla Dünya üzerindeki en büyük organizmalar arasında yer alan) mantarlar sindirim enzimlerini doğrudan yiyeceklerinin üzerine salgılayarak ortaya çıkanı soğurur.



Kemotrof

1970'lerin sonlarına dek tüm besin zincirlerinin güneş ışığından enerji elde edebilen fototrofik üreticilerle başladığı varsayılıyordu. Daha sonra derin deniz gözlem aracı batiskaflar "siyah tütücüler" olarak bilinen hidrotermal ağızları keşfetti. Bu volkanik çıkışlar güneş ışınlarının ulaşamayacağı kadar derinde kalan okyanus seviyelerine kimyasal bakımından zengin suların salınımını sağlıyordu. Siyah tütücüler karanlığa rağmen dev solucanlar, kabuklular ve yengeçlerin büyüleyici ekosistemlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu besin zincirlerinin temelinde bulunan üreticiler prokaryotik (bakteriler ya da arkeler olan) kemotroflardır.

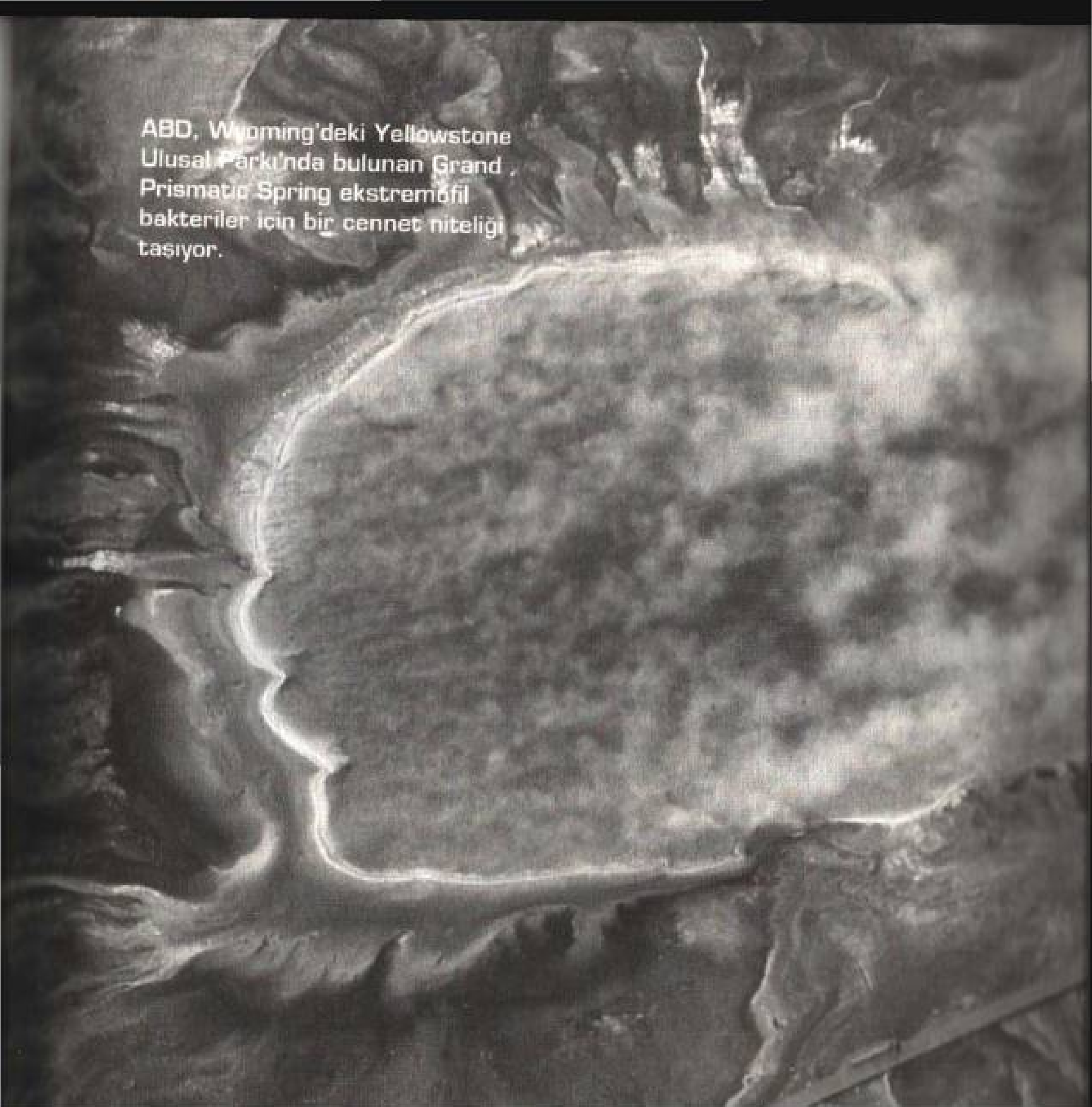
Kemotroflar hidrotermal ağızların olduğu sulardaki minerallerden (ya da kayaların içindekiler de dahil olmak üzere diğer volkanik kaynaklardan) elde edilen kimyasal enerjiyi kullanır ve kimi biyologlar tarafından Dünya'daki ilk canlı türlerini teşkil ediyor olabilecekleri düşünülür. Daha büyük hayvanlar bu kemotroflarla uyum içinde yaşamak üzere evrimleşmişlerdir. Örneğin, bazıları sudaki bakterileri süzerken, dev tüp solucanları da vücut dokularında onlara güvenli bir yaşam alanı ve mineral kaynağı sunarak karşılığında şeker ve diğer karbon bağlayan moleküllere erişim sağlar.



Ekstremofil

İsimindeki "ekstrem"den anlaşılabileceği gibi ekstremofiller en zorlu ortamları sever. Canlıların büyük çoğunluğu hayatını 0–40 °C (32–104 °F) arasında sürdürse de, derin denizlerdeki hidrotermal ağızların keşfi bakterilerin ve arkelerin 100 °C'nin (212 °F) üstündeki aşırı ısınmış sularda da hayatta kalabildiklerini ortaya çıkardı. Sıklıkla sıra dışı renklerde gökkuşakları meydana getirdikleri volkanik su kaynaklarının yüzeylerinde de son derece iyi gelişebiliyorlardı.

Neredeyse daima prokaryot olan kimi ekstremofiller oldukça kurak, fazlasıyla tuzlu ya da asidik ortamlarda da hayatta kalabilir. Hatta kriptoendolit adı verilen bazı organizmalar yaşamlarını kayaların içinde, kristal parçacıkları arasındaki ufak boşlukları işgal ederek sürdürür. Bahsi geçen tüm bu yaşam formları bizim için uç noktalarda olsa da, olağanüstü yaşam alanları birçok anlamda bizim her türlü ani ve tahmin edilemez değişikliklere açık olan yaşam alanımızdan daha istikrarlıdır. Ayrıca milyarlarca yıl önceki genç Dünya'yı göz önünde bulundurduğumuzda günümüzdeki bu ekstrem koşullar aslında oldukça normal görünür.

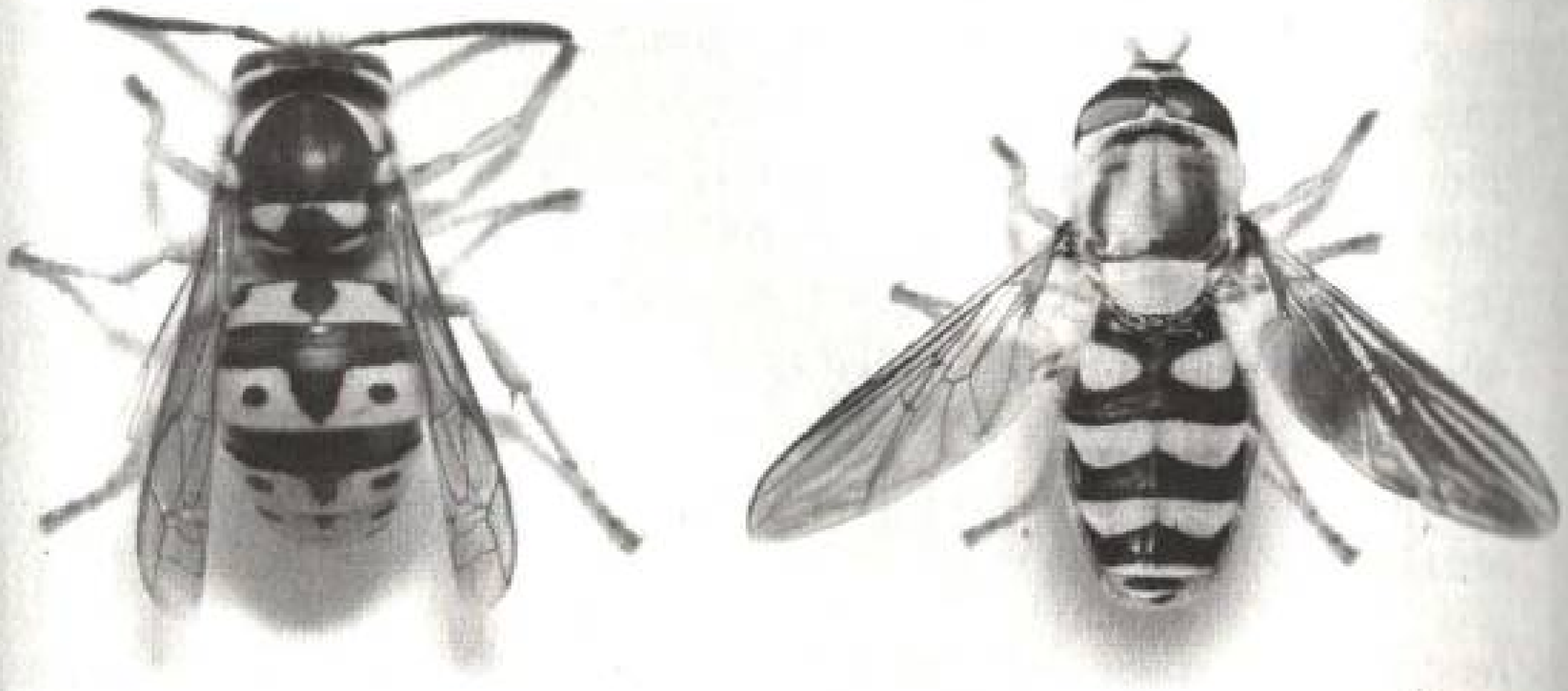


ABD, Wyoming'deki Yellowstone Ulusal Parkı'nda bulunan Grand Prismatic Spring ekstremofil bakteriler için bir cennet niteliği taşıyor.

Taklitçilik

Hayvanlar çevrelerine karışmalarını sağlayan kamuflajları, yaprak ya da bir dal parçası gibi görünen vücut şekilleri veya onları bir ağaç gövdesinden ya da kayadan ayırt edilemez kılan vücut desenleriyle kılık değiştirme ustalarıdır. Diğer bazı hayvanlarsa (kimi zaman kokuları, sesleri ve davranışları da dahil olmak üzere) ekosistemlerinin başka bir üyesini taklit ederek apaçık ortada olmalarına rağmen gizlenebilir.

Taklitçiliğin iki temel türü vardır. Bunlardan en sık görüleni, tehlikeli bir komşu baz alınarak zararsız bir taklit modelinin oluşturulduğu Bates taklitçiliğidir. Çiçek sineği bu nedenle sokma ihtimali olan arı veya eşek arısının çizgilerini taşır ve yine aynı sebepten birçok kelebeğin arka kanatlarında, açıldıkları zaman çok daha büyük bir canlının yüzünü anımsatmalarına neden olan koyu göz benekleri vardır. İkinci türü ise daha incelikli olan Müller taklitçiliğidir ve bu taklitçilikte, örneğin zehirli kelebeklerde olduğu gibi, bir canlı yendiği zaman ona saldıran canlıya zarar verir. Avcılar zehirli avlardan uzak durmayı öğrenir ve canlılar aynı görünümde olacak şekilde evrimleştiklerinde, alınan bu ders her iki taklitten de daha etkin bir şekilde faydalanılabilmesini sağlar.



Birlikte Evrim

Doğal yaşam alanlarının kontrolsüzce yok edilip dönüştürüldüğü bu dönemde kimi ekosistemlerin milyonlarca yıldır hemen hemen hiç değişmeden kalmış olduğunu hayal etmek güç. Tüm bu süre boyunca, birlikte evrim olgusu sayesinde, türler birbirleriyle uyum içinde evrimleşmiştir ve bir türün geçirdiği değişiklik başka bir türün de bu duruma karşılık olarak değişmesini tetikler. İç içe geçen bu karmaşık adaptasyonlar ağı, bir ekosistemin yaşamı yüksek verimlilikle desteklemesini sağlar. Ancak bu güç aynı zamanda bir zayıflığı da beraberinde getirir çünkü sistemin dışından gelen ani bir değişiklik, örneğin insan aktivitesi, yaşam formları arasındaki bu nazik dengeyi kolaylıkla bozabilir.

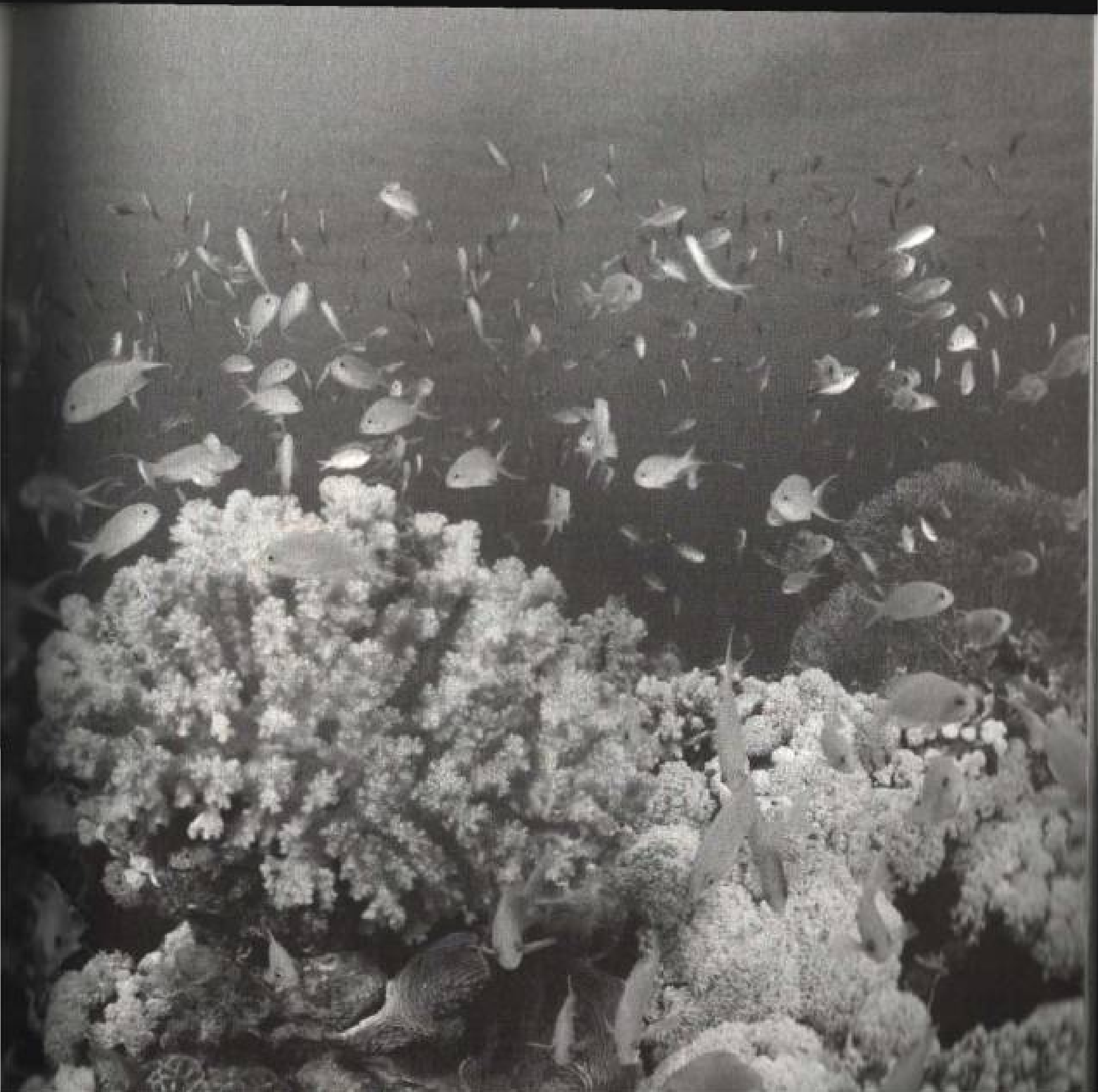
Av ile avcı arasındaki silahlanma yarışı ve çiçekli bitkilerle böcekler ya da kuşlar arasında görülen ortakyaşarlık, birlikte evrimin en klasik örnekleri arasında yer alır. Karşılıklı bağımlı bir ilişki geliştirecek şekilde evrimleşen bitkiler polenlerinin kendi türlerinden olan başka bitkilere ulaştırılma olasılığını artırırken hayvanlar da güvenilir bir yiyecek kaynağına erişim sağlar.



Hayvan İlişkileri

Birçok hayvan tek başınadır, yalnız kalmak ister. Tomurcuklanmayla çoğalan bir hidra gibi ilkel eşeysiz canlılar hayatlarını başarıyla idame ettirebilmek için başka bir canlıya ihtiyaç duymaz. Ancak hayvanların çoğu, kendi türlerinden başka bir bireyle her iki tarafın da fayda sağladığı bir çeşit etkileşim içindedir. Bu etkileşim, bir partnerle çift olmak kadar basit ya da karmaşık bir topluluk içindeki aynı türden canlıların iş birliği yapmaları gibi daha küçük veyahut daha büyük bir ölçekte olabilir.

Örneğin, bir mercan parçası aslında binlerce bağımsız polipten oluşur. Polipler yan yana büyür fakat farklı bireyler olarak beslenir ve çoğalır. Yine de mikroskobik ölçekte koloninin üyeleri komşu mercanların gasp girişimini savuşturmak için birlikte mücadele eder. Hayvan topluluklarını ve aralarındaki ilişkileri anlamak için çeşitli faydaların ve dezavantajların ağırlıklarını değerlendirmek gerekir. Örneğin, bir grup içinde yaşamak yiyecek rekabetini artırır ancak güvenlik ve savunmayı da güçlendirir.



Ortak Yaşam

Ortakyaşar (simbiyotik) bir ilişki, farklı türlere ait iki canlının ortak bir kazanç elde etmek adına yakın etkileşim halinde yaşayacak şekilde evrimleşmeleridir. Örneğin, çiçekli bitkiler ve bal arıları ortakyaşar canlılardır ve ortaklıkları, birlikte evrimin bir canlının diğeri olmadan hayatta kalamayacağı uç bir türünü teşkil eder. Bazı ortak yaşamlar bundan daha da yakın bir birliktelikten meydana gelir. Dev istiridyeler ve mercanlar dokularında fotosentez yapan Zooxanthellae isimli bakterilere ev sahipliği yapar. Bu endosimbiyontlar konakçılarına güvenli ve istikrarlı bir yaşam alanı karşılığında şeker sağlar.

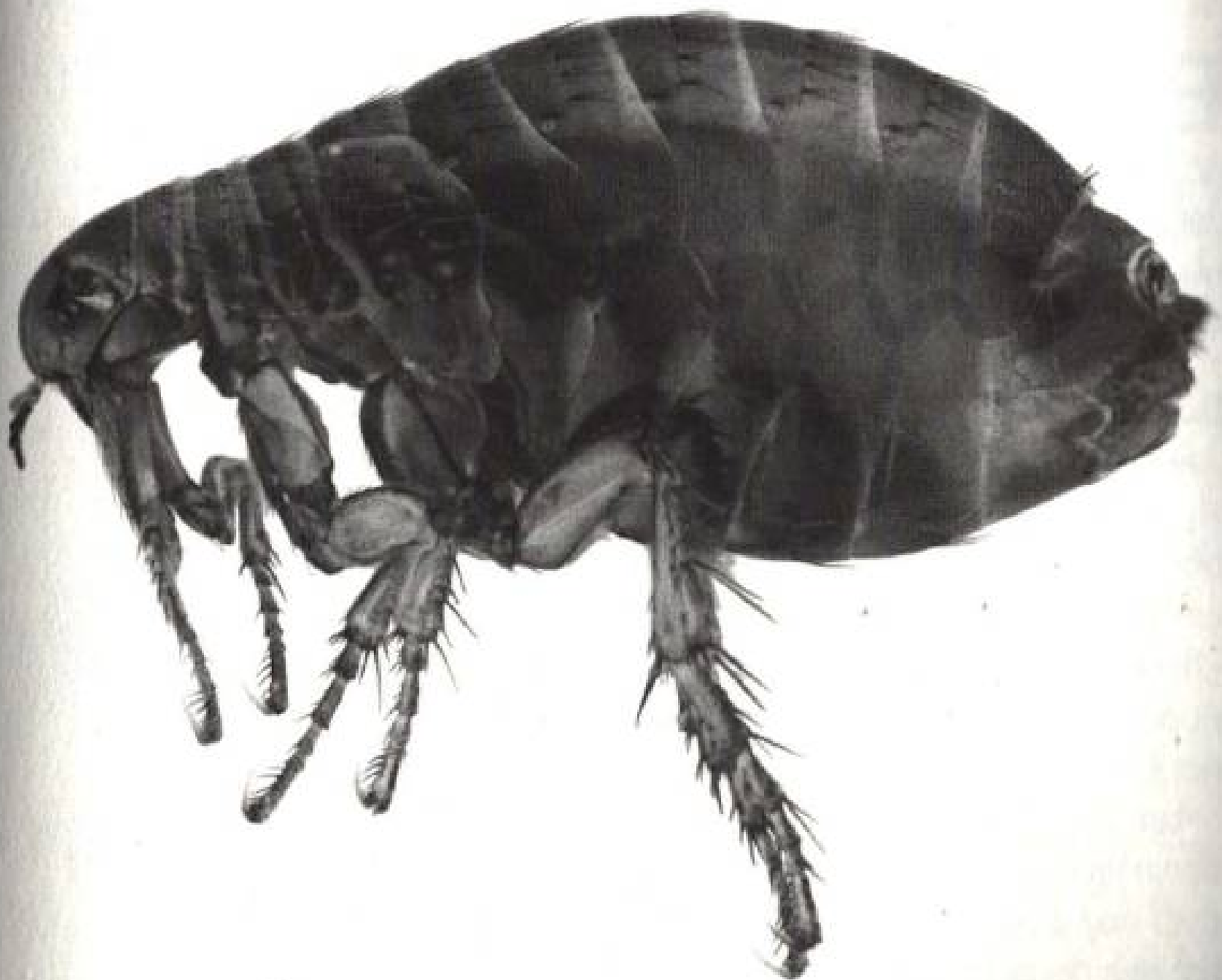
Ortak yaşamın iki türü vardır: Yukarıda bahsi geçen örnekler her iki türün de ilişkiden fayda sağlamaları nedeniyle mutualisttir. Ancak eşlerden yalnızca birinin fayda sağladığı ortak yaşam türleri de mevcuttur. Diğer eş ne kayba uğrar ne de kazanç sağlar. Mutualizmden daha seyrek görülen bu duruma kommensalizm adı verilir ve (yan sayfadaki) sığır ya da başka büyük otobur sürülerini takip ederek sürünün toynaklarından kaçan toprak böceklerini avlayan sığır balıkçılları bu ilişkiye örnektir.



Parazit

Birlikte evrimde akraba olmayan iki tür arasında, biri fayda sağlarken diğerine zarar verdiği bir ilişki şekli de ortaya çıkabilir. Parazitlik adı verilen bu etkileşimde eşlerden fayda sağlayan taraf parazitken, kaybı olan taraf konakçıdır. Pire (yan sayfada) kıllı konakçılarının derilerinde yaşayan dış parazit iken, tenya konakçılarının bağırsaklarında yaşayan iç parazittir. Diğer parazit solucanlar vücuda girdikten sonra kanda ya da organlarda yuvalanabilir.

Parazitlerin yaşam döngüsü genellikle karmaşıktır çünkü bir konakçıdan birçok başka konakçıya, yani "vektör"e geçiş yapar. Örneğin, sivrisinek sıtma parazitlerinin vektörüdür ve tatlı su salyangozları da tropikal bir hastalık olan bilharyaza sebebiyet veren kurtçuklar olan şistozomaları taşır. En başarılı parazitler konakçılarına en az zarar verenlerdir çünkü konakçıyı öldürmek yaşamak için yeni bir yer bulunmasını gerektirir. Ancak parazitoit olarak adlandırılan bazı organizmalar konakçılarını bir aşamadan sonra öldürür. Bu tür canlılar (genellikle yaban arıları) yumurtalarını konakçıların içine bırakır ve yavruları, henüz hayattayken konakçıyı canlı canlı yer.

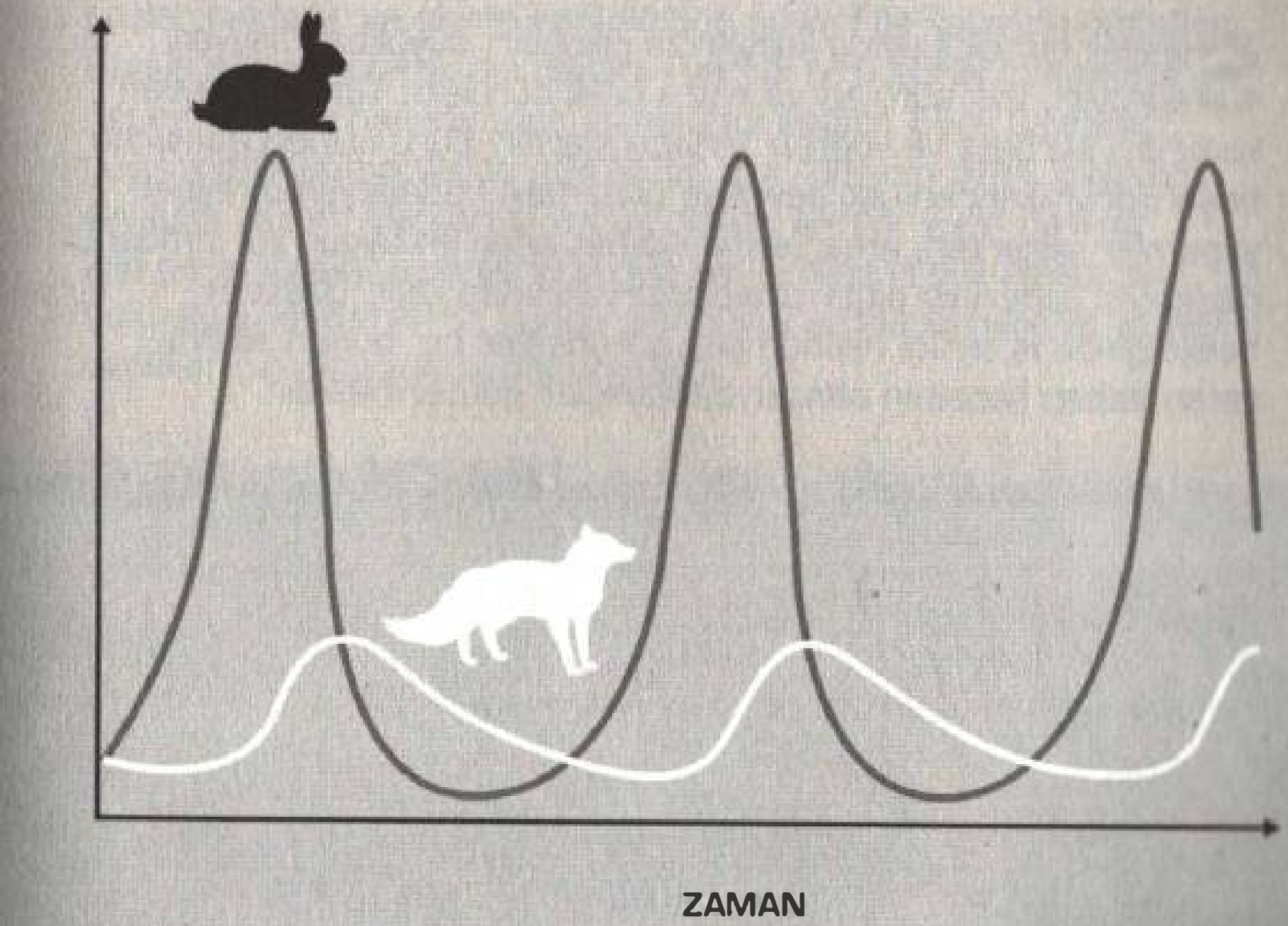


Avcı ve Av

Bir avcı başka organizmaları öldürüp yiyen organizmadır. Bitkiler ve mantarlarda da (sinekkapan gibi böcekleri tuzağa düşürüp sindiren ya da topraktaki mikroskobik solucanları yakalayan mantarlar gibi) avcı türler mevcuttur. Ancak avcıların büyük çoğunluğu hayvandır ve hedeflerindeki organizmalar av olarak adlandırılır.

Bu terimlerin genelgeçer kullanımı avcıların genellikle daha zayıf avlarının hakkından gelen iri ve kuvvetli, amansız et yiyiciler oldukları hissini verir. Ancak bir katil böceğin bir cırcır böceğini kovalaması ya da bir uğur böceği larvasının fidan bitini yakalamasında da büyük hayvanlardaki av ve avcı arasında gerçekleşen tüm o drama ve şiddet mevcuttur. Ayrıca avcı ve av popülasyonları arasında da oldukça dinamik bir ilişki bulunur. Av popülasyonu yüksekken gıda fazlalığı sayesinde avcılar da sayıca artar. Ancak ortamda bunca avcının bulunması av sayılarında azalmaya sebep olur ve avcılar aç kalmaya başlar. Bu nedenle avcı sayısında azalırken av popülasyonu yeniden artar ve döngü bir kez daha başlamış olur.

Avcı – Av döngüsü



Sürüleşme

Sürüler birçok şekilde karşımıza çıkabilir: büyükbaş hayvan sürüleri, kuş sürüleri ve hatta balık sürüleri. Tüm bu hayvan kümeleri serbest ve lidersiz birlikteliklerdir. Sürü üyeleri esasında başarı oranlarını en üst seviyeye çıkarmayı hedefleyen bireysel yaşamlar sürerken, amaçlarına hizmet eden en uygun yol olması nedeniyle türlerinin diğer üyelerinin yakınında kalır. Uzaktan bakıldığında iş birliği halinde gibi görünseler de, bunun altında yatan sebep hepsinin benzer davranışlar göstermesidir.



Sürüde yer almanın en bariz sebebi sayıların sunduğu güvencedir. Avcılar daima sürünün kıyılarında kalan bireylere saldırır ve bu da kenarlardaki hayvanların daime merkeze doğru ilerlemelerini sağlayarak sürüyü bir arada tutar. Tüm sürü üyeleri tehlikeyi gözler haldedir ve alarm verildiğinde güvenliğe kaçmayı hedefler. Bunun sonucu olarak bir tehdidin varlığı tüm sürüyü harekete geçirir ve kitle halinde uzaklaşmalarını sağlar. Sürü davranışı, çayırlardaki otlayıcılarda görüldüğü gibi, besinin geniş bölgelere yayıldığı yaşam alanlarına uygun düşer. Meyve yiyen canlılar için geçerli olan, besinlerin yoğun bir şekilde küçük alanlarda bulunduğu durumlarda bunun gibi büyük sayılarla hareket etmek canlılar için dezavantaj doğuracaktır.



Polijini (Erkeklerde Çok Eşlilik)

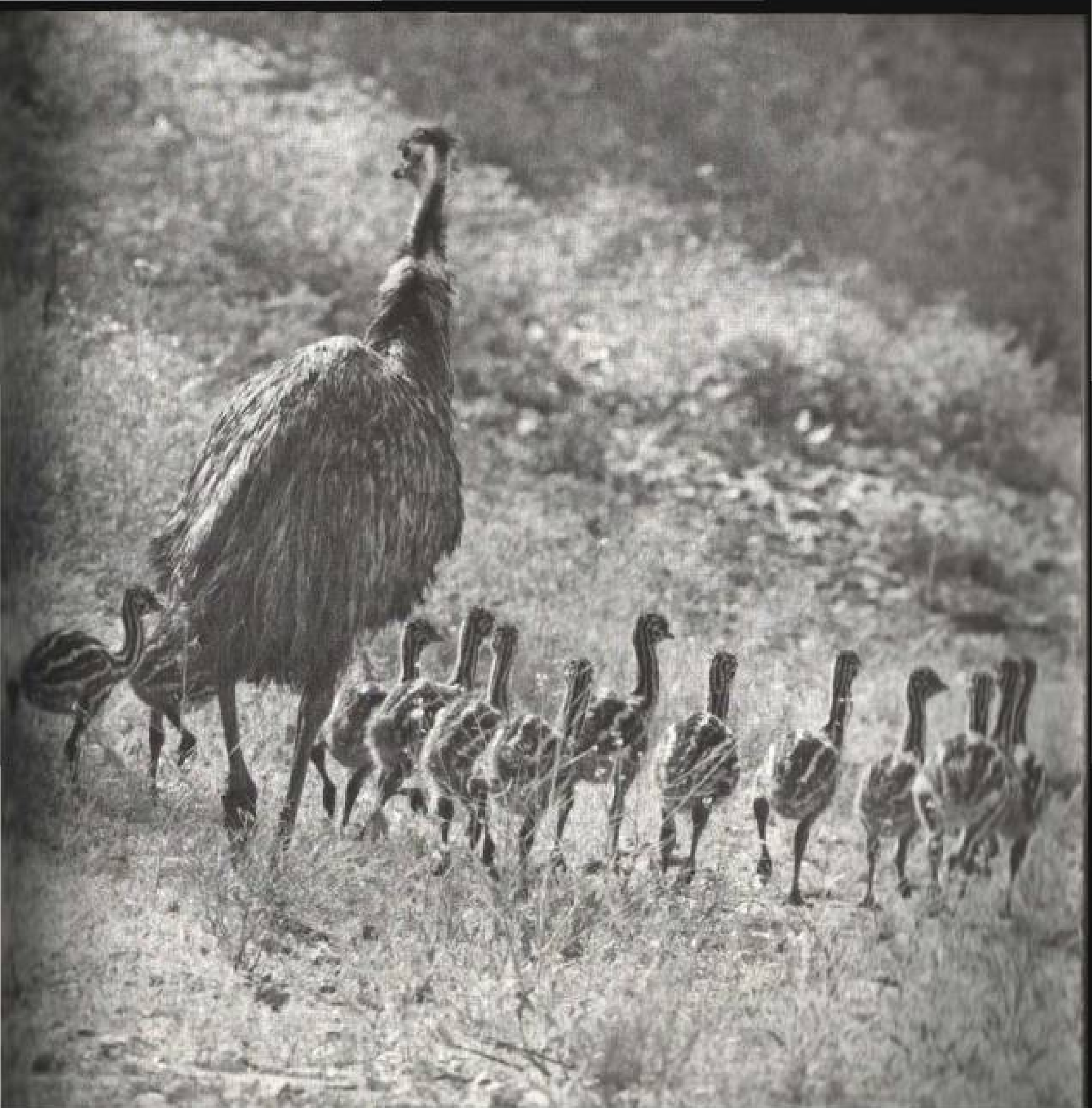
Polijini tek erkeğin birden fazla dişiyle eşleştiği çiftleşme yöntemidir. Dişi ise aksine, belki artık kur yapılmasına açık olmaması nedeniyle ya da genellikle erkeğin onu ve diğer eşlerini korumasından ötürü tek erkekle eşleşir. Bu durum tek erkeğin diğer erkekleri uzak tutarak bir dişi grubunun üreme faaliyetleri üzerinde kontrol sahibi olmasıyla bir 'harem' ortaya çıkarır.

Gruplar halinde yaşayan geyik, hipopotam, sığır gibi hayvanların birçoğu ve balıkların çoğunluğu polijiniyi benimsemiştir. Buna yol açan ortak faktör, bu canlıların gıdanın yayılmış olduğu habitatlarda yaşamalarıdır. Böylece tek birey anlamlı bir beslenme bölgesinin yönetimini ele geçiremez. Bir erkek geyik için gıda kaynaklarının olduğu bir toprak parçası için mücadele etmek anlamlı değildir çünkü rakipleri başka yerlerde de bolca gıdaya erişim sağlayabilir. Bu nedenle erkek geyik başarısını olabilecek en yüksek seviyeye çıkarmak için üreme kaynaklarını kontrolü altına alır. Bu strateji erkeklerin haremlerini savunabilecek savaş makinelerine dönüşmeleri gerekliliği nedeniyle cinsler arasında farklılıklar oluşmasına neden olur.



Poliandri (Dişilerde Çok Eşlilik)

Poliandri polijininin tersidir: Dişi o çiftleşme döneminde kendisinden başka dişilerle eşleşmeyen ve yalnızca kendisine ait olan birden fazla erkeğe sahiptir. Poliandri doğada polijiniden daha seyrek görülse de mevcuttur. Bu çok eşlilik türünün uç bir formu fener balıklarında görülür. Deniz tabanında parlak fenerleriyle avlarını kendilerine çeken tüm avcılar dişidir çünkü hiçbir erkek gençlik döneminden fazla gelişemez. Bunun yerine ısırarak daha büyük bir dişinin vücuduna yerleşir ve onun kan akışıyla bağlantı kurar. Her erişkin dişi, derisine yerleşen, yumurta bıraktığı zaman sperm döken birden fazla erkek taşır. Poliandrinin diğer örnekleri daha olağandır. Örümcekler, sürüngenler ve koşucu deve kuşları da dahil olmak üzere bazı kuş türleri aynı stratejiyi kullanır. Bazı dişiler birden fazla babadan olan yumurta kümeleri oluşturmak için sperm depolayabilir. Bu durum dişiye yardım ederken erkek eşlerin babalığı paylaşarak tüm yavrularla ilgilenmelerini sağlar çünkü hangi yavruların kendilerinden olduğunu bilemezler. Polijinide erkek tüm zamanını ve enerjisini çiftleşmeye harcar. Poliandrideyse dişi benzer bir yükün altına girer ancak aynı zamanda yavruları da üretmelidir.



Rastgele Çiftleşme

Eğer günümüz dünyasının insan davranışları üzerinde etki sahibi olan ahlaki çağrışımlarından sıyrılabilirsek, en yakın akrabalarımızın da dahil olduğu birçok hayvan topluluğunun "rastgele çiftleşme"yi benimsediğini görürüz. Özetle, rastgele çiftleşme sistemi hem erkeklerin hem de dişilerin çift olarak bağ kurmadan birden fazla partnerle eşleşmeleridir.

Bu cinsel strateji en yaygın, birçok maymunun ve kuyruksuz maymunun yanı sıra yunuslarda da gözlemlenen füzyon-fisyon toplumlarında görülür. Bu tür toplulukların üyeleri gıda kaynaklarına erişim sağlamak, onları tehlikelere karşı savunmak ve hangi ebeveynden olduklarından bağımsız olarak yavruları korumak için iş birliği yapar. Gruplar arasında sıkça iki ya da daha fazla grubun birleşmesi sonrasında orijinal gruptan farklı üyeleri içeren başka küçük grupların kurulduğu birbirine karışmalar gerçekleşir. Böyle gruplar bir lidere ya da grubun daha yaşlı üyelerinden oluşan baskın bir topluluğa sahip olabilir ancak üyelerinin gruplar arasında hareket etmeleri için herhangi bir engel bulunmaz.



Karma Cinsel Strateji

Hayvanların üreme yöntemleri değişmez değildir. Kimi türlerin çiftleşme sistemleri ya da cinsel stratejileri içinde bulundukları ekolojik şartlara göre farklılaşabilir. Sosyal gruplar halinde yaşayan yegâne kedigiller olan aslanlar bu durum için iyi bir örnek teşkil eder. Bunlardan en bilineni, tek erkeğin kontrolündeki haremi içeren sürüdür. Bu sistem aslanların çevik otoburları avlamak için iş birliği yapmalarının gerektiği Afrika çayırlarında işlevseldir. Ancak besine daha kolay erişim sağlanabilen yerlerde yavruların yetiştirilmesi için birlikte çalışan bir dişi ve bir erkekten oluşan tek eşli çiftler oluştururlar. Örneğin, aslanlar Avrupa'da yaşadıkları zamanlarda bu stratejiyi benimsemişlerdi.

