

Popölasyonların Evrimi

Prof. Dr. Bektaş TEPE

Genel Biyoloji

Bölüm 23



Evrimin En Küçük Birimi Popölasyondur

- Evrimle ilgili yaygın yanlış anlamalardan biri, bireylerin evrimleştığının düşünölmesidir.
- Doğal seçim doğrudan bireyler üzerinde etkili olsa da, evrimsel değişim popölasyon düzeyinde ortaya çıkar.
- Bir bireyin sahip olduğu özellikler, diğör bireylere göre yaşama ve üreme başarısını etkiler.
- Ancak doğal seçilimin gerçek sonucu, popölasyonun nesiller boyunca değişmesiyle gözlenir.





Galápagos İspinozlarında Doğal Seçilimin Gözlenmesi

- Galápagos Adaları'nda yaşayan orta yer ispinozu (*Geospiza fortis*), evrimin popülasyon düzeyinde nasıl gerçekleştiğini gösteren önemli bir örnektir.
- 1977 yılında Daphne Major Adası'nda yaşanan uzun süreli kuraklık, yaklaşık 1.200 kuştan yalnızca 180'inin hayatta kalmasına neden olmuştur.
- Peter ve Rosemary Grant, bu doğal olay sırasında popülasyonda meydana gelen değişimleri ayrıntılı olarak incelemiştir.
- Bu süreç, doğal seçilimin gerçek popülasyonlar üzerindeki etkisini doğrudan gözlemlene fırsatı sunmuştur.





Kuraklığın Besin Kaynakları Üzerindeki Etkisi

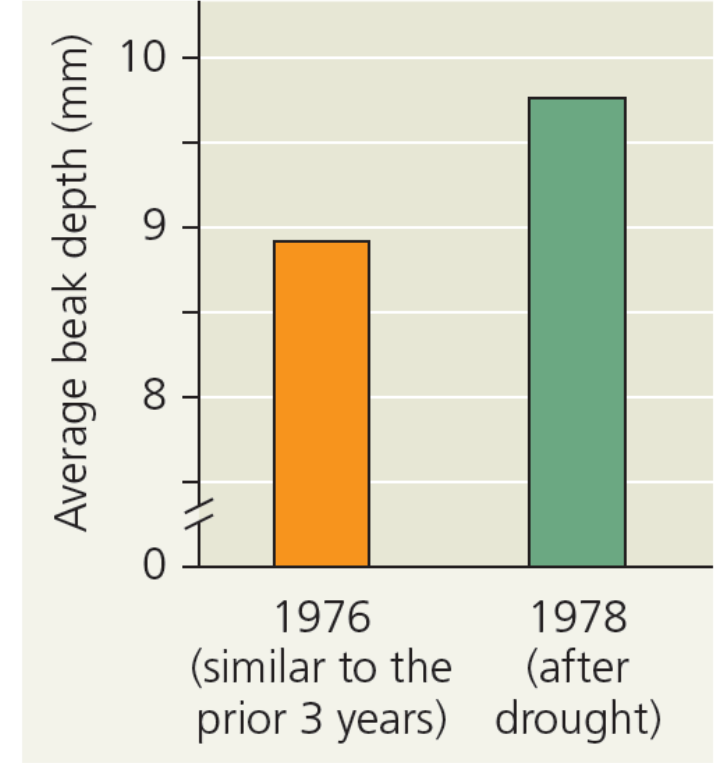
- Kuraklık sırasında küçük ve yumuşak tohumların sayısı büyük ölçüde azalmıştır.
- Buna karşılık büyük ve sert tohumlar çevrede daha bol bulunmaya devam etmiştir.
- Büyük ve derin gagaya sahip ispinozlar bu sert tohumları kırıp tüketebildikleri için beslenme açısından avantaj sağlamıştır.
- Sonuç olarak bu bireylerin hayatta kalma olasılığı, daha küçük gagalı bireylere göre daha yüksek olmuştur.





Popölasyon Evrimleşir, Birey Değil!

- Gaga derinliğı kalıtsal bir özellik olduğundan, hayatta kalan bireylerin yavruları da genellikle daha derin gagalara sahip olmuştur.
- Bir sonraki nesilde popölasyonun ortalama gaga derinliğı, kuraklık öncesine göre artmıştır.
- Ancak hiçbir bireyin gagası yaşamı boyunca büyümemiş veya değişmemiştir.
- Evrim, bireylerin değişmesiyle değil, popölasyonda büyük gagalı bireylerin oranının nesiller boyunca artmasıyla gerçekleşmiştir.





Mikroevrimin Tanımı

- Popülasyonlarda nesiller boyunca meydana gelen evrimsel değişimler, mikroevrim olarak adlandırılır.
- Mikroevrim, bir popülasyondaki allel frekanslarının zaman içinde değişmesi şeklinde tanımlanır.
- Bu tanım, evrimin en küçük ölçekte nasıl gerçekleştiğini açıklamaktadır.
- Dolayısıyla evrim, popülasyonların genetik yapısındaki değişimlerle değerlendirilir.





Allel Frekanslarını Değiştiren Mekanizmalar

- Doğal seçim, mikroevrimin tek nedeni değildir.
- Allel frekanslarını değiştirebilen üç temel mekanizma bulunmaktadır.
- Bunlar doğal seçim, genetik sürüklenme ve gen akışıdır.
- Genetik sürüklenme rastlantısal olaylarla allel frekanslarını değiştirirken, gen akışı farklı popülasyonlar arasında allellerin taşınmasını sağlar.



İZLE



Adaptasyonu Sağlayan Tek Mekanizma

- Bu üç mekanizmanın her biri popülasyonların genetik yapısını değiştirebilir.
- Ancak yalnızca doğal seçim, canlıların yaşadıkları çevreye daha iyi uyum sağlamasını sürekli olarak destekler.
- Bu çevreye uyum sağlama süreci adaptasyon olarak adlandırılır.
- Doğal seçilimin etkili olabilmesi için ise popülasyonda genetik çeşitliliğin bulunması zorunludur.

 Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr



Genetik Çeşitlilik Evrimi Mümkün Kılar

- Darwin, Türlerin Kökeni adlı eserinde yaşamın zaman içinde değiştiğini gösteren çok sayıda kanıt ortaya koymuştur.
- Evrimsel değişimin temel mekanizması olarak doğal seçilimi önermiştir.
- Darwin, bireylerin kalıtsal özellikler bakımından birbirlerinden farklı olduğunu ve doğal seçilimin bu farklılıklar üzerinde etkili olduğunu gözlemlemiştir.
- Böylece kalıtsal farklılıkların evrim için vazgeçilmez olduğunu ortaya koymuştur.





Darwin'in Bilmediği Genetik Temel

- Darwin, kalıtsal çeşitliliğin evrim için gerekli olduğunu fark etmiş olsa da, özelliklerin ebeveynlerden yavrulara nasıl aktarıldığını bilmiyordu.
- Türlerin Kökeni yayımlandıktan yalnızca birkaç yıl sonra Gregor Mendel, bezelyeler üzerinde yaptığı çalışmalarla kalıtımın temel ilkelerini açıklayan çığır açıcı bir makale yayımladı.
- Mendel, canlıların kalıtsal özelliklerini günümüzde gen olarak adlandırılan ayrık kalıtsal birimler aracılığıyla yavrularına aktardığını öne sürdü.
- Bu model, evrimin dayandığı genetik farklılıkların anlaşılmasının temelini oluşturdu.



Evrimin Genetik Temellerine Geçiş

- Darwin gen kavramını bilmeseyse de, Mendel'in çalışmaları evrimin genetik temelini anlaşılmışını mümkün kılmıştır.
- Evrimsel değişimin kaynağını anlayabilmek için öncelikle popülasyonlardaki genetik farklılıkların incelenmesi gerekir.
- Ayrıca bu genetik çeşitliliğin nasıl ortaya çıktığının anlaşılması, evrim mekanizmalarının açıklanmasında temel öneme sahiptir.



Genetik Çeşitlilik ve Fenotipik Farklılıklar

- Aynı türe ait bireyler, fenotipik özellikleri bakımından birbirlerinden farklılık gösterir.
- İnsanlarda yüz şekli, boy ve ses gibi özellikler bu çeşitliliğin kolayca gözlenebilen örnekleridir.
- Ancak bireyler arasındaki farklılıklar yalnızca dış görünüşle sınırlı değildir; kan grubu gibi moleküler özelliklerde de önemli çeşitlilik bulunur.
- Bu durum, biyolojik çeşitliliğin hem gözle görülebildiğini hem de moleküler düzeyde ortaya çıkabildiğini göstermektedir.





Fenotipik Çeşitliliğin Genetik Temeli

- Fenotipik farklılıkların önemli bir bölümü, bireylerin genlerinde veya diğer DNA dizilerinde bulunan farklılıklardan kaynaklanır.
- Bu kalıtsal farklılıklar genetik çeşitlilik olarak adlandırılır.
- Genetik çeşitlilik, bireylerin birbirinden farklı özelliklere sahip olmasını sağlar ve popülasyonların genetik yapısını şekillendirir.
- Evrimsel değişimin gerçekleşebilmesi için öncelikle popülasyonda bu genetik çeşitliliğin bulunması gerekir.





Kesikli Fenotipik Varyasyon

- Bazı kalıtsal özellikler yalnızca belirli kategoriler hâlinde görülür ve ara formlar bulunmaz.
- Mendel'in bezelyelerinde çiçek renginin mor veya beyaz olması bunun klasik örneklerinden biridir.
- Bu tür özellikler genellikle tek bir gen lokusu tarafından kontrol edilir.
- Aynı lokustaki farklı alleller ise birbirinden farklı fenotiplerin ortaya çıkmasına neden olur.



Sürekli Fenotipik Varyasyon

- Bazı özellikler ise keskin sınırlara sahip değildir ve bireyler arasında kademeli olarak değişiklik gösterir.
- Bu tür sürekli varyasyonlar çoğunlukla iki veya daha fazla genin birlikte etkisiyle oluşur.
- Atlarda kürk rengi bu duruma örnek olarak gösterilebilir.
- Mısır'daki tohum sayısı ve insan boyu gibi birçok özellik de çok sayıda genin ortak etkisi altında şekillenir.





Gen Düzeyinde Genetik Çeşitlilik

- Genetik çeşitlilik, gen düzeyinde heterozigot lokusların oranı belirlenerek ölçülebilir.
- Heterozigot bireyler aynı lokusta iki farklı allel taşırken, homozigot bireyler aynı allelin iki kopyasına sahiptir.
- Bu ölçüm, bir popülasyondaki genetik çeşitliliğin nicel olarak değerlendirilmesini sağlar.
- Böylece bireyler arasındaki genetik farklılıkların büyüklüğü sayısal olarak ortaya konulabilir.





Meyve Sineğinde Genetik Çeşitlilik Örneği

- Meyve sineği *Drosophila melanogaster* yaklaşık 13.700 gen lokusuna sahiptir.
- Bu lokusların ortalama 1.920 tanesinde bireyler heterozigot yapıdadır.
- Bu değer toplam lokusların yaklaşık %14'üne karşılık gelmektedir.
- Geri kalan lokusların büyük kısmı ise homozigot durumdadır.





DNA Düzeyindeki Nükleotid Çeşitliliği

- Genetik çeşitlilik yalnızca gen düzeyinde değil, DNA'nın nükleotid dizisinde de görülebilir.
- Ancak DNA'daki değişikliklerin büyük bölümü fenotipte gözlenebilir farklılıklara yol açmaz.
- Bunun temel nedeni, birçok değişikliğin protein yapısını etkilemeyen bölgelerde meydana gelmesidir.
- Bu nedenle DNA düzeyindeki her değişiklik biyolojik özelliklerde değişim oluşturmaz.





Neden Her DNA Değişikliği Fenotipi Etkilemez?

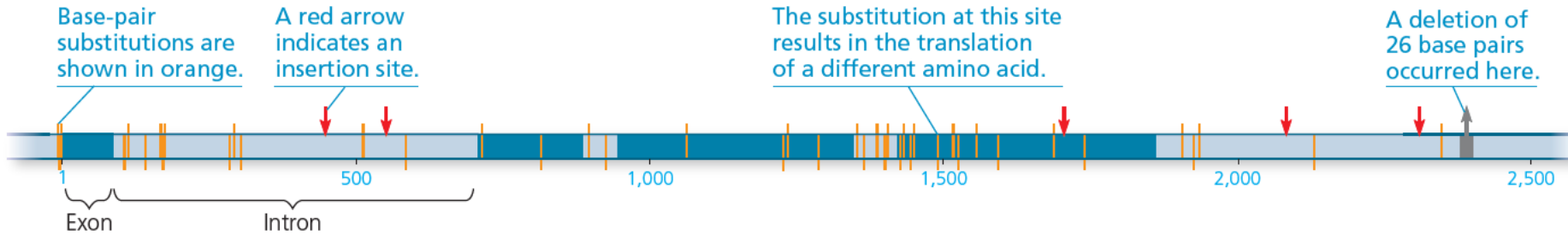
- Nükleotid değişimlerinin önemli bir kısmı intronlarda gerçekleşir ve bu bölgeler olgun mRNA'da yer almaz.
- Ekzonlarda meydana gelen birçok değişiklik ise proteindeki amino asit dizisini değiştirmez.
- Bu nedenle DNA dizisinde farklılık bulunmasına rağmen proteinin yapısı ve işlevi aynı kalabilir.
- Sonuç olarak moleküler düzeydeki tüm genetik farklılıklar fenotipe yansımaz.





Adh Geni Örneği

- Adh geni üzerinde yapılan karşılaştırmada çok sayıda nükleotid değişimi ile bazı insersiyon ve delesyonlar belirlenmiştir.
- Dört ekzon içerisinde bulunan 18 değişken bölgeden yalnızca biri amino asit değişikliğine neden olmuştur.
- Bu değişiklik 1.490 numaralı bölgede gerçekleşmektedir.
- Tek bir amino asit değişikliği bile gen düzeyinde farklılık oluşturarak Adh enziminin iki farklı formunun üretilmesine yol açmaktadır.





Fenotip Sadece Genlerden Oluşmaz

- Fenotipik farklılıkların tamamı genetik kökenli değildir.
- Bazı özellikler çevresel koşulların etkisiyle değişebilir.
- Fenotip, kalıtılan genotip ile çevresel faktörlerin ortak etkisinin sonucunda ortaya çıkar.



Fenotip Sadece Genlerden Oluşmaz

- *Nemoria arizonaria* güvesinin tırtılları, farklı görünümlerini genotiplerindeki farklılıklara değil, beslenmelerindeki kimyasallara borçludur.
- Meşe çiçekleriyle beslenen tırtıllar çiçeklere benzerken (a), meşe yapraklarıyla beslenen kardeşleri meşe dallarına benzer (b).
- Bu nedenle aynı genotipe sahip bireyler farklı çevrelerde farklı fenotipler geliştirebilir





Çevresel Etkilere Bir İnsan Örneği

- Vücut geliştirme sporuyla uğraşan bireyler yoğun egzersiz sonucunda kas kütlelerini büyük ölçüde artırabilir.
- Ancak bu değişim genetik yapıda meydana gelmediği için sonraki nesillere aktarılmaz.
- Evrim açısından önemli olan yalnızca kalıtsal temele sahip fenotipik farklılıklardır.
- Bu nedenle çevresel etkilerle kazanılan özellikler evrimsel değişime katkıda bulunmaz.



Genetik Çeşitlilik Evrimin Ham Maddesidir

- Evrimsel değişimin gerçekleşebilmesi için popülasyonda genetik çeşitliliğin bulunması zorunludur.
- Doğal seçim ve diğer evrimsel mekanizmalar yalnızca kalıtsal farklılıklar üzerinde etkili olabilir.
- Genetik çeşitlilik bulunmadığında popülasyonun evrimleşmesi mümkün değildir.
- Bu nedenle genetik çeşitlilik, evrimsel değişimin temel ham maddesi olarak kabul edilir.





Genetik Çeşitliliğin Kaynakları

- Evrimin temelini oluşturan genetik çeşitlilik; mutasyonlar, gen duplikasyonları ve benzeri süreçlerle ortaya çıkar.
- Bu mekanizmalar yeni allellerin ve yeni genlerin oluşmasını sağlar.
- Kısa nesil sürelerine sahip canlılarda yeni genetik varyantlar oldukça hızlı meydana gelebilir.
- Böylece popülasyonlarda sürekli yeni genetik çeşitlilik oluşur.



Eşeyli Üreme ve Yeni Gen Kombinasyonları

- Genetik çeşitlilik yalnızca yeni genlerin oluşmasıyla sağlanmaz.
- Eşeyli üreme sırasında mevcut genler farklı kombinasyonlar hâlinde yeniden bir araya gelir.
- Böylece yeni alleller oluşmasa bile bireylerde yeni genotip kombinasyonları meydana gelir.
- Sonuç olarak eşeyli üreme, popülasyonlardaki genetik çeşitliliğin korunmasına ve artmasına önemli katkı sağlar.





Yeni Allellerin Ortaya Çıkışı

- Popülasyonlardaki yeni allellerin en önemli kaynağı mutasyondur.
- Mutasyon, bir canlının DNA dizisindeki nükleotidlerin değişmesiyle meydana gelir.
- Bazen yalnızca tek bir bazın değişmesi bile önemli fenotipik sonuçlar doğurabilir.
- Orak hücre anemisi, tek baz değişiminin fenotipi etkileyebildiği klasik örneklerden biridir.



Mutasyonların Çoğu Neden Zararlıdır?

- Canlılar, çok sayıda nesil boyunca etkili olan doğal seçilimin ürünüdür.
- Bu nedenle mevcut fenotipler, yaşadıkları çevreye büyük ölçüde uyum sağlamış durumdadır.
- Yeni ortaya çıkan mutasyonlar bu uyumu bozabileceğinden, fenotipi değiştiren mutasyonların büyük bölümü en azından bir miktar zararlıdır.
- Doğal seçim, bu zararlı mutasyonları zamanla popülasyondan uzaklaştırma eğilimindedir.





Resesif Allellerin Popölasyonda Korunması

- Diploid canlılarda zararlı alleller her zaman doğal seçim tarafından hemen ortadan kaldırılamaz.
- Zararlı allel resesif ise heterozigot bireylerde baskın allel tarafından maskelenebilir.
- Böylece bu alleller nesiller boyunca popölasyonda varlığını sürdürebilir.
- Bu durum, heterozigot koruması olarak adlandırılır.



Heterozigot Korumasının Evrimsel Önemi

- Heterozigot koruması sayesinde popülasyonlarda çok sayıda farklı allel korunabilir.
- Günümüz koşullarında avantaj sağlamayan bazı alleller gelecekte değişen çevre koşullarında yararlı hâle gelebilir.
- Böylece popülasyon, olası çevresel değişimlere karşı genetik bir çeşitlilik rezervini korumuş olur.
- Bu çeşitlilik, evrimsel uyum açısından önemli bir güvence oluşturur.



Mutasyonların Büyük Bir Bölümü Nötrdür

- Her mutasyon canlı için zararlı değildir.
- Ökaryot genomlarının önemli bir bölümü protein kodlamayan DNA bölgelerinden oluşmaktadır.
- Bu bölgelerde meydana gelen nokta mutasyonları çoğu zaman fenotipi etkilemez.
- Seçilim açısından avantaj ya da dezavantaj oluşturmayan bu farklılıklar nötr varyasyon olarak adlandırılır.





Genetik Kodun Yedekliliği ve Nötr Mutasyonlar

- Genetik kodun yedekli yapısı da nötr varyasyonların oluşmasına katkı sağlar.
- Bir nokta mutasyonu amino asit dizisini değiştirmiyorsa proteinin işlevi etkilenmez.
- Bazı durumlarda amino asit değişse bile proteinin üç boyutlu yapısı ve fonksiyonu değişmeden kalabilir.
- Bu nedenle DNA dizisindeki her değişiklik fenotipe yansımaz.





Yararlı Mutasyonlar da Ortaya Çıkabilir

- Mutasyonların büyük bölümü zararlı veya nötr olsa da, nadiren yararlı mutasyonlar da oluşabilir.
- Böyle bir mutasyon, bireyin yaşadığı çevreye daha iyi uyum sağlamasına katkıda bulunabilir.
- Çevreye uyumu artan bireylerin üreme başarısı da yükselebilir.
- Doğal seçim, bu tür avantaj sağlayan allellerin popülasyonda yayılmasını destekler.



Hangi Mutasyonlar Kalıtılır?

- Çok hücreli canlılarda yalnızca gametleri oluşturan hücrelerde meydana gelen mutasyonlar yavrulara aktarılabilir.
- Bitkiler ve mantarlarda gamet oluşturabilen hücre hatları daha fazla olduğu için bu konuda daha esnek bir yapı vardır.
- Hayvanlarda ise mutasyonların büyük bölümü somatik hücrelerde meydana gelir.
- Somatik hücre mutasyonları sonraki nesillere aktarılmaz.



Gen Sayısı ve Gen Konumundaki Değişiklikler

- Genetik çeşitlilik yalnızca mutasyonlarla oluşmaz; kromozom yapısındaki değişiklikler de önemli rol oynar.
- Çok sayıda lokusu etkileyen kromozomal değişimler genellikle zararlıdır.
- Ancak genlerin bütünlüğü korunuyorsa bazı büyük ölçekli değişiklikler fenotipi etkilemeyebilir.
- Nadir durumlarda kromozomal yeniden düzenlenmeler organizmaya avantaj bile sağlayabilir.





Kromozomal Yeniden Düzenlenmeler

- Bazen bir kromozom parçası başka bir kromozoma taşınabilir.
- Bu tür translokasyonlar daha önce birlikte bulunmayan genleri bir araya getirebilir.
- Oluşan yeni gen kombinasyonları bazı durumlarda organizmaya olumlu katkı sağlayabilir.
- Dolayısıyla kromozomal yeniden düzenlenmeler her zaman zararlı değildir.





Gen Duplikasyonu Yeni Genlerin Kaynağıdır

- Evrim açısından en önemli genetik çeşitlilik kaynaklarından biri gen duplikasyonudur.
- Gen duplikasyonları mayoz sırasında gerçekleşen hatalar, DNA replikasyonu sırasındaki kaymalar veya transpozonların etkisiyle oluşabilir.
- Büyük kromozom parçalarının kopyalanması çoğu zaman zararlı olsa da, küçük DNA bölgelerinin çoğalması daha kolay tolere edilebilir.
- Böylece aynı genin birden fazla kopyası popülasyonda korunabilir.



İZLE



Gen Duplikasyonunun Evrimsel Sonuçları

- Kopyalanan genler nesiller boyunca mutasyon biriktirmeye devam edebilir.
- Bu süreç sonunda genlerden biri özgün görevini korurken, diğer kopya yeni işlevler kazanabilir.
- Böylece genom büyür ve yeni genlerin ortaya çıkması mümkün olur.
- Gen duplikasyonu, evrim boyunca yeni biyolojik fonksiyonların gelişmesinde önemli rol oynamıştır.

Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr



Koku Reseptör Genleri Örneği

- Gen duplikasyonunun evrimsel etkisi memelilerde koku reseptör genlerinde açıkça görülmektedir.
- Memelilerin uzak atalarında yalnızca tek bir koku reseptör geni bulunurken, bu gen zamanla çok sayıda kopyalanmıştır.
- Günümüzde insanlarda yaklaşık 380, farelerde ise yaklaşık 1.200 işlevsel koku reseptör geni bulunmaktadır.
- Bu genlerin çoğalması, erken memelilerin çok zayıf kokuları algılayabilmesine ve farklı kokuları ayırt edebilmesine katkı sağlamıştır.





Hızlı Üreme ve Genetik Çeşitlilik

- Bitki ve hayvanlarda mutasyon oranı genellikle düşüktür.
- Prokaryotlarda da mutasyon oranı düşük olmasına rağmen nesil süreleri çok daha kısadır.
- Bu nedenle kısa sürede çok sayıda nesil oluşur ve genetik çeşitlilik hızla birikebilir.
- Benzer durum virüsler için de geçerlidir.



HIV'de Hızlı Evrim

- HIV'in nesil süresi yaklaşık iki gündür.
- Ayrıca HIV'in genomu RNA'dan oluştuğu için mutasyon oranı tipik DNA genomlarına göre daha yüksektir.
- Bunun temel nedeni, konak hücrelerde RNA için etkili onarım mekanizmalarının bulunmamasıdır.
- Bu özellik, HIV popülasyonlarında genetik çeşitliliğin çok hızlı oluşmasına neden olur.





HIV Tedavisinde Kombine İlaç Kullanımı

- HIV'in yüksek mutasyon hızı nedeniyle tek bir ilaçla yapılan tedaviler çoğu zaman uzun süre etkili olmaz.
- İlaça direnç sağlayan mutant virüsler kısa sürede popülasyonda çoğalabilir.
- Bu nedenle günümüzde en başarılı AIDS tedavileri birden fazla ilacın birlikte kullanıldığı kombinasyon tedavilerine dayanmaktadır.
- Aynı anda tüm ilaçlara direnç sağlayacak mutasyonların kısa sürede birlikte ortaya çıkma olasılığı çok daha düşüktür.