Tek eşlilik birçok hayvan tarafından benimsenen bir sistemdir. Uzun vadeli çiftler oluşturmak erkeklerin eş rekabeti için sarf edecekleri enerjiyi azaltarak yavrularının hayatta kalması için daha fazla çaba harcamalarını sağlar. Yine de, tek eşli hayvanlar mümkün olduğunda başka bir yerde de çiftleşebilir. Aldatan bir dişi yavrularına yeni genler kazandırmış olmaktan fayda sağlarken, erkek de yavrularının başka bir erkek tarafından yetiştirilmesini sağlayarak kazanım elde eder.



Cinsellik

İnsan cinselliği biyolojinin sınırlarını aşan, erkek ya da dişi cinsiyete dair düşünceler, maskülen ya da feminen olmaya dair cinsiyet rolleri ve tabulara ek olarak bunların kültürden kültüre gösterdikleri farklılıklarla ilişkilenen bir sosyal bileşene sahiptir. Eşcinsellik kalıtım yoluyla edinilen bir gen nedeniyle mi görülür? Tek yumurta ikizlerinin ikisinin de eşcinsel olmasının yalnızca birinin eşcinsel olmasından daha olası olduğunu öne süren kanıtlar mevcuttur ancak bu durumun genetik olmaktan ziyade epigenetik bir etkiden (bkz. s. 354) kaynaklandığı düşünülür. Öne sürülen bir başka neden de, hamilelik sırasında maruz kalınan hormon seviyelerine işaret eder.

İnsan kültüründe cinsellik ve cinsel kimlik arasında, bireylerin genellikle heteroseksüel, eşcinsel ya da biseksüel olduğunu beyan etmesinin beklendiği kuvvetli bir bağ bulunur. Peki bu ayrımlar insanlar dışındaki doğal dünyaya uzanır mı? Biyolojik anlamıyla cinsellik bir dizi davranış olarak değerlendirilebilir. Eşcinsel davranış birçok hayvan türünde zaman zaman görülebilir ancak nadiren kur yapmanın baskın şeklidir. Cüce şempanze gibi türlerde karmaşık sosyal ilişkilerin düzenlenmesinin bir yolunu teşkil edebilir.



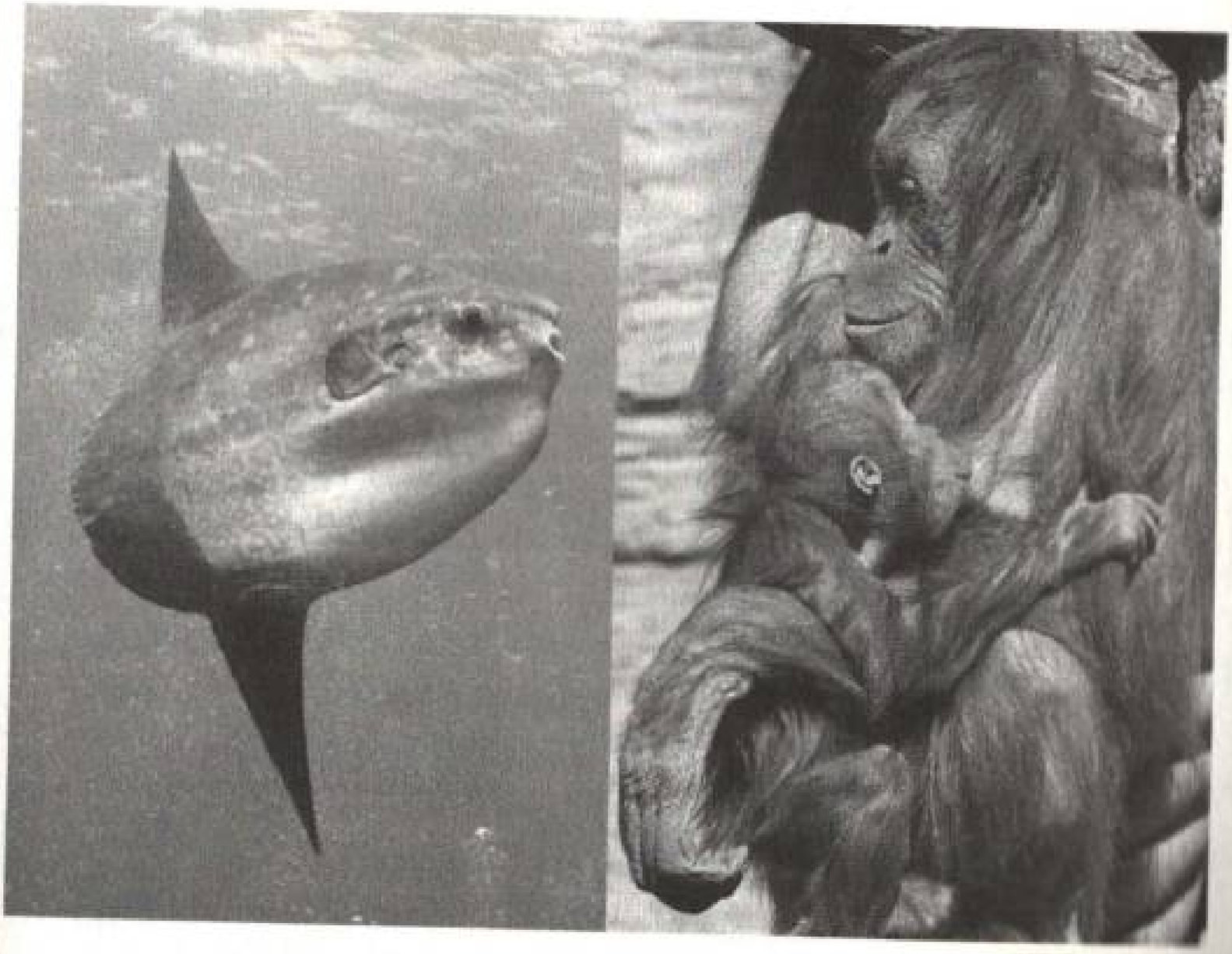
Cinsiyet Oranı

Türlerin çoğunluğu için erkeklerin dişilere oranı aşağı yukarı 1:1'dir. Bireysel anneler sadece dişilerden ya da sadece erkeklerden oluşan aileler meydana getirebilirler, ancak bir erkek ya da dişi yavru dünyaya getirme olasılıkları her zaman yüzde ellidir. Bu eşitliğin sebebi 1930'da Ronald Fisher'a ithaf edilen Fisher Teoremi ile açıklanabilir. Eğer dişiler erkeklere sayıca üstünlük sağlarlarsa, erkek yavrular dünyaya getirmek bariz bir avantaj sağlayacaktır çünkü erkekler eş sayısı fazla olduğu için daha fazla yavru sahibi olabilirler. Bu yavrular da daha fazla erkek yavru meydana getirme eğiliminde olacağı için cinsiyet oranını yeniden 1:1'e çekerler. Eğer bu durum fazlalaşırsa dişi cinsiyet, oranı yeniden dengeye getirmek üzere hareket eder. Ancak cinsiyet oranının belli bir yöne meyilli olduğu durumlar da görülebilir. Örneğin incir yaban arıları larva dönemlerini incirlerin içinde geçirir. Ortaya çıkan erişkinler genellikle dişidir ancak bir sonraki incire uçup yumurtalarını bırakmalarından önce kız kardeşleriyle çiftleşen bir miktar erkek de bulunur ve bu durum üreme faaliyetini azami seviyeye çıkararak cinsiyet dengesine olan ihtiyacı ortadan kaldırır.



r/k Seçilimi

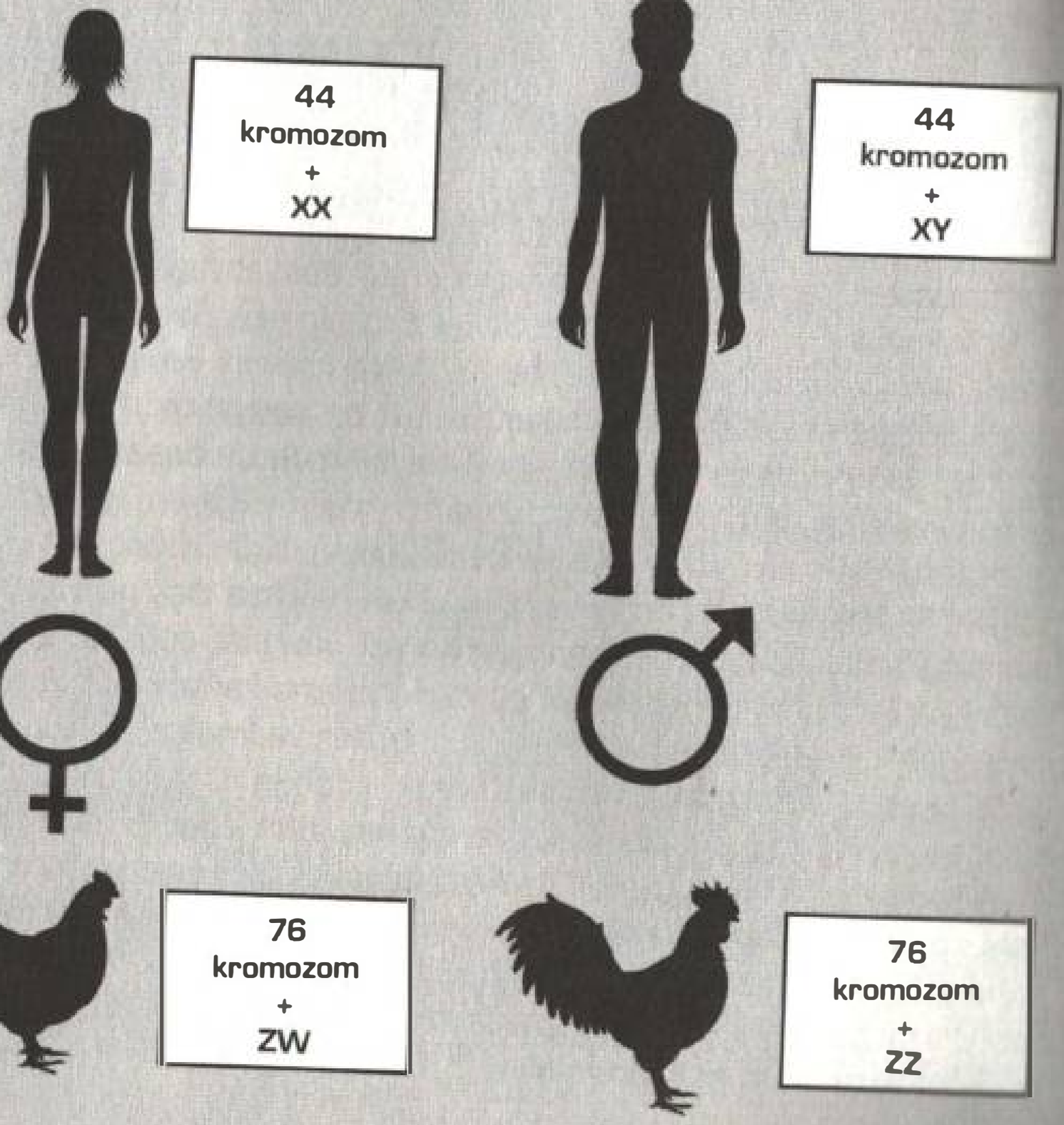
Nispeten yuvarlak bir ifade olan "r/k seçilimi" yavru üretmek için benimsenen iki temel stratejiye atıfta bulunur. Bir r-seçilimi stratejisi hayvanın kaynaklarını üreme oranına odaklarken ("r" İngilizce oran anlamındaki "rate" kelimesinden gelir), bir K-seçilimi stratejisi de bir hayvan popülasyonunun tam kapasitede idame ettirilmesine odaklanır ("k" Almanca kapasite limiti anlamındaki "Kapazitätsgrenze" kelimesinden gelir). R-seçilimi görülen türlerin zirvesinde dünyadaki en büyük kemikli balık olan okyanus güneş balığı bulunur. Bir dişi yılda üç yüz milyon yumurta üretir ve bu sayı herhangi bir memeli türününkinden açık ara fazladır. Bunlardan yalnızca birkaçı yetişkinlik seviyesine ulaşacaktır ancak bu balıklar olabildiğince yüksek sayıda yumurta üretmeyi hedeflerler. Eğer komşusundan yirmi veya otuz milyon daha fazla yavru üretebilirse başarı şansı artacak ve böylece yavruları ekosistemde ortaya çıkabilecek herhangi bir açıklıktan fayda sağlayabilecektir. Diğer uçta ise K-seçilimi görülen türlerin arketipi olan orangutan bulunur. Orangutan bebek hayatta kalması için gereken her şeyi öğrenebilmesi adına yedi yıl boyunca annesiyle kalır. Bir anne ancak bu aşamadan sonra yeni bir yavru dünyaya getirir ve böylece tüm yaşamı boyunca doğurganlığı ortalama iki yavru ile sınırlanır.



Okyanus güneş balığı ile orangutan, üreme başarısı elde etmek için birbirlerinden oldukça farklı stratejiler kullanır.

Cinsiyetin Belirlenmesi

Bir hayvanın cinsiyetinin belirlenmesini sağlayan mekanizmalar evrensel değildir. Kuşlar, memeliler gibi daha gelişmiş hayvanlar bir genetik sisteminden faydalanır ancak hayvanlar âleminin başka yerlerinde daha farklı metotlar uygulanır. İnsanlar da dahil olmak üzere memeliler X ve Y eşey kromozomlarını kullanır. Bir dişinin eşey kromozomları XX iken bir erkeğinki XY'dir. Dişi homogametiktir, yani gametleri daima X kromozomu taşır. Erkek heterogametiktir, yani spermlerinin yarısı X yarısı da Y kromozomu taşıyacaktır. Kuşlar da ZW genlerini içeren bir genetik sistemi kullanır. Ancak bu sistemde ZZ taşıyan erkek homogametik, ZW taşıyan dişi ise heterogametiktir. Birçok böcek de dişilerin iki, erkeklerin ise tek tür eşey kromozomu taşıdığı bu tür sistemler kullanır. Timsahların, kaplumbağaların ve diğer bazı sürüngenlerin cinsiyeti yuvanın sıcaklığına bağlıdır. Kaplumbağalarda daha düşük sıcaklıklarda bulunan yumurtalar erkek, diğerleri dişi olur. Timsahlarda ise orta derece sıcaklıklarda bulunan yumurtalar erkek, sıcakta ya da soğukta kalanlar dişi olur. Bu sistem yıldan yıla geniş dalgalanmalar gösterme eğilimindedir.



Kromozomlar ve cinsiyetin belirlenmesi

Gerçek Sosyal Yaşarlık

Karıncalar, termitler ve bal arıları gerçek sosyal yaşar* hayvanlara örnek teşkil eder. Tek kraliçenin yavruları yuvayı inşa eden, besin toplayan ve annelerinin diğer yavrularını yetiştiren işçiler olarak çalıştıkları kolonilerde yaşar. Bu tür bir sosyal birim, bireylerin iş birliği yapmazsa zorluk çekeceği kurak bölgelerde başarılı olur. Termit kraliçesi (yan sayfada) yanında bir kralla yaşayan, işçilerinden katbekat büyük olan devasa bir yumurta üreticisidir. Kraliçenin salgıladığı feromonlar nedeniyle hem erkek hem de dişi yavrular kısırdır. Zaman zaman, üretken olan kanatlı yavrular çoğalıp yeni bir koloni başlatsınlar diye yuvadan gönderilir. Buna karşılık tüm işçi karıncalar, arılar ve eşek arıları dişidir. İşçiler ve kraliçe anneleri diploit iken, döllenmemiş yumurtalardan, çiftleşmemiş kraliçelerle eşleşerek yeni koloniler kurmak üzere yuvayı terk edecek haploit erkekler, yani dronlar gelişir. Oldukça karmaşık bir genetik sistemine sahip olan karıncaların kız kardeşliklerinin olağan kız kardeşlerden daha yakın bir akrabalığa sahip olduğu görülür. Bu olgu, işçilerin kendilerini annelerinin daha fazla yavru üretmesine yardım etmeye adayacaklarını güvence altına alır.

* Ç.N. eusociality: tümtoplumsallık, gerçek sosyal yaşarlık



Sperm Rekabeti

Genellikle erkekler arasında gerçekleşen eş rekabeti azılı ve çoğu kez ölümcül olur. Yine de rekabet çiftleşme gerçekleştikten sonra sona ermez. Spermler mayoz ürünüdür, yani yaratıcılarından farklı bir genetik yapı bulundurur ve birbirilerinden farklı genlere sahiptir. Bunun sonucu olarak her sperm komşusuyla doğrudan rekabet halindedir. Krossing-over'ın (bkz. s. 134) neden evrimleşmiş olabileceğine dair öne sürülen başlıca hipotez, eşey hücreleri arasındaki genetik çeşitliliğin azaltılması yoluyla bu rekabetler serisinin hafifletiliyor olabileceğini savunur. Eğer bu rekabet dizginlenmemiş olsaydı, doğal seçilim spermlerin kelimenin tam anlamıyla birbirlerine saldırmalarına sebep olurdu. Doğal seçilim bunun yerine farklı erkeklerden edinilen spermlerin birbirleriyle yarışırken faydalandığı çeşitli adaptasyonların gelişmesine neden oldu. Bunlardan en basiti eşi korumaktır. Örneğin, bir palyaço kurbağası eşine on dokuz gün boyunca yapışık kalarak rakiplerinin çiftleşmesine engel olur. Bazı erkekler bir tıkaç salgılayarak eşinin üreme organını bloke eder. Rastgele çiftleşme görülen türlerde ise bir erkeğin penisi kendi spermlerini bırakmadan önce ondan evvel bırakılmış olan spermleri kazıyabilir. Bu aşamadan sonra tüm süreç spermlerin yumurtaya ulaşmak için yarıştığı bir hız ve dayanıklılık denemesine dönüşür.



Hayvan Kültürü

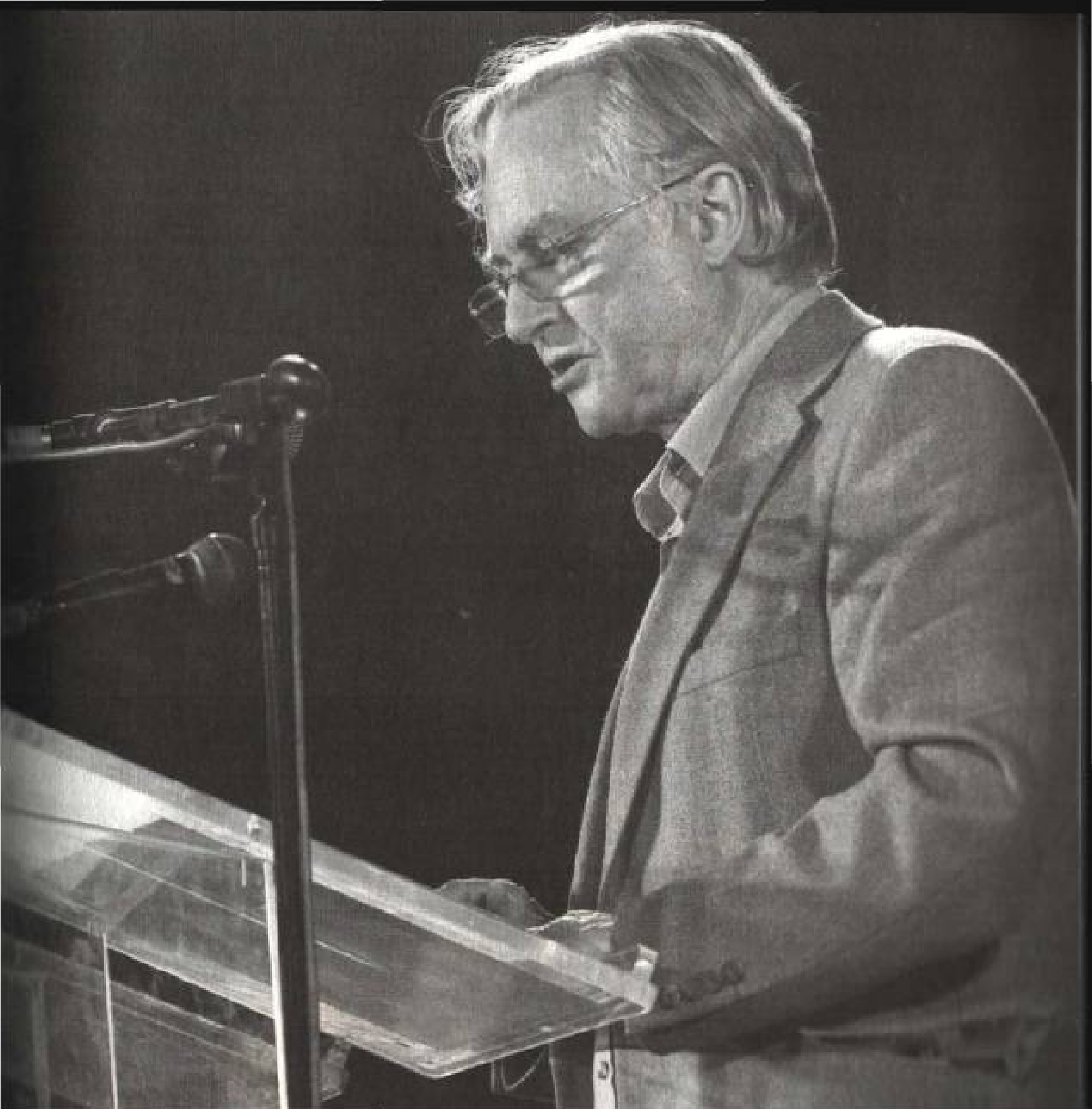
Ebeveynlerin yüksek sayılarda yavru üretmek yerine birkaç yavru üreterek onların yetiştirilmesine zaman ve enerji vakfettiği k-seçilimi stratejisinin avantajlarından biri de yavruları eğitebilmektir. Avlanma tekniklerinden sosyal etkileşimlere uzanan birçok davranış çocuklukta öğrenilir ve nesilden nesile aktarılır. Bir hayvan davranışının öğrenilme durumu ona kültürel bir boyut kazandırır, çünkü dünyanın başka yerlerinde yaşayan aynı türden başka gruplar daha farklı davranışlar gösterecektir. Katil balinalar bu durum için iyi bir örnek teşkil eder. "Denizin kurtları" olarak adlandırılan bu canlılar okyanusun her köşesinde sürüler halinde avlanır. Ancak her sürünün yaşadığı bölgeye uygun düşen farklı bir avlanma stili vardır. Kimileri balık sürülerini hedef alırken, kimileri balinaların peşine düşer, kimileri de fokları kapar. Ancak hepsi, öğrenilmiş ve bolca tecrübe edilmiş, iş birliği gerektiren avlanma tekniklerini uygular. Balık yiyen bir katil balina, balina yakalayan bir gruba dahil olursa, kültürlerine uyum sağlamakta güçlük çeker. Hayvan kültürü de doğal seçilimi yansıtan bir şekilde evrimleşir ve yayılır; yeni davranışlar bir gruba iyice yerleştiğinde başka bir gruba da aktarılabilir.



Neo-Darwinizm

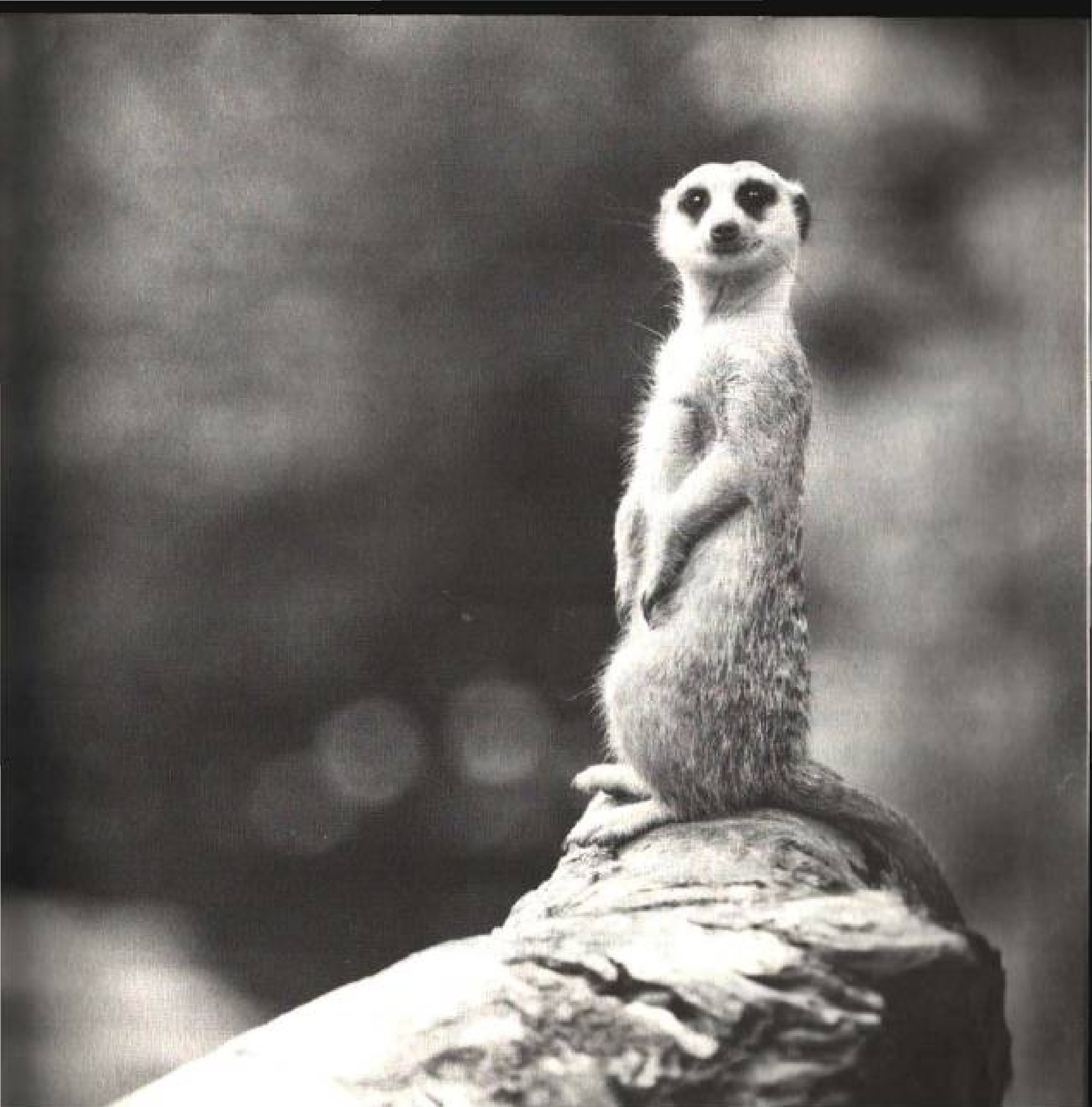
Doğal seçilime dayalı evrime dair modern kavrayışın diğer adı neo-Darwinizm'dir. Bu anlayış değerli Darwin'in orijinal teorisiyle çakışmaz, daha ziyade bu teoriye daha güncel olan kalıtım ve genetik bilgimizi katar.

Neo-Darwinizm, John Maynard Smith ve William Hamilton'ın daha sonra Richard Dawkins (yan sayfada) tarafından da popülerleştirilen çalışmaları sayesinde 1960'larda öne çıktı. Neo-Darwinizm'in en açık katkısı, Darwin'in orijinal teorisine dair büyüyen bir hatalı yorumu düzeltmesi olmuştu. Yirminci yüzyılın başlarında teori geniş çapta kabul görmeye başladığında doğal seçilimin tür seviyesinde çalıştığı ve ortaya çıkan adaptasyonların "türün iyiliği için" olduğu düşünülüyordu. Doğal seçilimin bunu nasıl yaptığı henüz net değildi ancak seçilim birimi bireyin bedenine indirgenmişti ki bu da Darwin'in orijinal fikriyle daha iyi uyuşuyordu. Günümüz evrimsel biyolojisi, bedeni, genler tarafından hayatta kalma şansını arttıracak şekilde oluşturulan bir makine olarak görüyor. Bu nedenle doğal seçilimin gerçek anlamda yalnızca gen seviyesinde çalıştığı söylenebilir.



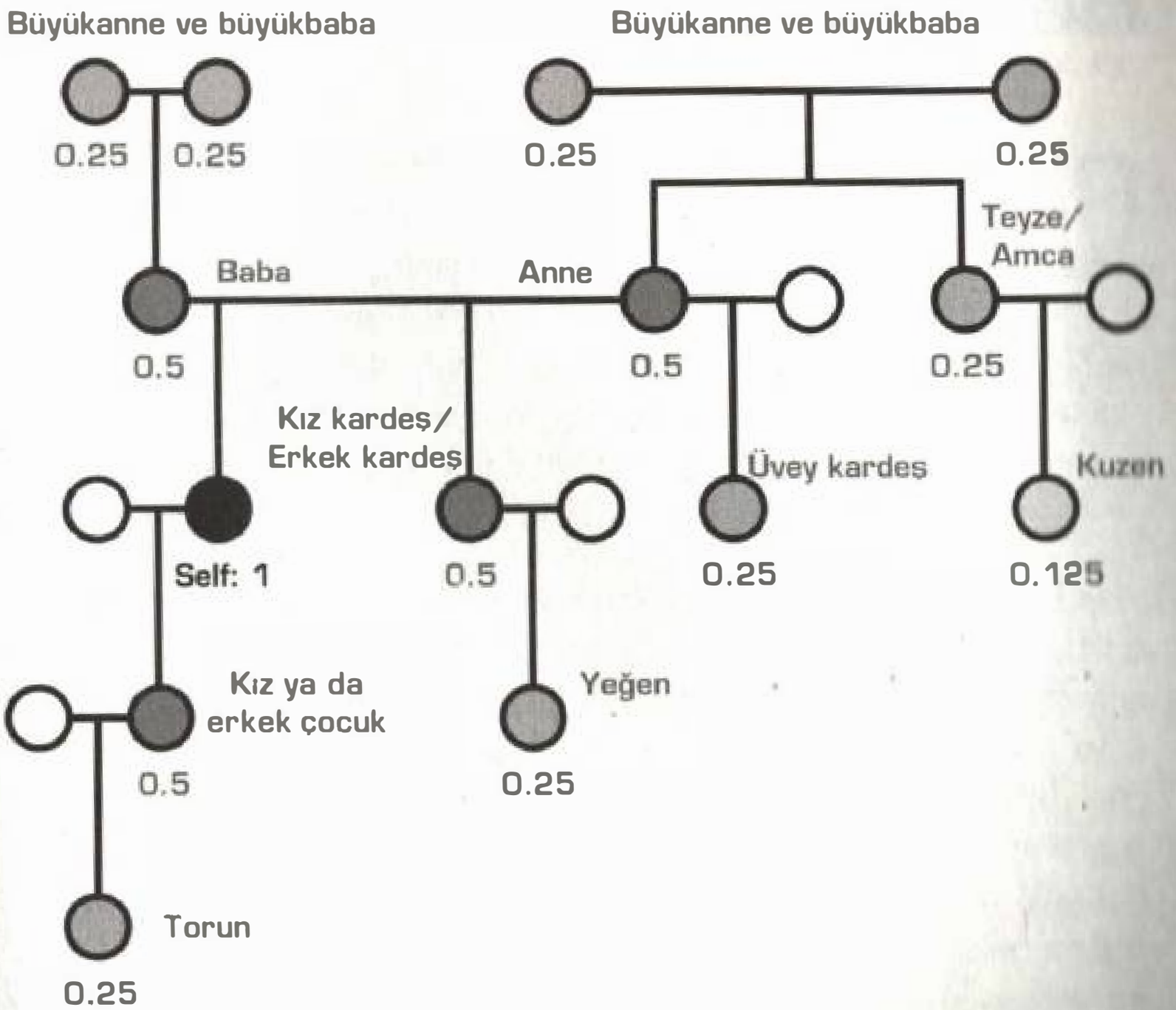
Özgecilik

İnsanların birbirlerine karşı özgeci ya da fedakâr davranması için birçok neden vardır. Bu tavırlar ahlaki bir kuraldan kaynaklanabileceği gibi, kişisel erdemleri geliştirmek amacıyla ya da kişisel bir bedel ödenecek olmasına rağmen çoğunluğun faydasını azami seviyeye çıkarmak için gerçekleşebilir. Ancak özgeci davranışlar başka hayvanlarda da görülür. Örneğin, işçi arı süreçte kendisini ölüme mahkûm edecek de olsa saldırganı iğnesiyle sokacaktır; gözcü firavun faresi (yan sayfada) dikkati kendi üstüne çekecek olmasına rağmen sürüsünü uyarmak için bağıracak ve onlara kaçma fırsatı yaratacaktır; kral kelebeği, bedenindeki toksinlerle saldırganını hasta ederek ona gelecekte kelebeklerden uzak durmayı öğretme pahasına saldırganı tarafından yenilme riskini göze alacaktır. Peki, bu davranışlar doğal seçilimin temelinde yatan, bedeli ne olursa olsun hayatta kalmak adına verilen vahşi mücadelede nasıl bir karşılık buluyor? Bunun için gereken tek neden, ebeveynler ve yavrulara ek olarak tüm aile fertlerinin ve sosyal grubun, hatta aslına bakılırsa daha az seviyede de olsa bir türün tüm üyelerinin genlerini paylaşıyor olmalarıdır. Hayvan özgeciliği bir birey için engel doğurabilir ve hatta onu öldürebilir, ancak aynı zamanda başka bireylerle paylaştığı genlerin çok sayıda kopyasının hayatta kalacağını garantiler.



Akrabalık

İlişki katsayısı" olarak da adlandırılan akrabalık, bağımsız organizmaların paylaştıkları genler bazında ne derece yakın akraba olduklarını ifade etmek için kullanılan sayısal bir değerdir. Eşeysiz üremeyle çoğalan bir organizma yavrularıyla genlerinin yüzde 100'ünü paylaşır, bu durumda akrabalık oranları 1'dir. Eşeyli çoğalan organizmalar genlerinin yarısını yavruya aktarır ve bunların tamamı fenotipte ifade edilmese de mevcuttur. Bu nedenle yavru ve ebeveynin akrabalık oranı 0,5'tir. Aynı durum kardeşler için de geçerlidir· çünkü ebeveynlerinden aynı genleri alma olasılıkları yüzde 50'dir ve bu da ilişki katsayılarını 0,5 yapar. Üvey kardeşlerin, büyükannelerin ve büyükbabaların akrabalık oranları 0,25 iken, birinci dereceden kuzenlerinki 0,125'tir. İkinci dereceden kuzenler genlerinin yaklaşık yüzde 3'ünü paylaşırlar ki insanların gen havuzu söz konusu olduğunda bu onları ancak herhangi bir yabancıyla oldukları kadar akraba yapar. Akrabalık insan kanunlarında (sınırın genellikle 0,125 olduğu) akraba evliliklerinden kaçınmak adına yer alsa da, çok daha geniş olan hayvanlar âlemindeki davranışları anlamamız için de bize yardımcı olur.

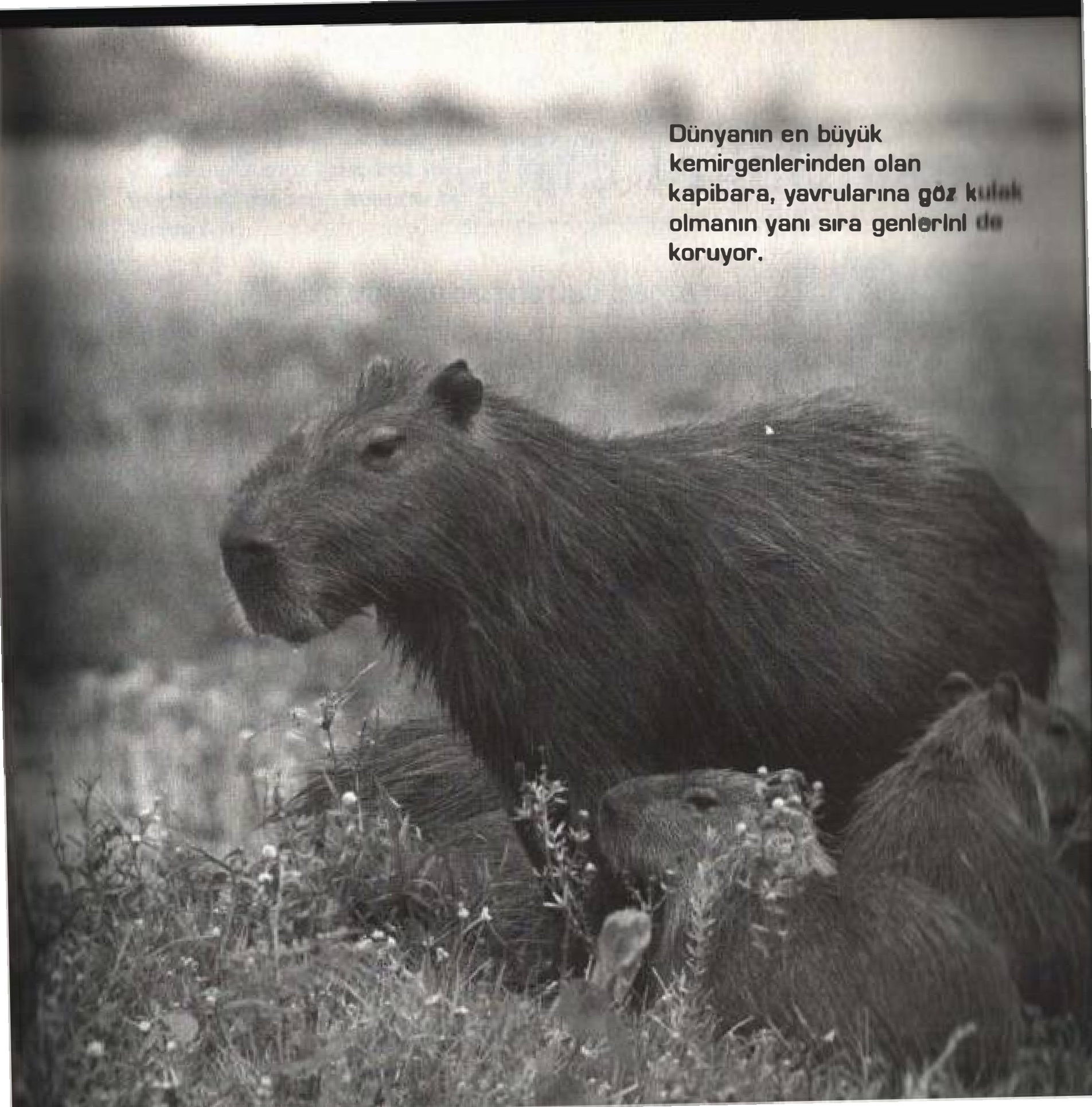


Akrabalık dereceleri

Bencil Genler

Richard Dawkins'in 1976'da yayımlanan ve aynı ismi taşıyan kitabıyla ünlenen"gen bencildir" kavramı sıklıkla yanlış yorumlanır. Bu fikir, sanılanın aksine, kişiliğimizin genlerimiz tarafından belirlendiğini ve bizim için "doğal" durumun bu olması nedeniyle bize bencilce davranma hakkı verildiğini ileri sürmez. Genlerimizin bir tür doğaüstü zekâ ile sürekli kendileri için hangi sonuçların daha iyi olduğunu hesaplayarak buna göre hareket ettikleri anlamına da gelmez.

"Bencil gen" daha ziyade neo-Darwinizm'in temel prensiplerini özetlemek için kullanılan bir ifadedir: Doğal seçilim gen düzeyinde işlev gösterir; hayatta kalma da genlerin her daim daha fazla sayıda kendilerini çoğaltma güdülerinin bir sonucudur ve özgeci görünenler de dahil olmak üzere tüm hayvan davranışları bu koşullarla açıklanabilir. Genlerin var oluş amacı (organizmanın bedenini ve davranışlarını kapsayan) fenotipi oluşturmak değildir. Aslına bakılırsa doğru olan bunun tam tersidir: Fenotip, genlerin hayatta kalma ve kendilerini çoğaltma becerilerinin en üst düzeye çıkarıldığının temin edilmesi için bir araçtır.



Dünyanın en büyük kemirgenlerinden olan kapibara, yavrularına göz kulak olmanın yanı sıra genlerini de koruyor.