Eşeyli Üreme Genetik Çeşitliliği Artırır

- Eşeyli üreyen canlılarda popülasyondaki genetik çeşitliliğin büyük bölümü, bireylerin ebeveynlerinden aldıkları farklı allel kombinasyonlarından kaynaklanır.
- Her birey, anne ve babasından aldığı allellerin kendine özgü birleşimi sayesinde genetik olarak benzersizdir.
- Bu nedenle aynı popülasyondaki bireyler arasında çok sayıda genetik farklılık ortaya çıkar.
- Eşeyli üreme, evrim için gerekli olan genetik çeşitliliğin oluşmasında temel mekanizmalardan biridir.





Allellerin Kökeni ve Yeniden Düzenlenmesi

- Popülasyonda bulunan farklı allellerin tamamı, geçmişte meydana gelen mutasyonların ürünüdür.
- Ancak eşeyli üreme yeni alleller oluşturmaz.
- Bunun yerine, popülasyonda zaten var olan allelleri her nesilde farklı biçimlerde yeniden bir araya getirir.
- Böylece sürekli yeni genotip kombinasyonları meydana gelir.



Alleller Nasıl Karıştırılır?

- Eşeyli üreme sırasında allellerin yeniden düzenlenmesini sağlayan üç temel mekanizma bulunmaktadır.
- Bunlar krossing-over, kromozomların bağımsız dağılımı ve döllenmedir.
- Bu üç mekanizma birlikte çalışarak her nesilde yeni genetik kombinasyonların oluşmasını sağlar.
- Sonuç olarak aynı anne ve babadan doğan kardeşler bile genetik olarak birbirlerinden farklı olur.



Krossing-over ile Yeni Allel Kombinasyonları

- Mayoz sırasında biri anneden, diğeri babadan gelen homolog kromozomlar yan yana gelir.
- Bu kromozomlar krossing-over sırasında bazı gen bölgelerini karşılıklı olarak değış tokuş eder.
- Böylece aynı kromozom üzerinde daha önce bulunmayan yeni allel kombinasyonları oluşur.
- Krossing-over, genetik çeşitliliğin en önemli kaynaklarından biridir.



Kromozomların Bağımsız Dağılımı

- Krossing-over sonrasında homolog kromozomlar gametlere rastgele dağıtılır.
- Her gamet, anne ve babadan gelen kromozomların farklı bir kombinasyonunu taşır.
- Bu rastgele dağılım, oluşabilecek gamet çeşitliliğini önemli ölçüde artırır.
- Böylece aynı bireyin oluşturduğu gametler bile birbirinin aynısı değildir.



Döllenme ile Genetik Çeşitliliğin Artması

- Popülasyonda çok sayıda farklı eşleşme olasılığı bulunduğu için döllenme de büyük ölçüde rastlantısaldır.
- Döllenme sırasında genetik geçmişleri farklı olan iki gamet birleşir.
- Bu birleşme, yeni bireylerde daha önce bulunmayan gen kombinasyonlarının oluşmasına katkı sağlar.
- Böylece her yeni nesilde genetik çeşitlilik yeniden zenginleşir.



Eşeyli Üremenin Evrim Açısından Önemi

- Krossing-over, bağımsız dağılım ve döllenme birlikte mevcut allelleri sürekli yeniden düzenler.
- Bu süreçte yeni alleller üretilmez; var olan alleller yeni kombinasyonlar oluşturur.
- Her nesilde ortaya çıkan bu yeni genotipler, popülasyonun genetik çeşitliliğini artırır.
- Sonuç olarak eşeyli üreme, evrimin gerçekleşebilmesi için gerekli olan genetik çeşitliliğin korunmasına ve sürekli yenilenmesine önemli katkı sağlar.





Hardy-Weinberg Denklemi ve Evrim

- Hardy-Weinberg denklemi, bir popülasyonda evrim gerçekleşip gerçekleşmediğini değerlendirmek için kullanılan temel araçlardan biridir.
- Bir popülasyonda genetik çeşitliliğin bulunması, tek başına evrimin gerçekleştiği anlamına gelmez.
- Evrimin meydana gelebilmesi için allel frekanslarını değiştiren mekanizmalardan en az birinin etkili olması gerekir.
- Bu nedenle, bir popülasyonun evrimleşip evrimleşmediğini anlamak için öncelikle popülasyonun genetik yapısı incelenmelidir.





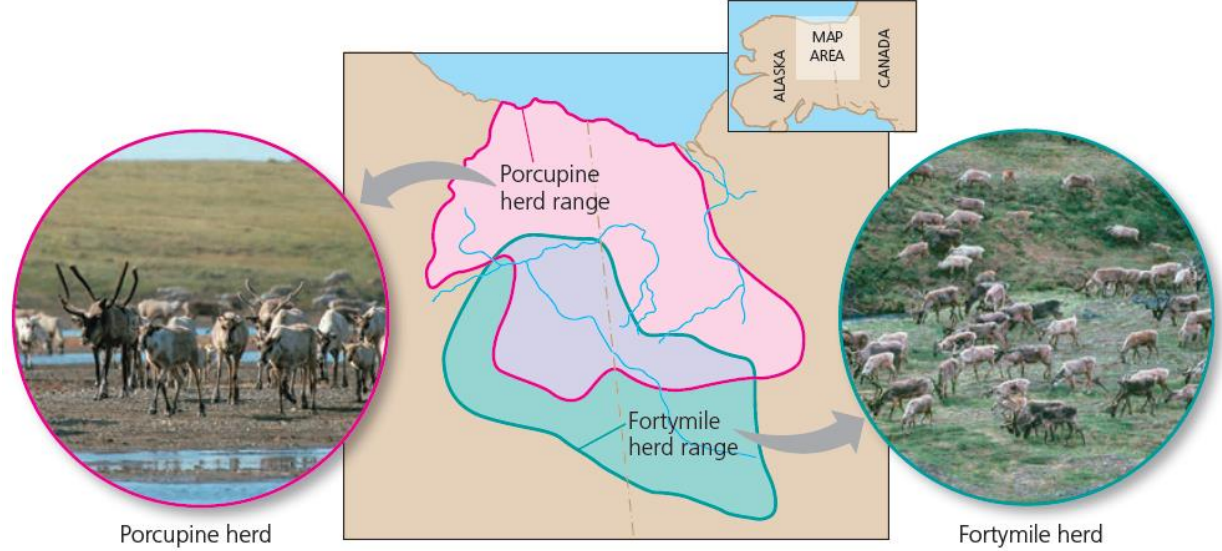
Popölasyon Nedir?

- Popölasyon, aynı türe ait bireylerin belirli bir bölgede birlikte yaşadığı ve kendi aralarında çiftleşerek verimli yavrular oluşturduğu topluluktur.
- Aynı türün farklı popölasyonları coğrafi olarak birbirinden ayrılmış olabilir.
- Böyle durumlarda popölasyonlar arasında genetik madde alışverişi oldukça sınırlı gerçekleşir.
- Bu durum özellikle birbirinden uzak adalarda veya farklı göllerde yaşayan türlerde sık görülmektedir.



Popölasyonlar Her Zaman İzole Değildir

- Aynı türe ait bütün popölasyonlar birbirinden tamamen izole değildir.
- Yukon'daki iki ren geyiği popölasyonu tamamen izole değildir; bazen aynı bölgeyi paylaşırlar.
- Yine de, her iki popölasyonun üyelerinin de kendi popölasyonları içinde üremeleri daha olasıdır.
- Bu nedenle aynı popölasyondaki bireyler, diğer popölasyonlardaki bireylere göre genetik olarak birbirlerine daha yakındır.





Gen Havuzu Kavramı

- Bir popülasyonun genetik yapısı gen havuzu kavramı ile tanımlanır.
- Gen havuzu, popülasyondaki tüm bireylerde bulunan her lokustaki tüm allellerin toplamını ifade eder.
- Başka bir ifadeyle gen havuzu, popülasyonda bulunan bütün genetik çeşitliliğin ortak deposudur.
- Hardy-Weinberg analizleri de bu gen havuzu üzerinden yapılmaktadır.





Sabit Allel ve Genetik Çeşitlilik

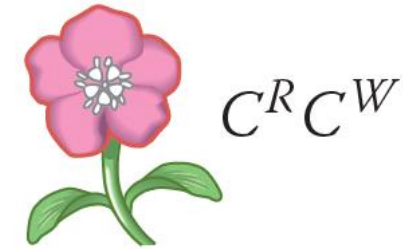
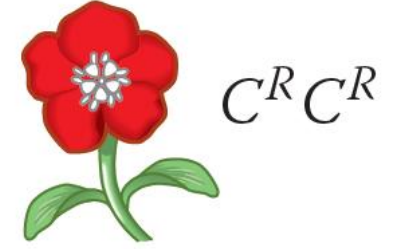
- Bir lokusta popülasyonda yalnızca tek bir allel bulunuyorsa bu allel gen havuzunda sabitlenmiş olarak kabul edilir.
- Böyle bir durumda popülasyondaki tüm bireyler o lokus bakımından homozigottur.
- Buna karşılık aynı lokusta iki veya daha fazla allel bulunuyorsa genetik çeşitlilik ortaya çıkar.
- Bu durumda bireyler homozigot ya da heterozigot genotiplere sahip olabilir.





Yabani Çiçek Popülasyonu Örneği

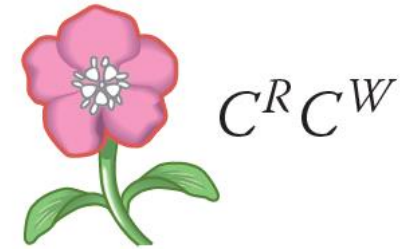
- Örnek olarak 500 yabani çiçekten oluşan bir popülasyon düşünelim.
- Çiçek rengini belirleyen lokusta C^R ve C^W olmak üzere iki farklı allel bulunmaktadır.
- Bu alleller arasında eksik baskınlık görülmektedir.
- Bu nedenle her genotip farklı bir fenotip oluşturur.





Genotipler ve Çiçek Renkleri

- $C^R C^R$ genotipine sahip bireyler kırmızı pigment üretir ve kırmızı çiçek oluşturur.
- $C^W C^W$ genotipindeki bireyler kırmızı pigment üretmez ve beyaz çiçeklidir.
- $C^R C^W$ heterozigot bireyler ise daha az miktarda kırmızı pigment üretir.
- Bunun sonucunda heterozigot bireylerde pembe çiçekler oluşur.





Allel Frekansı Nasıl Hesaplanır?

- Popülasyonda 320 kırmızı, 160 pembe ve 20 beyaz çiçekli birey bulunduğunu varsayalım.
- Diploid oldukları için 500 birey toplam 1.000 çiçek rengi alleli taşımaktadır.
- C^R alleli, homozigot kırmızı bireylerden gelen 640 allel ve heterozigot bireylerden gelen 160 allel olmak üzere toplam 800 kopyaya sahiptir.
- Böylece C^R allelinin frekansı $800/1.000 = 0,8$ yani %80 olarak hesaplanır.



p ve q Gösterimi

- İki allelli lokuslarda allel frekanslarını göstermek için standart olarak p ve q sembolleri kullanılır.
- Bu örnekte C^R allelinin frekansı $p = 0,8$ olarak ifade edilir.
- Popülasyonda yalnızca iki allel bulunduğu için diğer allelin frekansı $q = 1 - p$ bağıntısıyla hesaplanır.
- Buna göre C^W allelinin frekansı $q = 0,2$ yani %20'dir.





Allel Frekanslarının Toplamı

- Bir lokusta bulunan bütün allellerin frekanslarının toplamı her zaman 1'e yani %100'e eşittir.
- Bu kural yalnızca iki allelli sistemler için değil, çok allelli lokuslar için de geçerlidir.
- Allel frekanslarının belirlenmesi, popülasyonun genetik yapısını tanımlamanın ilk basamağını oluşturur.
- Bir sonraki aşamada ise allel ve genotip frekansları kullanılarak popülasyonda evrim gerçekleşip gerçekleşmediği test edilebilir.





Hardy-Weinberg Denklemiminin Amacı

- Bir popülasyonda evrim gerçekleşip gerçekleşmediğini anlamanın yollarından biri Hardy-Weinberg denklemini kullanmaktır.
- Bu yaklaşımda öncelikle popülasyonun evrimleşmediği varsayımı altında beklenen genetik yapı hesaplanır.
- Daha sonra bu teorik değerler, popülasyondan elde edilen gerçek gözlem sonuçlarıyla karşılaştırılır.
- Beklenen ve gözlenen değerler birbirine uyuyorsa popülasyonun ilgili lokusta evrimleşmediği kabul edilir.





Gözlenen ve Beklenen Değerlerin Karşılaştırılması

- Beklenen ve gözlenen genotip frekansları arasında fark bulunmaması, popülasyonun dengede olduğunu düşündürür.
- Buna karşılık iki değer arasında anlamlı farklılıklar varsa popülasyonda evrimsel değişim meydana geliyor olabilir.
- Böyle bir durumda allel frekanslarını değiştiren mekanizmaların araştırılması gerekir.
- Hardy-Weinberg denklemi bu nedenle evrimin doğrudan nedeni değil, evrimi test etmeye yarayan bir araçtır.





Hardy-Weinberg Dengesi

- Evrimleşmeyen bir popülasyonda allel ve genotip frekansları nesilden nesile değişmeden kalır.
- Bunun gerçekleşebilmesi için yalnızca Mendel kalıtımı ve allellerin yeniden kombinasyonu etkili olmalıdır.
- Bu durum Hardy-Weinberg dengesi olarak adlandırılır.
- Bu kavram, 1908 yılında İngiliz matematikçi Hardy ve Alman hekim Weinberg tarafından birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiştir.



Punnett Karesinden Popülasyon Düzeyine

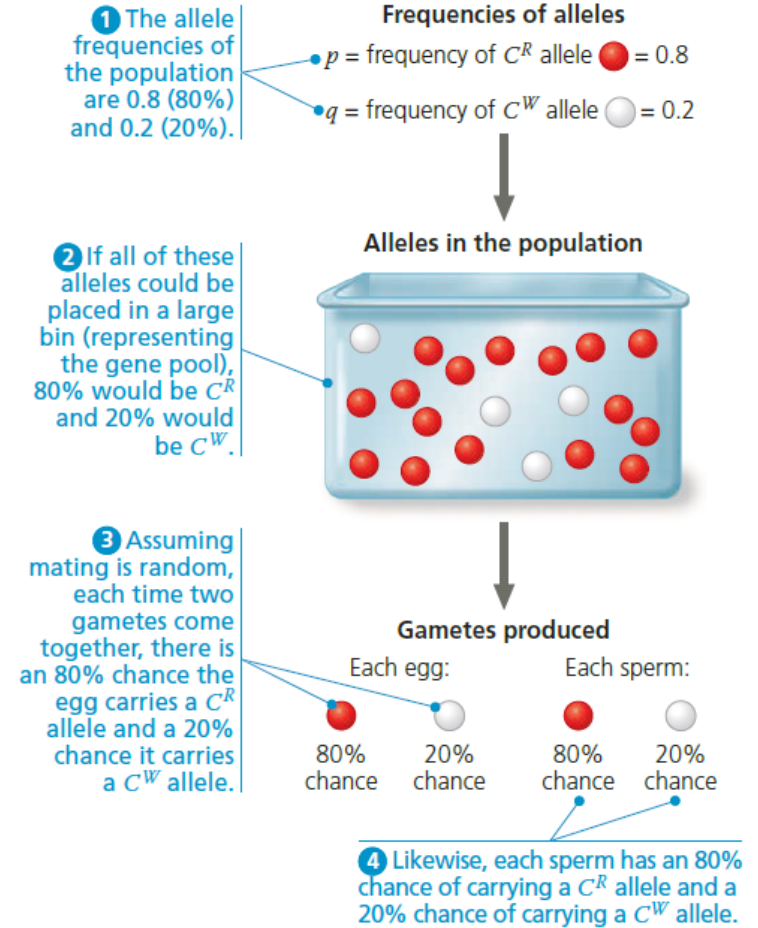
- Daha önce Punnett kareleri kullanılarak tek bir çaprazlamanın yavru genotipleri tahmin edilmişti (Bölüm 14).
- Hardy-Weinberg yaklaşımı ise tek bir çiftleşmeye değil, popülasyondaki bütün çiftleşmelere odaklanır.
- Böylece bireysel çaprazlamalar yerine tüm popülasyonun genetik yapısı değerlendirilir.
- Bu yaklaşım, allel ve genotip frekanslarının popülasyon ölçeğinde incelenmesini sağlar.





Gen Havuzu Benzetmesi

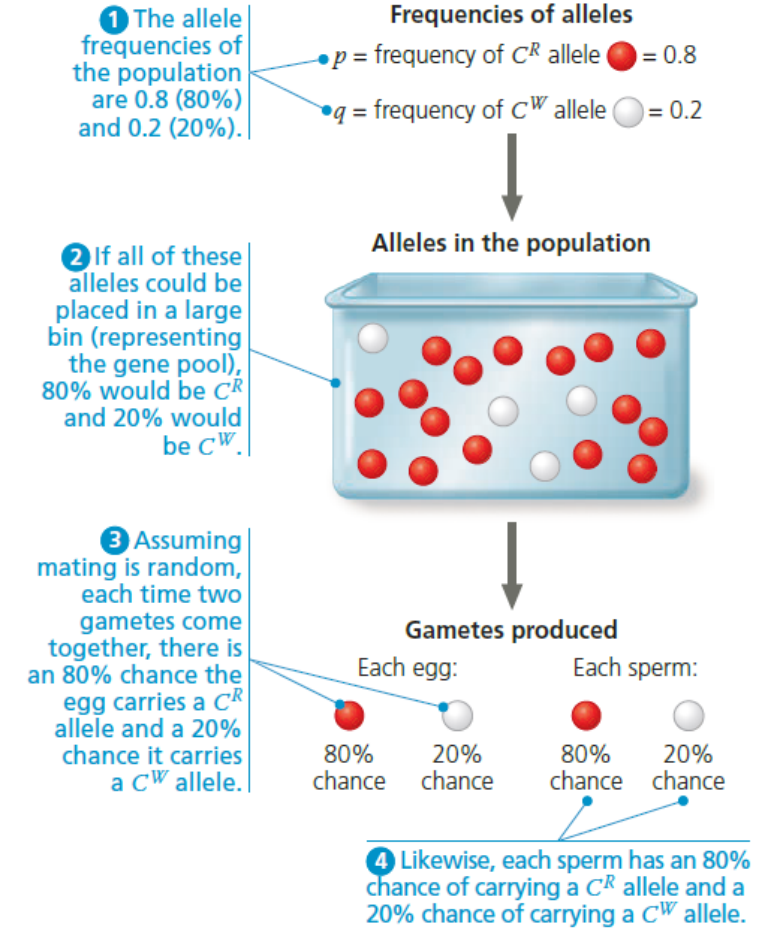
- Hardy-Weinberg modeli, gen havuzunu büyük bir kutu içerisinde bulunan tüm alleller olarak düşünür.
- Bu kutu, belirli bir lokustaki tüm allellerin popülasyondaki toplamını temsil eder.
- Üreme sırasında gametler bu kutudan rastgele allel seçilmesi şeklinde modellenir.
- Böylece çiftleşmenin rastgele gerçekleştiği varsayımı oluşturulur.





Rastgele Çiftleşme Varsayımı

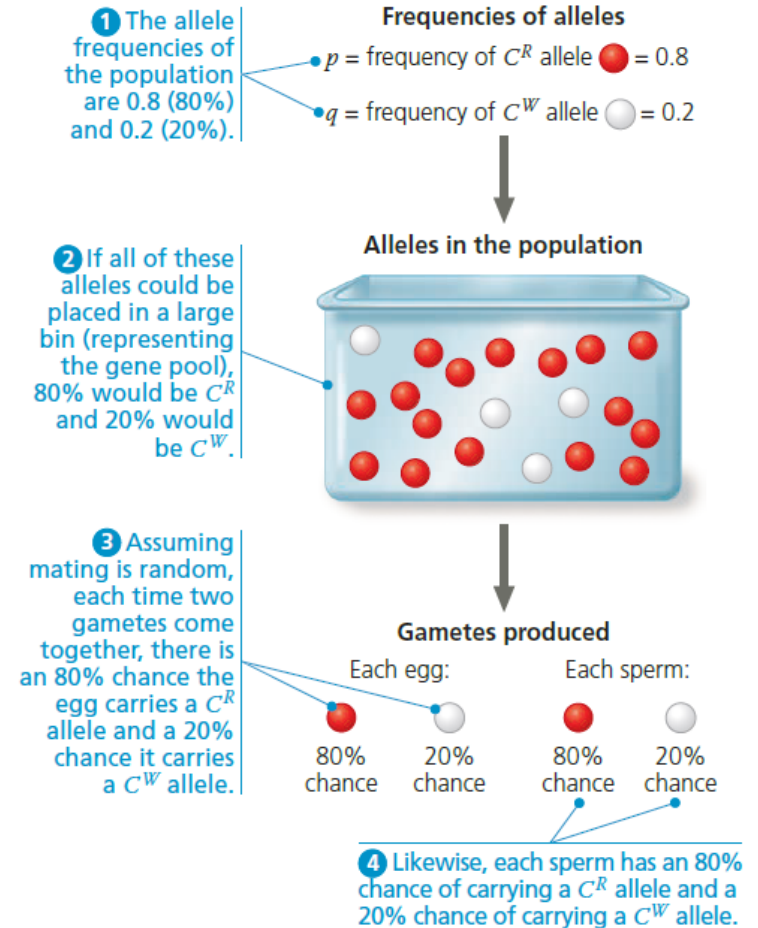
- Modelde bütün dişi ve erkek bireylerin birbirleriyle çiftleşme olasılığı eşit kabul edilir.
- Bu durum rastgele çiftleşme olarak adlandırılır.
- Doğada balıkların sperm ve yumurtalarını suya bırakması veya bitkilerde polenlerin rüzgârla taşınması bu duruma benzer örnekler oluşturur.
- Böylece gametlerin birleşmesi tamamen olasılıklara dayalı olarak değerlendirilir.





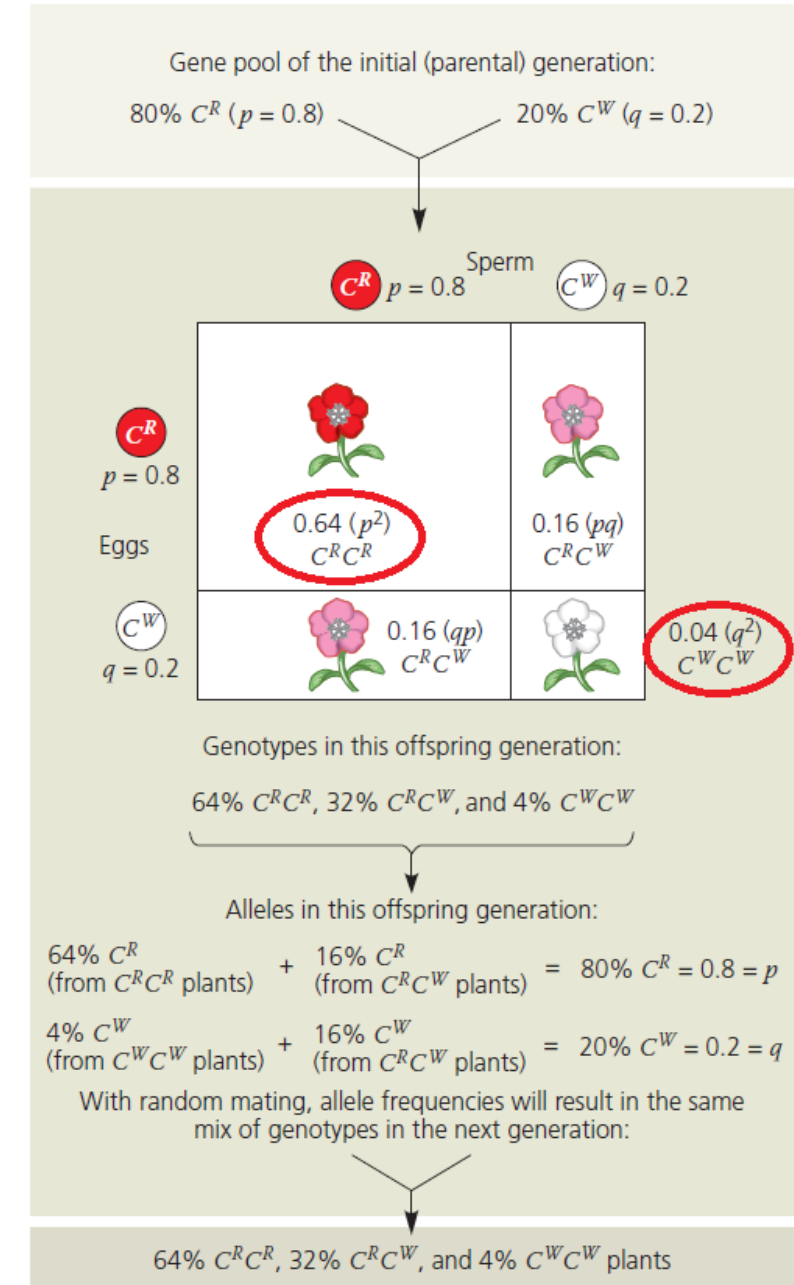
Yabani Çiçek Popülasyonunun Gen Havuzu

- Daha önce incelenen yabani çiçek popülasyonunda C^R allelinin frekansı $p = 0,8$, C^W allelinin frekansı ise $q = 0,2$ olarak belirlenmişti.
- Toplam 1.000 allelin bulunduğu gen havuzunda 800 C^R ve 200 C^W alleli yer almaktadır.
- Gametler bu gen havuzundan rastgele oluşmaktadır.
- Bu nedenle her sperm ve her yumurtanın C^R alleli taşıma olasılığı %80, C^W alleli taşıma olasılığı ise %20'dir.