Yeşil Sakal Etkisi

Hayvanlarda görülen özgeci davranışlar aslında bencil genlerin hayatta kalmasını emniyete almalarının sonucudur. Ebeveynler yavrularını saldırılardan korur ve yavru bakımında kardeşler birbirlerine yardım eder. Bir bireyin akrabalarının çoğalma şansını arttırarak dolaylı yoldan kendi genlerini çoğalttığı bu duruma "akraba seçilimi" denir. Peki, ya akraba olmayan ilişkisiz hayvanlar en azından bir geni paylaştıklarının farkında olsalardı? Bu koşulda birbirlerine yardım ederler miydi? Bu, "yeşil sakal etkisi" adı verilen bir düşünce deneyinde yöneltilen soruydu. Gen, taşıyıcısının yeşil sakal genini taşıyan diğer bireyleri tanıyarak onlara karşı özgeci olmasını sağlıyordu. Bu tür bir sistem gen için oldukça avantajlı olurdu ancak doğada mevcut muydu? Bunun var olduğunu gösterebilecek birkaç örnek bulunuyor ve bu örnekler genellikle mikroorganizmalardan çıkıyor. Ancak hileye elverişli olan bu sistem oldukça seyrek görülür çünkü özgeci davranışın önüne geçen mutant yeşil sakal geni tüm menfaatleri hiçbir bedel ödemeden elde edeceği için hızla orijinal genin yerini alır.

Risk alarak kendimize benzeyen insanlara yardım etmemiz (yalnızca hile yapanların fayda sağlayacağı) kusurlu bir genetik stratejidir.



Şahin ve Güvercin

Neo-Darwinizm'in teorinin modernleştirilmesine katkı sağlayan bir başka yanı da (başta çatışmaların çözülmesinde rol oynayanlar olmak üzere) hayvan davranışlarının evrimine dair kavrayışımızda oyun teorisini kullanıyor olmasıdır. Oyun teorisi şansın matematiği olan olasılığın bir koludur. Ekonomik ve askerî senaryolarda insan davranışlarını tahmin edebilmek adına 1940'larda geliştirilen bu teori, daha basit bir şekliyle türlerin nasıl istikrarlı davranış stratejileri geliştirdiğini göstermek için de kullanılabilir.

Şahin ve güvercin "oyun"u saldırgan (bir şahin) ya da barışçıl (bir güvercin) olmanın faydalarını tartar. İki bireyin yiyecek ya da eş için gerçekleştirilen bir çatışmada birbirleriyle karşı karşıya kalmasından doğacak rekabet değerlendirilir. Eğer şahin güvercinle karşılaşırsa daima ödülü kazanır. Ancak şahin başka bir şahinle karşı karşıya gelirse, kazanma (ya da kaybetme) ihtimali yüzde 50'dir. Eğer güvercin şahinle karşılaşırsa asla savaşmaz ve hiçbir şey kazanmadığı gibi herhangi bir şey de kaybetmez. Ve eğer iki güvercin bir araya gelirse kaynakları yarı yarıya bölüşür. Güvercinler arasındaki şahin başarılı olur ancak bu durum şahinler arasındaki güvercin için de geçerlidir.

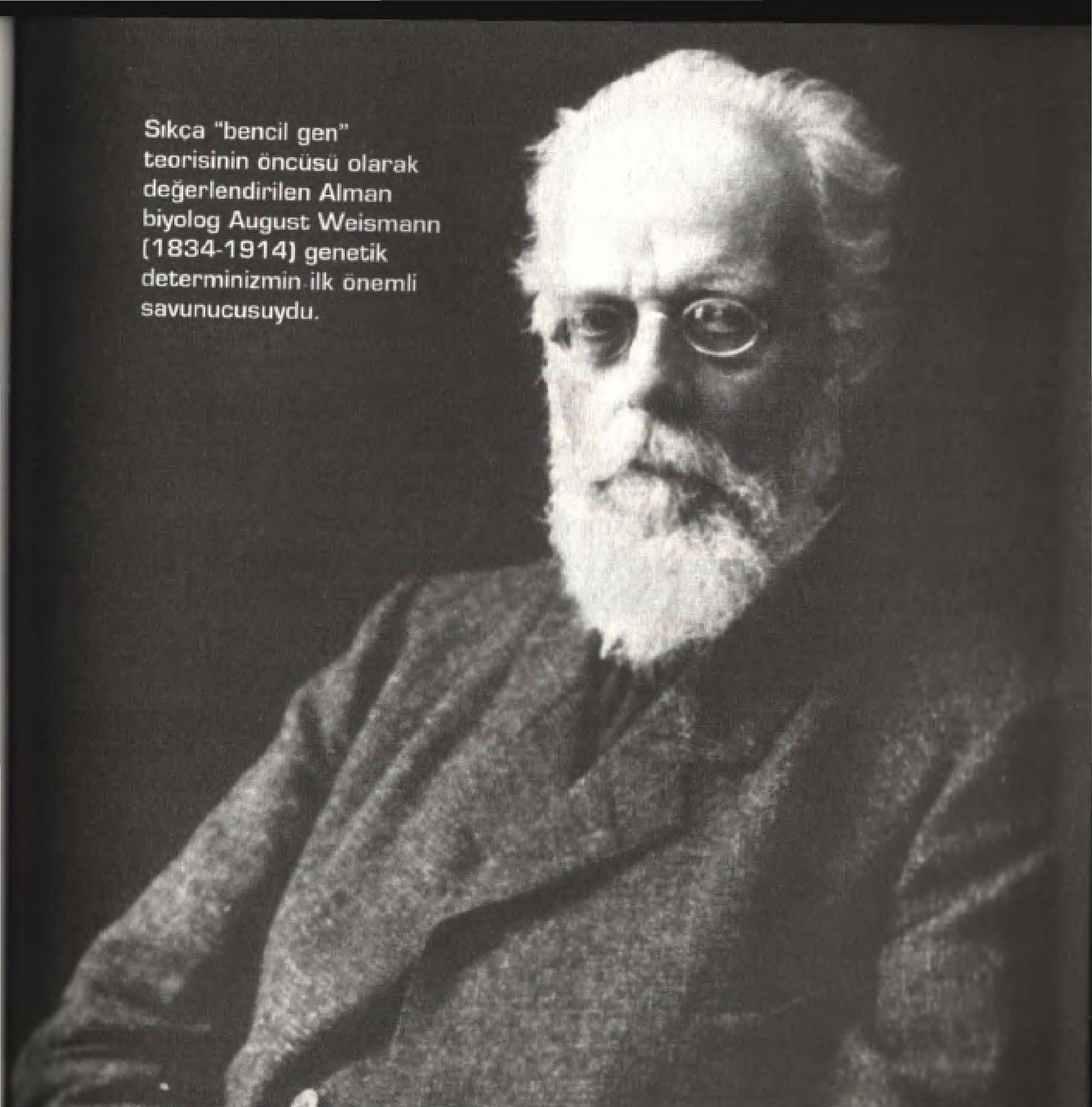
Şahin - Güvercin modeli

karşı (versus)	Şahin 	Güvercin 
Şahin 	Şahin savaşların %50'sini kazanır; %50'sinde yaralanır. 	Şahin daima kazanır; güvercin kaçar. 
Güvercin 	Güvercin asla kazanmaz; asla yaralanmaz. 	Güvercin kaynakların %50'sini güvence altına alır; asla yaralanmaz. 

Determinizm

Neo-Darwinizm'in genlerin evrim üzerinde sahip olduğu güce yaptığı vurgu, bir organizmanın bedeninin ve davranışlarının gelişmesinde etkili olan tek faktörün genler olduğu inancını doğurmuştu. Davranışlarını ya da başka özelliklerini açıklarken "Bu benim genlerimde var" diyen kimi insanlar belli bir gene sahip olmanın onlara doğrudan belirli bir özellik kazandıracağını düşünme eğilimindedirler. Bu, "genetik determinizm" adı verilen hatalı bir inanıştır.

Klasik Darwinizm bir organizmanın bedeni ve davranışlarıyla çevresi arasındaki etkileşime işaret eder. Darwin'in Mendel genetiğine dair herhangi bir bilgisi yoktu ve bu iki fikir birleştirildiğinde hızla ulaşılan sonuç, bir organizmanın bedeninin oluşturulması için gereken talimatların bilfiil genlerden geldiği olmuştu. Aslında eşsiz bir bedenin geliştirilmesi için tüm genlerin çevreyle etkileşim halinde olduğu hep biliniyordu. Soru, ortaya çıkan sonucun ne oranda doğadan (genden) ve ne oranda yetişmeden (çevreden) kaynaklandığıydı (bkz. sf. 346).

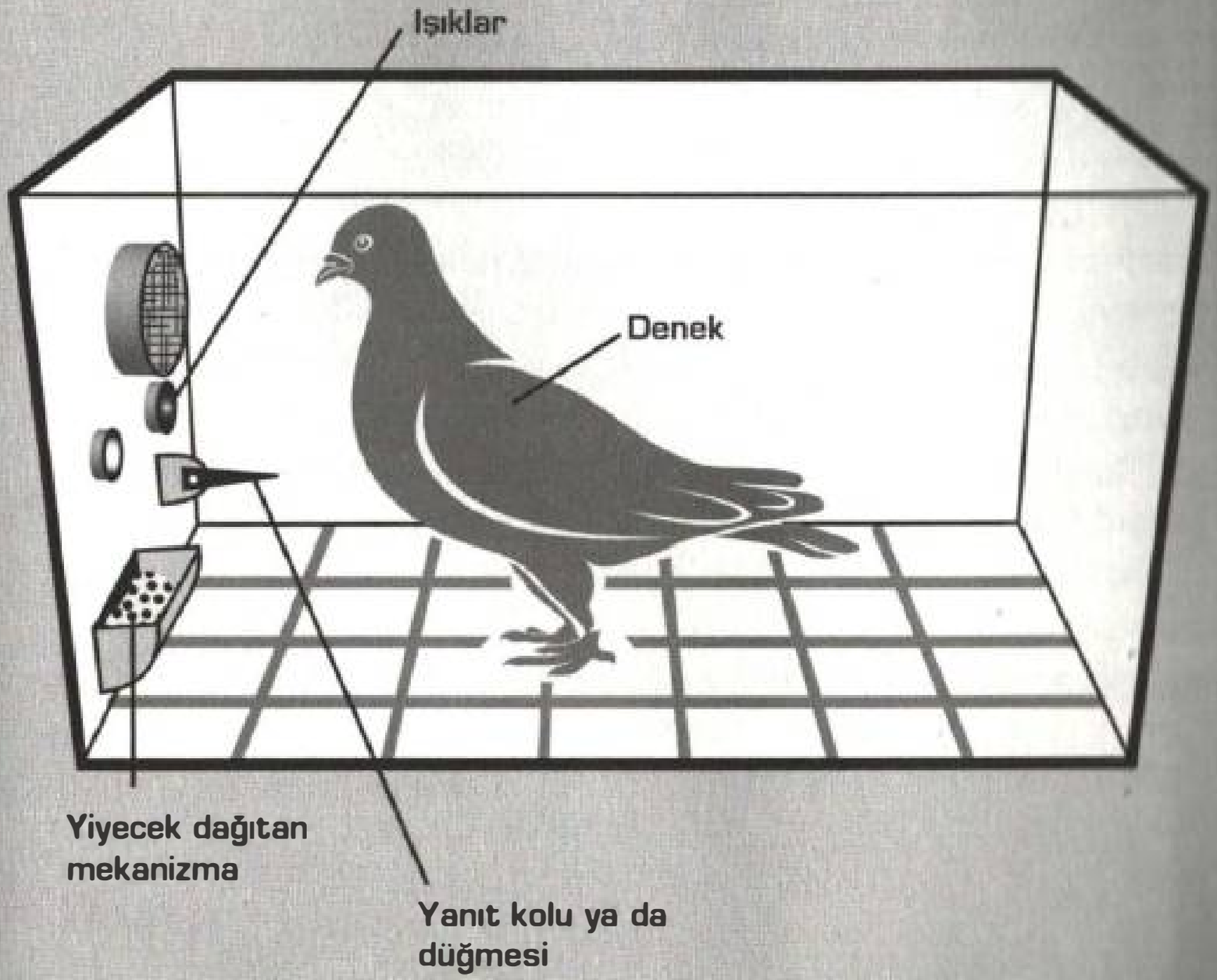


Sıkça "bencil gen" teorisinin öncüsü olarak değerlendirilen Alman biyolog August Weismann (1834-1914) genetik determinizmin ilk önemli savunucusuydu.

Davranışçılık

Psikolojinin davranışçılık olarak bilinen alanı gözlemlenen eylemler aracılığıyla insanlar da dahil olmak üzere hayvanların güdülenimlerini anlamayı hedefler. Öğrenmenin incelendiği tekniklerden biri olan "edimsel koşullanma"da hayvanlara bir ödül-ceza sistemiyle belirli bir görevi gerçekleştirmeleri öğretilir. Bu tekniğin en ateşli savunucusu olan Amerikan psikolog B.F. Skinner deneklerin test edilebilmesi için kullanılabilecek bir oda tasarlamıştı. Genellikle güvercinlerden yararlanıyordu. Güvercinler doğru performans gösterdiklerinde ödüllendiriliyor ve böylece o davranışları pekiştiriliyordu. Skinner güvercinlere bir dizi karmaşık görevi, aynı daha "zeki" deneklerin göstereceği başarıyla gerçekleştirmeyi öğretti. Bu nedenle öğrenmenin tamamen fiziksel bir süreç olduğu ve insanlarda dahi herhangi bir zihinsel unsur içermediği sonucuna ulaştı. Bu radikal düşünceye takip eden yirmi yıl içerisinde, zihinsel hafızaya dair fiziksel bir izin beyinde ilk kez ayrıştırılarak zihinsel ve fiziksel olgular arasında bir bağlantının kurulduğu 1960'ların sonuna dek karşı çıkılmamıştı.

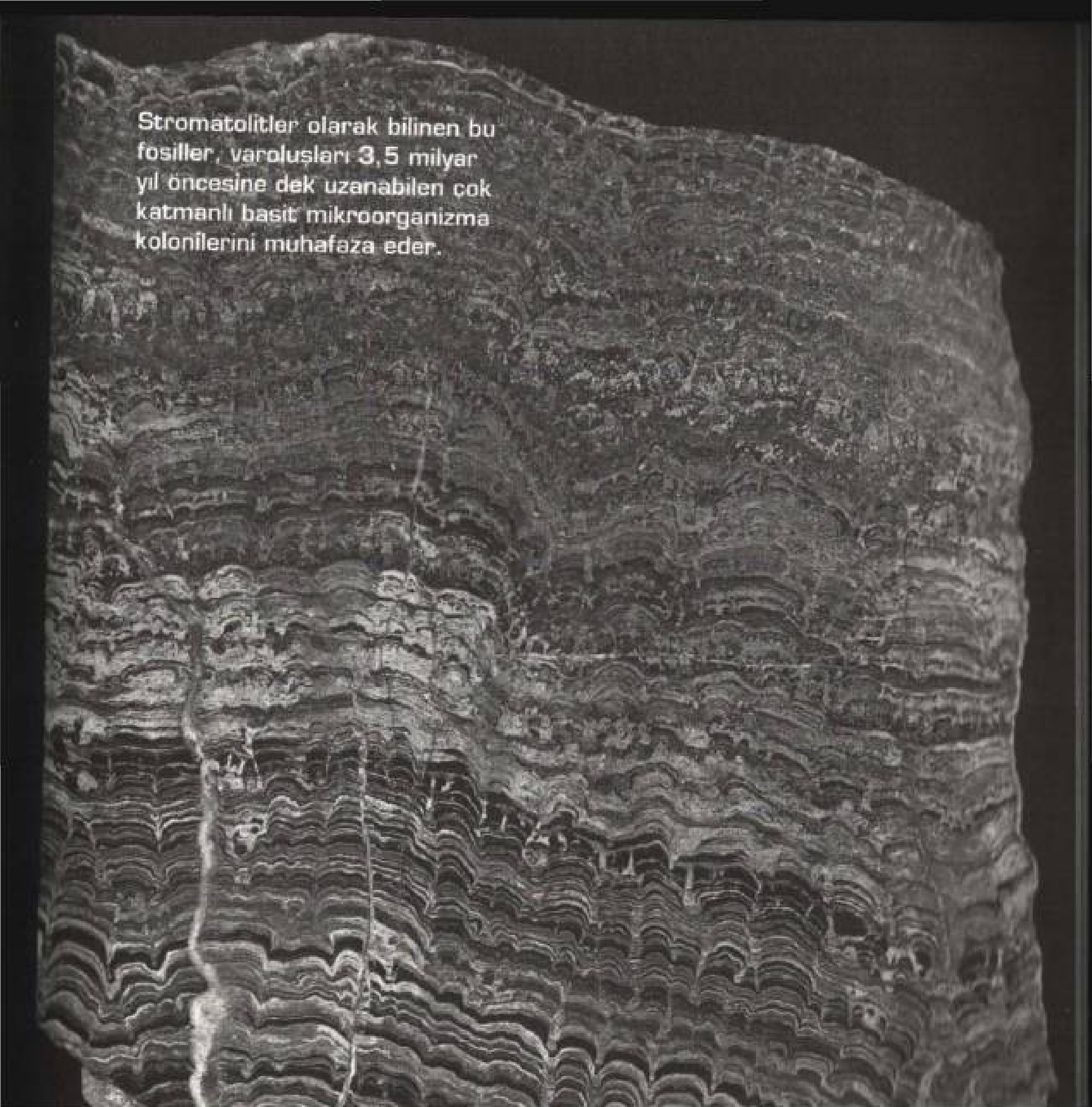
Güvercinler için Skinner Kutusu



Yaşamın Kökenleri

Doğal seçilime dayalı evrim teorisinin organizmaların nesiller süresince gösterdiği değişikliklerin altında yatan mekanizmayı ifade ettiği büyük oranda kabul edilmiş durumda. Darwin'in savının merkezinde tüm yaşamın tek bir ilkel organizmadan türediği fikri yatar ancak bu ortak atanın özellikleri bilinmez. Bu atanın mikrobik olduğu kesindir çünkü (yaklaşık 3,5 milyar yıl öncesinden) bulunan en eski fosil kayıtları yalnızca bakteriler ve arkeler gibi prokaryotik organizmaları içerir. Bize kıyasla basit ancak inorganik yapılarla kıyaslandığında oldukça karmaşık olan bu yaşam formlarının canlı olmayan materyalden nasıl meydana geldiklerine dair birçok teori olsa da, konu halen gizemini korumakta.

Darwin'in kendisi de türlerin kökeninin ve yaşamın ortaya çıkışının iki farklı bilinmez doğurduğunu anlamıştı ve ışık, sıcaklık, elektrik vb. faktörlerin mevcut olduğu bir ortamda, içinde her çeşit amonyum ve fosfat tuzunun bulunduğu ılık bir tür gölette daha karmaşık değişiklikler geçirmeye elverişli bir protein bileşiminin meydana gelmiş olabileceğini hayal etmişti.

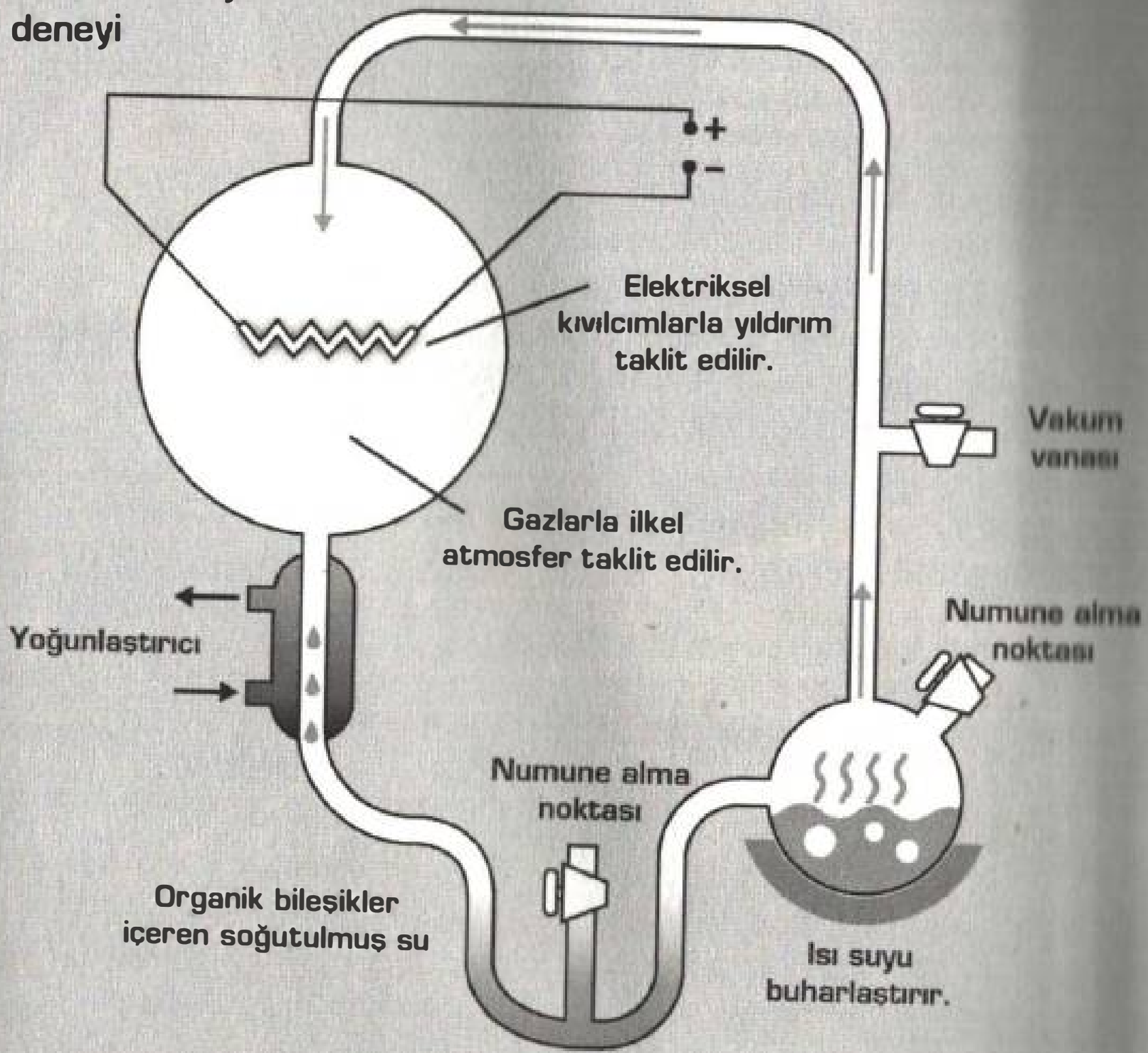


Stromatolitler olarak bilinen bu fosiller, varoluşları 3,5 milyar yıl öncesine dek uzanabilen çok katmanlı basit mikroorganizma kolonilerini muhafaza eder.

İlkel Çorba Kuramı

Yaşamın kökenine dair en ünlü kuram, Darwin'in canlılığın uzak bir geçmişte, "ılık bir havuzda" meydana geldiğini öne sürdüğü düşüncesini yansıtır. Bahsi geçen "ılık havuzlar" yaklaşık olarak 3,8 milyar yıl önceki Oünya'nın havzalarını dolduran ilk kalıcı okyanuslardı. Kuram en güçlü desteği 1952'de Şikago Üniversitesi'nden kimyager Stanley Miller ve astrofizikçi Harold Urey'nin gerçekleştirdiği Miller-Urey deneyinden almıştı. Bu iki bilim insanı, merkezî reaksiyon haznesinin disk şeklinde olması nedeniyle Lolipop adını verdikleri bir aygıt kurmuştu. Aygıtın su ve volkanik emisyonlarda görülen azot, karbondioksit, sülfatlar gibi kimyasallarla beslenen haznesindeki karışım sabit bir döngü içinde karıştırıldı, kaynatıldı ve elektriğe maruz bırakıldı. Araştırmacılar bir gün içerisinde pembeleşen karışımda bir hafta sonra siyanür, amonyak ve hatta basit aminoasitler gibi birçok kompleks kimyasal bulunduğunu görmüştü. Ulaşılan sonuç, deneyin daha uzun süre devam ettirilmesi durumunda yaşam için gereken tüm kimyasalların üretileceği yönündeydi.

Miller – Urey deneyi



Panspermia

Yaşamın ortaya çıkışındaki ilk adım, yaşam için gereken biyolojik kimyasalları meydana getirebilen canlı olmayan bir kimyasal süreç olmalı. Ancak "panspermia" teorisi biyokimyasalların ve hatta belki de ilk canlı hücrelerin Dünya'ya uzaydan taşınmış olduğunu öne sürerek (en azından bizim gezegenimiz için) kurnazca bu konuya değinmekten kaçınıyor. On dokuzuncu yüzyılda şekillenen bu düşünce günümüzde Dünya dışında yaşam arayan astrobiyologlar tarafından daha dikkatle incelenmeye başladı.

Bugüne dek Dünya'ya yaşamı taşıyan materyallerin muhafazalarına dair çeşitli fikirler ileri sürüldü. Kapsüllü bakteriler Dünya'ya evrene saçılan mikroskobik tozlar aracılığıyla ulaşmış olabilir miydi? Ya da biyokimyasallar Dünya'ya çarpmaları sonucunda buharlaşan kuyruklu yıldız buzlarında bulunuyor olabilir miydi? Philae olarak adlandırılan ve 2015'ten beri kuyruklu yıldız buzlarını inceleyen uzay aracı bunun çok da olası olmadığını ortaya koyuyor. Bu nedenle, belki de en olası adaylar meteoritlerdir. Biyokimyasallar, hatta belki bakteriler, Dünya'ya donmuş bir çekirdeğe sahip uzay kayaları aracılığıyla getirilmiş olabilir mi?



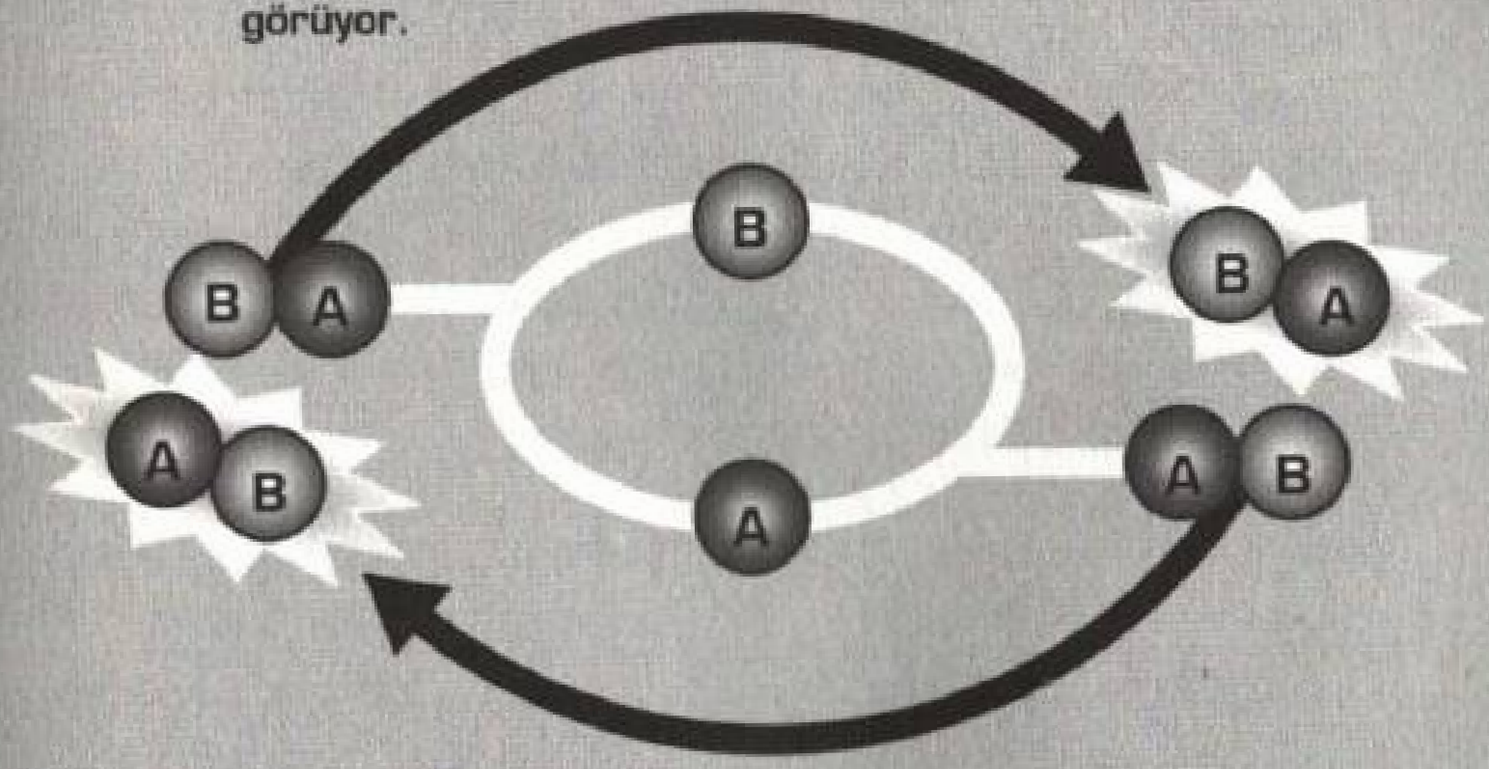
Yaşamın tohumlarının Dünya'ya bu tür bir kuyruklu yıldız ya da meteoritler aracılığıyla ulaşmış olması mümkün.

Otokataliz

Son yıllarda yaşamın uzak geçmişteki ılık denizlerde oluştuğu fikri, yaşamın sıcak deniz tabanı çökellerinde meydana gelmiş olabileceği alternatifi nedeniyle arka plana atılmış durumda. Bizim için oldukça ekstrem de olsa, deniz tabanında yer alan hidrotermal ağızların etrafındaki kimyasal bakımından zengin çökeller Dünya'nın erken dönemlerindeki en istikrarlı ortamları teşkil ediyordu, çünkü gezegenin yüzey bölgeleri, yoğun güneş radyasyonunun ve ani iklim değişikliklerinin etkisi altındaydı. Bu nedenle birçokları cansızlıktan canlılığa giden adımın okyanus derinliklerinde atıldığına inanır.

Peki, bir kimyasalı bir yaşam formuna dönüştüren şey tam olarak nedir? Bunun yanıtı "otokataliz" ya da kendisini oluşturan bir katalizör olmaktır. Bir katalizör belirli bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesinin önündeki enerji engelini ortadan kaldırma yetisi olan maddedir, çünkü mevcut olması durumunda reaksiyon neredeyse spontane olarak gerçekleşir. İlk yaşam formları, ham materyallerden kendilerinin bire bir kopyasını oluşturabilecekleri işlemi başlatabilecek moleküllerdi. RNA da bu şekilde otokataliz yapabilir, ancak ondan önce birçok daha basit kimyasal yaşam formunun var olmuş olması muhtemeldir.

AB molekülü BA'nın oluşturulması için katalizör görevi görüyor.



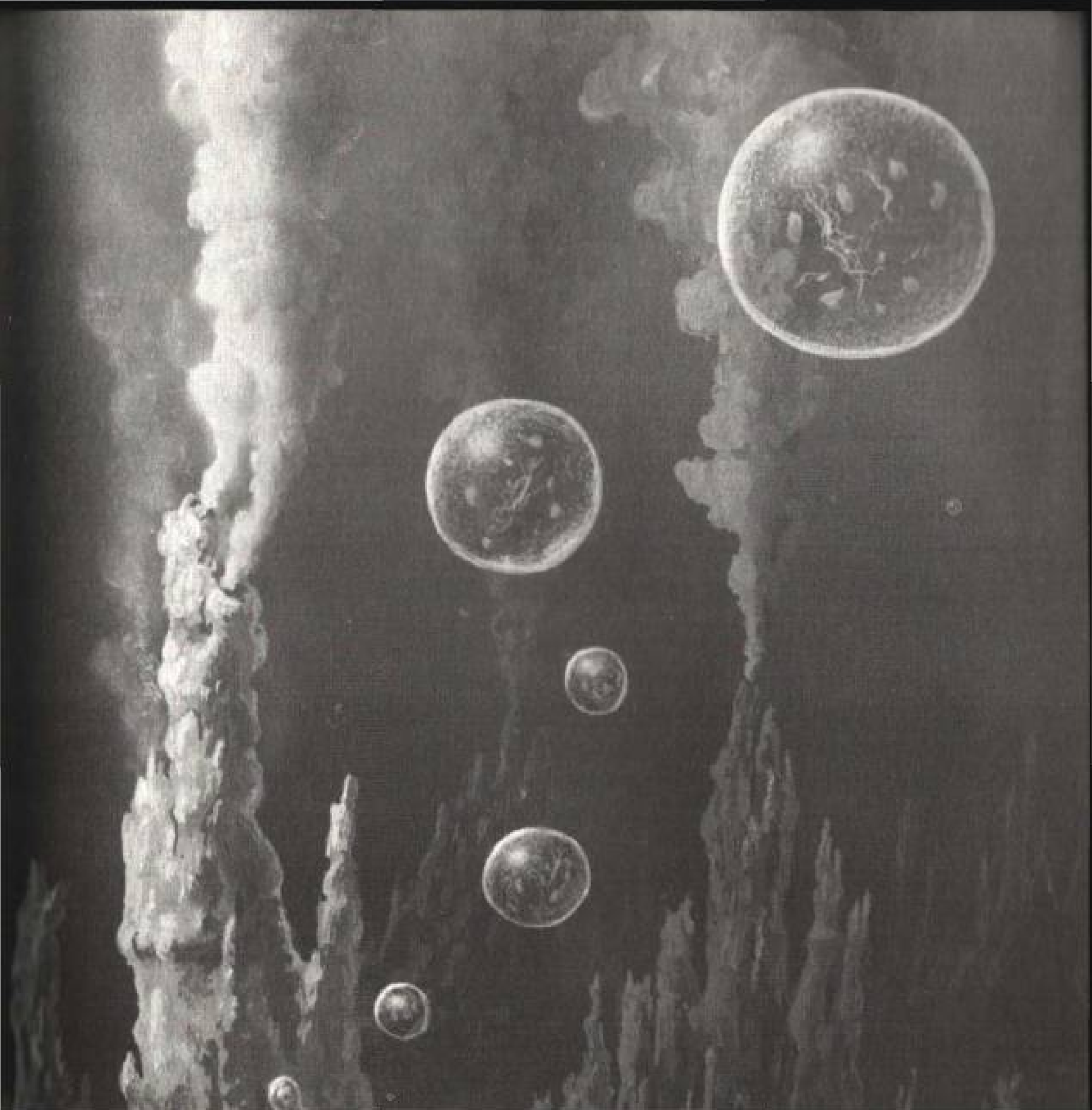
BA molekülü AB'nin oluşturulması için katalizör görevi görüyor.

Otokatalizin şematik gösterimi

Kimyasal Evrim

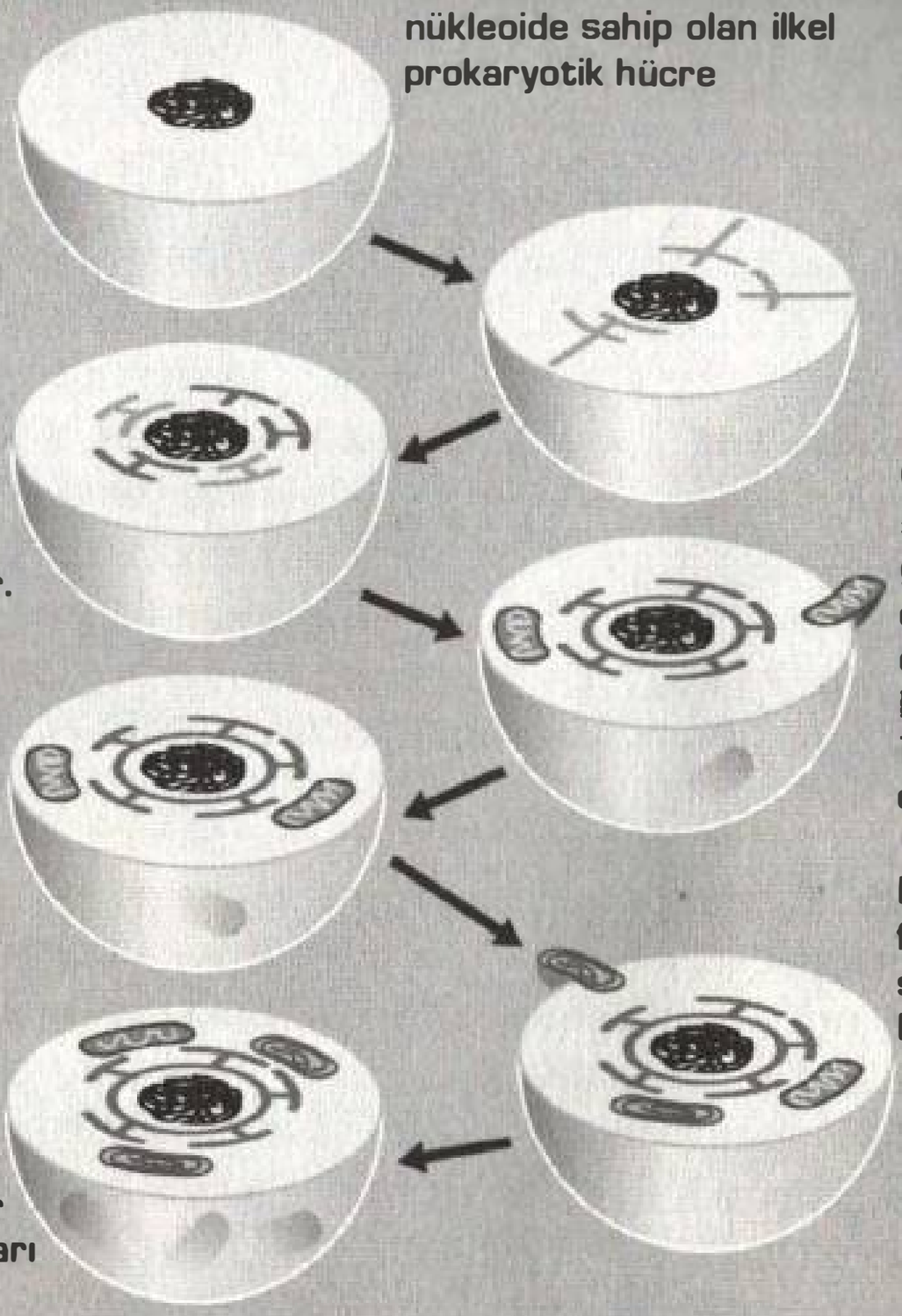
Karmaşık moleküllerden günümüzde tanımladığımız şekliyle bir yaşam formuna geçiş aşamasına kimyasal evrim denir. Çökellerin otokataliz aracılığıyla (bkz. s. 312) kendilerini kopyalayabilen kimyasallarla dolup taştığını zihnimizde canlandırabiliriz. Bu moleküller aynı türden ham materyaller için rekabet halindeydi. Bunlardan bazıları diğerlerinden daha yanlışsız kopyalar üretebiliyor olmalıydı ve böylece çoğalarak baskın tür olup doğal seçilimin ilk formunu teşkil edecekti.

Çoğaltıcılar daha büyük ve karmaşık bir hale geldikçe, her moleküle kendi mücadelesinde yardımcı ya da köstek olacak kopyalama hataları ve mutasyonlar ortaya çıkacaktı. Bir aşamada günümüz nükleik asitlerine (RNA ve ONA) benzer bir çoğaltıcı, proteinlerle ilişkilenerek kendini kopyalama macerasında ve hassas molekül yapısının korunması için destek elde etmiş oldu. Bu proteinlerin çoğaltıcının yapısında kodlanmasıyla virüs benzeri bir yaşam formu meydana gelmişti (bkz. s. 342). İlk hücrenin oluşumundaki son adım ise materyal tedarikinin korunması adına tüm bu kümenin yağ benzeri bir zarla sarmalanmasını sağlamıştı.



Endosimbiyoz

Yaklaşık 3,5 milyar yıl önce bu kimyasal yahniden evrimleşen ilk tek hücreli canlı,halen Dünya üzerindeki baskın canlı türleri olan bakteriler ve arkeler üst âlemlerini kapsayan- prokaryotların atasıydı. Yaşamın üçüncü üst âlemi olan ökaryotlar yaklaşık 1,5 milyar yıl önce evrimleşen başka bir tek hücrelinin soyundan gelir. Şaşırtıcı olan, bu hücrenin tek ata yerine birkaç ataya sahip olmasıdır. Endoplazmik retikulum gibi bazı organelleri (bkz. s. 60) hücre zarındaki kıvrımlardan evrimleşirken, endosimbiyoz teorisi mitokondri, kloroplast gibi kimi elzem organellerin daha büyük bir hücrede ortak yaşam süren prokaryotlardan geldiklerini ileri sürer. Bu "endosimbiyoz" sürecinin birçok defa gerçekleşmiş olması ancak günümüzdeki tüm prokaryotların tek bir muzaffer hücreden türemiş olmaları ile mümkün. İlk endosimbiyotik canlı muhtemelen daha sonra mitokondriye evrimleşen bir sülfür yiyen bakteriydi. (Bu organeller hâlâ bağımsız bir yaşam sürdükleri dönemden kalan kendi DNA materyallerini taşımaktadır.) Fotosentez yapan bağımsız "siyanobakteriler"den türemiş olabilecek kloroplastların da daha geç bir dönemde hücreye dahil olmuş olmaları muhtemel.


DNA içeren merkezî bir nükleoide sahip olan ilkel prokaryotik hücre
Hücre zarı içe doğru katlanarak yüzey alanını arttırır.
İç zar ayrılarak nükleoidi sarar ve ilk gerçek hücre çekirdeğini meydana getirir.
Oksijen kullanan bakteriler hücreye girer ve endosimbiyotik canlılar olarak hayatta kalarak ilk organelleri oluşturur.
Simbiyotik bakteri mitokondriye evrimleşir.
Bazı hücreler fotosentez yapan siyanobakterileri de kendilerine katar.
Siyanobakteriler bitki kloroplastları olacak şekilde evrimleşir.

Evo-Devo

"Evrimsel gelişim biyolojisi"nin kısaltması olan evo-devo, DNA (genotip) ve anatomi (fenotip) arasındaki farklılıkların ortaya çıkardığı açığı doldurmayı hedefler. Böylece yaşam ağacındaki ana dalların keşfedilmesi ve fosil kayıtlarındaki büyük boşlukların doldurulması için kuvvetli bir araç olur. Evo-devo yalnızca DNA'yı ve anatomiyi karşılaştırmak yerine canlıların embriyodan yetişkin formuna geçişlerini, yani zigottan itibaren gelişim şekillerini karşılaştırır (bkz. s. 154) ve erken dönemlerinde aynı şekilde gelişen canlıların, birbirlerinden daha farklı yollar izleyen canlılara kıyasla daha yakın akraba olduklarını varsayar.

Son otuz yıldır evrimsel biyolojinin ön saflarında yer alan evo-devo, beden karmaşıklığının ve büyük anatomik özelliklerin evrimsel ilişkiye dair doğru bir bulgu teşkil etmek zorunda olmadığını göstermiştir. Örneğin, yassı solucanlar yumuşakçalarla akrabadır ancak kabuklular nematodlar ile, yani yuvarlak solucanlarla daha yakın akrabadır. Öte yandan denizyıldızlarının yaşam ağacında omurgalılarla aynı dala ait oldukları ortaya çıkarılmıştır.





Tüm omurgalı embriyoları, en azından erken dönemde aynı şekilde gelişim gösterir.

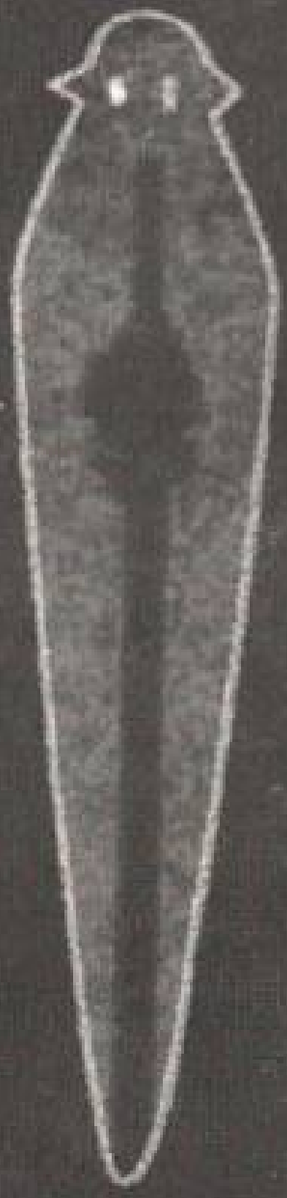




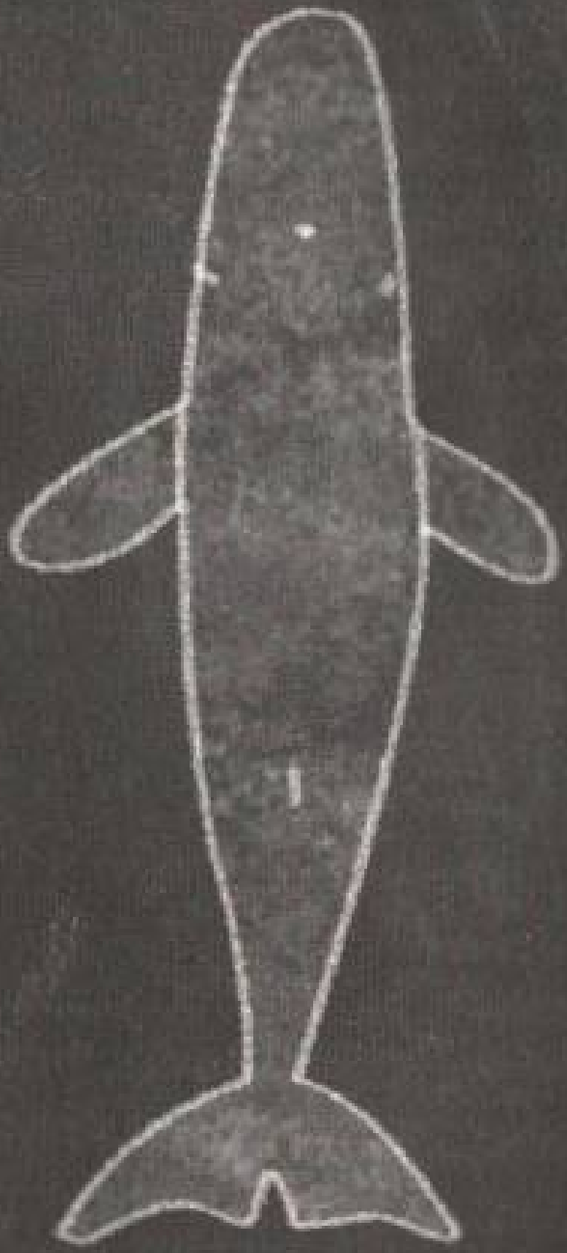
Hox Genleri

Genetiğin gücüne dair başlıca örneklerden biri olan Hox genleri, hayvanların çoğunda görülen ve embriyo gelişimini kontrol eden "kaynak kodlar"dır. Sıklıkla "gelişimsel genetik yazılımı" olarak nitelenen bu genler tüm Bilateria'da, yani yaşamlarının bir aşamasında bedenleri iki yanlı simetriyle gelişen hayvanların dahil olduğu alt âlemde görülür. Bu nedenle Hox genleri yassı solucanlardan çatal kuyruklu balinalara kadar çeşitlenen organizmalar tarafından paylaşılmaktadır.

Bu genler bir ucunda başın, diğer ucunda ise (genellikle kuyruk benzeri bir yapı olan) batnın oluşmasını sağlar. Arada kalan tüm beden bölümleri için baş-kuyruk ekseninin farklı bölgelerine belirli proteinleri bağlayan genler mevcuttur. Bu kimyasal etiketler, ister bir uzuv, başka bir vücut uzantısı ya da bir göz olsun, tüm konumlarda doğru anatomik yapının gelişmesine neden olur. Hox genleri o kadar önemlidir ki, doğal seçilim onları tüm Bilateria'da aynı rolü gerçekleştirecek şekilde, neredeyse tamamen özdeş bırakmıştır. Örneğin, yılanlardaki uzuv genlerinde olduğu gibi kimi türlerde bazı genler baskılanmış da olsa beden planı daima korunmuştur.



Yassı solucan

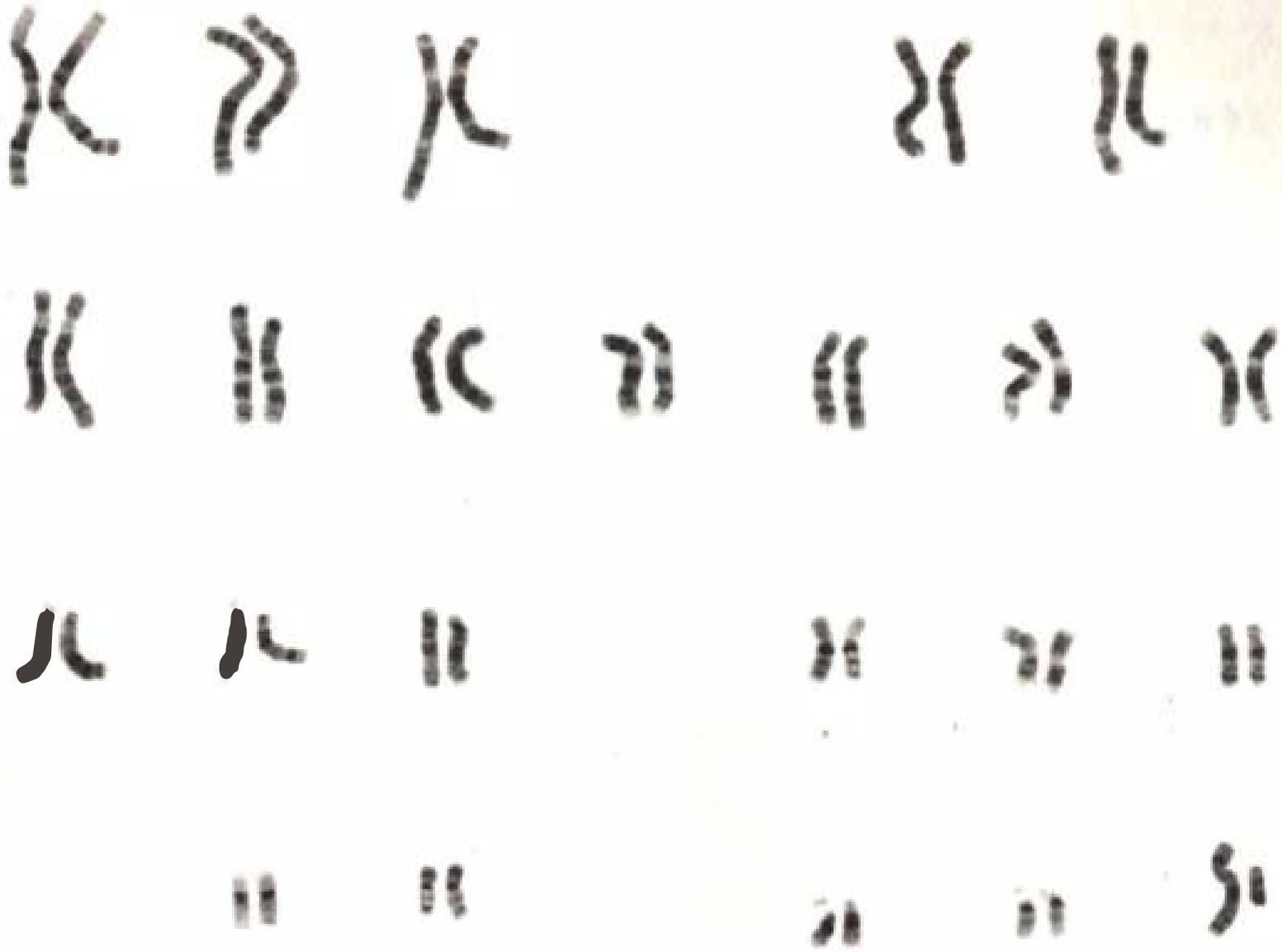


Çatal kuyruk balina

İnsanlar ve Genetik

Genetiği anlamak istememizin temel nedenlerinden biri, insan bedenine dair sorunların yanı sıra birçok başka problemin çözümünde de bu bilgiyi kullanabilecek olmamız. Büyük güçlüğe sebep olan birçok kalıtımsal hastalık genlerden kaynaklanır ve çarelerinin de genetikte saklı olması muhtemeldir. Huntington hastalığı, orak hücreli anemi, hemofili gibi hastalıklar tek genden kaynaklanırken, kimileri de kromozom seviyesinde gerçekleşen daha büyük hataların neticesidir. Yine birçok hastalık genetik bileşene sahiptir ve tıbbın geleceğinin, tedavileri hastaların bireysel genetik yapılarına göre düzenlemeye odaklanması olasıdır.

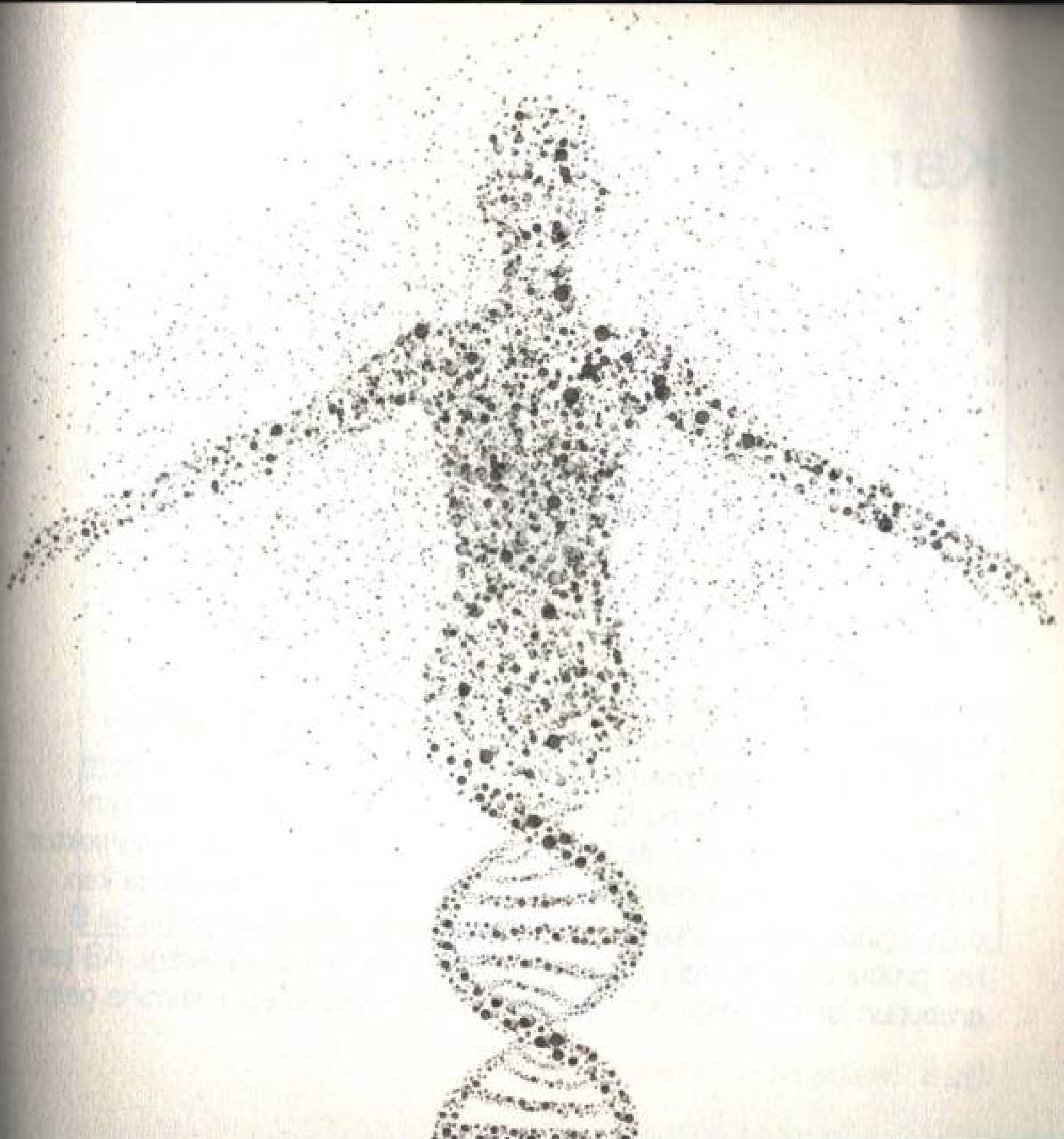
İnsan genetiği en iyi "karyotip" kullanılarak ifade edilebilir. Karyotip, bir insanın tüm kromozomlarının hücre bölünmesine hazırlanmak için sarmallaşmasının fotoğrafı gibidir. Her birinde 46 kromozom vardır: bir çift eşey kromozomu ve 22 çift otozom. Bu, doktorların genetik bir hastalığın tanısını koymak için bir şeylerin ters gittiğini ileri sürebilecekleri birbirine uymayan kromozomları aradığı ilk yerdir.



İnsan karyotipi 46 kromozomun
23 çift halindeki bir görünümüdür.

İnsan Genom Projesi

"Evreni ya da bir gezegeni keşfederken çıkılan dışa dönük yolculuklardansa içe dönük bir yolculuk ve tarihin en büyük keşif başarılarından biri" olarak adlandırılan İnsan Genom Projesi yirmi yıl sürmüştü. İnsan DNA'sının her bir parçasının okunması 2003 yılında başarıyla gerçekleştirilerek haploit insan genomunun yolcu dizisindeki nükleotit bazlarının dizilimi çıkarılmış oldu. (Bu tam set olan 46 kromozoma değil, 23 kromozoma karşılık geliyor.) İnsan Genom Projesi kaynak materyallerinin çoğunu adı paylaşılmayan New Yorklu bir erkekten ve birkaç örneği de başka donörlerden almıştı. Elde edilen sonuç 25 adet nükleotit listesi olmuştu: 22 otozom (eşeysel olmayan kromozomlar), X ve Y kromozomları ve küçük mitokondriyal DNA dizisi. Peki, birlikte yaklaşık olarak üç milyar karaktere ulaşan bu listeler aslında ne ifade ediyordu? İnsan Genom Projesi tarafından toplanan veri donörlerine özgüydü, tüm insanlar için geçerli olan bir şablon değildi. Yine de kodlayan DNA'yı ve "çöp" DNA'yı tespit etmek için bir referans olma özelliği taşıyordu. İnsan genomunun gerçek keşfi aslında yeni başlıyordu.

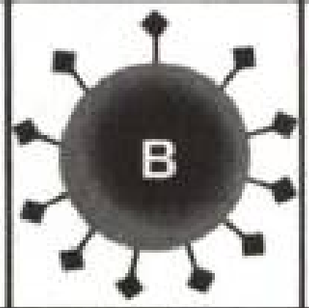
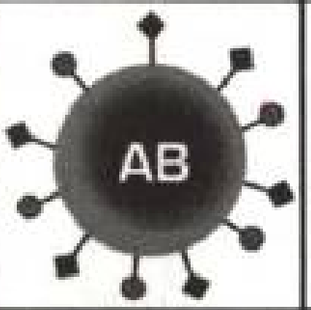
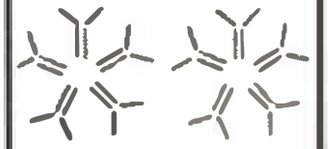


Kan Grupları

Her insan dört kan grubundan birine sahiptir: A, AB, B ya da 0. Kalıtım yoluyla edinilen bu özellikte rol oynayan genler Mendel genetiğine örnek teşkil eder. Kan grupları kırmızı kan hücrelerinin (alyuvar) yüzeyinde görülen antijenlerle, yani kimyasal belirteçlerle ilişkilidir. Kan dolaşımında aynı zamanda serbestçe gezinen ve yabancıları, yani kandan farklı antijenlere sahip unsurları arayan antikorlar da bulunur. Dolayısıyla kan grubu A olan bir insanın hücrelerinde A antijenleri ve kan dolaşımında B antikorları bulunur. Bu antikorlar B antijeni taşıyan hücrelere bağlanarak bağışıklık sistemini uyarır.

Kan grupları A, B ve 0 genleri tarafından kontrol edilir. AA ya da A0 genotipleri A kan grubuna sebep olurken BB ve B0 genotipleri de kan grubunun B olmasına neden olur. Kalıtım yoluyla hem A hem de B alellerinin edinilmesi durumunda AB kan grubu oluşur. AB kan hücrelerinin hem A hem de B antijenleri mevcuttur ve antikorları yoktur. 00 genotipi, hücrelerin antijen taşımadığı ve her iki antikorun da kan dolaşımında mevcut olduğu 0 kan grubunu meydana getirir. Bu da 0 kan grubunun herhangi bir sisteme fark edilmeden girebileceği, AB kan grubunun ise tüm diğer kan gruplarını kabul edebileceği anlamına gelir.

Kan grupları

	Grup A	Grup B	Grup AB	Grup O
Kırmızı kan hücresi türü				
Mevcut antikorlar	 Anti-B	 Anti-A	Yok	 Anti-A ve Anti-B
Uygun donörler	A ya da O	B ya da O	Hepsi	O

HLA Doku Tipleri

"İnsan lökosit antijenleri" (human leukocyte antigens) anlamına gelen HLA vücuttaki hücreler için bir tanıma sistemi görevi gören antijenlerle, yani kimyasal belirteçleri kodlayan bir dizi gen ile ilişkilidir. HLA genleri kimileri diğerlerinden daha önemli olan ve tüm hücrelerde bulunan bir düzine antijeni üretir. Bağışıklık sistemi bu belirteçleri taşıyan hücreleri görmezden gelir ve yabancı bir antijeni olan herhangi bir unsura saldırır. Enfeksiyona sebep olabilecek ortadan kaldırılması gereken etkenler olan patojenler genellikle bu şekilde belirlenir. (Kimi patojenler ve parazitler konakçılarının HLA'larını çalarak gizlenebilir.) Bir bireyin HLA'ları laboratuvarda antikor testi yapılarak bulunabilir. Nakledilecek bağışçı organları alıcılarla bu şekilde eşleştirilir. HLA tipleri aynı zamanda etnik gruplarla da bağlantılıdır ve insan göçü çalışmaları için kullanışlıdır. HLA genlerinin büyük çoğunluğu altıncı kromozomda kümelenmiştir. Bazıları çölyak hastalığıyla ve kimi kireçlenme türleriyle ilişkilidir. Nedeni ise, hastalık genlerinin kromozomdaki HLA genleriyle yan yana bulunması ve muhtemelen birlikte kalıtılıyor olmalarıdır.


NAKLEDİLECEK
İNSAN
ORGANI

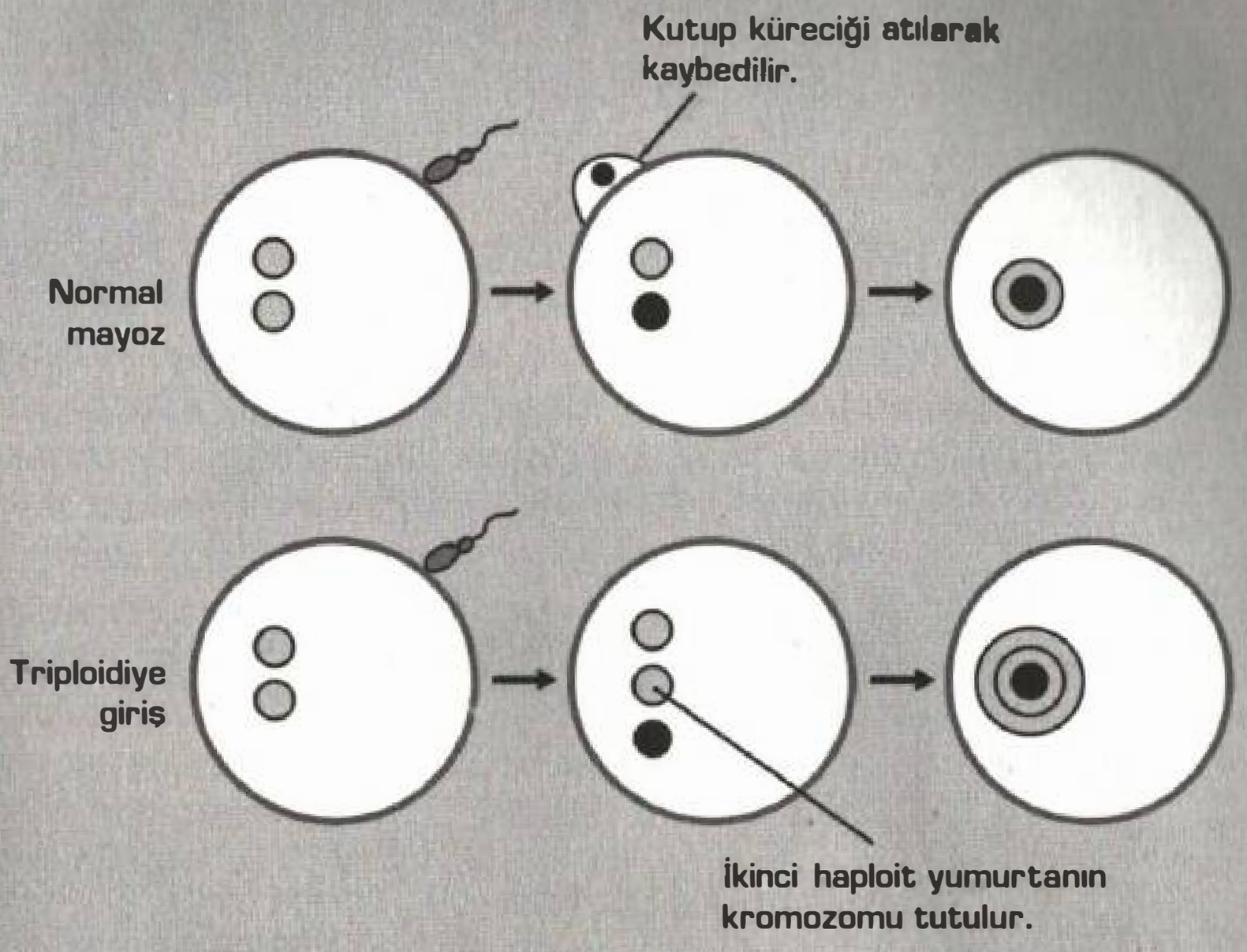
Irk

On dokuzuncu yüzyılda yeni yeni ortaya çıkan ve insan bilimi olan antropolojinin hedeflerinden biri de insan türünü biyolojik bağlamda konumlandırmaktı. Bunun bir sonucu olarak ırksal grup görüşü sıklıkla (Avustralya'dan) australoid, (Doğu Asya ve Amerikalardan) mongoloid, (Avrupa ve Güney Asya'dan) caucasoid ve (Afrika'dan) negroid olmak üzere birkaç büyük gruba indirgenmişti. Kaynağı ne olursa olsun bu tür bir düşünce çoğunlukla Avrupalıların üstünlüğünü kanıtlamanın bir yolu olarak kullanılmıştı. Deri rengi, saç tipi ve kafatası şekli gibi kalıtım yoluyla edinilen kimi fenotipler zekâ, kişilik ve hatta ahlaklılık gibi özelliklerle ilişkilendirilmişti. İlişkilendirme girişimlerinin tümü başarısızlıkla sonuçlansa da, etkisi günümüze dek ulaşmış bu sözde bilimsel düşüncelerin yerleşmesinin önüne geçilemedi. Bu görüşten ziyade geniş bir bölgede gerçekleşen fenotipteki aşamalı değişimi ifade eden klin, insanlarda görülen fenotip farklılıklarını daha doğru bir şekilde yansıtıyor. Yine de sayıca 7,3 milyara ulaşan biz insanlar arasındaki farklar DNA'mızın yalnızca yüzde 0,5'ine karşılık geliyor.



Poliploidi

Bitkilerin, özellikle de buğday, domates gibi ekinlerin, normal olan bir çift kromozomdan daha fazla kromozom seti taşımaları sıra dışı değildir. Poliploidi olarak adlandırılan bu olgu (ekinlerde de görüldüğü üzere) daha büyük bitki gövdeleri oluşmasına neden olur. Her hücresinde 400 kromozom bulunduran kimi balık türleri gibi bazı hayvanlar da poliploittir ve herhangi bir olumsuz etkiye maruz kalmaz. Poliploidi genellikle dişinin bir eşe ihtiyaç duymadan yavru üretebildiği partenogenez ile ilişkilidir (bkz. s. 160). Bu durumda zigotta birden fazla kromozom setinin bulunmasına sebep olan bölünme hatalarının gerçekleşmesi daha olasıdır. Benzer bir süreç insanlarda en sık diploit bir ovumda (yumurta hücresi) hâlihazırda 46 kromozom bulunması durumunda gerçekleşir. Döllenme esnasında spermin de 23 kromozom eklemesiyle 69 kromozomlu "triploit" (üç setli) bir zigot meydana gelir. Tüm insan gebeliklerinin yüzde ikisinin triploidi ile (kimilerinin de "tetraploidi" ile) sonuçlandığı tahmin edilmektedir. Bu olgu büyük oranda düşüğe sebebiyet verir ve doğal düşüklerin yüzde 15'i yalnızca bu etmenden kaynaklanır.


Kutup küreciği atılarak kaybedilir.
Normal mayoz
Triploidiye giriş
İkinci haploit yumurtanın kromozomu tutulur.
Haploit yumurta kromozomu
diploit embriyo
Haploit sperm kromozomu
triploit embriyo

Down Sendromu

İsmini 1860'larda onu tanımlayan İngiliz doktor John Down'dan alan Down sendromu anöploidi adı verilen bir tür kromozom bozukluğundan kaynaklanır. Anöploidi vücut hücrelerinde anormal sayıda kromozom bulunmasıdır. Down sendromu söz konusu olduğunda hücrelerde "trizomi 21", yani 21. kromozomda olması gerektiği gibi bir çift yerine üç kromozom versiyonu mevcuttur. Fazladan olan bu genetik materyalden ötürü trizomi 21'i olan kişiler ortalamadan daha kısa olma eğilimdedirler, ayırt edici yüz hatlarına sahiptirler ve genellikle kalp problemlerinden muzdarip olurlar. Down sendromlu yetişkin bireylerin IQ'su 50 civarındadır ve bu da dokuz yaşındaki ortalama bir çocuğun seviyesine karşılık gelir, ancak bu durumda büyük çeşitlilik gözlemlenmektedir.

Başka bir anöploidi bozukluğu da hücrede yalnızca bir X kromozomunun bulunduğu Turner sendromudur. Bu bozukluktan yalnızca dişiler etkilenir ve ortalamadan daha kısa boylu olup doğurganlık problemi yaşarlar. Klinefelter sendromunda ise genotipi XXY olan erkekler söz konusudur. Ekstra olan X, erkeğin fazlasıyla uzamasına ek olarak dişi ve erkek özelliklerinin bir karışımını geliştirmesine de neden olur.

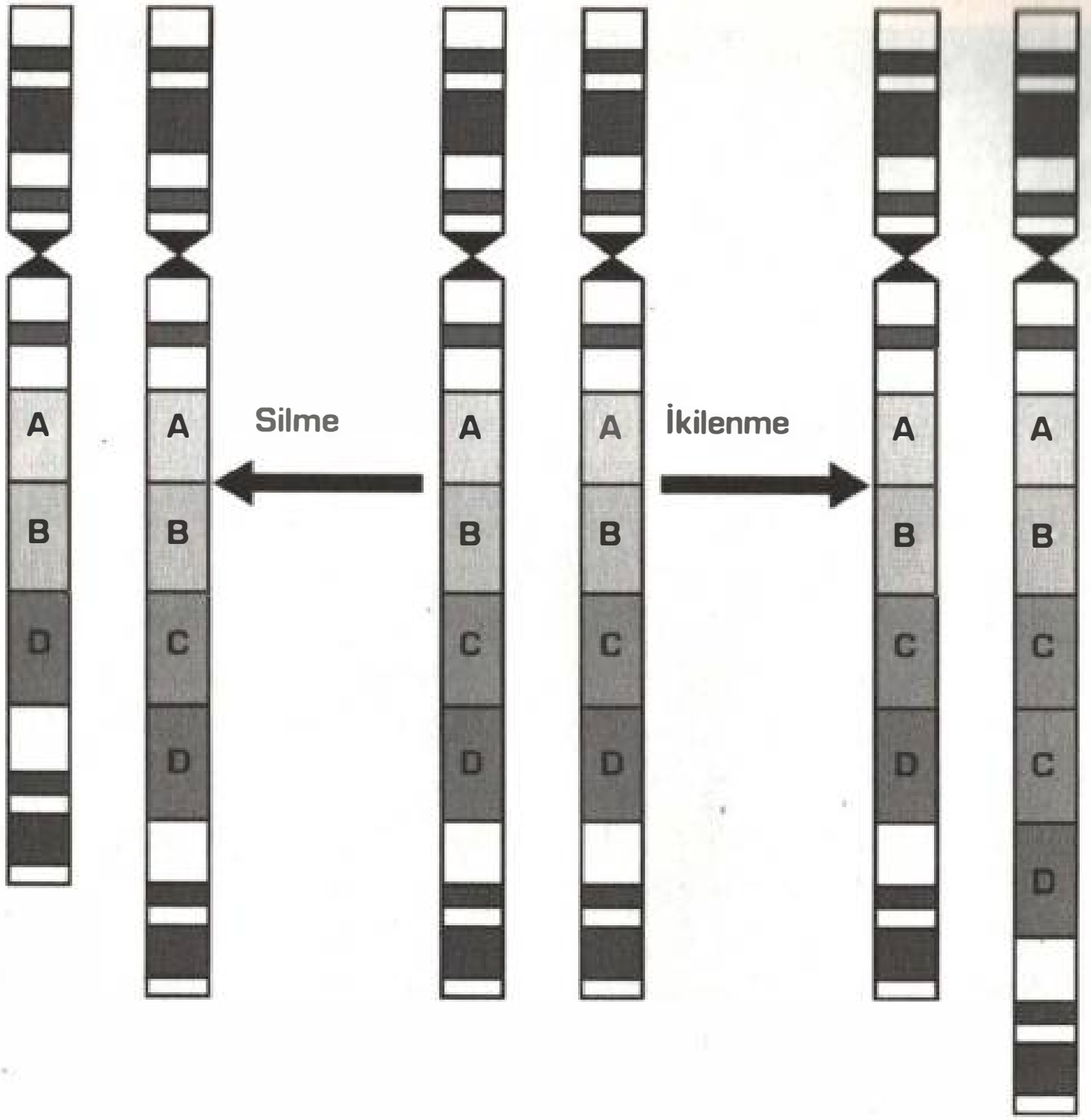


Kopya Sayısı Değişiklikleri

Kopya sayısı değişikliği* sıkça karşılaşılan bir kromozom anomalisidir. Kromozom replikasyonu sırasında meydana gelen bu olguda DNA'nın hatırı sayılır bir bölümü silinir ya da ikilenir. Genellikle aynı genlerin birden fazla kopyasının üretildiği bu durumun sonucunda da üretilen kromozomdaki gen sayısı eşlenen kromozomunkinden farklı olur. CNV bin ila birkaç milyon bazı kapsayabilir. İnsan genomundaki değişikliklerin yüzde 13'ünün bu tür bir kromozom mutasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. (Geri kalan değişikliklerin büyük çoğunluğu yalnızca bir nükleotit bazın değiştiği nokta mutasyonlardan ileri gelir.)

İnsan popülasyonundaki CNV'ler İnsan Genom Projesi ile keşfedilmiştir. Fenotip üzerinde etkisi olmayan ya da çok az etkisi olan stabil CNV'ler kuşaktan kuşağa aktarılır. Geniş kapsamlı CNV'ler kısırlığa sebep olabilir çünkü homolog çiftlerin boyları arasında, mayoz bölünmelerin başarılı olma oranını düşüren bir uyumsuzluk oluşturur.

* copy-number variation - CNV



C geninin
bir kopyası çıkarılır.

A, B, C ve D genlerini
bulunduran orijinal DNA iplikleri

C geninin fazladan
bir kopyası eklenir.

X'e Bağlı Hastalık

Her genden iki setle donanmış diploit hücrelere sahip olmanın bir avantajı da bir genin kusurlu olması durumunda onun etkilerini hükümsüz kılabilecek bir başka genin mevcut olmasıdır. Eşeysel olmayan 22 kromozom, yani "otozomlar" eşleşen çiftler oluşturur ancak eşey kromozomlarından meydana gelen 23. çift birbirinin muadili olmayabilir. Dişilerde iki X bulunurken her bir erkekte bir X ve bir Y kromozomu bulunur. Elli dokuz milyon baz çifti bulunduran Y kromozomu yüz elli üç milyon baz çifti bulunduran X'e göre çok daha küçüktür. Bu nedenle X'te, Y'de karşılığı olmayan genler de mevcuttur. Dolayısıyla bir dişi hücresinin X kromozomunda zararlı bir gen bulunması durumunda karşısındaki X onun etkilerini maskeleyebilir. Ancak bir erkek hücresindeki aynı "X'e bağlı" gen kendisini ifade etmek için serbest olacaktır çünkü Y bu tür bir savunma sağlamaz. Bunun sonucu olarak birçok kalıtsal hastalık X'e bağlı hastalıklardır ve yalnızca erkeklerde görülür. Renk körlüğü, hemofili ve Duchenne kas distrofisi bu tür bozukluklardır. Dişiler genellikle bu hastalıklı genlerin taşıyıcılarıdır ve yalnızca hatalı geni taşıyan iki X kromozomu aldıkları takdirde bu bozukluklardan muzdarip olurlar.



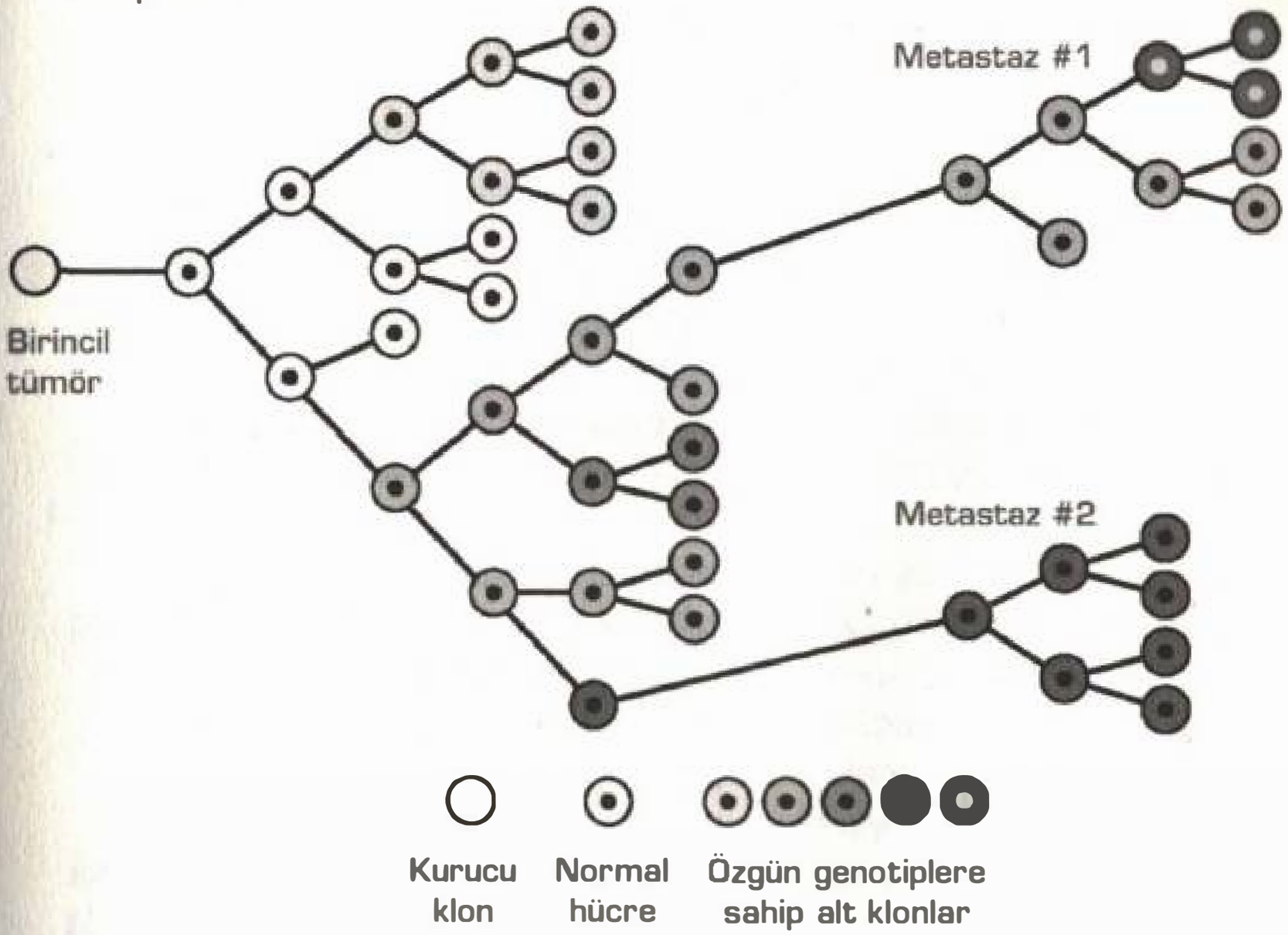
Rusya tahtının veliahdı Aleksei Romanov (sağdan ikinci), taşıyıcı olan büyük büyükannesi Kraliçe Victoria'dan aldığı X'e bağlı bir kan hastalığı olan hemofiliden muzdaripti.