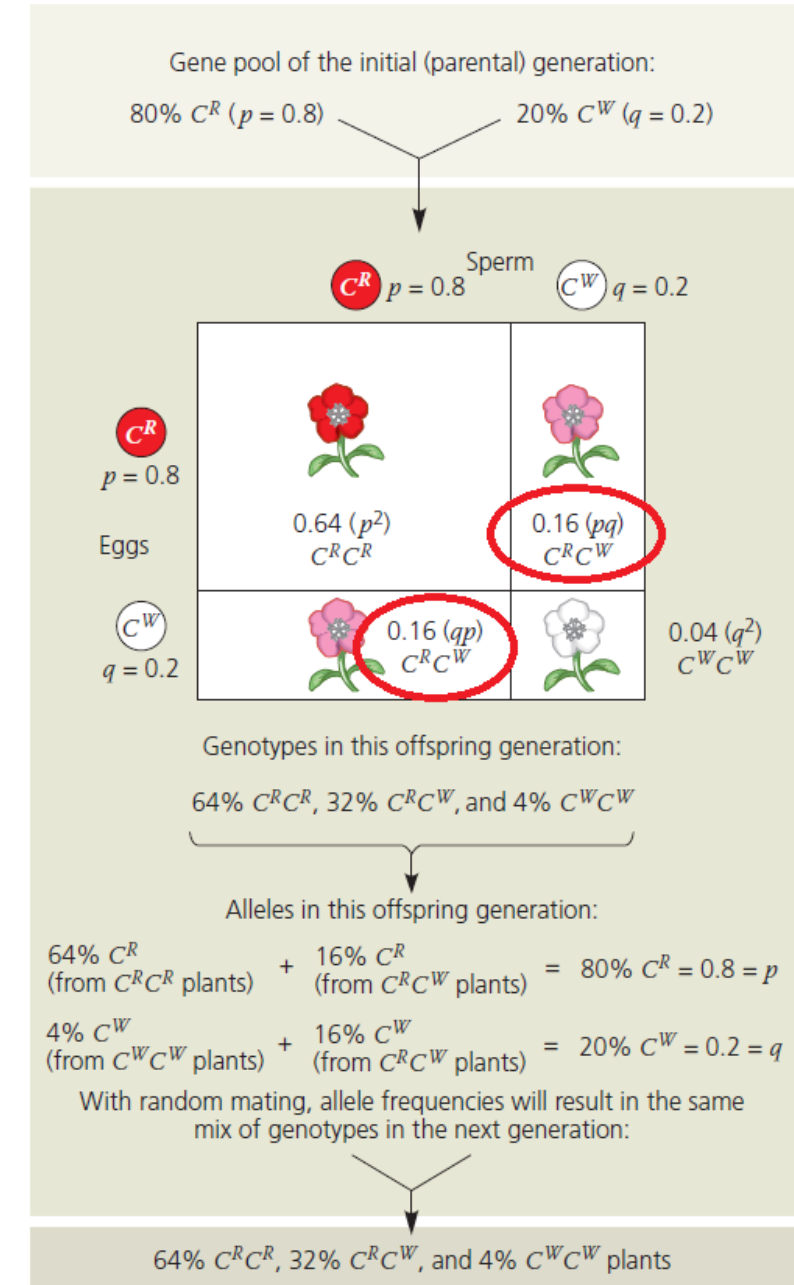
Beklenen Homozigot Genotip Frekansları

- Rastgele döllenme varsayımı altında iki C^R allelinin birleşme olasılığı p^2 ile hesaplanır.
- Bu örnekte $0,8 \times 0,8 = 0,64$ olduğundan bireylerin yaklaşık %64'ünün $C^R C^R$ genotipinde olması beklenir.
- Benzer şekilde iki C^W allelinin birleşme olasılığı q^2 değerini verir.
- $0,2 \times 0,2 = 0,04$ olduğundan popülasyonun yaklaşık %4'ünün $C^W C^W$ genotipinde olması beklenir.



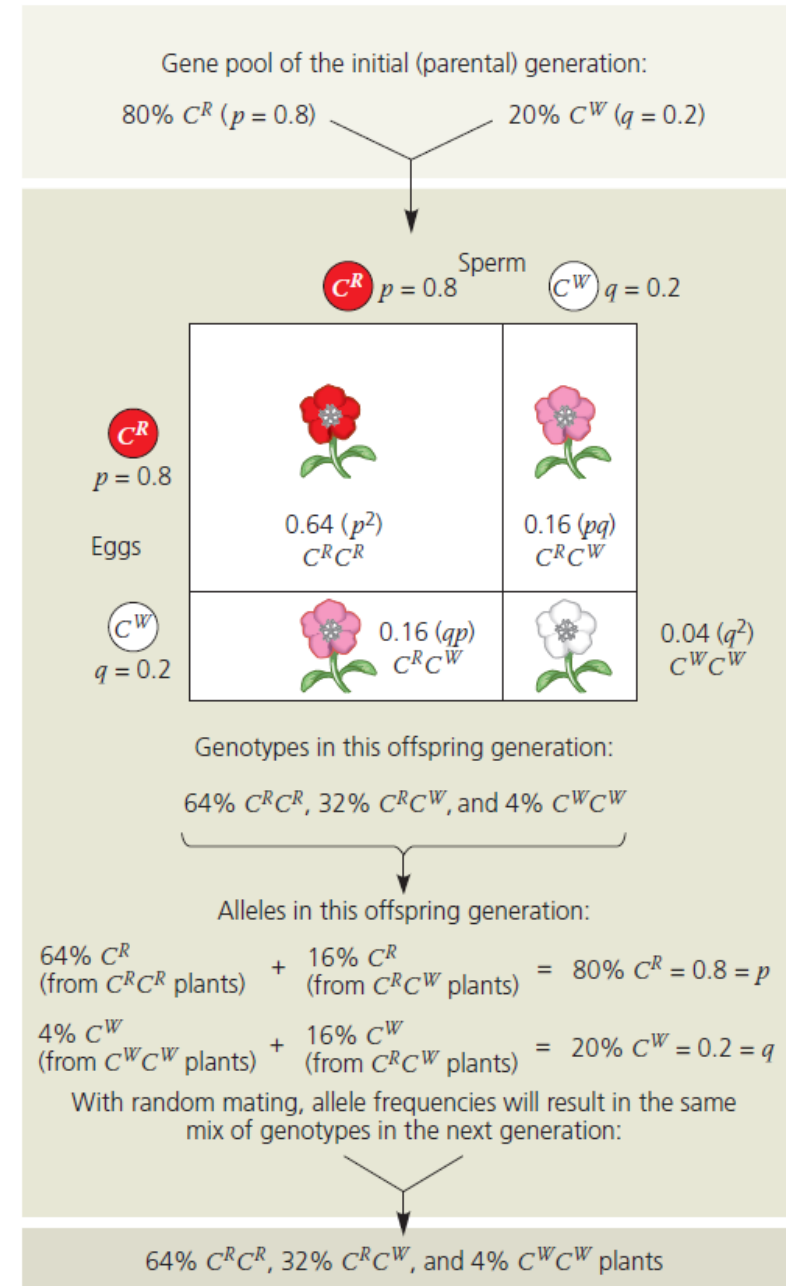
Beklenen Heterozigot Frekansı

- Heterozigot bireyler iki farklı şekilde oluşabilir.
- C^R alleli spermden, C^W alleli yumurtadan gelebilir veya bunun tam tersi gerçekleşebilir.
- Bu iki olasılığın toplamı $2pq$ ile ifade edilir.
- Örnekte $2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,32$ olduğundan heterozigot bireylerin yaklaşık %32 olması beklenmektedir.



Hardy-Weinberg Denklemi

- Hardy-Weinberg dengesinde iki allelli bir lokus için beklenen genotip frekansları $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ denklemiyle ifade edilir.
- p^2 , birinci homozigot genotipin beklenen frekansını gösterir.
- $2pq$, heterozigot genotipin beklenen frekansını ifade eder.
- q^2 ise ikinci homozigot genotipin beklenen frekansını gösterir.





Denklemin Yorumu

- İki allelli bir lokusta yalnızca üç farklı genotip oluşabilir.
- Bu nedenle genotip frekanslarının toplamı her zaman 1 yani %100'dür.
- Ancak bu durum tek başına Hardy-Weinberg dengesinin sağlandığını göstermez.
- Dengenin oluşabilmesi için gözlenen genotip frekanslarının sırasıyla p^2 , $2pq$ ve q^2 değerlerine karşılık gelmesi gerekir.





Hardy-Weinberg Dengesinin Sonucu

- Popülasyon Hardy-Weinberg dengesindeyse ve rastgele çiftleşme nesiller boyunca devam ederse allel frekansları değişmez.
- Buna bağlı olarak genotip frekansları da nesilden nesile sabit kalır.
- Bu durum, sürekli karıştırılan bir iskambil destesine benzetilebilir.
- Deste her karıştırıldığında kartların sıralanışı değişse de, destedeki kartların sayısı değişmediği gibi, yalnızca allellerin yeniden karışması da allel frekanslarını değiştirmez.





Hardy-Weinberg Dengesi İçin Gerekli Koşullar

- Hardy-Weinberg yaklaşımı, evrimleşmeyen ideal bir popülasyonu tanımlar.
- Bir popülasyonun Hardy-Weinberg dengesinde kalabilmesi için yandaki tabloda yer alan beş temel koşulun tamamını sağlaması gerekir.
- Koşullardan herhangi biri bozulduğunda popülasyonda evrimsel değişim meydana gelebilir.

Durum	Koşulun Sağlanmaması Durumunda Ortaya Çıkacak Sonuç
1. Mutasyon yok	Mutasyonlar meydana gelirse veya genlerin tamamı delesyona uğrar veya duplike edilirse gen havuzu değişime uğrar.
2. Rastgele çiftleşme	Eğer bireyler popülasyonun bir alt kümesi içinde, örneğin yakın komşular veya yakın akrabalar arasında çiftleşirse (akraba evliliği), gametlerin rastgele karışımı gerçekleşmez ve genotip frekansları değişir.
3. Doğal seçim yok	Farklı genotiplere sahip bireyler hayatta kalma veya üreme başarılarında tutarlı farklılıklar gösterdiğinde allel frekansları değişir.
4. Son derece büyük popülasyon	Küçük popülasyonlarda allel frekansları zaman içinde rastgele dalgalanır (genetik sürüklenme adı verilen bir süreç).
5. Gen akışı yok	Gen akışı, allellerin popülasyonlara girip çıkmasını sağlayarak allel frekanslarını değiştirebilir.





Doğada Hardy-Weinberg Dengesi

- Doğal popülasyonlarda allel ve genotip frekansları çoğu zaman zaman içinde değişmektedir.
- Bunun temel nedeni, Hardy-Weinberg dengesinin koşullarından en az birinin genellikle sağlanamamasıdır.
- Buna rağmen bazı genler açısından doğal popülasyonlar Hardy-Weinberg dengesini koruyabilir.
- Bu nedenle bir popülasyonun tamamı yerine, çoğu zaman belirli lokuslar değerlendirilmektedir.





Neden Bazı Genler Dengede Kalabilir?

- Doğal seçim bazı lokuslardaki allel frekanslarını değiştirirken diğer lokusları etkilemeyebilir.
- Böyle durumlarda yalnızca belirli genlerde Hardy-Weinberg dengesi korunabilir.
- Ayrıca bazı popülasyonlar çok yavaş evrimleşmektedir.
- Bu nedenle allel ve genotip frekanslarındaki küçük değişimler, evrimleşmeyen bir popülasyondan ayırt edilemeyecek kadar düşük olabilir.



Hardy-Weinberg Denklemimin Kullanım Alanları

- Hardy-Weinberg denklemi, bir popülasyonda evrim gerçekleşip gerçekleşmediğini değerlendirmede ilk basamak olarak kullanılır.
- Bunun yanında tıbbi genetikte de önemli uygulama alanlarına sahiptir.
- Özellikle kalıtsal hastalıklara ait allellerin toplumdaki taşıyıcılık oranını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Bu nedenle denklem, hem evrimsel biyolojide hem de tıbbi genetikte temel bir analiz aracıdır.