Kanser

Bir vücut dokusunun kontrolsüz bir şekilde büyüyerek genellikle bir tümör oluşturması kanser olarak adlandırılır. Tümörün etkileri, yayılarak vücudun normal işleyişini bozması ve bir aşamada hayati bir organı ya da bağışıklık sistemini sınırlarını aşacak kadar zorlaması ile önemli boyutlara ulaşabilir.

Kanser tek bir hastalık değildir, toplamda yaklaşık iki yüz çeşit kanser vardır. Bu kanserlerin genetik faktörler, iyonlaştırıcı radyasyon, belirli enfeksiyonlar, kanserojen maddeye maruz kalmak gibi bir o kadar çok sebebi olabilir. Vakaların büyük çoğunluğu bu faktörlerin bir araya gelerek kanser gelişimini tetiklemeleri sonucu meydana gelir, fakattüm kanserler onkojen adı verilen belirli genlerde bir değişimin gerçekleşmesiyle başlar. Bu genler hızlı hücre bölünmesiyle ilişkilidir ve normalde embriyo aşamasından sonra kapanır. Ancak yeniden açılmaları durumunda, vücut dokusunu sabit bir ölçüde tutan kontrollü hücre ölümü işlemine baskın gelirler. Neticede vücudun belirli bir bölümünün kontrolsüz olarak büyümesi tümör oluşumuna yol açar.

Her kanser tek anormal hücreden meydana gelen bir birincil tümörün kontrolsüzce büyümesiyle bağlar. Tümör hücrelerinde gerçekleşen değişiklikler genetik olarak farklılaşmış yeni tümörlerin vücuda yayıldığı metastaza sebep olabilir.

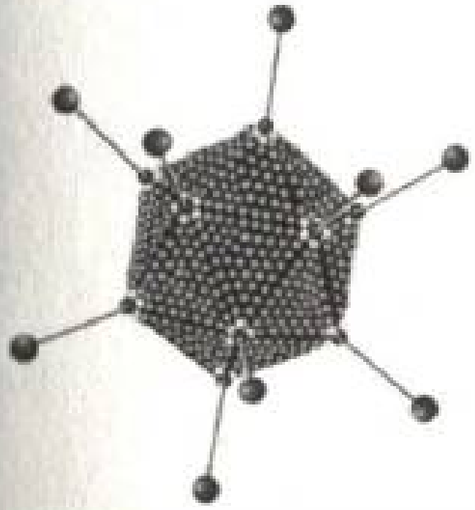


Virüsler

Herkes virüslere aşinadır, neticede hepimiz nezle, suçiçeği gibi viral bir hastalıktan muzdaripken virüslerle samimi bir tanışıklık kurmuşuzdur. Ancak çok azımız birçok ölçüte göre aslında canlı olarak değerlendirilmediklerini biliriz. Virüsleri anlamanın en iyi yolu onları parazit DNA'lar olarak düşünmektir.

Virüsün "vücudu", koruyucu bir protein kılıf ile çevrelenmiş bir DNA (ya da bazen RNA) sarmalından oluşur. Parazittir çünkü kendi DNA'sını eşleyemediği için başka bir hücrenin replikasyon sistemini ele geçirir. Protein kılıf hücre zarına bağlanarak DNA'nın girebilmesi için bir tünel açar. Daha sonra hücre çekirdeğine götürülen DNA, hücrenin durmaksızın kendisini ve kendi proteinlerini kopyalamasına neden olur, ta ki hücre çok fazla dolup patlayarak yeni virüsleri başka konakçıları enfekte etmek üzere serbest bırakana kadar. Hücreleri öldüren ve hastalığa neden olan bu süreçtir. Ancak virüslerin genetik için önemsiz bir rol oynadığını düşünme yanılgısına düşülmemelidir çünkü bir bardak deniz suyunda Dünya üzerindeki insanların toplamından daha fazla virüs bulunur ve her biri belirli bir genomun paraziti olacak şekilde evrimleşmiştir. Neyse ki oldukça azı bizi hedef alır...

Viral yapılar



Çok yüzlü (*Adenovirus*)



Küresel (*Influenza*)



Karmaşık
(Bakteriyofaj)

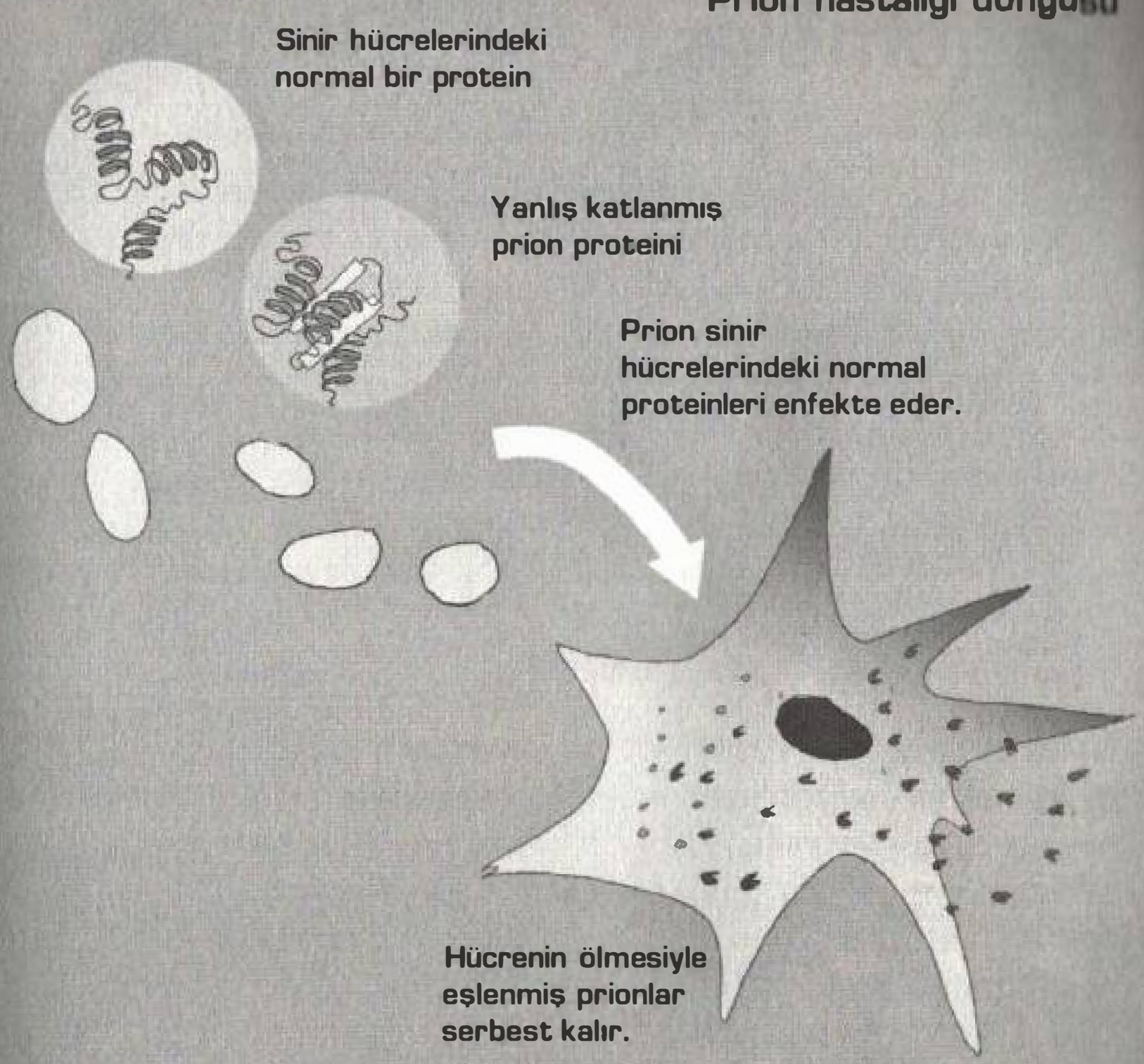


Spiral
(Tütün mozaik virüsü)

Prionlar

İsimleri "protein" ve "enfeksiyon" terimlerinin kısaltılmasıyla türetilen prionlar, virüsler gibi canlı olmayan hastalık yapıcı unsurlardır. Ancak virüslerin ve enfeksiyona neden olan tüm diğer unsurların aksine prionlar genetik materyal barındırmaz. Prionlar bundan ziyade kusurlu şekillenmiş proteinlerdir. Hücrede olması gerektiği şekilde sentezlenen proteinlerin metabolizmada bir rolü vardır. Ancak birçok protein metabolizma için bir değeri olmayan alternatif şekillere katlanma yetisine sahiptir. Neyse ki kusurlu bir şekil aldıktan sonra kendilerini çoğaltabilen prionlar, proteinlerin nadir görülen bir alt grubudur. Yanlış katlanan protein bir şablon ya da kalıp görevi görerek sağlıklı proteinlerin de aynı habis şekli almasına neden olur. Artık birden fazla prion vardır ve süreç böyle devam ederek zararlı proteinlerin inşasında üstel bir artış yaratır. Bu proteinler öbekleşerek amiloid adı verilen ve dokulara zarar veren lifler oluşturur. Keşfedilmeleri 1980'leri bulan prionların sebep olduğu Creutzfeldt-Jakob hastalığı gibi günümüzde bilinen tüm prion hastalıkları ya beyne ya da sinir sistemine saldırır, tedavileri yoktur ve her zaman ölümcüldür.

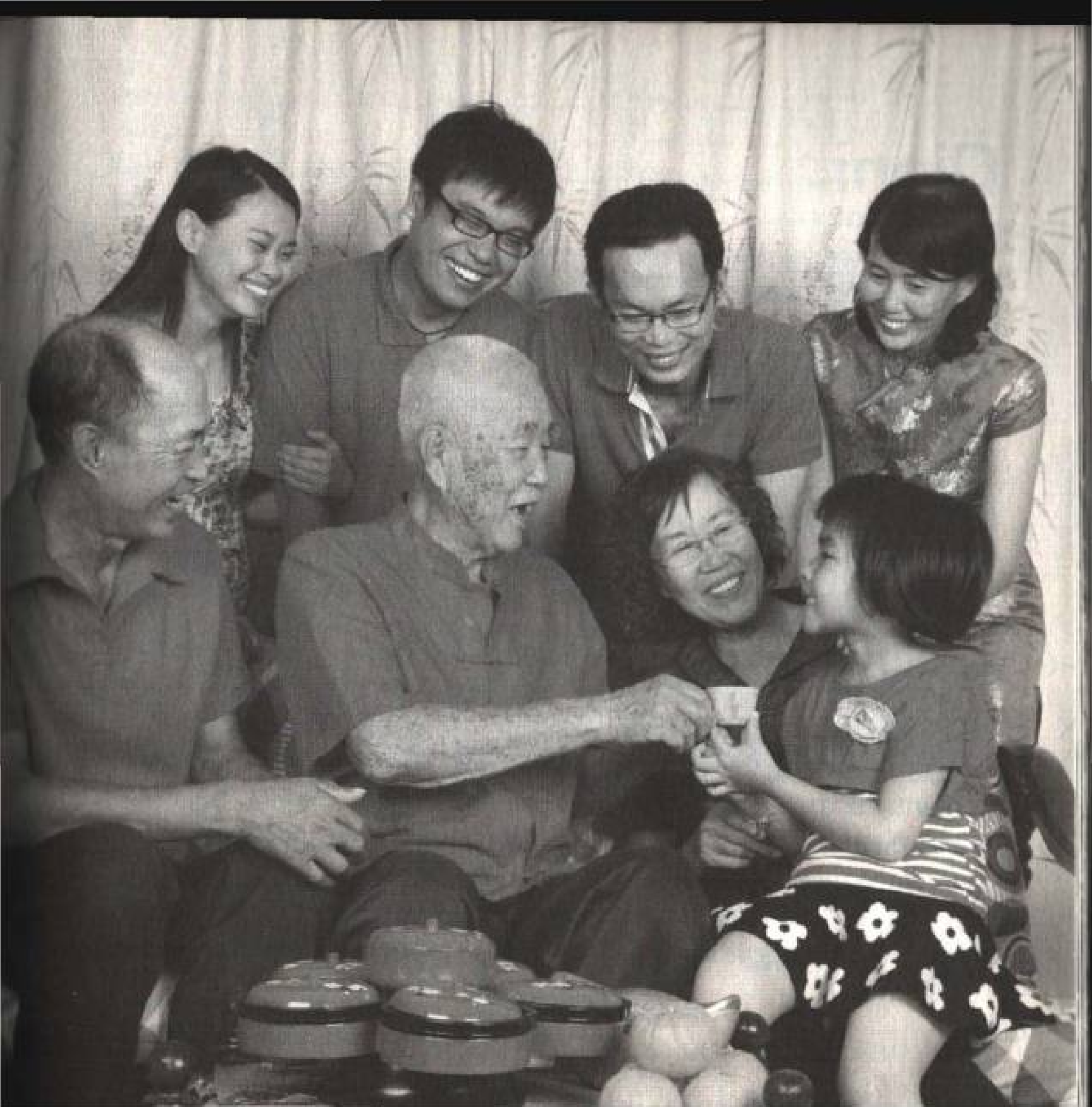
Prion hastalığı döngüsü



Yetişmeye Karşı Doğa

Hepimiz bir noktada "yetiş(tiril)meye karşı doğa" tartışmasına çekilmişizdir: Kişiliğimiz doğuştan gelen kalıtımdan mı kaynaklanır yoksa tecrübelerimizle mi şekillenir? Modern düşünürlerin çoğu on yedinci yüzyıl filozofu John Locke'un bir yenidoğanın zihninin bilgiden yoksun, bir "tabula rasa" ya da temiz bir tahta olduğunu savunan öğretileriyle hemfikir olacaklardır. Daha sonra tecrübe ettiğimiz şeyler hafızamızda yer eder ve büyüdükçe tavırlarımızı şekillendirir. Ancak bunda genetik rol sahibi midir? Kimse ruhsal durumların ve sosyal davranışların kalıtım yoluyla edinildiğini öne sürmez. Yine de bu durumlara yol açan beynin yapısı ve işleyişi muhtemelen bu yolla edinilir.

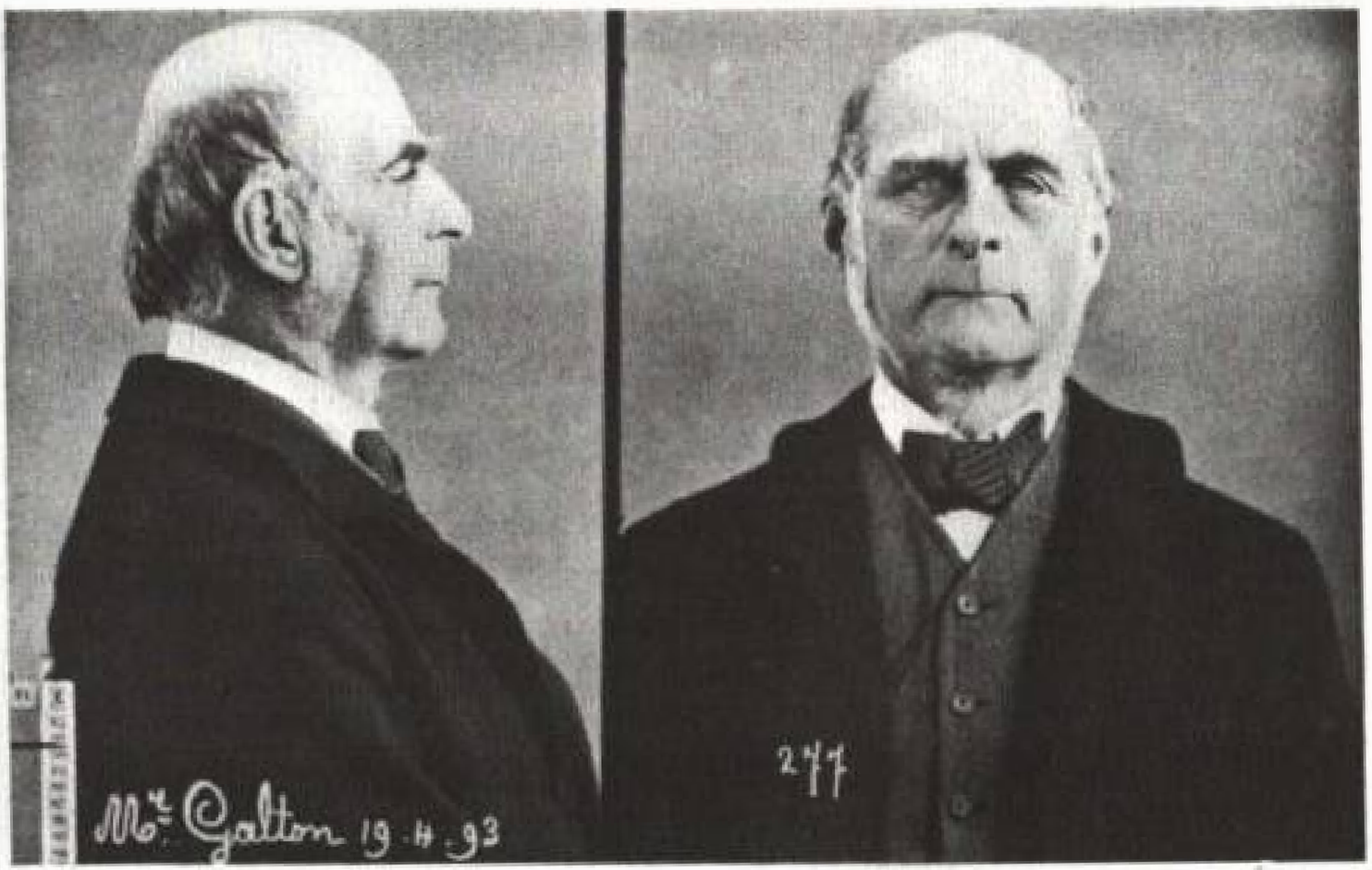
Amerika Birleşik Devletleri'nde bir savunma avukatı, suçu açıklamak ve ona bahane bulmak için müvekkilinin beyin yapısının bilişsel bir kusur gösterdiğini iddia edebilir. Ancak hamilelik süresince ve travma sonrasında yapılan beyin araştırmaları, beynin "plastik" olduğunu ve hayat boyu fonksiyonel haritasını değiştirdiğini gösterir. Bu da birçok durumda yetişmenin doğaya baskın geleceğini öne çıkarır.



Öjeni

"İyi doğan" benzeri bir anlam taşıyan öjeni, günümüzde insan genetiğinin daha karanlık bir yanını kapsayan; istenmeyen kişilik özelliklerinin çoğalmasının zekâ ve diğer arzu edilen nitelikler lehine engellenerek insan türünün geliştirilebileceğini öne süren bir teoridir. Bu düşünce Darwin'in kuzeni olan Francis Galton'ın parlak fikriydi. Viktoryen bir beyefendi olan Galton, kendi türünün insanlığın geri kalanından daha üstün bir soy olduğunu ve ana hatları Darwin ve akranları tarafından çizilen kalıtım ve seçilim mekanizmalarının herkesi "daha iyi", yani kendisi gibi yapmak için kullanılabileceğini varsaymıştı.

Ancak her şeyden önce kalıtım yoluyla edinilen özellikler nasıl tanımlanacaktı? Galton yetişmeye karşı doğa tartışmasından haberdardı, hatta aslına bakılırsa ifadeyi kendisi türetmişti ve 1880'lerden beri fiziksel özellikler ve entelektüel yetenekler arasında bağlantı kurmaya çalışıyordu. Galton herhangi bir bağıntı bulamadı ancak öjeni düşüncesi devam etti. Sonuç olarak bu fikir (aralarında 1970'lere dek devam eden bir İsveç programının da bulunduğu) akıl hastalarının kısırlaştırılması amacıyla sarf edilen geniş çaplı çabaların ardında yer almış ve Nazi soykırımı için de korkunç bir çıkış noktası teşkil etmişti.



Francis Galton vücut şekli ve zekâ arasında bağlantı ararken kendisini ölçüt almıştı.

Zekâ ve IQ

Oldukça uzun bir zamandır zekânın kalıtım yoluyla edinildiğine dair bir varsayım mevcut. Buna dair ilk fikirler arasında beyin ve kafatası boyutunun zekâ ile ilişkili olduğu yer alıyordu. Bunu kanıtlamak adına bulunulan tüm girişimler başarısız oldu, özellikle de zekâyı ölçmenin herhangi bir yolu mevcut olmadığı için. 1890'larda Fransız sinirbilimci Alfred Binet, ileri okuma ve yazma becerilerinden kaçınarak problem çözümü odaklı bir zekâ testi tasarlamak suretiyle konuya dair yeni bir yaklaşım benimsedi. Binet'nin testi, her biri belirli bir yaş grubunun yüzde 50'si tarafından yanıtlanabilecek olan, sorular ilerledikçe bu yaş grubunun arttığı ve soruların zorlaştığı bir testti. Kişinin bocaladığı yer onun "zihinsel yaşını" gösteriyordu. 1916'dan itibaren artık insanın "zekâ katsayısını" ölçen ve elde edilen ortalama skorun 100 olduğu benzer bir test IQ testi olarak biliniyordu. Biz gittikçe daha zeki olsak da IQ testleri hâlâ mevcut; bu nedenle ortalama skorun 100 kalabilmesi için testlerin düzenli olarak geliştirilmesi gerekiyor. IQ skorlarının ve öğrenim becerilerinin ailede tutarlılık göstermesi genetik bir faktör olabileceğine işaret ediyor. Yine de varsayımsal "zekâ genleri"nin rol oynadığı mekanizmalar henüz gizemlerini korumakta.



İkiz Araştırmaları

Kişilik ve zihin gücünü incelemek için kullanılabilecek en kuvvetli araştırma aracı ikiz çalışmalarıdır. Tek yumurta ikizleri fiziksel ve genetik olarak bütün yönleriyle özdeştirler. Peki, doğaları birbirine eş iken yetişmeleri nasıldır? İkiz araştırmalarının bir Kutsal Kâse'si varsa bu, doğumlarından kısa bir süre sonra birbirlerinden ayrılmış tek yumurta ikizleridir. İkizlerin doğası onların aynı şekilde davranan ve aynı beğenilere sahip olan birer yetişkin olmalarına neden olabilir. Ancak yetiştirilme şekilleri önemli bir faktörse tek yumurta ikizlerinin benzer bir kişiliği paylaşmaları gerekmeyebilir. Bu tür araştırmalar her tür zihinsel özellik için "bir gen" keşfetme yolunda bir ihtimal sunar.

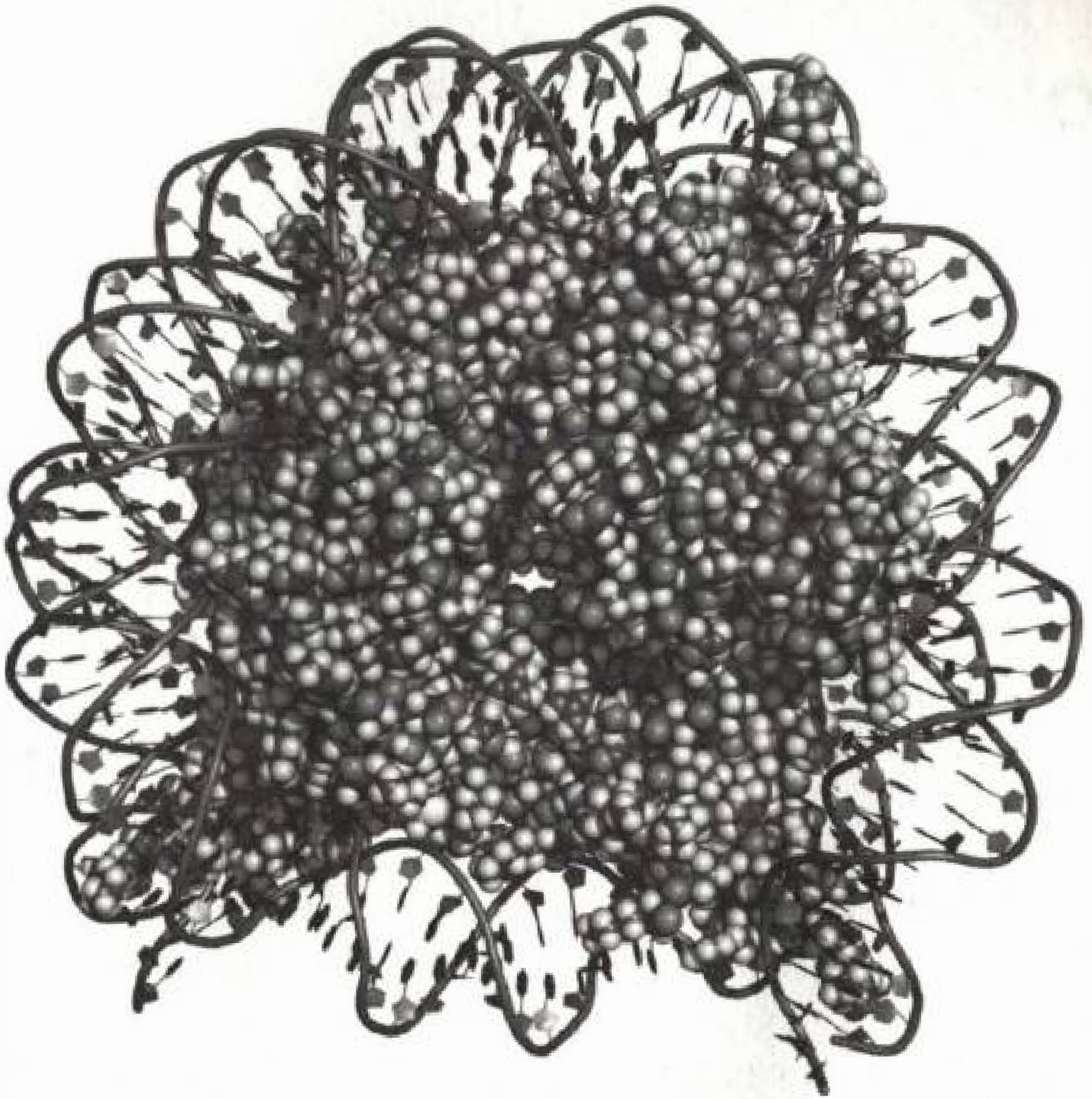
Pratikte, ayırılmış ikizler sıklıkla benzer kişilikler gösterirler ve istatistiksel analizler bu benzerliklerin yaklaşık olarak yarısının genetik kaynaklı olduğunu ileri sürmekte. Henüz kişiliği kodlayan tek bir genin izole edilebilmesi mümkün olmadı ancak beynin çeşitli uyaranların etkisinde nasıl geliştiğini daha iyi anlamamız nihayetinde bize genetik bileşeni işaret edebilir.



Epigenetik

"Epi-" terimi "üstünde" anlamına gelir ve epigenetik süreç çevresel bir faktörden ötürü bir genin ifade edilmesi üzerinde etki oluşturan bir süreçtir. Yakın bir zamanda birkaç jenerasyonu kapsayan çalışmalarla oldukça sarsıcı bir sonuç elde edildi: Epigenetik etkiler genlerle en azından bir ya da iki nesle aktarılıyor gibi görünüyordu.

Her hücre aynı bir genom bulundurduğu gibi, kromozomlara bağlanan bir dizi yardımcı kimyasaldan oluşan bir epigenom da bulundurur. Kemik hücresinde yer alan kan hücresi genleri örneğinde olduğu gibi kimi yardımcılar yerden tasarruf sağlamak amacıyla kullanılmayan genlere sarılır. Kimileriyse her zaman kullanımda olan bölümlerde ortaya çıkar. Genomun aksine epigenom, çevresel uyaranlara yanıt olarak değişim gösterir ve kanser gibi hastalıklarla sağlıksız beslenme ve diğer kötü alışkanlıklar arasındaki bağı kuran sürecin epigenetik olabileceğini sezen araştırmacılar daha fazlasını öğrenmek için âdeta yarış halindedirler. Dahası her geçen gün epigenomun en azından bir bölümünün yavruya ve hatta toruna aktarılabileceğine dair daha fazla bulguya erişilmekte. Bu da genetik mirasımızın değiştirilemez olmadığı, bir nebze de olsa esnek olduğu anlamına geliyor.



DNA kromozomda yer alan bir protein çekirdekle bağlanır. Proteinler ve diğer moleküller ise kimi genleri gösteren kimilerini de saklayan epinomu oluşturur.

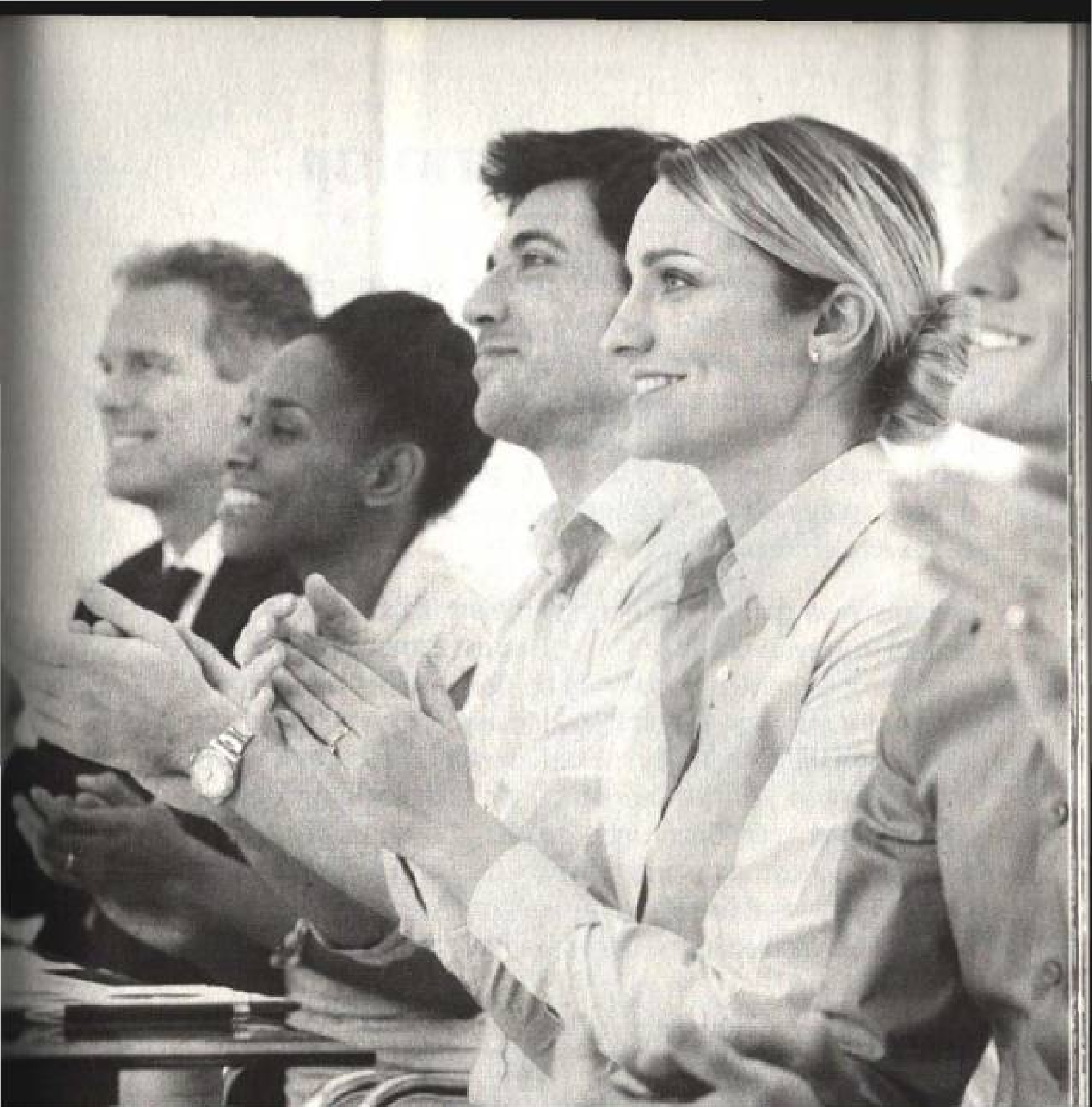
Hollanda Açlık Kışı

Epigenetik kalıtımın ilk kanıtı 1944 - 45 kışında bir Nazi kuşatmasının sebep olduğu ve Hollanda Açlık Kışı olarak bilinen kıtlıkta ortaya çıkmıştı. Binlerce insanın açlıktan ölmesine neden olan bu durum, savaş sonrasında kötü beslenmenin incelenebilmesi için emsalsiz bir fırsat sunmuştu. Kıtlıktan önce gebe kalınan bebeklerin doğum kiloları düşüktü, gelişimlerinin son dönemlerinde yetersiz besin almışlardı ve bu nedenle fazla büyümeyerek yaşamları boyunca minyon kalmışlardı. Bununla beraber, kıtlık esnasında gebe kalınan bebekler normal kiloda doğmuşlardı: Erken gelişim dönemleri kıtlığa, son üç ayları ise kıtlık sonrasına denk geliyordu ve büyümeleri normal seviyeyi yakalamıştı. Ancak bu ikinci grubun yaşamlarının ilerleyen döneminde obezite ve akıl hastalıklarından muzdarip olmaya meyilli olduğu görülmüştü. Şaşırtıcı bir biçimde, bu durum çocukları için de geçerliydi. Teori, bu tür problemlere kıtlığın yarattığı; annenin içinde, fetüste ve fetüsün (bir aşamada kendi gametlerini oluşturacak olan) germ hattında oluşan bir epigenomun neden olduğuydu. Peki, epigenom bu jenerasyonların da ötesine geçebilir mi? Bu soruya halen yanıt aranmakta.



Memetik

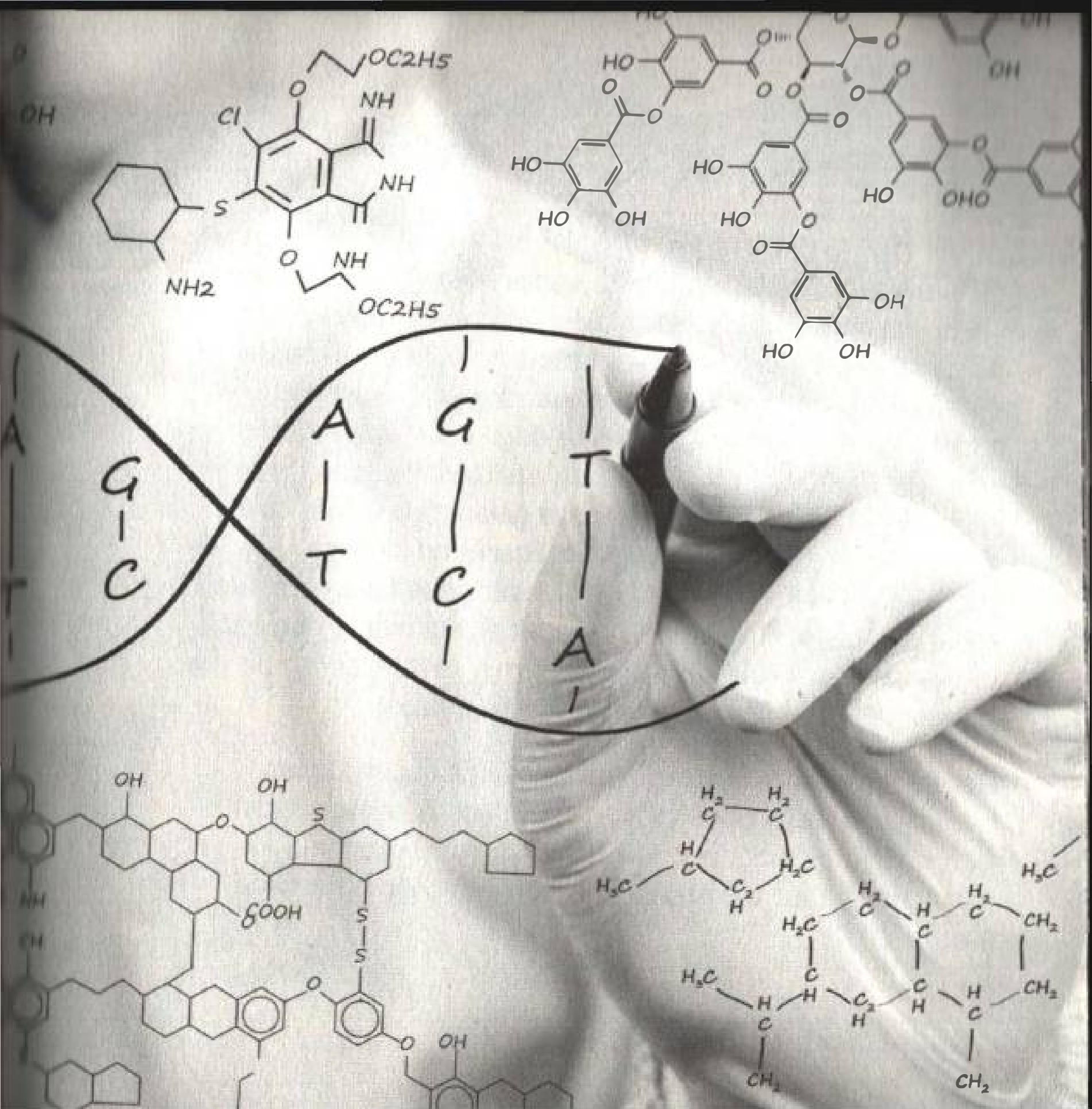
Doğal seçilime tabi olan tek şey genler midir? Bir önerme bunun aksini ileri sürüyor. Bir bilgi ya da hafıza birimi olan memler de zihinden zihne aktarılarak aynı genler gibi kopyalanabiliyor. Örneğin, alkış memi son derece başarılı bir memdir. Bu fikri diğerlerinden öğreniriz (ya da kalıt alırız) ve aynı şekilde başkalarına aktarırız. Uzun yıllardır dikkate değer bir biçimde değişmeden kalmış olan alkışlama birçok farklı kültürde kullanılır. Bununla birlikte alkışlayan kişilerin ayaklarını yere ya da ellerini masaya vurdukları "mutant" formları da mevcuttur. Bu mutantlar alkışlamadan daha uygun bulundukları habitatlarda yerleşmişlerdir. Yalnızca belirli topluluklarda yayılan ya da tamamen unutulan bazı memler daha başarısızdır ve etkin bir şekilde yok olur. Memetik, genetik motiflerini düşüncenin doğasını araştırmak için kullanan ancak nihayetinde başarısızlığa uğramış olan bir daldır. Mem için yaptığımız tanım fenotip geni tanımını karşılasa da fiziksel bir DNA ipliği olan genotip geni için uygun değildir. Fikirler beyinde ayrık memler olarak depolanmaz, karmaşık ve dağınık bir dizi farklı hafızayla ilişkilendirilerek çağrılır.



Genetik ve Teknoloji

Gregor Mendel (bkz. s. 32) genetiği keşfetti çünkü ehlîleştirilmiş bitki ve hayvanlardaki kalıtımı araştırmayı seçmişti. (Denek olarak fasulyelerde karar kılmadan önce korkutucu derecede agresif olan ve yok edilmeleri gereken arılar türetmişti.) Genetik en başından beri pratik uygulamalarla ilintiliydi ve bu ilişki, genom araştırmaları ve genetik mühendisliğinde sağlanan güncel ilerlemelerle artık her zamankinden daha güçlü.

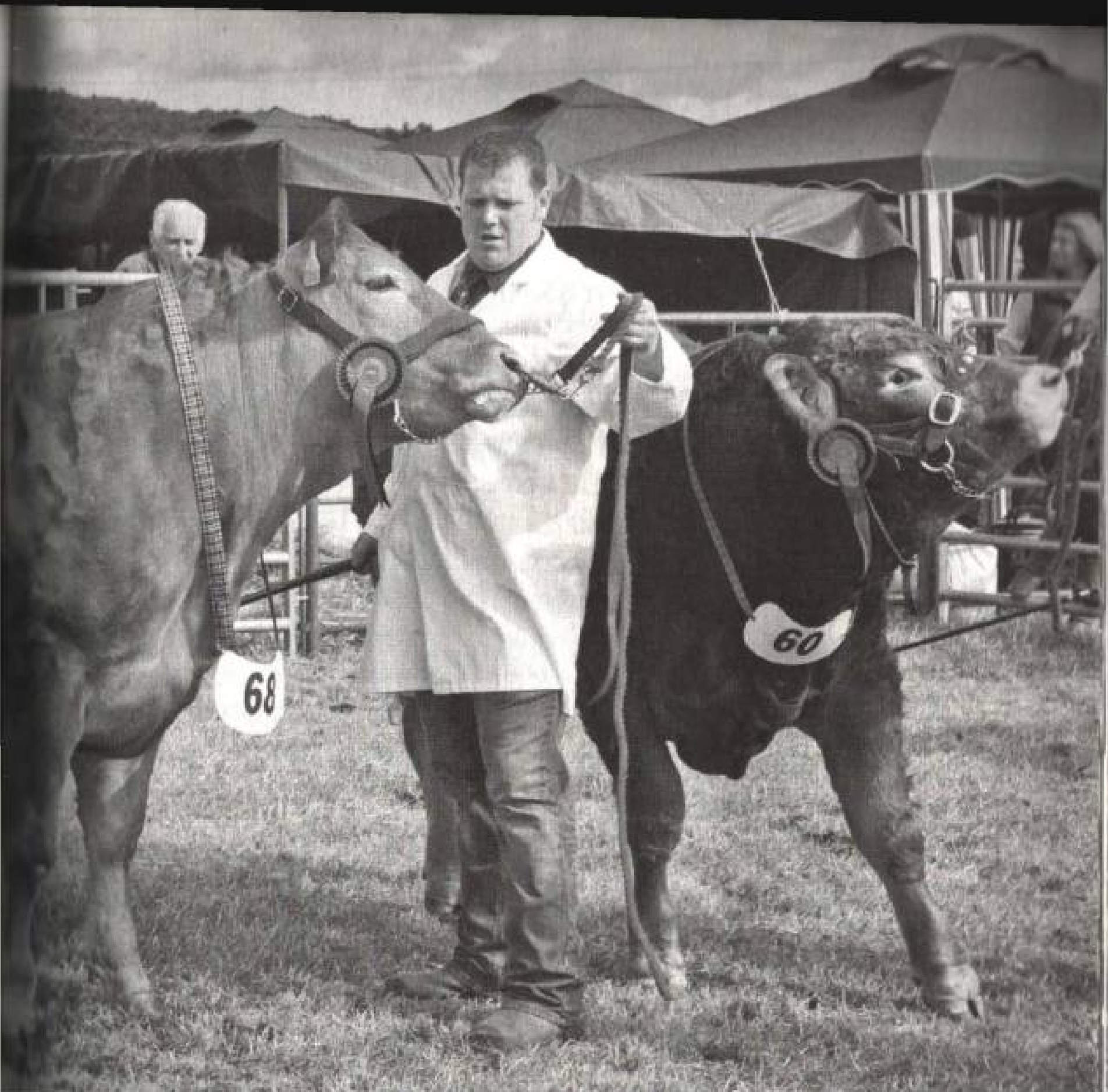
Kök hücre ve gen terapisi araştırmaları, kalıtımsal hastalıkların genetik düzeyde düzeltilebileceği ve bir zamanlar kalıcı olan yaralanmaların iyileştirebileceğine dair son derece gerçekçi bir olasılık sunuyor. Genetik modifikasyon, üremenin normal kurallarına aldırmadan bir türden başka bir türe gen aktarımını mümkün kılıyor. Bu tür (herhangi) bir teknoloji birçok etik kaygıya yanıt vermek zorunda da olsa, tarımı ve hatta insanlığın kendisini dönüştürme potansiyelini taşıyor. Bunlara ek olarak, DNA'nın kimyasal özellikleri de (kalıtımdaki rolleri nedeniyle değil) nanoskobik ölçülerde makineler yapılabilmesi için keşfedilmeye devam ediyor.


OC2H5
NH
Cl
NH
S
NH2
NH
OC2H5
HO
OH
OH
OH
OH
OH
OH
OH
OH
OH
OH
G
C
A
T
G
C
T
A
OH
OH
NH
OH
COOH
S
S
OH
H3C
CH3
CH3

Yapay Seçilim

Tüm kültür bitkileri, çiftlik hayvanları ve evcil hayvanların büyük çoğunluğu "yapay seçilim"in ürünleridir. Bu süreç de doğal seçilim ile aynı kalıtım mekanizmalarından faydalanır ancak bireylerin hayatta kalacağına ya da öleceğine ve hangi çiftlerin eşleşeceğine çevre değil insan üretici karar verir. Üretici, bir nesilden istenen özelliklere sahip bireyleri seçerek bunların yavruda bir araya geleceği ümidiyle onları çiftleştirir. Mendel'in de keşfettiği üzere, bu oldukça rastgele gerçekleşen bir olaydır ve tüm yavrular hedeflenen özelliklere sahip olmaz. Bu tür yavrular gelecek eşleştirmelerden hariç tutulurlar ancak yine de yapay seçilimin dikkate değer bir etki göstermesi için birçok neslin geçmesi gerekir.

Genetik kurallarının ortaya çıkarılmasından uzun zaman öncesine de dayansa, yapay seçilim genetik teknolojisinin ilk örneğidir. Hal böyleyken, geçen yüzyıllar boyunca aşina olduğumuz bitkilerin ve hayvanların çoğu bu şekilde üretilmiştir.


68
60

Tarım

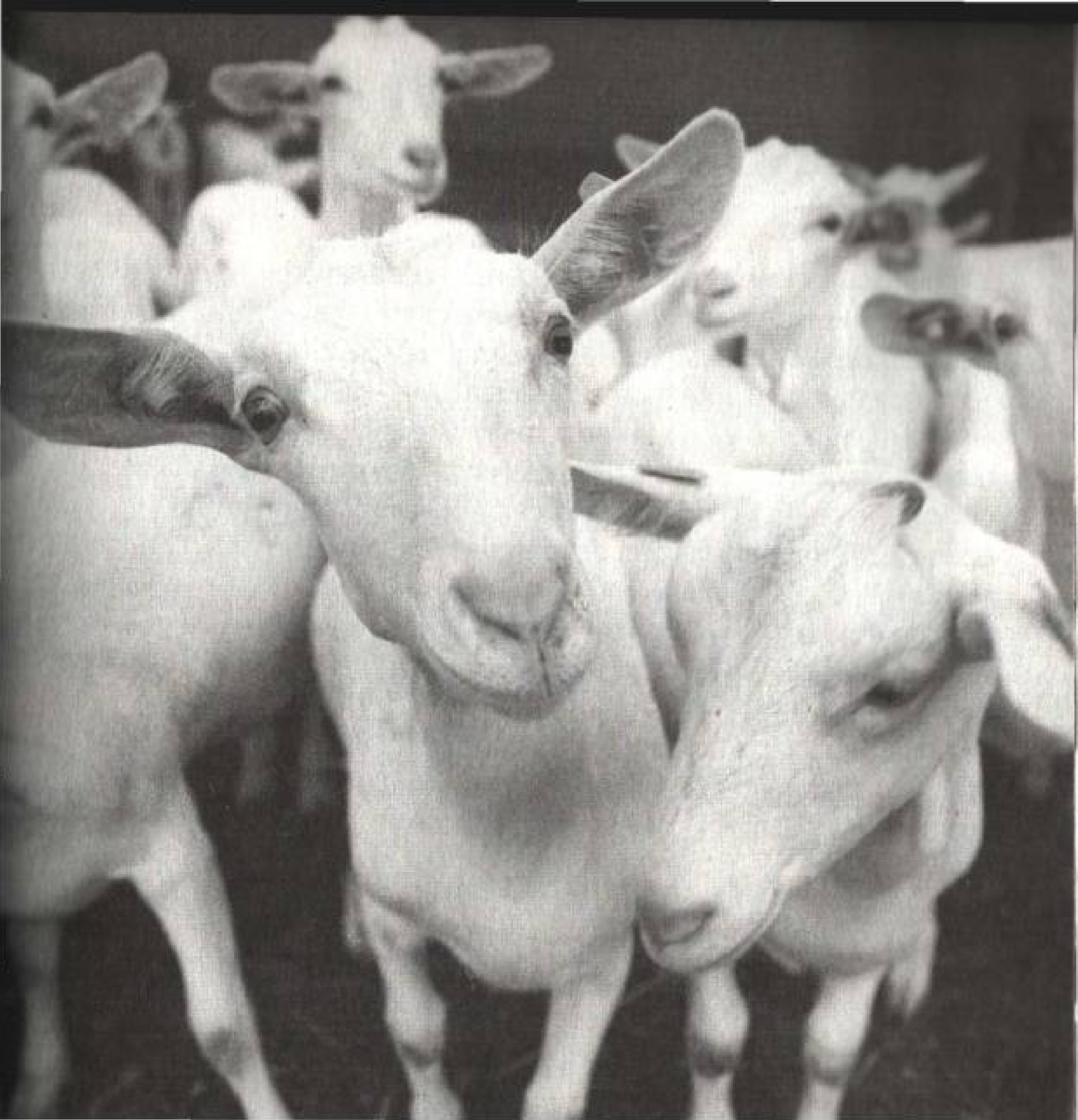
Yaklaşık on iki bin yıl önce insan toplumunun avcı-toplayıcılığa dayanan sistemi kendi ihtiyacını yetiştirme yönünde dönüşmeye başlamıştı. Tarımın doğumu toprak sürmek, sulama ve yapay seçilim gibi birçok teknolojiyle yakın ilişki içinde gerçekleşerek maksimum hasadı elde etmek için mahsul fenotiplerini kontrol altına aldı. Bu son aşama özellikle ilgi çekici çünkü ilk çiftçilerin daha sonra günümüzdeki tahıl ürünleri hâlini alacak otluk tarlalar yetiştirdikleri düşünülmekte. Onların yabani otlardan dökülen tahıl tanelerini toplayarak yiyeceklerine karıştıran ataları da bu tür gıdalara yabancı değildi. Bu otların en ufak bir dokunuşta dağılan başakları (ya da meyveleri) olgunlaşmış tanelerin yere düşerek verimli bir toprak bulma şansını artırıyordu. Ancak kimi otlar bu kadar kolay dağılmaz. Normalde doğal seçilim bu bitkilerin aleyhinde seyredecekken, başlangıçtaki çiftçiler hasatlarının daha kolay olduğunu fark ettikleri için onları ilk tarlalarda birlikte yetiştirmişlerdi. Günümüzde vahşi doğada başarılı olması mümkün olmayan bu mutant otlar mücadelelerine hâlâ devam ediyor ve dünyanın en yaygın bitkilerini teşkil ediyorlar.



Besi Hayvanları

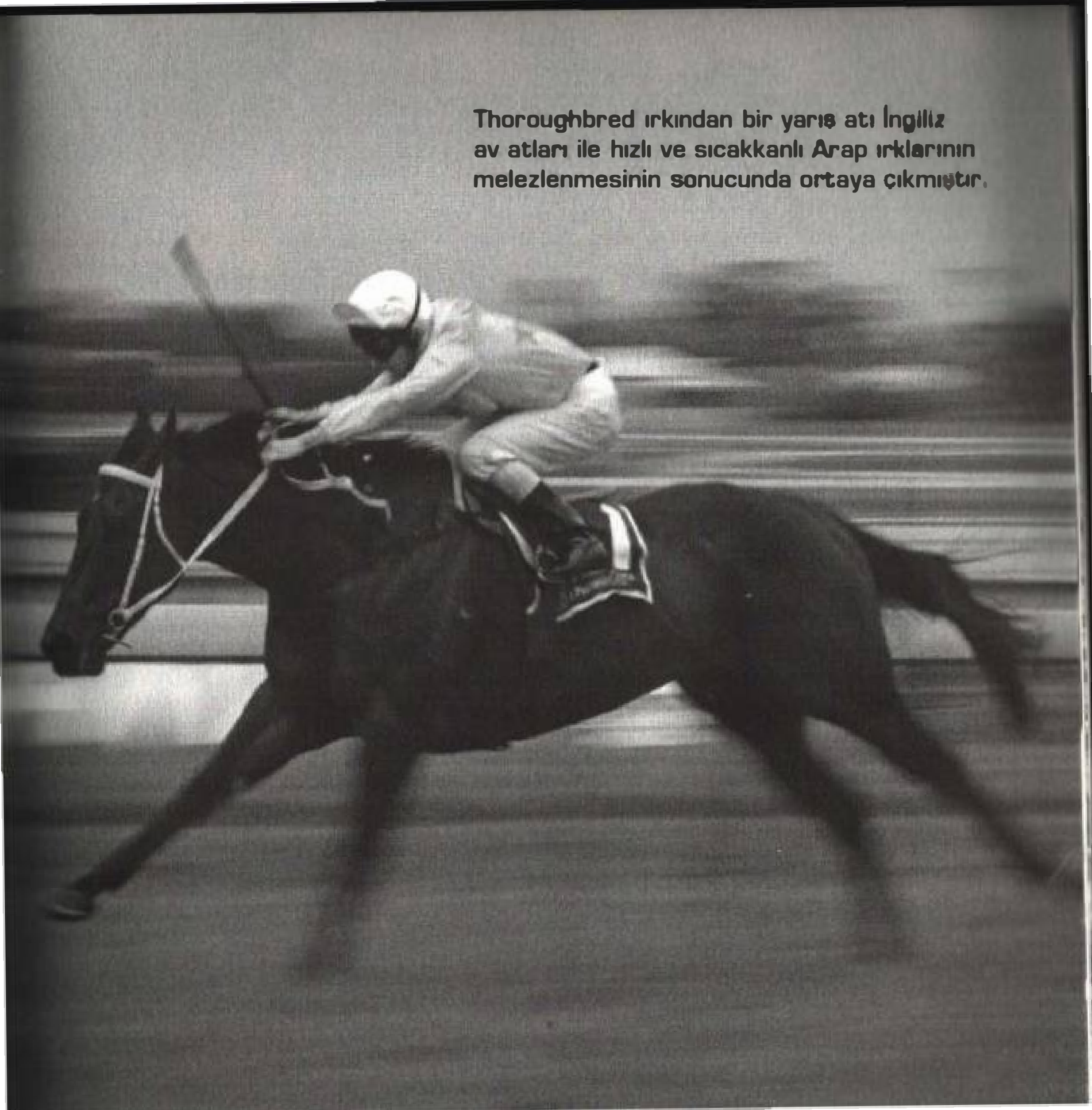
En sık karşılaşılan ve en aşina olduğumuz hayvanların birçoğu besi hayvanı; yani etleri ve belki de yumurtaları, sütleri, kılları ya da derileri için yetiştirilen hayvanlar olma eğilimindedir. Bunlar gibi, insanların ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik birçok koşum hayvanı da uzun nesillerdir üretilmekte. Oysa bu canlıların her biri yabani bir kökene sahiptir ve birçok özelliklerinin izleri özgür yaşayan türlerine dek sürülebilir.

Koyunlar ve keçiler çölde yaşayan dağ hayvanlarından türetilmiştir. Otlayan diğer hayvanlar için uygun olmayan kurak iklimlerde hayatta kalabilen bu canlılar, korunmak adına sürü halinde dolaşır ve evcilleştirilmiş sürüler de aynı yabani akrabaları gibi, bir tehditle karşı karşıya kaldıklarında yamaçlara tırmanır. Tavuklar ise yerde yaşamaları ve sadece kısa mesafeleri uçabilmeleri nedeniyle Hint bülbüllerinin daha kolay idare edilebilen, evcilleştirilmiş kuzenleridir. Atlar da hızlı koşan ve hiyerarşik sosyal gruplar içinde yaşamalarından ötürü insan bir eğitmenle uyumlu çalışmaları mümkün olan otlayan hayvanlardan türetilmişlerdir. Son olarak, muhtemelen ilk ehli hayvanlar olan köpekler de aslında insan aileleriyle birleşen sürü hayvanları ve evcil kurtlardır.



Melez Gücü

İki oldukça farklı ebeveyni bilinçli olarak çaprazlayarak üretilen hayvanlar sıklıkla yalnızca üreticileri tarafından istenilen özelliklere sahip olmakla kalmayacak, aynı zamanda hem güçlü hem de sağlıklı olacaklardır. Bu olguya melez gücü ya da heteroz denir. Geniş ölçüde farklı genotiplere sahip organizmaları çiftleştirmek karşı döllemenin faydalı etkilerine dair iyi bir örnek teşkil eder. Bu tür birleşmelerden doğan yavrular genellikle ebeveynlerini uyumlu bireyler yapan birçok farklı alelden istifade etmelerinin yanı sıra ırklarının devamında avcılara ve parazitlere karşı verilen mücadelenin kazananları olurlar. Eşeyli üremenin avantajlarından biri de karşı döllemeyi teşvik etmesidir, ancak bu durum kimi zaman çeşitli sorunları da beraberinde getirir. Bazen yavrular birbirleriyle uyuşmayan ve adaptasyon başarılarını azaltan genleri de kalıt alabilirler.



Thoroughbred ırkından bir yarış atı İngiliz av atları ile hızlı ve sıcakkanlı Arap ırklarının melezlenmesinin sonucunda ortaya çıkmıştır.

Suni Melezler

Hayvan üreticileri yeni bir melez elde etmek için yakın akraba olan türleri çaprazlayabileceklerini keşfetmişlerdi. Bunlardan en çok bilineni, büyüklüğü ve kuvveti nedeniyle oldukça değerli bir yük hayvanı olmasının yanı sıra, hem söz dinleyen hem de dayanıklı olan katırdır. Katır bir eşek-at melezidir, spesifik olmak gerekirse erkek eşek ile dişi atın yavrusu. (Dişi eşek ile erkek atın yavrusuna bardo denir ve genellikle daha küçük ve güçsüz olur.) Bir atın 64 kromozomu bulunurken eşeğin 62 kromozomu vardır. Bu eşleşmenin sonucunda ortaya çıkan katır 63 kromozomludur ve bu tek sayı onun mayoz esnasında kromozomlarını eşleyebilmesini ve dolayısıyla yaşayabilen bir yumurta ya da sperm üretebilmesini oldukça olasılık dışı kılar.

Diğer türler arası suni melezlemeler arasında zonkey (eşek – zebra), beefalo (inek – bizon), wholpin (katil balina – yunus) ve pumapard (puma – leopar) bulunur. Liger (yan sayfada) ise dişi kaplan ile erkek aslanın melezidir. Kaplanların çizgilerini ve aslanların daha soluk renkte olan kürkünü taşır, melez gücü sayesinde devasadır. Onu herhangi bir vahşi kediden daha büyük yapan boyu 3,6 metreye (11,8 ft) kadar uzayabilir.



Mutant Araştırmaları

Pek az besi hayvanı yılda birden fazla kez yavrular ve üretim sürelerinin uzunluğunun bariz etik problemlerle bir araya gelmesiyle, mutant genlerin bu canlıların uyum başarısı ve embriyo gelişimi üzerindeki etkisini araştırmak her zaman mümkün olmayabilir. Ancak bu problemler yaygın sirke sineği, yani *Drosophila melanogaster* için geçerli değil. Yaklaşık bir ay yaşayan bu küçük böceğin eşeysel olgunluğa erişmesi için sekiz saat yeterlidir. Sirke sineklerinin yalnızca üç kromozomu (iki eşey kromozomu) vardır ve tükürük bezlerinde tüm kromozomlarının analiz etmesi kolay olan devasa kopyalarını üretmeleri de cabasıdır.

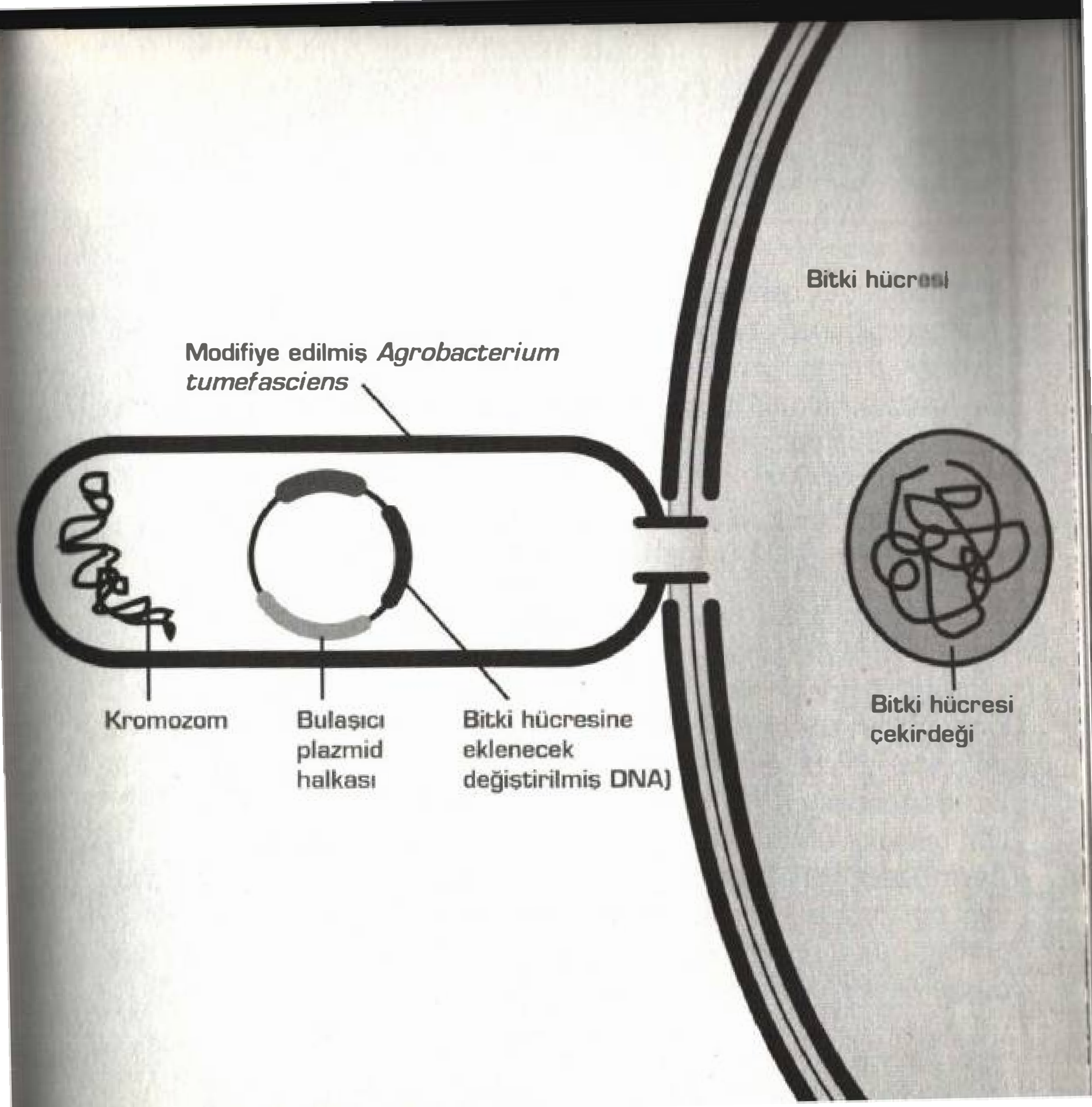
Tüm bu faktörler *Drosophila*'yı genetik araştırmaları için yüksek miktarda çoğaltılması adına ideal bir tür yapar. Bugüne dek aralarında kıvrık kanatlı olan, vücudu ve gözleri çeşitli renklerde olan, setae'si (böcek "kılı") daha kısa olan ve hatta "teneke adam" olarak adlandırılan, kalp geliştirmeyen bir çeşidinin de olduğu düzinelerce mutant suş yetiştirilmiştir. *Drosophila* aynı zamanda genler ile yaşlanma ve beyin gelişimi arasındaki bağlantıyı konu alan araştırmaların ilk aşamalarında da kullanılmaktadır.



Genetik Modifikasyon

Genetik mühendisliği olarak da bilinen genetik modifikasyon (GM) yeni genlerin genoma yerleştirilmesi uygulamasıdır ve muhtemelen bu gen bir türden başka bir türe aktarılır. Doğal seçilim herhangi bir organizmayı başka birine, örneğin bir meşe ağacını Japon balığına ya da bir balinayı mantara evrimleştirebilir ama bu milyonlarca, belki de milyarlarca yıl sürer. GM teknolojisi birtakım teknikler aracılığıyla kalıtım yasalarını atlatır.

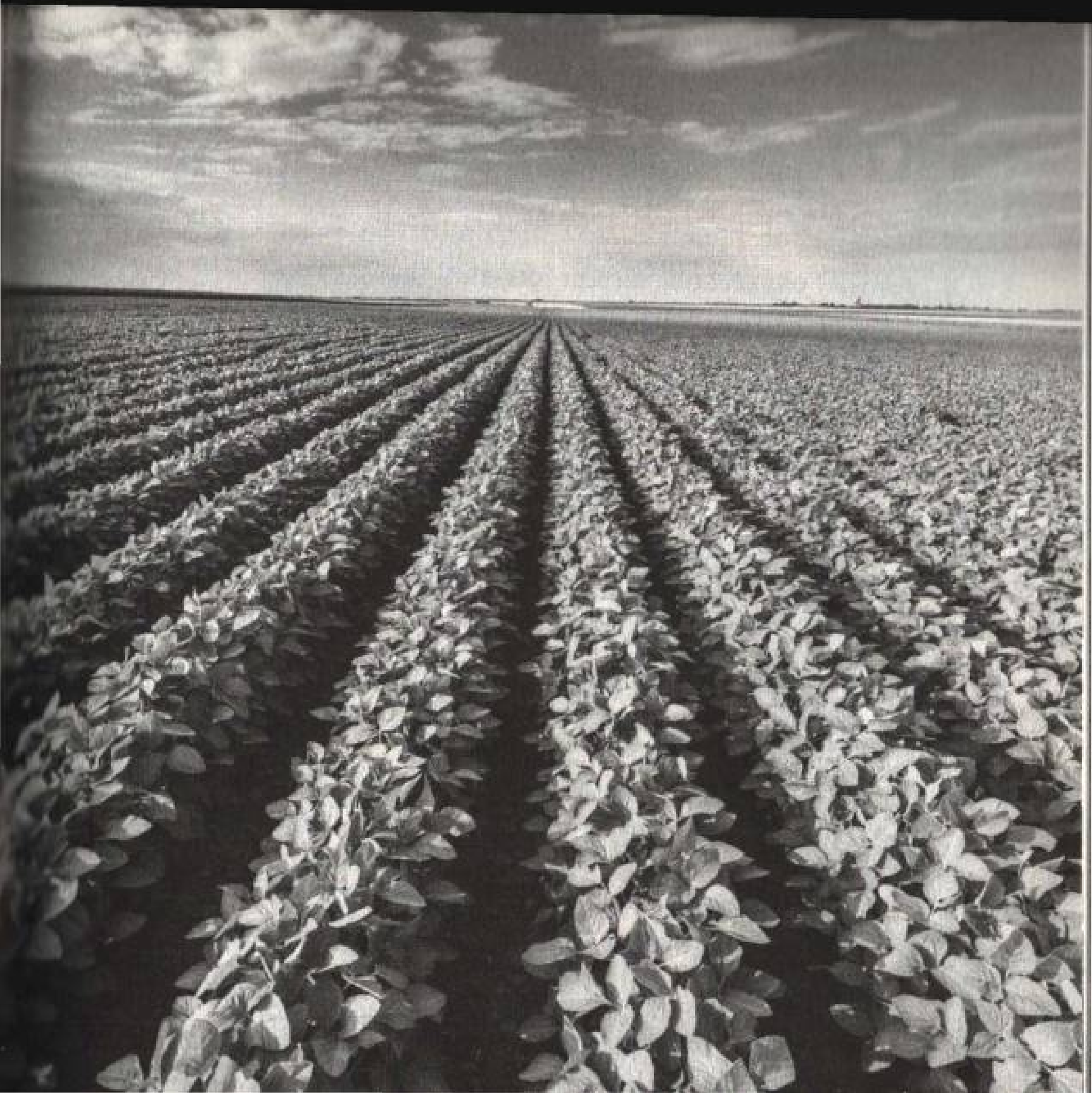
Bunlardan en basiti, genetik materyalle kaplanmış küçük altın parçacıkları fırlatan bir havalı tabanca olan gen tabancasıdır. Canlı hücreleri hedef alan parçacıklar bu hücrelerin çoğunu yok etse de bazıları güvenli bir şekilde hayatta kalan hücrelerin içine alınır ve DNA'ları genoma katılır. Başka bir teknik de *Agrobacterium* kullanmaktır. Bu bakteri konakçısı olduğu bitkiyi bir DNA halkası (plazmid) ile enfekte ederek ur adı verilen tümör benzeri oluşumlar meydana getirir. Plazmidi ele geçiren genetik mühendisleri, yan sayfada resmedildiği gibi onu (urlara neden olmayan) yeni genler eklemek için kullanırlar. GM aynı zamanda hücre çekirdeklerine DNA enjekte etmek üzere yeniden düzenlenen virüslerden de faydalanabilmektedir.


Bitki hücresi
Modifiye edilmiş *Agrobacterium tumefasciens*
Kromozom
Bulaşıcı plazmid halkası
Bitki hücresine eklenecek değiştirilmiş DNA)
Bitki hücresi çekirdeği

GD Gıda

Bugüne dek neredeyse tümü bitkileri hedefleyen düzinelerce genetiği değiştirilmiş (GD) gıda üretimi girişimi gerçekleştirildi. Bunların birçoğu ya gerçekleştirilen genetik modifikasyon herhangi bir fayda sağlamadığı için ya da henüz genel bir talebi karşılamayan yenilikler sunmalarından ötürü başarısızlıkla sonuçlandı. Bu başarısızlıkların en ünlülerinden biri donmaya dirençli bitkiler üretmek amacıyla Atlantik dil balığının kullandığı antifriz proteini geni aktarılan "balık domates" olmuştu.

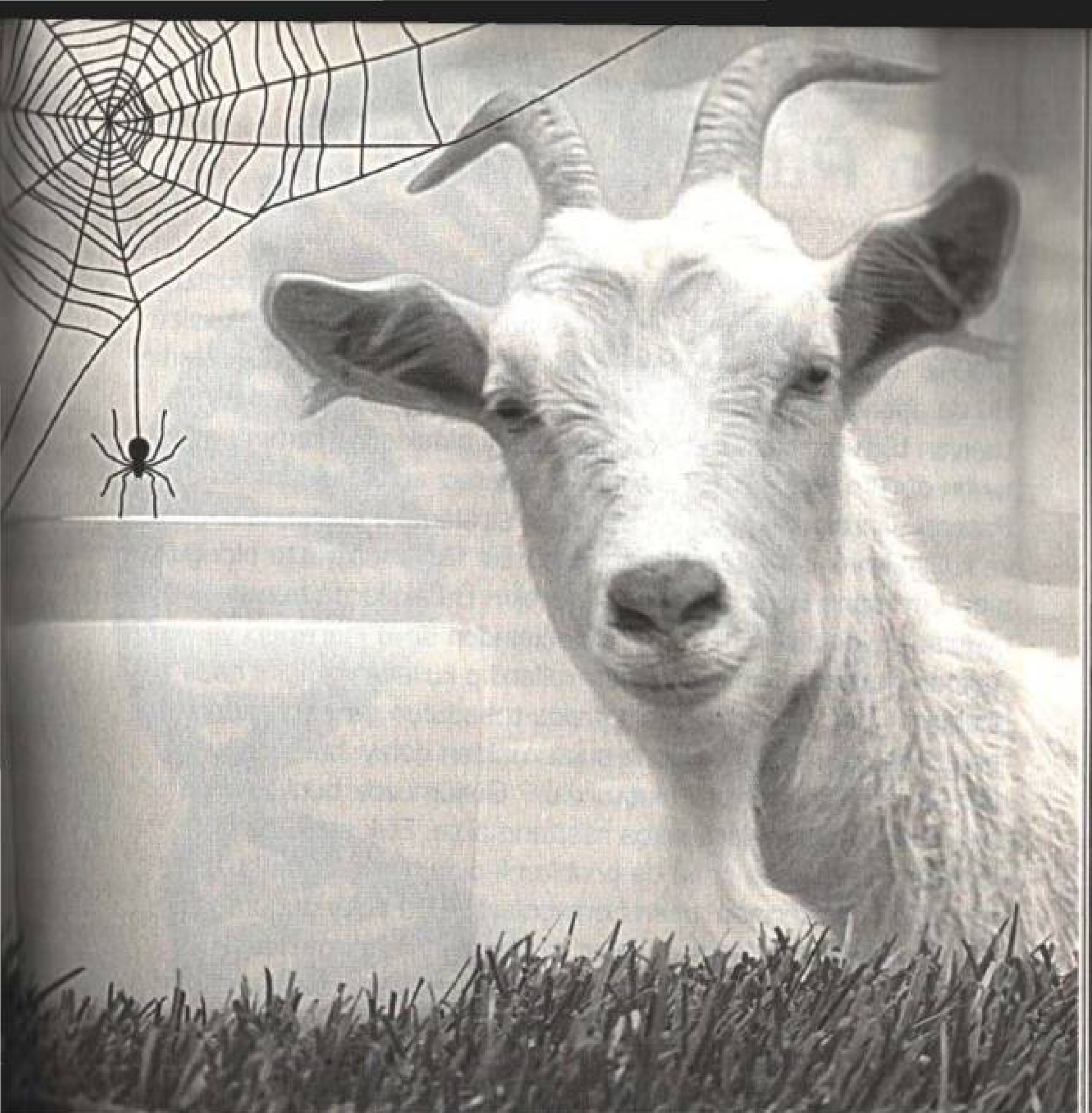
Aralarında ananas, kabak ve patatesin de bulunduğu birçok GD mahsul çeşidine virüslere karşı genetik direnç kazandırılırken, en yaygın GD gıdalar olan darı (mısır) ve soya ise böcek ilacındaki kimyasalları tolere edebilmeleri için modifiye edilmişlerdir. Yine de birçok ülkede en başarılı GD gıdaların kullanımı dahi ciddi ölçüde kontrol edilmektedir. Daha çok kuşku uyandıran faktör, GM teknolojilerinin mahsulleri tohum üretmekten alıkoyan bir "terminatör gen" üretmiş olmasıdır. Bu durum çiftçileri her sezonda yeni tohum tedariki satın almak zorunda bırakıyor olsa dahi, günümüzde mahsullerde terminatör genin kullanılması durumunda dünya genelinde bir borç erteleme hakkı sunulmaktadır.



GDO'lar

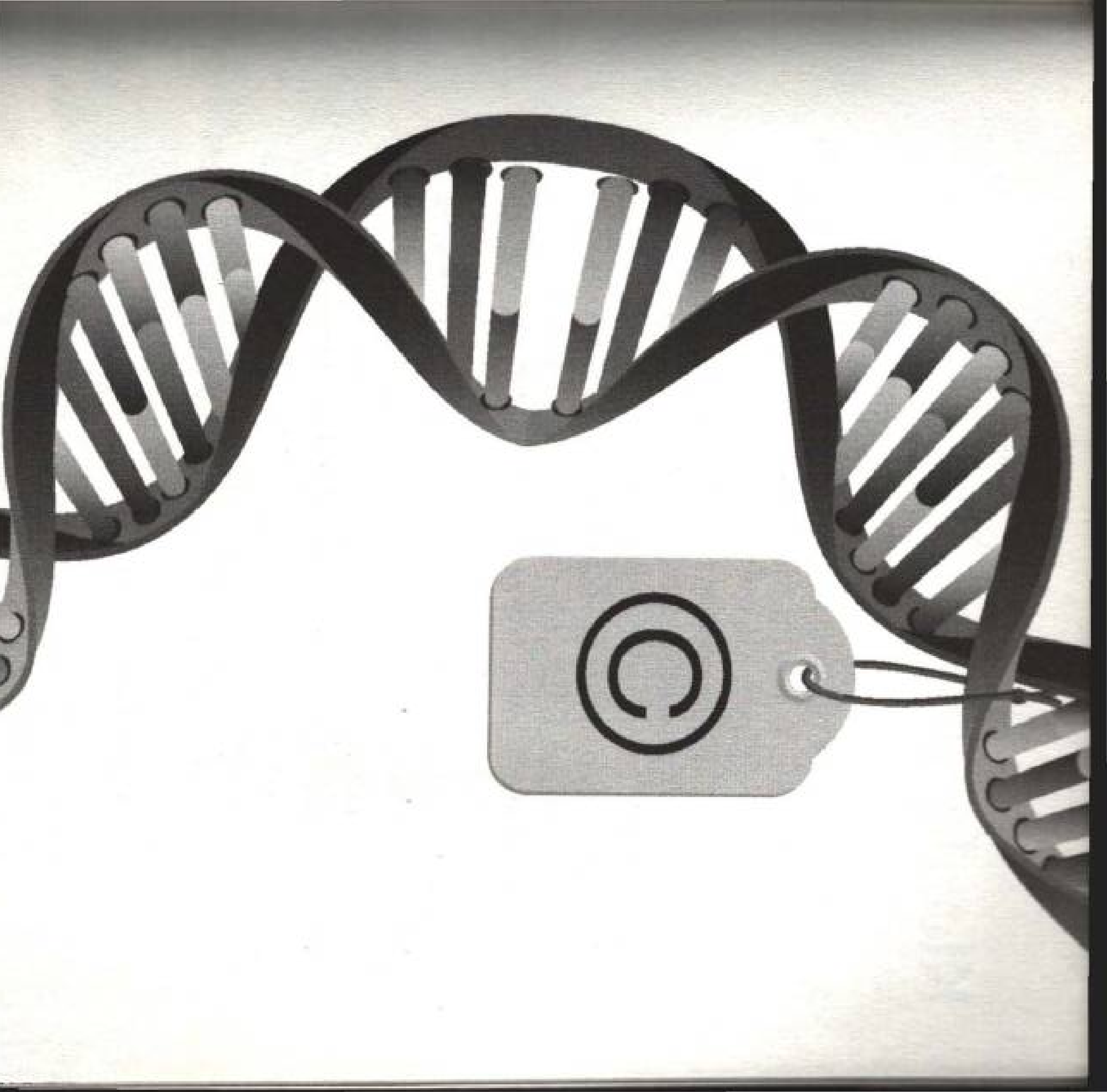
Kısaca GDO olarak adlandırılan "genetiği değiştirilmiş organizma"lar GD mahsullerden çok daha fazlasını kapsar. Birçok hayvanın genetiği de tarım dışı ve çoğu kez acayip nedenlerden ötürü değiştirilmiştir. Bu suşların en başarılılarından biri *Escherichia coli*'dir. Genellikle ölümcül gıda zehirlenmesiyle ilişkili olan *E. coli* aynı zamanda içlerinde diyabet hastalarının kullandığı insülin hormonu, cücelik tedavisinde kullanılan büyüme hormonu ve hemofili hastalarının sağlığı için son derece önemli olan pıhtılaşma faktörlerinin de bulunduğu çeşitli tıbbi maddeleri üretebilecek şekilde de düzenlenmiştir.

Kimi GDO'lar ise yeni tıbbi tedavilerin test edilmesinde kullanılır. Bir denizanasının biyolüminesans olmasına neden olan genin aktarıldığı fareler bunlara bir örnek teşkil eder. Bu kemirgenler karanlıkta kelimenin tam anlamıyla parlar. Başka bir şaşılası GDO örneği de "örümcek keçi"dir. Bu canlıların ürettiği sütün genetik tarifine örümcek ipeği geni katılmıştır. Sütte bol miktarda üretilen sıvı ipek proteinleri gerçek örümceklerden toplanabilecek miktarın çok üstündedir ve bu nedenle bu olağanüstü maddenin araştırılabilmesine olanak sağlar.