Fenilketonüri Örneği

- Hardy-Weinberg denkleminin tıbbi uygulamalarına örnek olarak fenilketonüri (FKU) verilebilir.
- FKU, resesif bir allelin homozigot durumda bulunması sonucu ortaya çıkan metabolik bir hastalıktır.
- Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık her 10.000 doğumdan birinde görülmektedir.
- Tedavi edilmediğinde zihinsel yetersizlik ve başka sağlık sorunlarına neden olabilir.





FKU'da Erken Tanının Önemi

- Günümüzde yenidoğan bebekler rutin olarak FKU açısından taranmaktadır.
- Hastalık erken dönemde belirlenebilmektedir.
- Fenilalanince çok fakir bir diyet uygulanmasıyla belirtiler büyük ölçüde önlenebilmektedir.
- Böylece erken tanı, hastalığın yaşam boyu oluşturabileceği ciddi etkileri önemli ölçüde azaltmaktadır.





FKU Hesaplamasında Yapılan Varsayımlar

- Hardy-Weinberg denkleminin uygulanabilmesi için popülasyonun denge koşullarını sağladığı kabul edilir.
- Buna göre yeni FKU mutasyonlarının oluşmadığı varsayılır.
- Bireylerin eş seçiminde FKU genini taşıyıp taşıyamalarının etkili olmadığı ve yakın akraba evliliklerinin yaygın olmadığı kabul edilir.
- Ayrıca doğal seçim, genetik sürüklenme ve diğer popülasyonlardan gen akışı gibi süreçlerin hesaplamaya önemli ölçüde etki etmediği varsayılır.





Varsayımların Gerçekçi Olması

- FKU genindeki mutasyon oranı oldukça düşüktür.
- Amerika Birleşik Devletleri'nde akraba evlilikleri ve rastgele olmayan çiftleşme yaygın değildir.
- Doğal seçim yalnızca nadir görülen homozigot bireyleri etkiler ve bu etki de diyet uygulanmadığında belirginleşir.
- Ayrıca popülasyonun büyük olması ve diğer popülasyonlarla benzer FKU allel frekanslarına sahip olması bu varsayımları desteklemektedir.





FKU Allel Frekansının Hesaplanması

- Hardy-Weinberg dengesinde FKU'lu bireylerin görülme sıklığı q^2 değerine karşılık gelir.
- Hastalık yaklaşık her 10.000 doğumda bir görüldüğü için $q^2 = 0,0001$ olarak kabul edilir.
- Resesif allelin frekansı bu değerın karekökü alınarak hesaplanır.
- Buna göre $q = 0,01$ olarak bulunur.



Baskın Allelin Frekansı

- İki allelli bir lokusta allel frekanslarının toplamı her zaman 1'e eşittir.
- Bu nedenle baskın allelin frekansı $p = 1 - q$ bağıntısıyla hesaplanır.
- $q = 0,01$ olduğundan $p = 0,99$ olarak bulunur.
- Böylece popülasyondaki her iki allelin frekansı belirlenmiş olur.





Taşıyıcıların Oranının Hesaplanması

- FKU taşıyıcısı olan heterozigot bireylerin frekansı $2pq$ ile hesaplanır.
- Hesaplama sonucunda $2 \times 0,99 \times 0,01 = 0,0198$ değeri elde edilir.
- Bu değer, popülasyonun yaklaşık %2'sinin FKU taşıyıcısı olduğunu göstermektedir.
- Bu bireyler hastalığı göstermeseler de resesif alleli çocuklarına aktarabilir.





Hardy-Weinberg Yaklaşımının Önemi

- Hardy-Weinberg denklemi ideal koşullara dayanan yaklaşık sonuçlar verir.
- Bu nedenle gerçek taşıyıcı sayısı hesaplanan değerden bir miktar farklı olabilir.
- Buna rağmen bu yaklaşım, zararlı resesif allellerin sağlıklı heterozigot bireylerde uzun süre gizli kalabileceğini göstermektedir.
- Hardy-Weinberg denklemi bu yönüyle hem evrimsel süreçlerin hem de kalıtsal hastalıkların anlaşılmasında önemli bir araçtır.





Hardy-Weinberg Dengesinden Sapma ve Evrim

- Hardy-Weinberg dengesinin sağlanabilmesi için beş temel koşulun aynı anda gerçekleşmesi gerekir.
- Bu koşullardan herhangi birinin bozulması, popülasyonda evrimsel değişimin gerçekleşmesine neden olabilir.
- Yeni mutasyonlar, rastgele olmayan çiftleşme, doğal seçilim, genetik sürüklenme ve gen akışı bu dengenin bozulmasına katkı sağlayan temel süreçlerdir.

Durum	Koşulun Sağlanmaması Durumunda Ortaya Çıkacak Sonuç
1. Mutasyon yok	Mutasyonlar meydana gelirse veya genlerin tamamı delesyona uğrar veya duplike edilirse gen havuzu değişime uğrar.
2. Rastgele çiftleşme	Eğer bireyler popülasyonun bir alt kümesi içinde, örneğin yakın komşular veya yakın akrabalar arasında çiftleşirse (akraba evliliği), gametlerin rastgele karışımı gerçekleşmez ve genotip frekansları değişir.
3. Doğal seçilim yok	Farklı genotiplere sahip bireyler hayatta kalma veya üreme başarılarında tutarlı farklılıklar gösterdiğinde allel frekansları değişir.
4. Son derece büyük popülasyon	Küçük popülasyonlarda allel frekansları zaman içinde rastgele dalgalanır (genetik sürüklenme adı verilen bir süreç).
5. Gen akışı yok	Gen akışı, allellerin popülasyonlara girip çıkmasını sağlayarak allel frekanslarını değiştirebilir.





Mutasyon ve Rastgele Olmayan Çiftleşmenin Etkileri

- Yeni mutasyonlar allel frekanslarını değiştirebilir, ancak mutasyonların nadir gerçekleşmesi nedeniyle bu değişim genellikle nesiller arasında oldukça küçüktür.
- Rastgele olmayan çiftleşme ise homozigot ve heterozigot genotiplerin oranlarını değiştirebilir.
- Buna karşın, yalnızca rastgele olmayan çiftleşme gerçekleşiyorsa allel frekanslarında doğrudan bir değişim meydana gelmez.
- Ancak belirli kalıtsal özelliklere sahip bireylerin daha fazla eş bulması durumunda doğal seçim de devreye girdiğinden allel frekansları değişebilir.





Allel Frekanslarını Değiştiren Temel Mekanizmalar

- Popülasyonlarda evrimsel değişimin büyük bölümü üç temel mekanizma tarafından oluşturulur.
- Bunlar doğal seçim, genetik sürüklenme ve gen akışıdır.
- Bu mekanizmalar Hardy-Weinberg dengesinin doğal seçim, sonsuz büyüklükte popülasyon ve göç olmaması koşullarının bozulmasıyla ilişkilidir.
- Sonuç olarak bu süreçler, allel frekanslarını doğrudan değiştirerek popülasyonların zaman içinde evrimleşmesini sağlar.





Doğal Seçilimin Temel Mantığı

- Doğal seçim, bireylerin yaşama ve üreme başarısındaki farklılıklara dayanır.
- Popülasyondaki bireyler kalıtsal özellikler bakımından birbirlerinden farklıdır.
- Çevreye daha iyi uyum sağlayan özelliklere sahip bireyler daha fazla yavru oluşturma eğilimindedir.
- Böylece avantaj sağlayan kalıtsal özellikler sonraki nesillerde giderek daha yaygın hâle gelir.





Doğal Seçilim Allel Frekanslarını Nasıl Değiştirir?

- Genetik açıdan doğal seçim, bazı allellerin sonraki nesillere diğerlerinden daha yüksek oranlarda aktarılması anlamına gelir.
- Böylece yeni nesildeki allel frekansları önceki nesilden farklı hâle gelir.
- Bu değişim rastlantısal değildir; çevre koşulları belirli allellerin aktarılmasını sürekli olarak destekler.
- Sonuçta popülasyonun gen havuzunda zamanla önemli değişiklikler meydana gelir.





DDT Direnci Örneği

- Meyve sineği *Drosophila melanogaster*'de bazı böcek öldürücülere, özellikle DDT'ye direnç kazandıran bir allel bulunmaktadır.
- DDT kullanılmaya başlanmadan önce, 1930'lu yılların başında doğadan toplanan bireylerden oluşturulan laboratuvar popülasyonlarında bu allelin frekansı %0 olarak belirlenmiştir.
- Buna karşılık, 1960 yılından sonra toplanan popülasyonlarda aynı allelin frekansı %37'ye yükselmiştir.
- Bu artış, DDT'nin dirençli bireyleri seçen güçlü bir seçim baskısı oluşturduğunu göstermektedir.





Adaptif Evrim

- Direnç sağlayan bir allel, böcek ilacına maruz kalan popülasyonlarda giderek daha yaygın hâle gelir.
- Bu değişim tesadüfi değildir; doğal seçim belirli allelleri sürekli olarak diğerlerine göre avantajlı hâle getirir.
- Böylece yaşama veya üreme başarısını artıran özelliklerin zaman içinde popülasyonda yaygınlaşması adaptif evrim olarak adlandırılır.
- Doğal seçim, çevreye uyumu artıran özelliklerin nesiller boyunca birikmesini sağlayan temel mekanizmadır.





Genetik Sürüklenme Nedir?

- Allel frekansları yalnızca doğal seçimle değil, tamamen şansa bağlı olaylarla da değişebilir.
- Küçük popülasyonlarda rastlantısal olayların etkisi çok daha belirgindir.
- Bu nedenle allel frekansları nesilden nesile öngörülemeyen biçimde dalgalanabilir.
- Şansa bağlı bu değişim süreci genetik sürüklenme olarak adlandırılır.





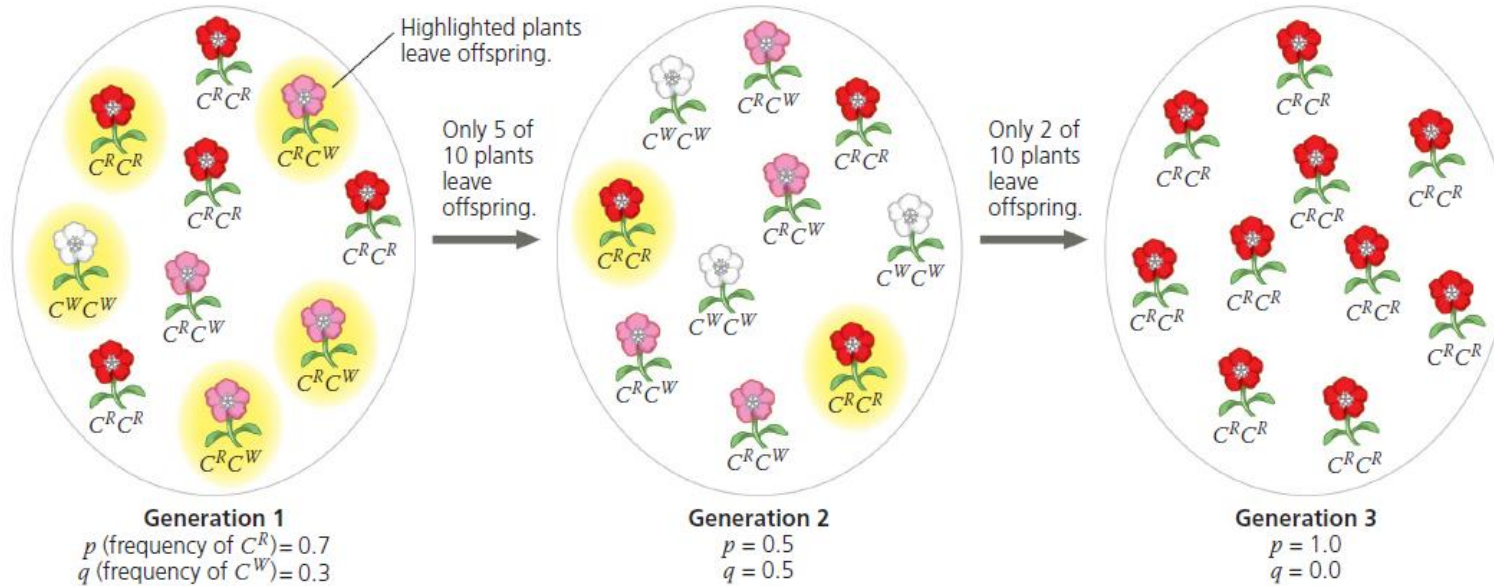
Küçük Popülasyonlarda Şansın Önemi

- Yazı tura örneğinde olduğu gibi, örneklem büyüklüğü küçüldükçe beklenen sonuçtan sapma olasılığı artar.
- Benzer şekilde küçük popülasyonlarda rastlantısal olaylar allel frekanslarını önemli ölçüde değiştirebilir.
- Bu değişimler herhangi bir adaptif avantajdan değil, tamamen şans faktöründen kaynaklanır.
- Dolayısıyla küçük popülasyonlar genetik sürüklenmenin etkilerine daha açıktır.



Genetik Sürüklenmenin Popülasyona Etkisi

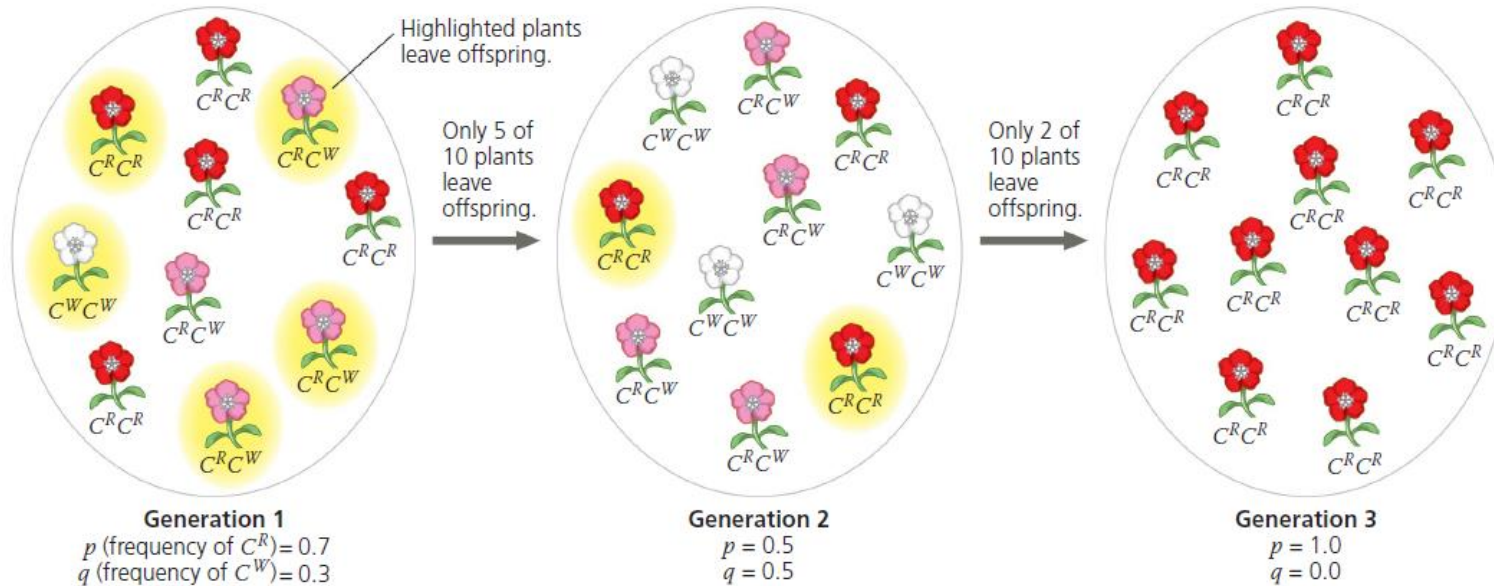
- Genetik sürüklenme bazı allellerin gen havuzundan tamamen kaybolmasına yol açabilir.
- Bu süreçte hangi allelin kaybolacağı önceden tahmin edilemez ve tamamen rastlantısaldır.





Genetik Sürüklenmenin Popülasyona Etkisi

- Örneğin bir nesilde belirli genotipe sahip bireylerin tesadüfen ölmesi, yalnızca diğer allellerin sonraki nesle aktarılmasına neden olabilir.
- Benzer şekilde döllenme sırasında gerçekleşen rastlantısal olaylar da belirli allellerin aktarılma olasılığını değiştirebilir.





Genetik Sürüklenmeyi Güçlendiren Özel Durumlar

- Bazı koşullar genetik sürüklenmenin popülasyon üzerindeki etkisini çok daha belirgin hâle getirir.
- Bunlardan biri kurucu etkisi (founder effect), diğeri ise darboğaz etkisidir (bottleneck effect).
- Her iki durumda da rastlantısal olaylar nedeniyle allel frekanslarında önemli değişiklikler meydana gelebilir.
- Bu özel durumlar, genetik sürüklenmenin evrimsel süreçte ne kadar güçlü sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir.





Kurucu Etkisi Nedir?

- Kurucu etkisi, büyük bir popülasyondan ayrılan az sayıdaki bireyin yeni bir popülasyon oluşturmasıyla ortaya çıkan bir genetik sürüklenme olayıdır.
- Yeni oluşan popülasyonun gen havuzu, kaynak popülasyondaki gen havuzundan farklı olabilir.
- Bu farklılık, bireylerin belirli özelliklere sahip olmasından değil, tamamen rastlantısal olarak seçilmelerinden kaynaklanır.
- Bu nedenle kurucu etkisi, küçük popülasyonlarda allel frekanslarının kısa sürede değişmesine yol açabilir.



Kurucu Etkisi Nasıl Ortaya Çıkar?

- Kurucu etkisi, örneğin bir fırtına sonucunda birkaç bireyin yeni bir adaya taşınması gibi olaylarla gerçekleşebilir.
- Bu bireyler yeni popülasyonun kurucuları hâline gelir.
- Fırtına hangi bireylerin taşınacağını rastgele belirlediği için yeni popülasyona aktarılan alleller de tamamen şansa bağlı olarak seçilir.
- Böylece genetik sürüklenme, yeni oluşan popülasyonda allel frekanslarının değişmesine neden olur.



Kurucu Etkisinin İnsan Popölasyonlarındaki Sonuçları

- Kurucu etkisi, izole insan topluluklarında bazı kalıtsal hastalıkların beklenenden daha sık görülmesini açıklayabilir.
- Bunun en bilinen örneklerinden biri Atlas Okyanusu'ndaki Tristan da Cunha adalarında yaşayan insan topluluğudur.
- 1814 yılında adaya yerleşen yalnızca 15 İngiliz kolonici, bu küçük topluluğun başlangıcını oluşturmuştur.
- Kurucu bireylerden birinin ilerleyici körlüğe neden olan retinitis pigmentosa hastalığına ait çekinik alleli taşıdığı düşünülmektedir.





Tristan da Cunha Örneği

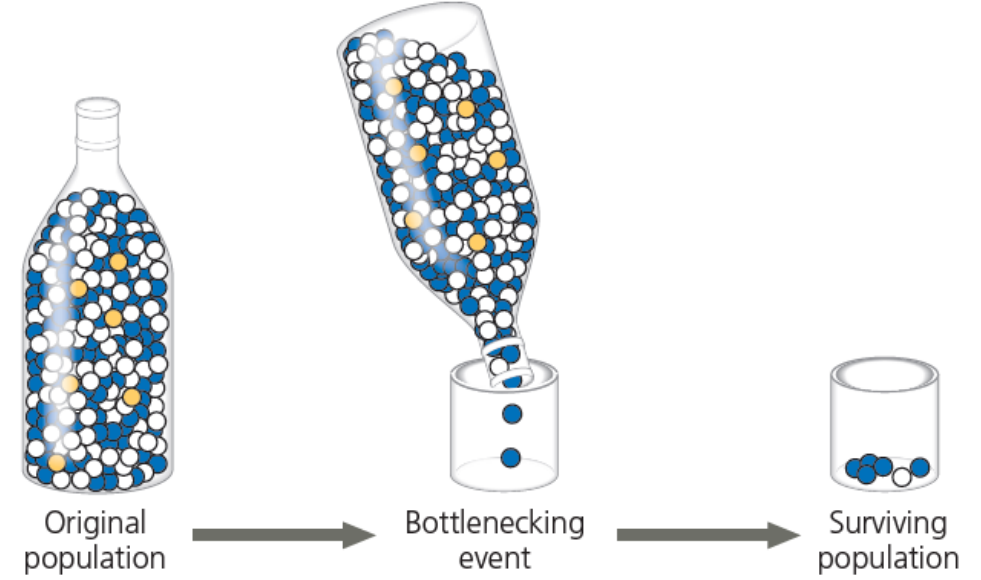
- 1960'lı yılların sonlarında adadaki kurucu bireylerin soyundan gelen yaklaşık 240 kişinin dördünde retinitis pigmentosa hastalığı görülmüştür.
- Hastalığa neden olan allelin frekansı, kurucu bireylerin geldiği popülasyonlara göre yaklaşık on kat daha yüksektir.
- Bu durum, küçük bir kurucu grubun genetik yapısının sonraki nesiller üzerinde ne kadar güçlü etkiler oluşturabileceğini göstermektedir.
- Kurucu etkisi, tamamen rastlantısal olayların popülasyonların genetik yapısını değiştirebildiğinin önemli bir kanıtıdır.





Darboğaz Etkisi Nedir?

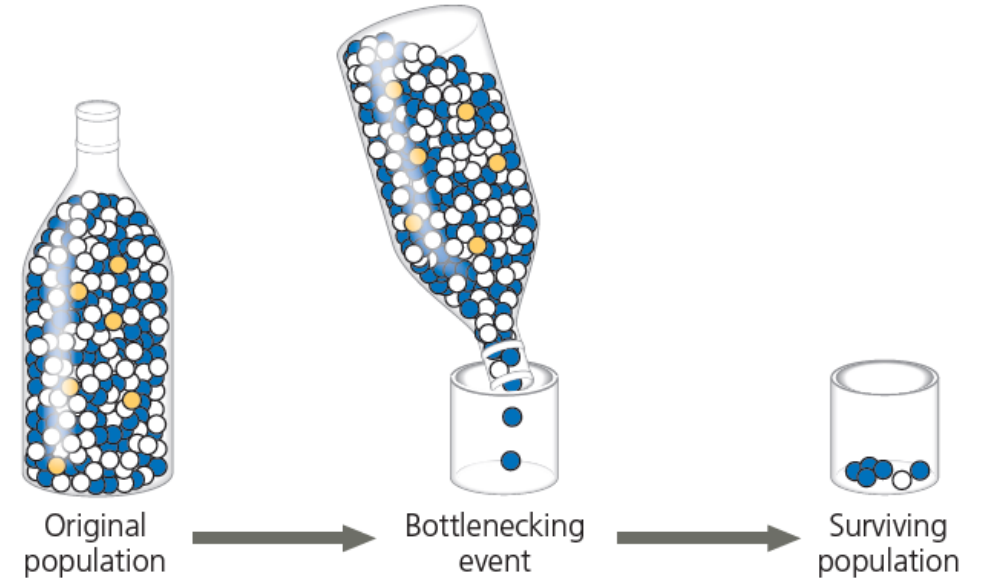
- Çevrede meydana gelen ani değişimler bazen popülasyon büyüklüğünü çok kısa sürede önemli ölçüde azaltabilir.
- Yangın, sel veya benzeri olaylar çok sayıda bireyin ortadan kalkmasına neden olabilir.
- Popülasyonun çok az sayıda bireyle yaşamını sürdürmek zorunda kalması darboğaz etkisi olarak adlandırılır.
- Darboğaz etkisi de genetik sürüklenmenin önemli bir örneğidir.





Darboğaz Etkisinin Gen Havuzuna Etkileri

- Darboğazdan sağ çıkan bireyler popülasyonun gelecekteki gen havuzunu oluşturur.
- Tamamen şansa bağlı olarak bazı alleller sağ kalan bireylerde normalden daha yüksek sıklıkta bulunabilir.
- Bazı alleller daha düşük sıklıkta temsil edilirken, bazıları ise tamamen kaybolabilir.
- Sonuç olarak popülasyonun genetik çeşitliliği önemli ölçüde azalabilir.