Gen Patenti Almak

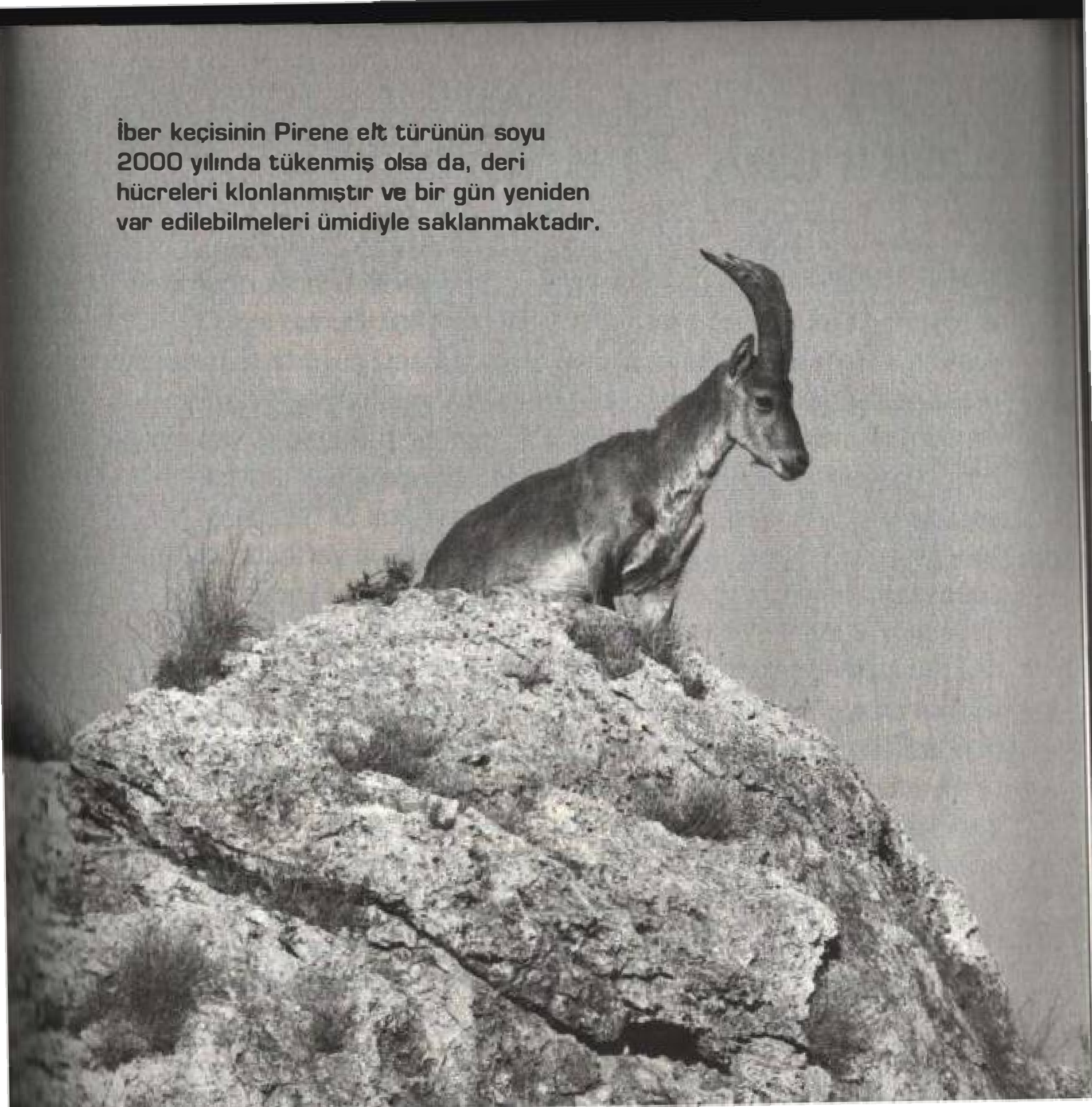
Genetik modifikasyon, araştırma ve geliştirmesi olağanüstü masraflı olan büyük bir iştir. Sonuç itibarıyla ortaya çıkarılan GDO'lar ve üretilme teknikleri şiddetle korunan patentlere tabidir. Bu da aslında bireylerin ve şirketlerin belirli genler ve onları taşıyan tüm canlılar üzerinde hak sahibi oldukları anlamına gelir ve bu durum birçok kişi tarafından rahatsız edici bulunmaktadır. Patenti alınmış bir gen belirli bir baz sıralaması olarak tescillenir ve kullanılmak istendiğinde (herhangi bir fikrî mülkiyette olduğu gibi) bir lisans ücreti ödenmesi gerekir. Bu akıllarda hem uygulama yönünden hem de etik açısından soru işaretleri yaratır. Aslında patent sahibi genlerinin kullanılıp kullanılmadığını nasıl bilebilir? Peki, böyle bir genin orada tesadüfen gerçekleşen bir melezlemeden ötürü değil de suistimalden dolayı bulunduğuna dair bir delil zinciri nasıl oluşturulur? Günümüzde bunları konu alan yasal tartışmalara sıkça rastlanmakta. Etik açısından değerlendirildiğinde daha da problemli olan bir konu da bu patentlerin,aralarında insan hormonlarının da bulunduğu doğal olarak meydana gelen maddeler için de alınmış olmasıdır. Gelgelelim 2013'te bu tür patentler nihayet geçersiz kılınmıştır.



Klonlama

Klonlar aynı genleri paylaşan organizmalardır: Eşeysiz üreyen bir canlı kendi klonlarını üretir. Tek yumurta ikizleri, üçüzleri ve diğerleri de klonlardır. Klonlama ise eşeyli üremeyle çoğalan (genellikle hayvan olan) organizmalardan suni yollarla genetik olarak benzersiz yavrular üretilmesidir. Bilimkurgu yazarlarının hayal ettiğinden farklı olarak suni bir klon, genetiği büyük oranda ebeveyniyle aynı olan ancak katiyen onun bire bir kopyası olmayan bir canlıdır. Öncelikle aralarına zaman girer çünkü bir klon daima ebeveyninden daha gençtir. Aynı zamanda daha farklı çevrelerde gelişirler ve bu da yetişme şekillerini etkileyebilir. Bugüne dek kurbağalardan develere birçok hayvan klonlanmıştır ancak girişimlerin birçoğu halen anomalilerle sonuçlanmaktadır. Öyleyse neden klonlamakla uğraşmalı? İşin doğrusu, klonlama belirli bir genetik materyalin değiştirilmeden aktarılacağından emin olunması için bir genetik mühendisinin alet çantasında bulundurduğu kuvvetli bir araçtır. Klonlama aynı zamanda tedavisi mümkün olmayan hastalıkların düzeltilebilmesi için güçlü hücrelerin üretilmesine olanak sağlayan kök hücre araştırmaları (bkz. s. 400) ile de yakından ilişkilidir.

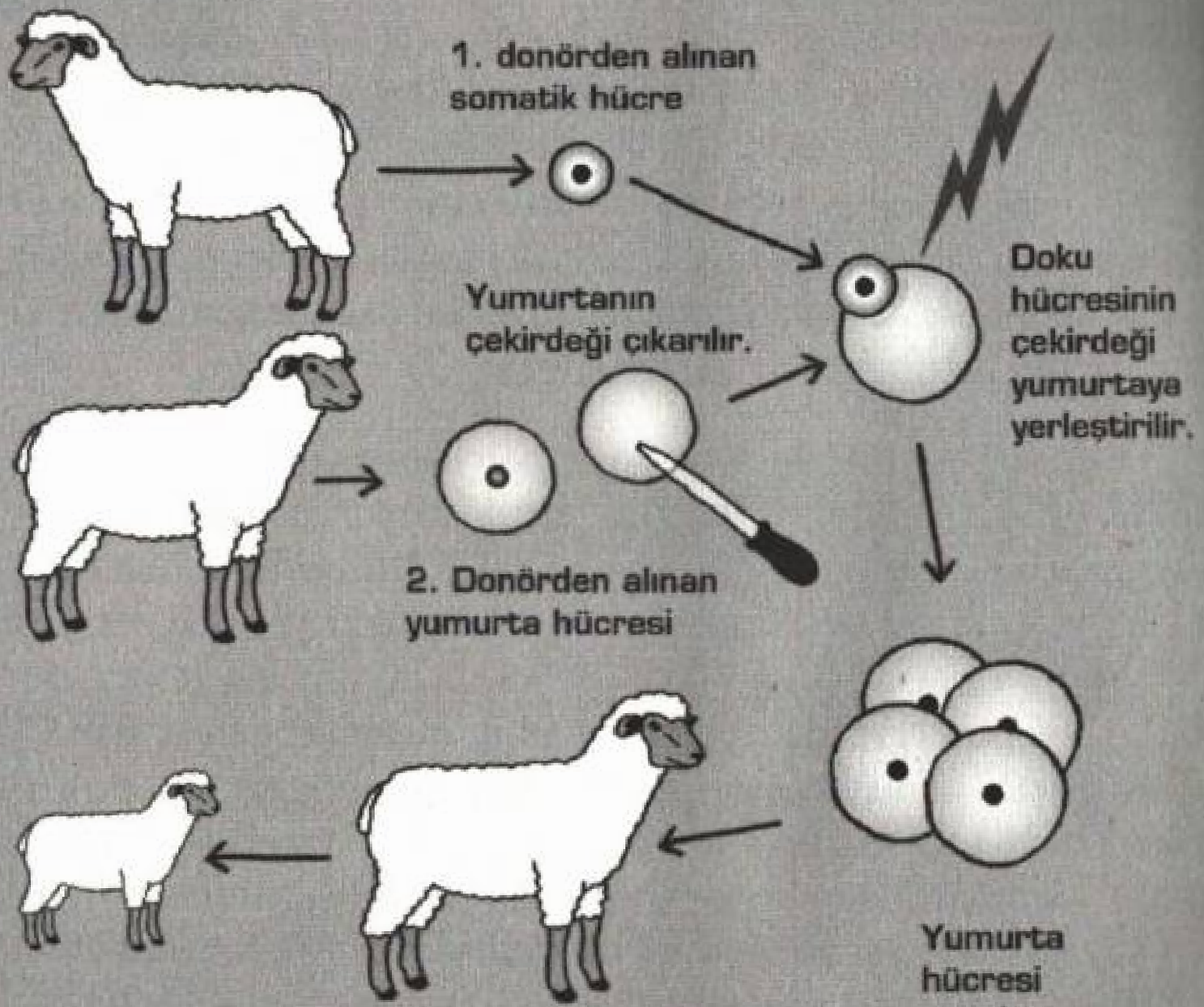
İber keçisinin Pirene alt türünün soyu 2000 yılında tükenmiş olsa da, deri hücreleri klonlanmıştır ve bir gün yeniden var edilebilmeleri ümidiyle saklanmaktadır.



Çekirdek Transferi

Klonlamanın bu çeşidi döllenme aşamasını atlayarak doğrudan yumurtadan zigot elde edilmesini hedefler. Bunun için yumurtanın çekirdeği ve haploit kromozom seti çıkarılır. Enükleasyon olarak adlandırılan bu işlem, tamiri mümkün olmayan bir zarar vermeden membranı delebilecek çok ince bir mikropipet yardımıyla, tüm organelleri ve diğer içeriği ovumda bozulmadan kalacak şekilde elle gerçekleştirilir. Daha sonra somatik bir hücrenin bir tam kromozom seti taşıyan çekirdeği yumurtaya yerleştirilir. Bu, yumurtayı diploit bir hücre yapar ancak her şey bu kadar basit değildir. Ovumun sitoplazması, orijinal evi olan hücrede büyük oranda kullanılmayan yeni kromozomların yeniden ayarlanmasına izin veren elementleri barındırır. Bu sıfırlama sürecine hücreye gönderilen elektriksel bir uyaran ve muhtemelen klon araştırmacıları tarafından kullanılan (ve dikkatle saklı tutulan) başka karmaşık işlemler de yardımcı olur. Sıfırlandıktan sonra hücre bölünerek orijinal somatik hücrenin klonu olacak olan embriyoya gelişme yetisine sahip olur. Bu yolla üretilen klonlar genellikle kök hücre hasadı için kullanılmaktadır, ancak tamamen olgunlaşmış bir hayvana dönüşecek şekilde büyütülmeleri de mümkündür.

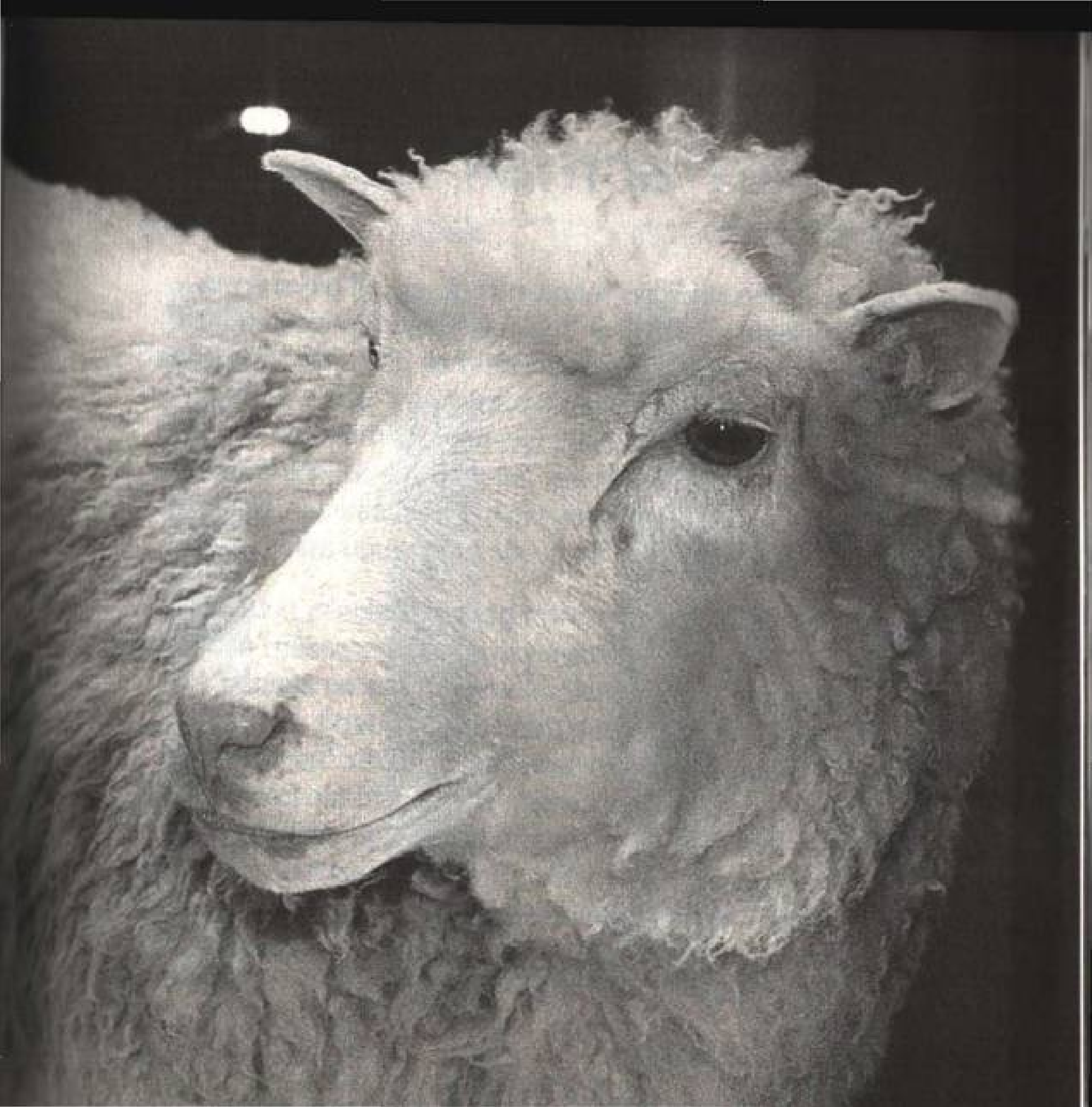
Çekirdek transferi ile klonlama



Koyun Dolly

Muhtemelen dünyanın en ünlü koyunu olan Dolly başarılı bir şekilde klonlanabilen ilk memelidir. İskoçya'da 1996'da gerçekleşen doğumu büyük bir sansasyona sebep olmuştu. Dolly çekirdek transferiyle üretilmişti: Annesinin memesi (ya da süt bezlerinden) alınan somatik hücrelerden oluşturulan Dolly'nin ismi bir country şarkıcısından esinlenilmiştir.

Hücre çekirdeği başka bir koyundan alınan yumurtaya yerleştirilmiştir, yani Dolly'nin kromozomları somatik hücre donöründen gelirken mitokondriyal DNA'sı yumurta donöründen alınır. Transfer başarılı olduğunda Dolly'nin zigotu onu doğuma kadar taşıyacak olan üçüncü bir koyunun rahmine yerleştirilmeden önce laboratuvarda blastula aşamasına kadar getirilmişti (bkz. s. 138). Bu nedenle Dolly gibi bir klonun aslında üç ebeveyni olduğu ileri sürülebilir. Uluslararası bir süperstar olan Dolly'nin ünü, onun büyük oranda kapalı kapılar ardında tutulmasına sebep olmuştu. Koyunların çoğu yaklaşık on iki yıl yaşarken, iç mekânda yaşayan koyunlarda sıkça görüldüğü üzere Dolly de bir akciğer enfeksiyonu nedeniyle hayatını normal süresinin yarısındayken kaybetmişti.



Genetik Parmak İzi

Parmak izi birinin kimliğini tespit etmek için iyi bir araçtır. Etkili bir şekilde eşsizdir ve uygun bir biçimde incelendiği zaman yanlış insana işaret etmeleri ihtimali göz ardı edilebilecek kadar düşüktür. Bu durum "genetik parmak izi" ya da daha doğru ifade etmek gerekirse DNA profili için de geçerlidir. Bu profil tüm genomun haritasını çıkarmaz, daha ziyade iki DNA örneğini karşılaştırmanın bir yoludur. Eğer bir suç mahallinden alınan DNA şüphelininki ile eşleşirse, kişinin orada bulunduğu anlaşılır.

Buna benzer bir teknik de bireylerin genetik ilişkisini ortaya çıkarmak için uygulanır. Bu sistem bir probleme çözüm sağlamak amacıyla 1984'te İngiliz genetikçi Alec Jeffreys tarafından geliştirilmişti: İnsan DNA'sının yüzde 99,5'i özdeşti. Jeffreys bu nedenle DNA'daki ardışık tekrarları, yani aynı baz "harflerinin" birçok kez yinelendiği noktaları aradı. Bunun için bir DNA örneği kesilerek tekrarlanan belirli kısımların bulunduğu parçalar artırılır, yani çok sayıda kopyası üretilir. Bu parçaların belirli bir uzunluğu vardır ve bu özellik akrabalarla paylaşılır. Bu da örneğin boyuta göre ayrılması durumunda diğerleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlayan benzersiz bir desen ortaya çıkarır.

Test edilen şüpheliler

Suç mahalli



1. Şüpheli



2. Şüpheli



3. Şüpheli

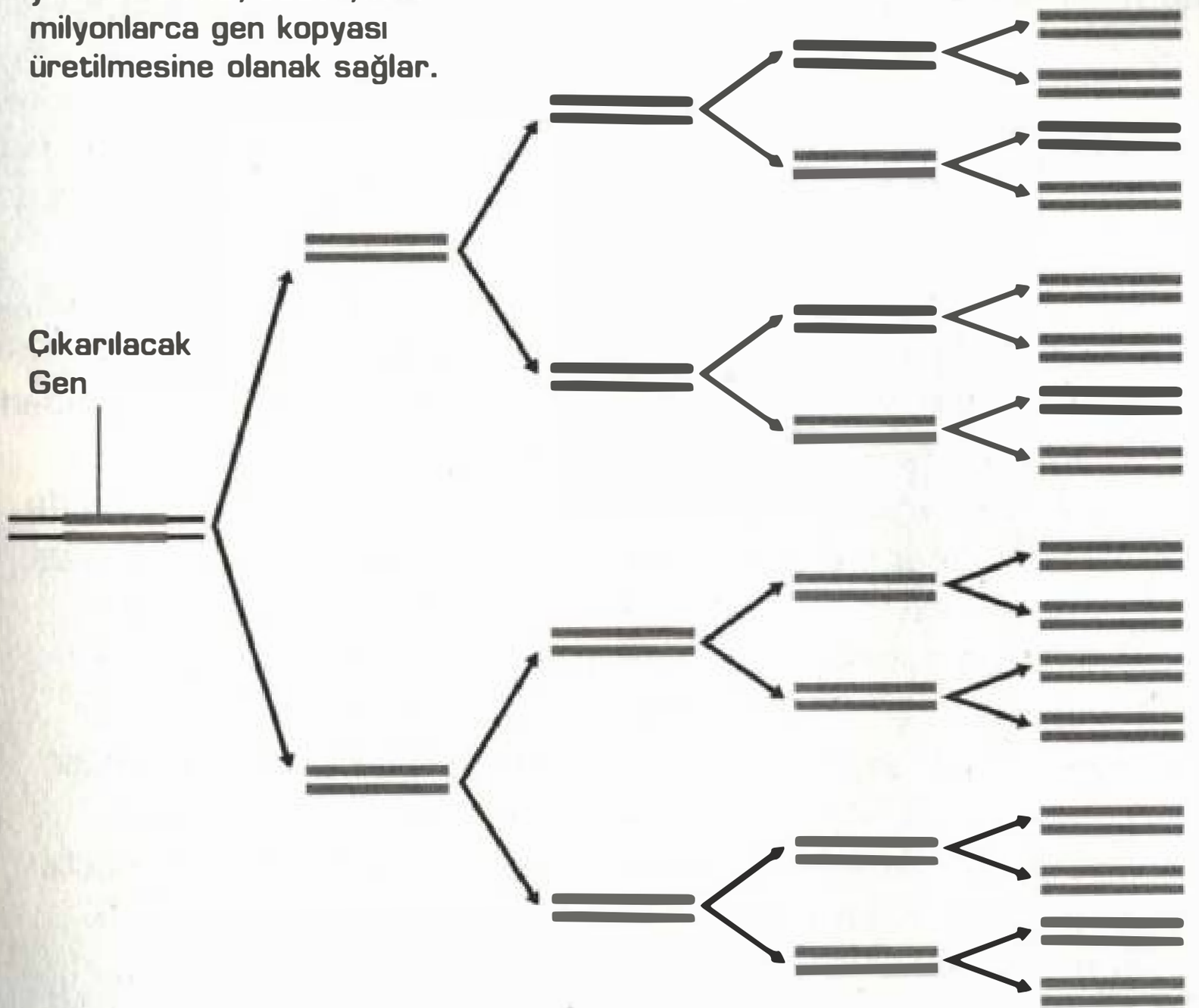


Polimeraz Zincir Reaksiyonu

Polimeraz, hücre çekirdeğinde bir DNA ipliğinin okunması ve eşlenmesi için kullanılan bir enzimdir. Genetikçiler bu kopyalama mekanizmasından spesifik DNA parçalarının seri olarak üretilmesi için faydalanabilir. En sık kullanılan teknik, 1983'te icat edilen ve genetik profil çıkarılmasının yanı sıra istenilen herhangi bir sayıda DNA numunesi üretilebilmesine de olanak sunan polimeraz zincir reaksiyonudur (PCR).

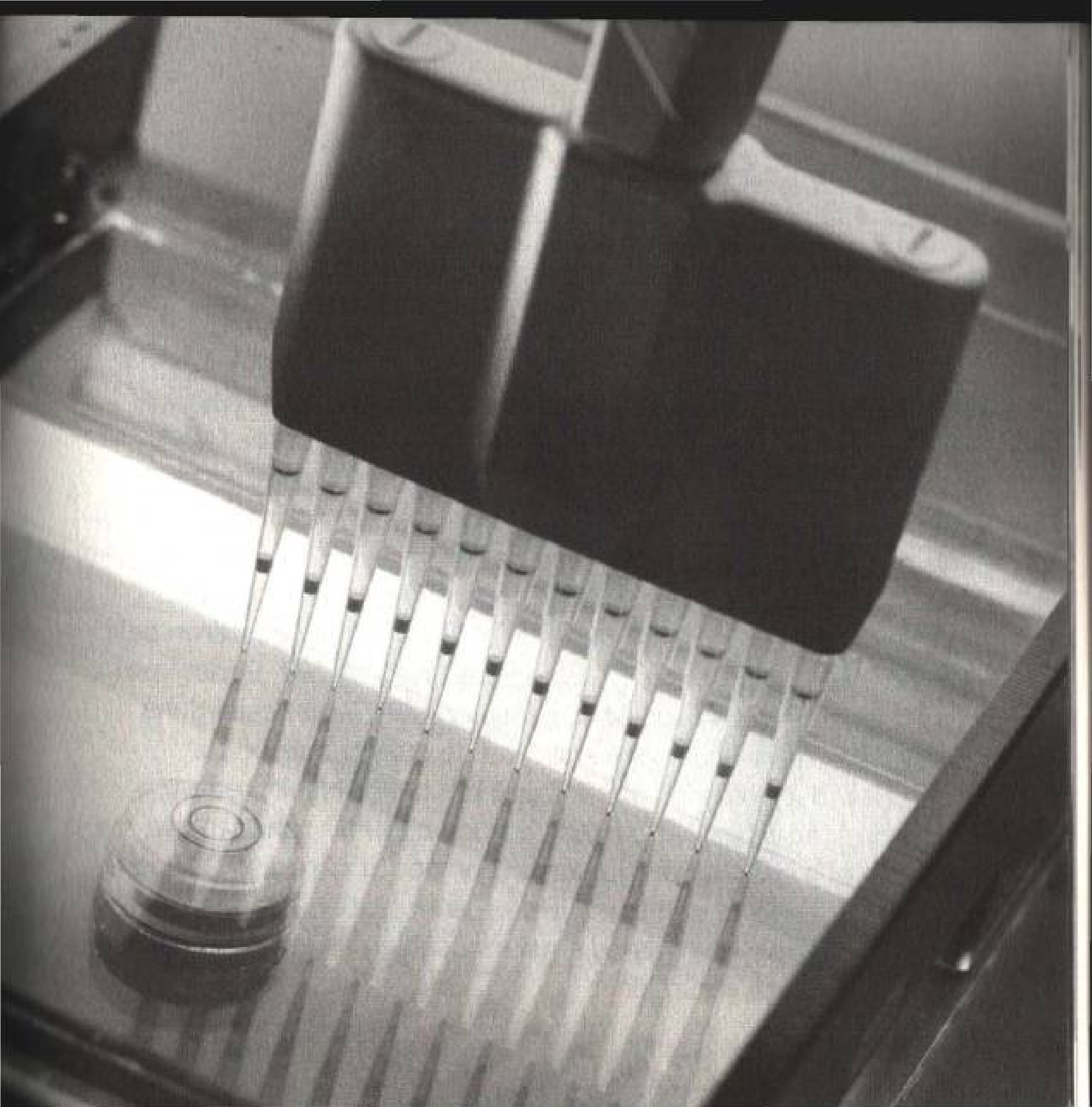
İşlem (halen daha büyük olan iplikte bulunan) bir hedef DNA parçasının polimeraz enzimleri, bir nükleotit bazı stoku ve primer olarak adlandırılan moleküllerle harmanlanmasıyla başlar. Primerler, hedef DNA'ya bağlanarak polimerazın kopyalamaya başlayacağı noktaları işaretlemeleri için kodlanan kısa DNA zincirleridir. PCR her biri üç aşamadan oluşan bir dizi döngüyü kapsar. Öncelikle sarmalın ayrılması için DNA ısıtılır. Daha sonra primerler bağlanır ve son olarak da polimerazlar hedef DNA'yı (ve orada bulunan herhangi bir şeyi) kopyalar. Bu döngü daha çok kopya oluşturmak amacıyla tekrarlanır ve (yaklaşık olarak dört saat süren) yalnızca otuz döngüde tek DNA numunesinden bir milyar numune üretilebilir.

Zincir reaksiyonun gücü, yalnızca birkaç saat içinde milyonlarca gen kopyası üretilmesine olanak sağlar.



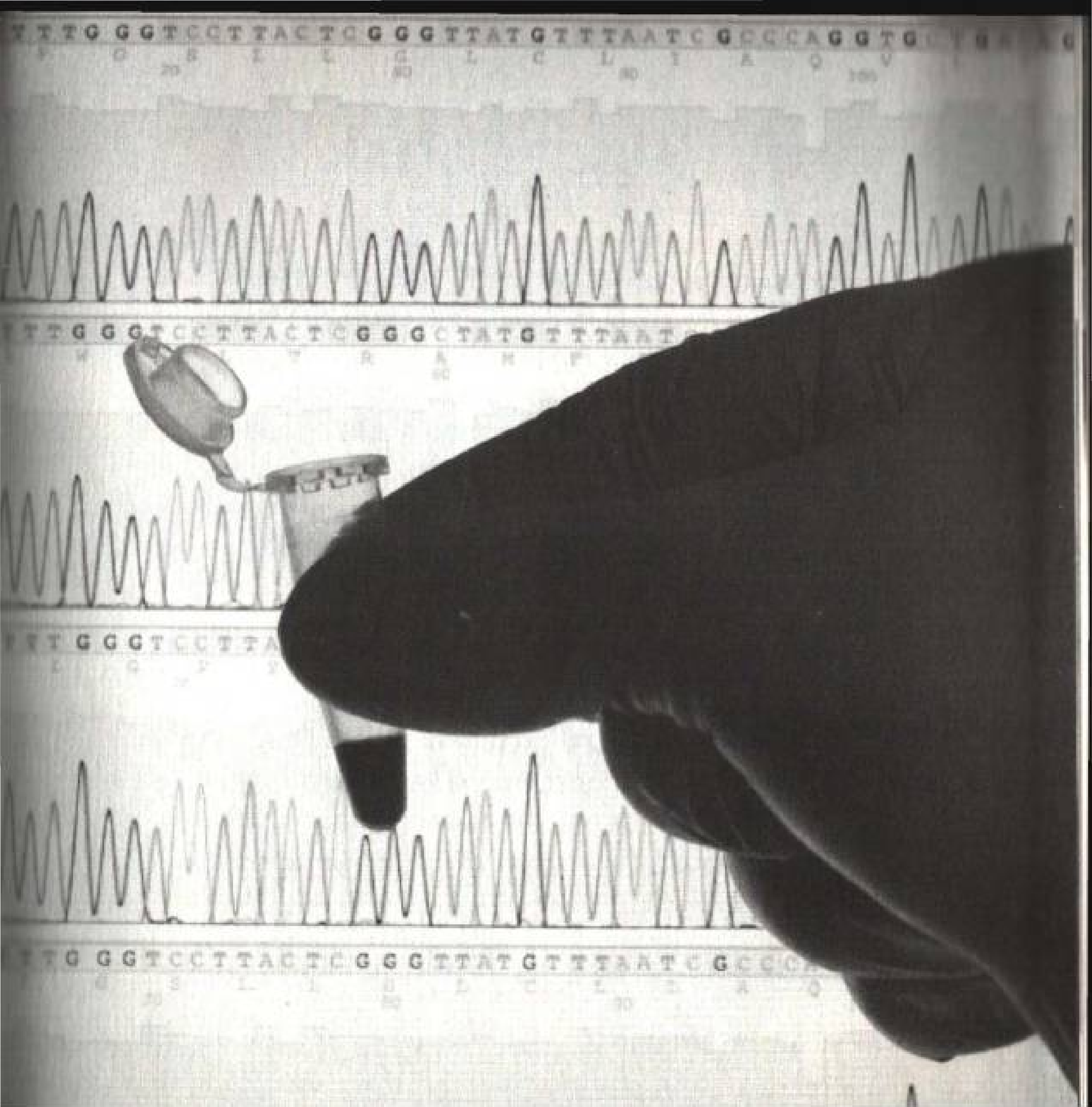
Elektroforez

DNA parçalarının ve proteinler gibi diğer büyük biyokimyasalların ayrıştırılması için elektroforez olarak adlandırılan bir işlemden faydalanılır. Yöntem dağınık bir DNA ve boya karışımının jel tabağının bir ucuna yerleştirilmesiyle işler. (Bu jel genellikle deniz yosunlarından elde edilen jöle benzeri bir polimer olan agardan yapılır.) Jel, tampon denilen iletken bir materyale batırılır ve içinden bir elektrik akımı geçirilir. DNA, şekerlerden oluşan "omurgasını" bir arada tutan fosfat iyonlarından ötürü negatif yüklüdür ve bu da tampondaki negatif elektrodun aksi yönünde, yani pozitif elektroda doğru taşınacakları anlamına gelir. Tüm DNA jelde kalın boya bantları oluşturacak şekilde birlikte hareket eder. Yeterli zaman tanındığında bu bantlar daha ince bantlara ayrılır. Bunlar da her biri aynı sayıda baz çifti içeren bir grup DNA parçasını ifade eder. Daha kısa olan DNA parçaları daha uzun olanlara kıyasla daha fazla uzaklaşır. Bir jel birden fazla numuneyi taşıyabilir ve sonuçta her numune jelde belirli bir bant deseni oluşturur (bkz. s. 389). Böylelikle bu desenler bir DNA "merdiveni" olarak kullanılabilir: Boyutu bilinen iplikler diğer numunelerdeki bantların ölçülerini tahmin etmek için kullanılabilir.



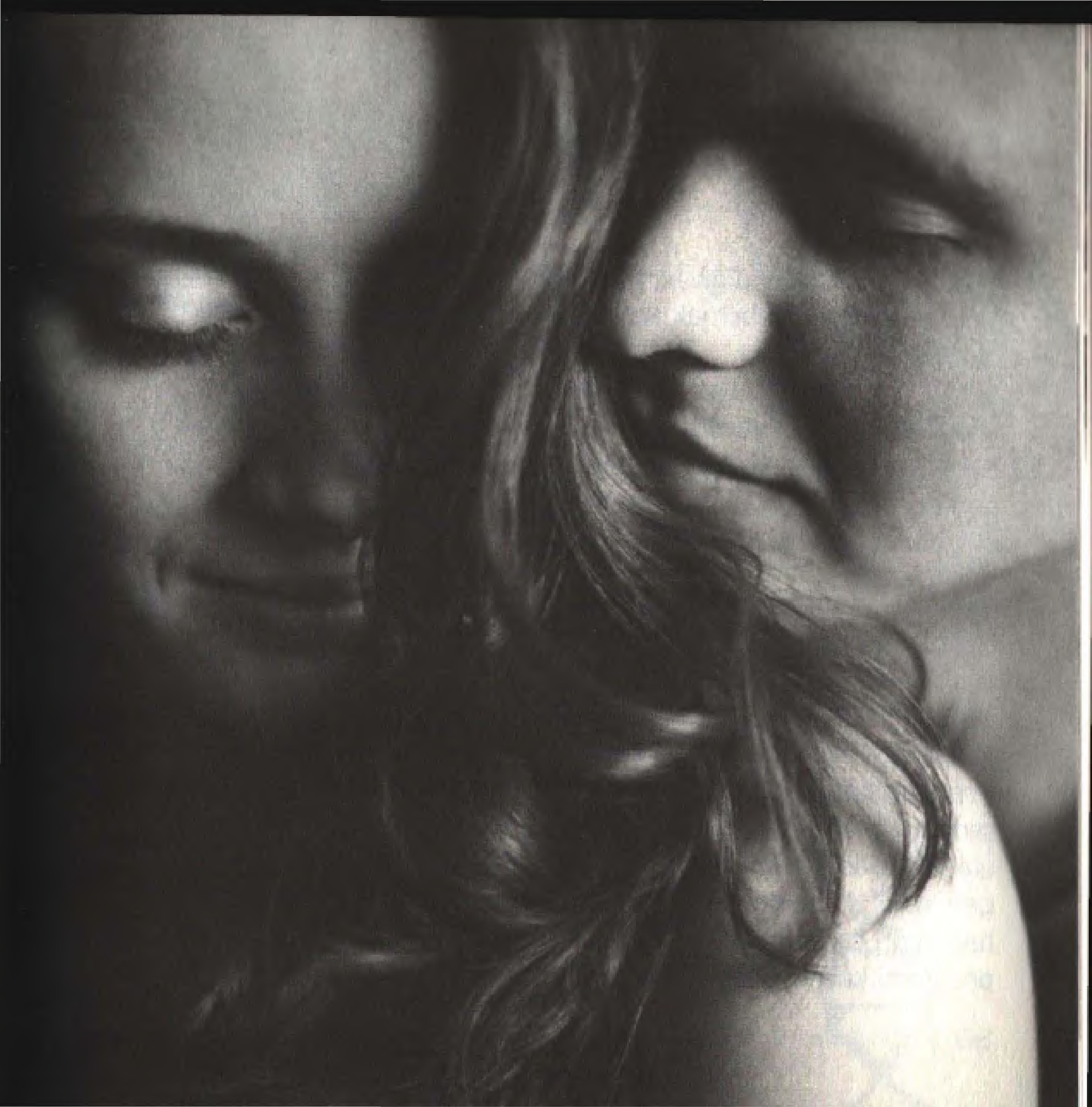
Gen Testi

Birtakım hastalık ve bozukluklar kalıtım ile büyük ölçüde bağlantılıdır. Lakoz toleranssızlığı, porfiri ve kimi kron hastalıklarını da kapsayan bu problemlerin tam listesi çok uzundur. Bu tür zararlı genetik özelliklerin varlığının ortaya çıkarılması için potansiyel ebeveynlerde uygulamak üzere tıbbi testler geliştirilmiştir. Down sendromu (bkz. s. 334) gibi kromozomal bozukluklar söz konusu olduğunda yapılan test bir karyotiptir: kromozomları bir bütün olarak inceler (bkz. s. 322). Bir hastalık tek bir genle ilişkiliyse, testler genellikle o genin neden olduğu sonuçları arayacaktır. Bu, genin iş başında olduğunu gösteren belli bir proteinin ya da bir metabolitin mevcudiyeti olabilir. Genetikteki ilerlemeler belirli DNA kodları için testlerin geliştirilmesini daha kolay (ve çok daha ucuz) kılmıştır. Yine de günümüzde bu tür kimi bozukluklar ilaçlarla yatıştırılabilirken henüz hiçbiri tedavi edilememektedir. Negatif bir test sonucu bariz bir rahatlamaya sebep olsa da, genetik testin sonucunun pozitif olması üzüntüden başka pek de bir şey sağlamaz. Bu nedenle testler, hastaların neticelere dair bir kavrayış edinmelerini sağlamak amacıyla genetik rehberlikle birlikte yürütülür.



Genetik Çöpçatanlık

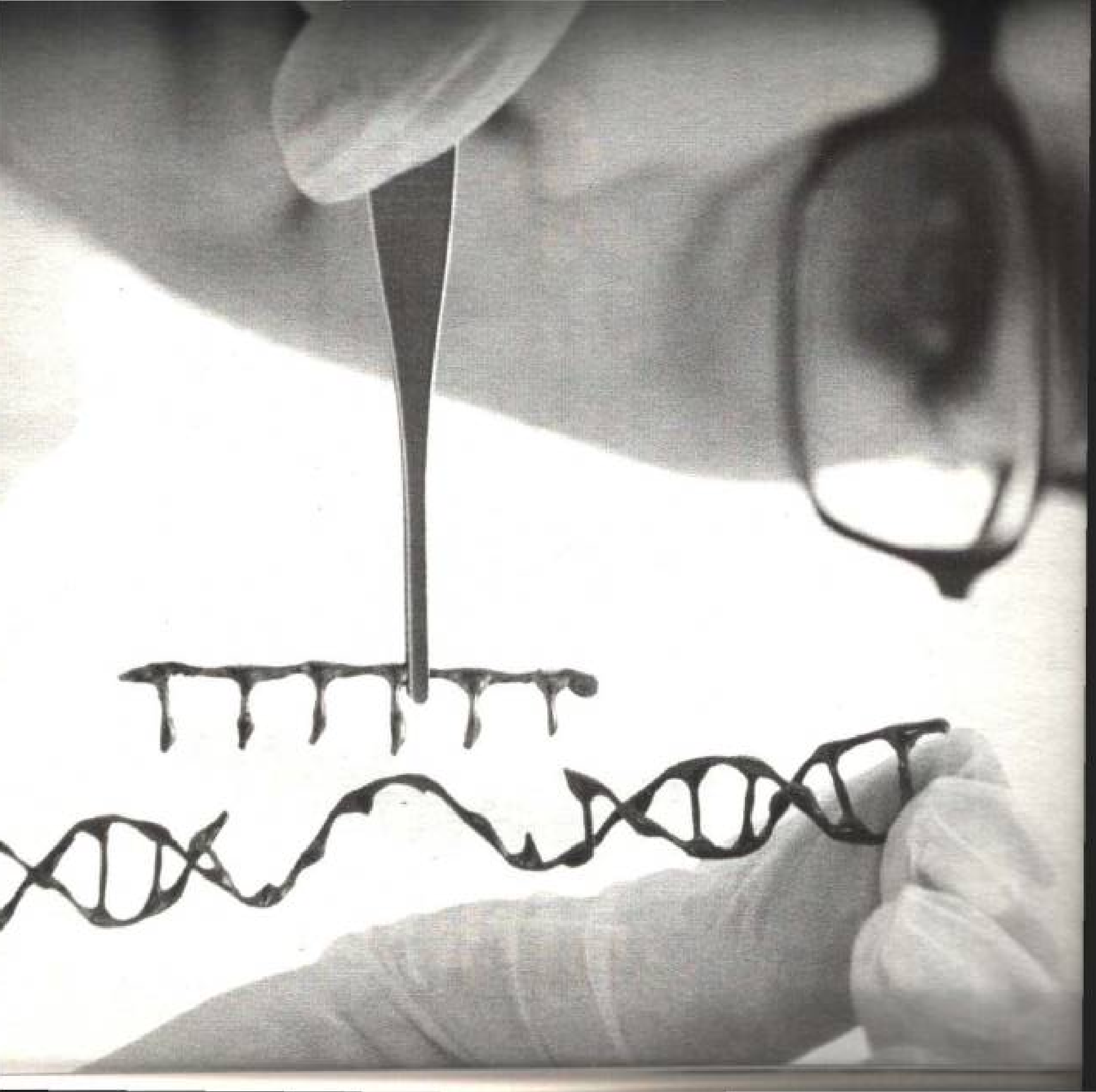
Kadınların koku alma duyusu genellikle erkeklerinkinden daha keskindir. Bunun evrimsel nedenlerinden biri besinlerde bulunan ve anne sütü aracılığıyla yavrularına geçebilecek toksinleri saptamaktır, ancak bunun eş seçimiyle de bağlantılı olduğu görülmektedir. Meşhur "terli tişört" deneyi 1995 yılında İsviçreli biyolog Claus Wedekind tarafından gerçekleştirmişti. Wedekind erkek katılımcılardan arka arkaya iki gece boyunca uyurken aynı tişörtü giymelerini, daha sonra kadın katılımcılardan da bu tişörtlerin kokularını oranlamalarını istemişti. Sonuçlar belirli bir tişörtün diğerlerine kıyasla daha çekici bulunmadığını ancak kadınların kendilerinden daha farklı HLA profillerine (bkz. s. 328) sahip erkekleri tercih etme eğiliminde olduklarını göstermişti. Bunun ardında yatan neden bariz görünüyor: Farklı HLA'ya sahip bir partner seçmek yavrunun hastalıklara karşı daha iyi mücadele edebileceğini garantilerken, eşin yakın akraba olması ihtimalinin de daha düşük olduğunu ortaya koyar. Uzmanlar bu bulguları basite indirgeme olarak değerlendirip dikkate almasa da, günümüzde firmalar bu keşiflerin ışığında romantizmdense bilimi önceliklendiren çiftlere genetik profil çıkarma hizmeti sunuyor.



Gen Terapisi

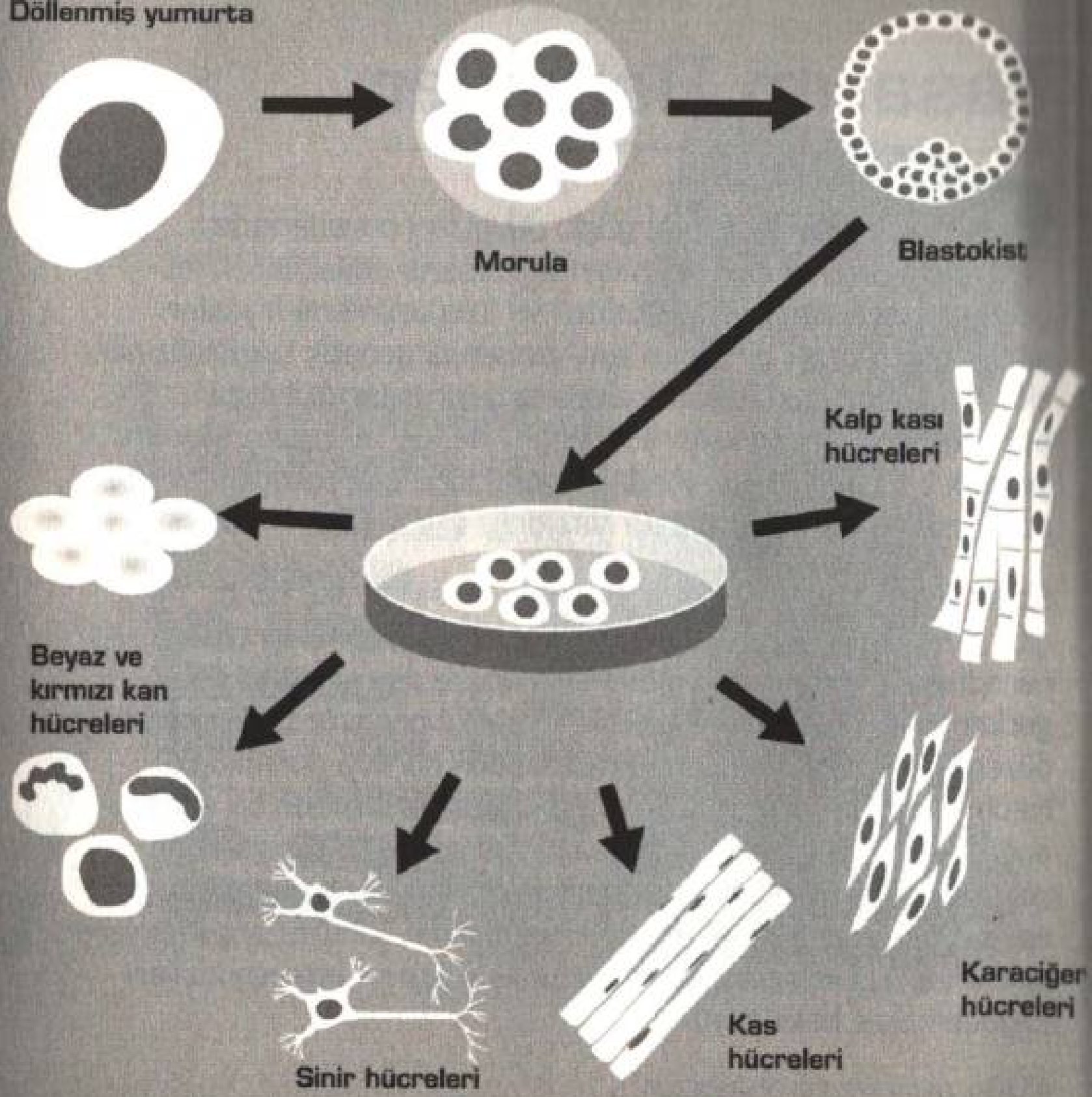
Kusurlu genleri diğerleriyle değiştirmenin ve hatta hastalıklarla mücadele edebilmek amacıyla yeni genler eklemenin mümkün olduğunu hayal edin... Tıbbın yeni bir alanı olan, 1980'lerin sonlarından bu yana yavaş ancak emin adımlarla ilerleyen ve içinde bir devrim yaratma potansiyeli barındıran gen terapisinin hedefi budur. Herhangi bir şeyin ters gitmesi durumunda son derece ciddi tehlikeler meydana gelebilir, ancak başarılı olunabileceğine dair işaretler de baş göstermektedir.

Genler vücuda bir vektör, yani bir tür taşıyıcı mekanizma ile tanıtılır. Virüsler iyi birer vektör olmalarına rağmen bağışıklık sisteminin saldırısına uğrayabilir ve suni bir insan virüsünün doğaya karışabileceği olasılığı da bilimkurgu kâbusu konusu olabilir. DNA'nın doğrudan kana enjekte edilmesinde olduğu gibi viral olmayan vektörlerin başarı şansı kısıtlıdır. Ancak başarı nasıl tanımlanmalı? DNA'nın en azından hastalıktan etkilenen dokuya ulaştırılması hedeflenmelidir. Ancak vücudun geri kalanı da bozuk geni taşır, tabii herhangi bir yavru da... Bundan dolayı, germ hattı gen terapisi kusurlu geni aile ağacından tamamen silerek problemi kaynağından çözmeyi hedefler.



Kök Hücre Tedavisi

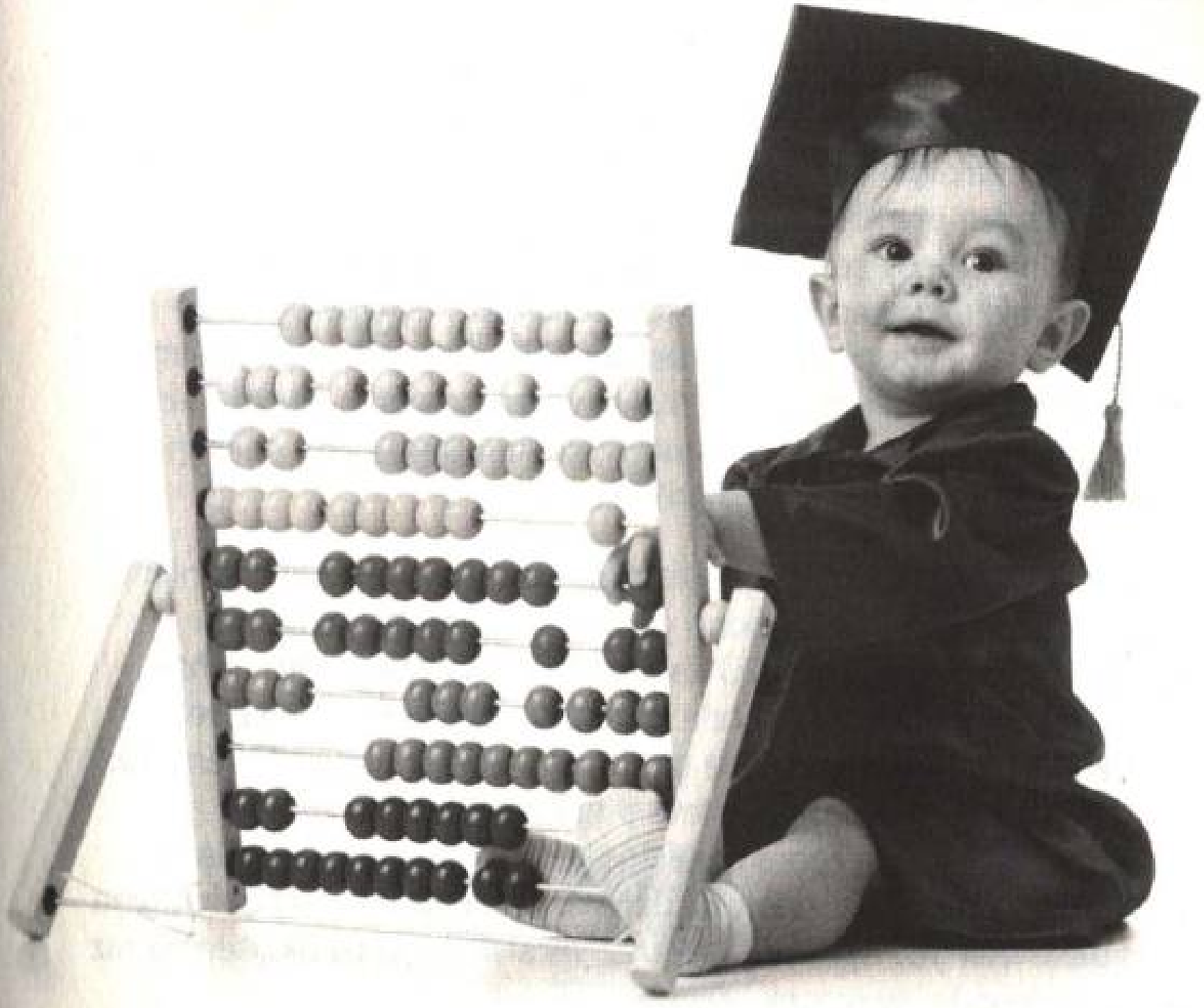
Genetik teknolojisinin gelecekteki en müjdeli faydası, vücudu oluşturan sistemleri aksi halde tedavisi mümkün olmayan problemleri çözmek amacıyla kullanmayı hedefleyen kök hücre tedavisi olacaktır. Kendilerini herhangi bir hücre türüne dönüştürme yetisine sahip olan kök hücreler çok hücreli bir organizmanın başlangıç noktalarını teşkil eder (bkz. s. 143). Bu hücreler erişkin bedende de mide zarının inşası, kan hücrelerinin üretimi gibi roller üstlenir, ancak gelişimin tamamlanması durumunda vücudun kök hücreleri büyük oranda devre dışı kalır. Kemik iliği nakli bir kök hücre tedavisi türüdür. Bir donörden alınan sağlıklı kök hücreler, lösemi adi verilen kan hastalığından muzdarip kişilerin kemiklerine yerleştirilerek eski iliğin yerini alır ve kanı sağlığına kavuşturur. Vücut sinirler, kemikler, gözler gibi unsurlardaki ağır yaralanmaları onaramaz. Bu nedenle araştırmacılar bu tür hasarları da kök hücreler aracılığıyla düzeltmeyi ummaktadırlar. Vücudun başka bir bölgesinden alınabilecek olan bu hücreler "sıfırlanarak" herhangi bir yerde işler hale getirilebilir ya da (ihtilaflı bir konu da olsa) bu amaç için klonlanmış bir embriyodan hasat edilebilir. Henüz bunun için biraz erken de olsa, elde edilmiş birçok başarı kök hücre tedavisinin gelecekte gündelik tıbbın bir parçası olacağına işaret ediyor.


Döllenmiş yumurta
Morula
Blastokist
Kalp kası hücreleri
Beyaz ve kırmızı kan hücreleri
Sinir hücreleri
Kas hücreleri
Karaciğer hücreleri

Tasarım Bebekler

Tasarım bebekler ifadesi güçlü duyguları beraberinde getirmesinin yanı sıra, bebekleri sipariş edilebilecek (el çantaları, ayakkabılar gibi) kaliteli ve lüks ürünlerle kıyaslar niteliktedir. Ancak bu tanım aynı zamanda genetik teknolojisinin, aksi halde çocuğun hayatını zindana çevirebilecek kalıtsal bozuklukları ortadan kaldırabileceğini de içermektedir. Modern genetik biliminin birçok yönünde görüldüğü gibi teknoloji bir kez daha etik tartışmaları önüne katıyor.

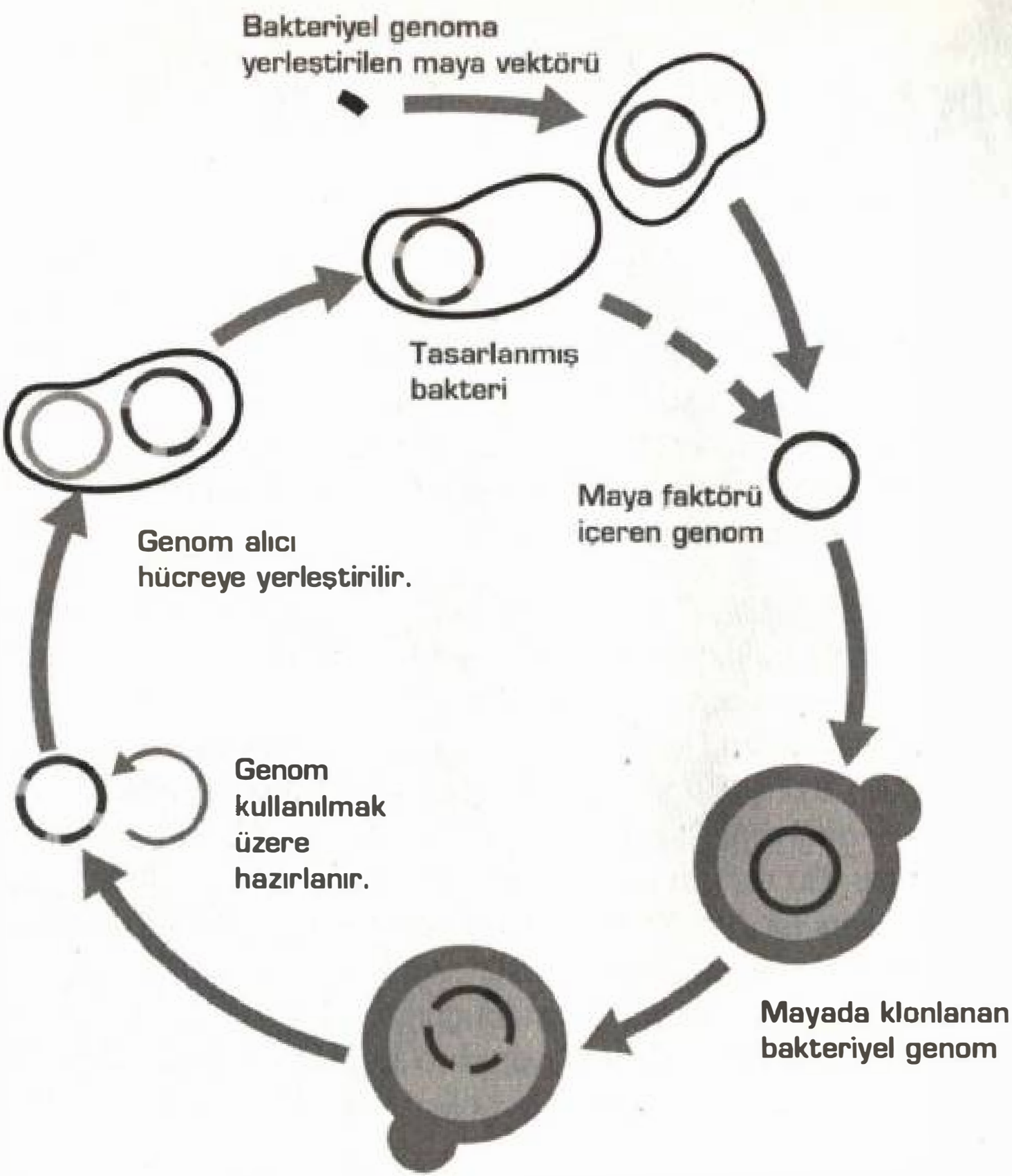
Spermi, yumurtayı ya da embriyoları cinsiyet, saç rengi gibi yüzeysel genetik özellikleri için elemenin etik dışı olduğu neredeyse evrensel anlamda kabul görse de, günümüzde genomdaki hastalık yapan genleri sağlıklı genlerle değiştirerek düzenlemek artık mümkün. Fakat neden burada durmalıyız? Neden zekâ ve dış görünüş için en ideal genlerin de bu sürece dahil olacağından emin olmayalım? Öncelikle bu tür genlerin var olup olmadığını henüz bilemiyoruz. Peki, bu hipotetik çizgi nereye çekilmeli? Klinik müdahalenin lehine sunulan argümanlara direnmek oldukça güç; ancak daha ileri gitmek isteyen kişileri engellemekte haklı mıyız?



Sentetik Biyoloji

Gelecekten gelen bir makine hayal edin; kaldırmak ve kaydırmak için kullanılan bir araç olsun. Bu makineleştirilmiş yığın metal ve plastikten mi oluşuyor yoksa et ve kemikten mi? Biyolojik vücut şekillerini robotlarda kopyalıyoruz, öyleyse neden biyolojik materyaller de kullanmayalım? Hatta daha da iyisi; neden bu ikisini birleştirmeyelim? Bu fütürist vizyon bilim insanlarının genetik, hücre biyolojisi ve anatomiden faydalanarak bir organizmayı sıfırdan yaratmayı hedefledikleri, yeni gelişen bir alan olan sentetik biyolojinin ürünü olurdu.

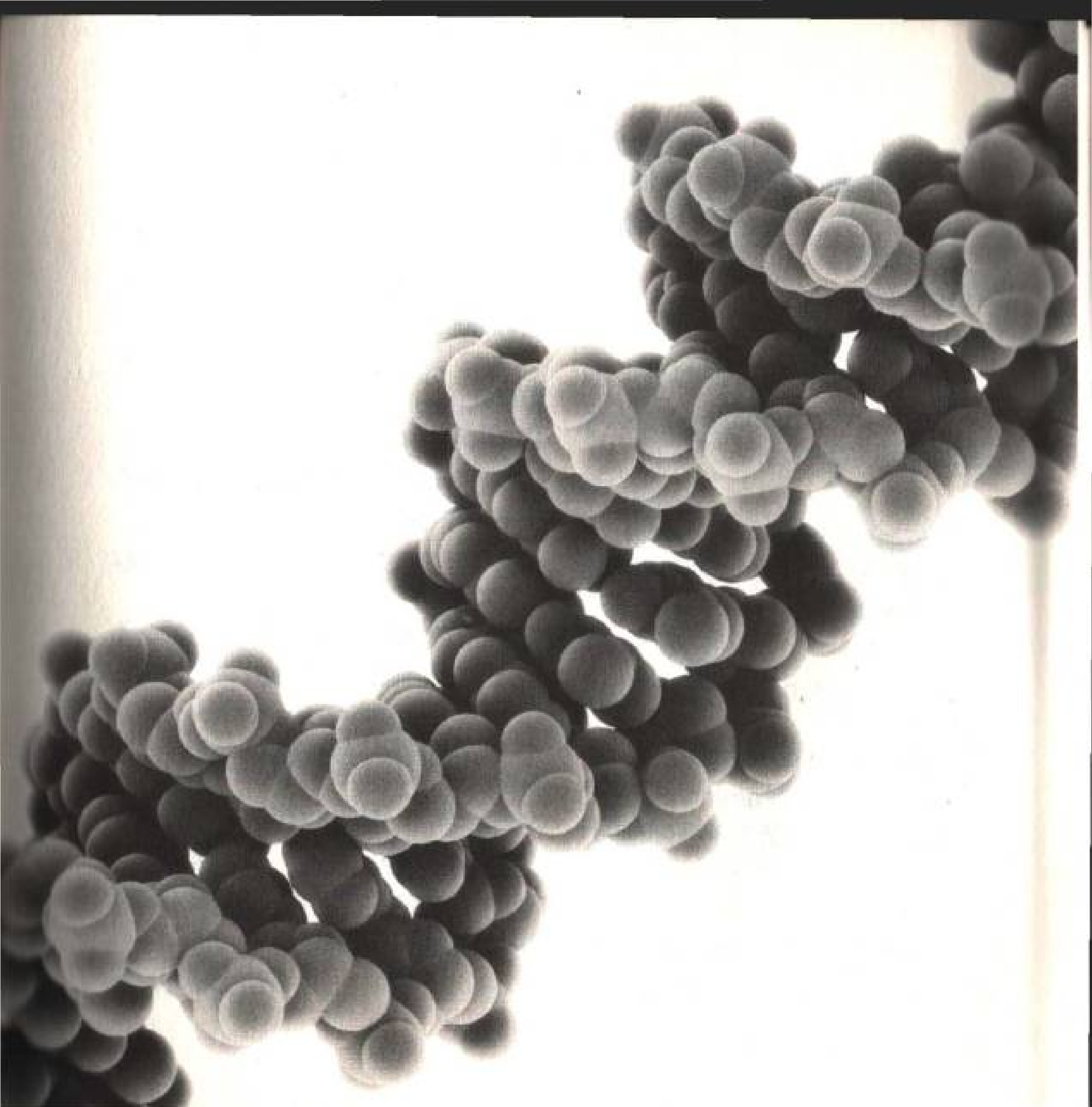
İlk suni bakteri, önceden var olan bir bakterinin DNA'sı çıkarılarak yerine mühendisler tarafından yazılan sentetik bir genomun yerleştirilmesi yoluyla 2010'da üretildi. Daha yakın bir tarihte ise mühendisler hücre zarında kullanılan aynı lipitlerle hücre benzeri veziküller ürettiler ve şimdi de biyolojik olmayan sentetik materyallerden, tamamen işlevsel hücreler oluşturmayı hedefliyorlar. Bunun zamanı belki yıllarla değil ancak on yıllarla ölçülebilir. Yine de biz genler, hücreler ve bedenin nasıl çalıştığına dair daha çok şey öğrendikçe kendi versiyonlarımızı oluşturmamız gittikçe daha kolay olacak.


Bakteriyel genoma
yerleştirilen maya vektörü
Tasarlanmış
bakteri
Maya faktörü
içeren genom
Genom alıcı
hücreye yerleştirilir.
Genom
kullanılmak
üzere
hazırlanır.
Mayada klonlanan
bakteriyel genom

XNA: Yapay DNA

"Xeno nükleik asitler" anlamına gelen XNA, bir DNA ve RNA'nın yapabileceği herhangi bir işlemi gerçekleştirebilen kimyasalları ifade eder. (Xeno Yunancada "yabancı" anlamına gelir.) Araştırmacılar ilk defa önceden programlanmış bir XNA ipliği aracılığıyla protein sentezlemeyi 2015 yılında başardılar. Yine de doğal dünyanın en güçlü yaratımlarından biri olan DNA'yı neden yeniden icat etmeliyiz?

Sentetik nükleik asitler ilk aşamada evrimsel biyologlar Dünya'nın ilk zamanlarındaki RNA ve DNA'larla rekabet etmiş olabilecek alternatifleri araştırırken üretilmişlerdi (bkz. s. 314). Bundan bir sonraki adım DNA'nın şeklini ve işlevini yansıtabilecek, aynı nükleotit baz çiftlerini kullanan ancak kimyasal saldırılara ve sıcaklık değişimlerine çok daha dirençli olan XNA'ları inşa etmek olmuştu. Bu durum sarsıcı olasılıklar doğurmuştu: XNA, belki de yepyeni bir üst âlemin ortaya çıkarılmasına neden olarak, sentetik hücrelerde kullanılabilir miydi? Ya da daha yakın bir olasılık göz önünde bulundurulduğunda; belki de gen tedavisinden faydalanarak DNA, daha dayanıklı olan XNA ile değiştirilecek ve bize genomumuzu yapay yolla geliştirme imkânı sağlayacaktı.



Terimler Sözlüğü

Adaptasyon
Bir organizmanın bulunduğu çevrede hayatta kalmasını sağlayan fiziksel ya da davranışsal bir özellik.

Alel
Bir genin bir versiyonu; örneğin, göz rengi geninin birkaç aleli mevcuttur.

Amino asit
Nitrojen içeren bir organik bileşik; proteinleri amino asit zincirleri oluşturur.

Diploit
Her setin bir ebeveynden kalıtım yoluyla alınması suretiyle bir çift genetik materyal seti bulunduran hücreyi ifade eder.

DNA
Deoksiribonükleik asit; yapısı genetik bilgiyi saklayan, merdiven benzeri, spiral bir molekül.

Ekzon
Genetik materyalin bir gen için kod barındıran bölümü.

Endosimbiyoz
Ökaryot hücrelerin birlikte yaşayan ve işlev gösteren daha küçük prokaryot hücrelerden nasıl gelişmiş olabileceğine dair bir teori.

Enzim
Yaşam için gerekli olan belirli bir reaksiyonu kontrol ederek metabolizmada rol alan bir protein.

Evrim
Organizmaların kalıtım yoluyla edinilen özellikler ve dışarıdan gelen etkiler nedeniyle zaman içinde gerçekleştirdikleri dönüşüm.

Fenotip
Bir organizmanın genotip tarafından oluşturulan fiziksel ve davranışsal özelliklerinin tanımı.

Gen
Kalıtım birimi. Belli bir proteini ya da belirli bir kalıtımsal özelliği kodlayan bir DNA ipliği olarak düşünülebilir.

Gen havuzu
Bir popülasyonda bulunan alellerin toplamı.

Genom
Bir türün genlerini ve kodlamayan DNA'sını içeren genetik materyalinin tamamı.

Genotip
Bir organizma tarafından taşınan alellerin tanımı.

Haploit
Tek bir gen seti bulunduran hücreyi ifade eder.

Hücre
Tüm organizmaları oluşturan ve kendine yetebilen en küçük yaşam birimi.

İntron
Kalıtım yoluyla edinilen DNA'daki kodlanmayan genlerin bilgilerini taşıyan bölüm.

Kodon
Bir gen tarafından kodlanan daha büyük bir proteindeki amino asidi ifade eden üç moleküllük birim. Antikodon ise genetik kodlamada kullanılır ve bir kodonun ayna görüntüsüdür.

Kromatit
Kopyalanmış bir kromozom; kromatitler genellikle birbirleriyle eşleşir. Ancak kromozomlar olarak tek başlarına da faaliyet gösterebilirler.

Kromozom
Karmaşık organizmaların hücre çekirdeklerinde bulunan genetik materyalin taşıyıcısı.

Mendel genetiği
1860'larda Gregor Mendel tarafından formüle edilen genetiğin ana fikirlerini ifade eder.

Mutant
Yeni bir alel ya da mutasyona uğramış bir gen taşıyan organizma.

Nükleotit
DNA ve RNA'da bulunan bir nükleik asit kimyasalı; DNA'da nükleotitler genellikle çiftler oluştururken, RNA'da tek olarak bulunur.

Nükleus
Ökaryot bir hücrenin genetik materyalinin çoğunu barındıran bölgesi.

Organel
Hücrenin belirli bir grup işlevi gerçekleştiren makine benzeri yapısı.

Ökaryot
Bedeni bir çekirdek ve diğer organelleri içeren karmaşık hücrelerden oluşan organizma.

Polimer
Bir zincir halinde birbirine bağlanan daha küçük birimler olan monomerlerden meydana gelen uzun bir molekül; proteinler ve ONA birer polimer türüdür.

Prokaryot
Organel içermeyen daha küçük ve basit hücrelere sahip bir organizma.

Protein
Yaşayan tüm canlılar tarafından enzim formunda veya bedenin yapısal bölümlerinin ve kasların inşasında kullanılan karmaşık bir molekül.

Solunum
Yaşayan tüm canlılarda şeker gibi bir besin kaynağından enerji elde edilmesini sağlayan süreç.

Substrat
Enzimin etkilediği materyal.

Taksonomi
Organizmaları akrabalık ilişkilerine göre sınıflandıran bilim dalı.

Uygunluk
Bir organizmanın, türünün diğer üyelerine kıyasla ortamına ne kadar iyi uyum gösterdiğini belirtir.

Zigot
Yaşayan bir canlının ilk hücresi.

Dizin

adaptasyon 184-5
ADP (adenozin difosfat) 68
akrabalık 294-5
alel 42, 44, 46, 50, 126, 202
âlemler 226-7
amino asit 108, 110-2
anahtar-kilit teorisi 116-17
ATP (adenozin trifosfat) 68,70
avcı-av ilişkisi 264-5

bakteri 10, 20, 58, 120, 122, 226, 252, 316
baskınlık 40, 42, 48-9, 50, 52-3
baz çiftleri 90-1
Beagle 178-9
bencil genler 296, 298
besi hayvanları 366
besin zincirleri/ağları 242-4
beslenme 14
birlikte evrim 256, 262
biyom 240-1
boşaltım 24
bölünerek çoğalma 120-1, 124
büyüme 20

cinsellik 276
cinsiyet oranı 278
cinsiyetin belirlenmesi 282-3

çekinik özellikler 50
çekirdek transferi 384-6
çeşitlilik 188
çift sarmal 82-3, 84, 86, 88, 90-1, 94, 96-7, 98
çiftleşme stratejileri 268-74
çok hücrelilik 64
çoklu doğum 156
çöp DNA 96

Darwin, Charles 28, 30, 168, 176-92, 206, 210, 290, 302, 306
Darwin'in ispinozları 236-7
davranışçılık 304-5
determinizm 302
dişinin seçimi 204
DNA (deoksiribonükleik asit) 30, 44, 54, 60, 74, 78-115, 230, 342, 388-90, 392, 406
doğal seçilim 22, 176, 184, 188, 192-6, 200, 204, 228, 236, 290, 296, 306
doku 144-5
Down sendromu 334, 394

duyu 282-3

edinilmiş özellikler 172
ekoloji 232-56
ekolojik niş 236-7
ekosistem 234-6
ekstremofil 252-3
elektroforez 392
embriyo 138-9, 154, 204
en güçlü olanın hayatta kalması 192
endosimbiyoz 316-17
enzim 114-17
epigenetik 174, 354-6
eş baskınlık 52-3
eşey(-li üreme) 22, 118-69, 204, 294, 332, 368
eşeysel seçilim 206, 208
eşeysiz üreme 22, 118, 120, 126, 160, 294
evo-devo 318-19
evrim 168-213, 290, 306

fenotip 38, 40, 42, 48, 50, 52, 296
Fisher teoremi 278
Fotoğraf 51 86-7
fotosentez 18-19, 62, 70
Franklin, Rosalind 84, 86, 88-9

Galton, Francis 348
GDO'lar (genetiği değiştirilmiş organizmalar) 378-9, 380
gebe kalma 136-7
gebelik 154-5
gen patenti almak 380
gen tedavisi 360, 398, 406
gen testi 394
genetik çöpçatanlık 396
genetik kod 92
genetik modifikasyon (GM) 360, 374-8, 380
genetik parmak izi 388-9
genetik sürüklenme 202
genetik ve teknoloji 360-406
genler 30
genom 44, 74
genotip 38, 40, 42, 48, 52
gerçek sosyal yaşarlık 284

Habitat 238-9, 240
Hayat Ağacı 228-9, 318
hayvan ilişkileri 258-88
hayvan kültürü 288
hermafrodit 162
hibrit 46
HLA doku tipleri 328, 396
Hollanda Açlık Kışı (1944-5) 356-7
Hox genleri 320
hücre 54-77
hücre bölünmesi 20, 74, 78-9
hücre farklılaşması 142-3
hücre teorisi 20, 72, 74
hücre zarı 54, 56-7, 62

ırk 330

ikiz araştırmaları 352
ilkel çorba kuramı 308-9
insan evrimi 210-13
insan genetiği 322-58
İnsan Genom Projesi 44, 92, 324, 336

k-seçilimi 280, 288
kalıtım 28-53
kan grupları 326
kanser 340-1, 354
karma cinsel strateji 274
kendiliğinden türeme 170
kendini-eşleme 94-5
kırmızı kraliçe etkisi 208
kimyasal evrim 314
kladistik 224-5
klonlama 382-6
kloroplast 62, 66, 70-1, 316
kodon 108-9
konjugasyon 122-3
kopya sayısı değişiklikleri (CNV) 336-7
Koyun Dolly 386-7
kök hücre 124, 140-2, 360, 382, 400-1
kromatitler 94, 134
kromozom 74-5, 76, 94, 332, 336
kromozomal krossing-over 134
Lamarkçılık 174, 188
Linnaeus, Carolus 216-19, 226
Lucy (Australopithecus afarensis) 212-13

Malthus, Thomas 184
mayoz 132-4, 160, 336
melez gücü 368
memetik 358
Mendel, Gregor 32-8, 40, 46, 48, 126, 360
Metabolizma 12-13
Miller-Urey deneyi 308-9
mitokondri 66, 68-9, 78, 230, 316
mitoz 76-7, 120, 132, 138
moleküler saat 230-1
mutant araştırmaları 372
mutasyon 190, 202

Neo-Darwinizm 290-305
nesillerin değişimi 166
nükleus (çekirdek) 60, 66-7, 74, 78

organ 146-7
organel 60, 66-7, 226, 316
organizma (türleri) 10-11
ortak yaşam 260
otokataliz 312-14
ototroflar 246, 248
ovum (yumurta) 128, 130-1, 136

öjeni 348-9
ökaryot 58, 60, 62, 68, 226, 316
östrus döngüsü 158-9
özgecilik 292, 298

panspermia 310
parazitler 262
partenogenez 160, 332
ploitlik 126-7
poliandri 270
polijini 268, 270
polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) 390-1
poliploidi 332-3
popülasyon genetiği 202

prion 344-5
prokaryot 58-9, 60, 104, 252, 306, 316
Protein 56, 110, 112-14, 344

r-seçilimi 280
rastgele çiftleşme 272
rekabet 186
ribozom 58, 102, 104-5
RNA (ribonükleik asit) 8, 100-4, 106, 312

santral dogma 98-9, 100, 190
sentetik biyoloji 404-5
sınıflandırma 214-31
sirke sineği (Drosophila melanogaster) 372-3
Skinner, B.F. 304, 305
solunum 16-17, 68
somatik hücre 142
soy tükenmesi 198
sperm 128-9, 130, 136, 204
sperm rekabeti 286
suni melez 370 _ Crick, Francis 82, 84-5, 86, 88
sürüleşme 266-7

şahin ve güvercin oyunu 300-1

taklitçilik 254
takson 222-3
tarım 364
tasarım bebekler 402
tomurcuklanma 124-5
tozlaşma 136, 164
transkripsiyon 102-3, 106
translasyon 104, 106-7
trofik düzeyler 244-5
türler 220
türleşme 196-7, 236

üreme 22
üst âlemler 226-7

virüs 314, 342-3, 398
viviparite (doğurganlık) 152

Wallace, Alfred Russel 180-2
Watson, James 82, 84-6, 88
Wilkins, Maurice 84, 86

X-ışını kristalografisi 80-1, 86
X'e bağlı hastalıklar 338
XNA (xeno nükleik asitler) 406

yakınsak evrim 200-1
yapay seçilim 362, 364
yaşam 8-26 (-ın kökenleri 306-20)
yeşil sakal etkisi 298
yetişmeye karşı doğa 302, 346, 348
yumurta 150
yumurtlama yetisi 148, 150
zekâ/IQ 250

TOM JACKSON

Uzmanlık alanları doğa tarihi, teknoloji ve bilim tarihi olan Tom Jackson, son 20 yılda 100'den fazla kitap yazmış ve çok daha fazlasına katkıda bulunmuş bir bilim yazarıdır. Bristol Üniversitesi'nde zooloji eğitimi alan Jackson, bir hayvan bakıcısı, çevreci ve *Dakikalar İçinde Genetik* kitabının yazarıdır.

ÜRÜN EŞEN

Lisans eğitimini Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü'nde, yüksek lisans eğitimini ise Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Bilim, doğa ve fantastik edebiyata ilgi duyan Eşen, amatör olarak fantastik hikayeler üretmekten de keyif alıyor.

YAŞAMIN KÖKENLERİNE DAİR 200 TEMEL KAVRAM

Dakikalar İçinde Genetik, yaşamın kökeni, hücreler, DNA, kromozom, insan genomu, kalıtım, doğal seçilim, kök hücre ve gen terapileri, klonlama, genetik mühendisliği ve yapay seçilim ile evrim, cinsiyet, sınıflandırma ve ekoloji gibi biyolojik temelleri konu alan görseller eşliğinde genetik bilimine dair 200 kavram üzerinden kapsayıcı ve keyifli bir okuma imkânı sunuyor.

Yaşam nedir? Canlılar tek bir hücreden nasıl oluşur? Gezegenimizi kaç farklı organizmayla paylaşıyoruz? Dünya'daki çeşitliliğin sebepleri neler? Türler neden yok olur? DNA ve RNA sırlarını hâlâ koruyor mu? Genetik kodlar hayatımızı ve davranışlarımızı nasıl etkiler? Genetiğimiz ve zekâmız arasında nasıl bir bağlantı vardır? GDO nedir ve genetik modifikasyonlar hayatımızı nasıl etkiler? Virüsler canlı mıdır? Kanser nedir? Hastalıklara dair aradığımız yanıtlar gen terapisi ve kök hücre tedavisinde mi yatmaktadır? Yaşama ve varoluşumuza dair birçok sorunun yanıtı bu kitabın sayfalarını süslüyor.

Dakikalar İçinde Genetik, bedenlerimizi ve yaşamlarımızı şekillendiren genlerimizi anlamamızı ve onlar üzerinde kontrol sahibi olmamızı sağlayan genetik biliminin temel kavramlarını öğrenmenin en hızlı ve eğlenceli yolu olacak.



Kronik

kronikkitap.com kronikkitap

ISBN: 978-625-8431-79-7