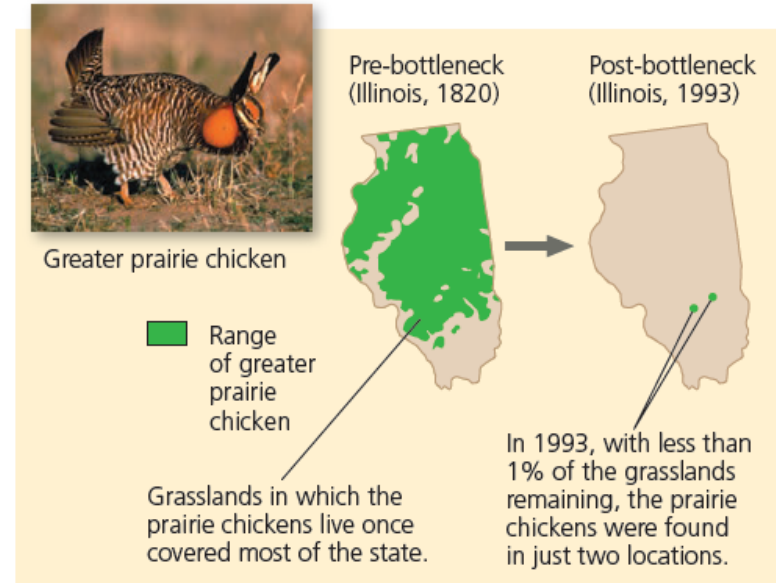
Darboğaz Sonrası Genetik Çeşitlilik

- Popülasyon yeniden büyüse bile düşük genetik çeşitlilik uzun süre devam edebilir.
- Bunun nedeni, popülasyon küçükken gerçekleşen genetik sürüklenmenin kalıcı etkiler bırakmasıdır.
- İnsan faaliyetleri de bazı türlerde ciddi darboğaz etkileri oluşturabilmektedir.
- Bunun çarpıcı örneklerinden biri Illinois'teki büyük çayır tavuğu popülasyonudur.



Büyük Çayır Tavuğu Popülasyonundaki Darboğaz

- Geçmişte Illinois çayırlarında milyonlarca büyük çayır tavuğu yaşamaktaydı.
- Ancak 19. ve 20. yüzyıllarda çayırların tarım alanlarına dönüştürülmesi popülasyonun hızla azalmasına neden olmuştur.
- 1993 yılına gelindiğinde popülasyonda 50'den daha az birey kalmıştır (a).
- Hayatta kalan bireylerde genetik çeşitlilik düşük, yumurtaların açılma oranı ise Kansas ve Nebraska'daki büyük popülasyonlara göre belirgin biçimde daha azdır (b).



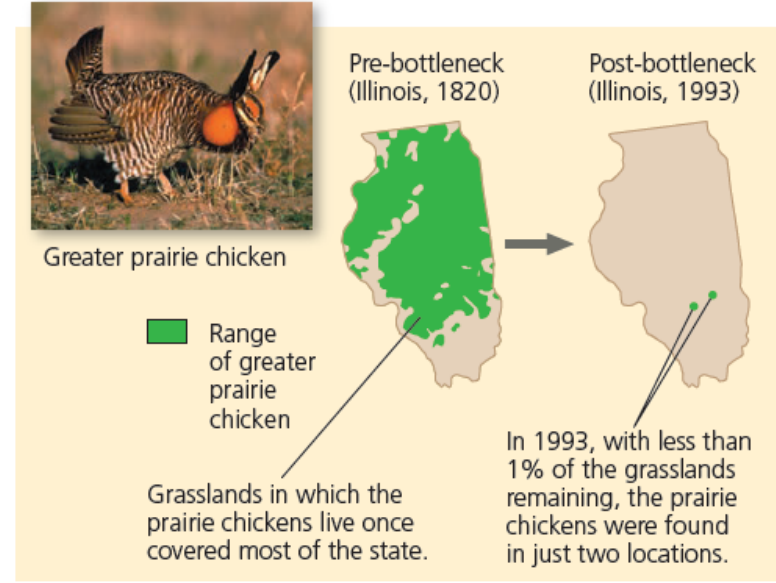
(a) The Illinois population of greater prairie chickens dropped from millions of birds in the 1800s to fewer than 50 birds in 1993.

Location	Population size	Number of alleles per locus	Percentage of eggs hatched
Illinois			
1930–1960s	1,000–25,000	5.2	93
1993	<50	3.7	<50
Kansas, 1998 (no bottleneck)	750,000	5.8	99
Nebraska, 1998 (no bottleneck)	75,000–200,000	5.8	96

(b) In the small Illinois population, genetic drift led to decreases in the number of alleles per locus and the percentage of eggs hatched.

Genetik Sürüklenmenin Kanıtları

- Araştırmacılar, darboğazın genetik çeşitlilik üzerindeki etkisini incelemek amacıyla müze örneklerinden DNA elde etmiştir.
- İncelenen örneklerin bir bölümü 1930'lu yıllarda, diğer bölümü ise 1960'lı yıllarda toplanmıştır.
- Böylece popülasyon çok küçülmeden önceki genetik çeşitlilik için bir başlangıç değeri belirlenebilmiştir.
- Bu yaklaşım, darboğaz öncesi ve sonrası genetik yapının doğrudan karşılaştırılmasını mümkün kılmıştır.



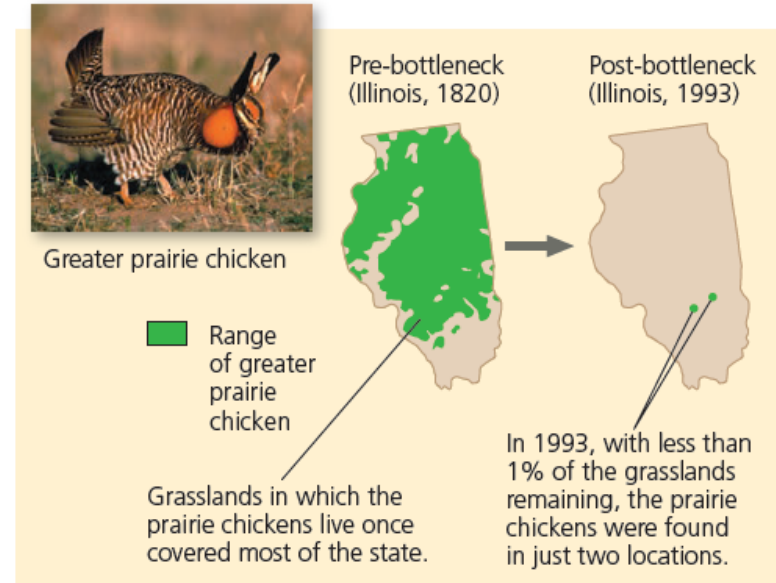
(a) The Illinois population of greater prairie chickens dropped from millions of birds in the 1800s to fewer than 50 birds in 1993.

Location	Population size	Number of alleles per locus	Percentage of eggs hatched
Illinois			
1930–1960s	1,000–25,000	5.2	93
1993	<50	3.7	<50
Kansas, 1998 (no bottleneck)	750,000	5.8	99
Nebraska, 1998 (no bottleneck)	75,000–200,000	5.8	96

(b) In the small Illinois population, genetic drift led to decreases in the number of alleles per locus and the percentage of eggs hatched.

Araştırmanın Bulguları

- Altı farklı gen lokusunda yapılan analizler, 1993 popülasyonunda lokus başına düşen allel sayısının belirgin şekilde azaldığını göstermiştir.
- Bu değerler hem darboğaz öncesi Illinois popülasyonundan hem de günümüzdeki Kansas ve Nebraska popülasyonlarından daha düşüktür.
- Bulgular, genetik sürüklenmenin küçük popülasyonda genetik çeşitliliği azalttığını doğrulamaktadır.
- Ayrıca zararlı allellerin frekansındaki artışın düşük yumurta açılma oranına katkıda bulunmuş olabileceği düşünülmektedir (b).



(a) The Illinois population of greater prairie chickens dropped from millions of birds in the 1800s to fewer than 50 birds in 1993.

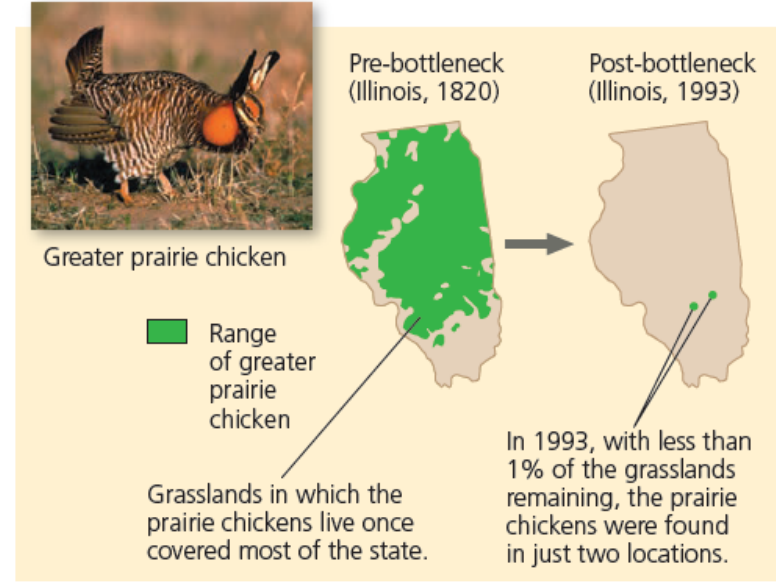
Location	Population size	Number of alleles per locus	Percentage of eggs hatched
Illinois			
1930–1960s	1,000–25,000	5.2	93
1993	<50	3.7	<50
Kansas, 1998 (no bottleneck)	750,000	5.8	99
Nebraska, 1998 (no bottleneck)	75,000–200,000	5.8	96

(b) In the small Illinois population, genetic drift led to decreases in the number of alleles per locus and the percentage of eggs hatched.



Popülasyonun Genetik Olarak Desteklenmesi

- Genetik sürüklenmenin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla komşu eyaletlerden dört yıl içinde toplam 271 kuş Illinois popülasyonuna eklenmiştir.
- Bu bireylerle birlikte popülasyona yeni alleller kazandırılmıştır.
- Uygulamanın ardından yumurtaların açılma oranı %90'ın üzerine yükselmiştir.
- Bu sonuç, küçük popülasyonlarda genetik sürüklenmenin olumsuz etkilerinin uygun koruma çalışmalarıyla en azından bazı durumlarda geri döndürülebileceğini göstermektedir.



(a) The Illinois population of greater prairie chickens dropped from millions of birds in the 1800s to fewer than 50 birds in 1993.

Location	Population size	Number of alleles per locus	Percentage of eggs hatched
Illinois			
1930–1960s	1,000–25,000	5.2	93
1993	<50	3.7	<50
Kansas, 1998 (no bottleneck)	750,000	5.8	99
Nebraska, 1998 (no bottleneck)	75,000–200,000	5.8	96

(b) In the small Illinois population, genetic drift led to decreases in the number of alleles per locus and the percentage of eggs hatched.



Genetik Sürüklenmenin Temel Sonuçları

- Genetik sürüklenme, özellikle küçük popülasyonlarda evrimsel değişimin önemli mekanizmalarından biridir.
- Yapılan çalışmalar, genetik sürüklenmenin popülasyonların genetik yapısını farklı şekillerde etkileyebileceğini göstermektedir.
- Bu etkiler allel frekanslarının değişmesinden genetik çeşitliliğin azalmasına kadar uzanan geniş sonuçlar doğurabilir.
- Genetik sürüklenmenin temel sonuçları dört ana başlık altında incelenebilir.





Genetik Sürüklenme Küçük Popülasyonlarda Daha Güçlüdür

- Şansa bağlı olaylar tüm popülasyonlarda meydana gelir, ancak etkileri küçük popülasyonlarda çok daha belirgindir.
- Küçük popülasyonlarda herhangi bir allel, yalnızca rastlantı sonucu sonraki nesilde beklenenden çok daha fazla veya çok daha az temsil edilebilir.
- Bu nedenle küçük popülasyonlarda allel frekansları kısa sürede önemli ölçüde değişebilir.
- Genetik sürüklenmenin evrim üzerindeki etkisi, popülasyon büyüklüğü azaldıkça giderek artar.





Allel Frekansları Rastgele Değişir

- Genetik sürüklenme sırasında allel frekansları tamamen rastlantısal biçimde değişir.
- Bir allel bir yıl artış gösterebilirken, sonraki yıl aynı allelin frekansı azalabilir.
- Bu değişimlerin yönünü önceden tahmin etmek mümkün değildir.
- Bu yönüyle genetik sürüklenme, belirli allelleri sürekli destekleyen doğal seçimden farklıdır.





Genetik Çeşitlilik Azalabilir

- Genetik sürüklenme, zamanla bazı allellerin popülasyondan tamamen kaybolmasına neden olabilir.
- Böylece popülasyondaki genetik çeşitlilik giderek azalır.
- Oysa evrimsel uyumun gerçekleşebilmesi için genetik çeşitlilik büyük önem taşır.
- Genetik çeşitliliğin azalması, çevresel değişimlere uyum sağlama kapasitesini sınırlandırabilir.





Zararlı Allellerin Sabitlenmesi

- Genetik sürüklenme sonucunda bazı alleller tamamen kaybolabilir, bazıları ise popülasyonda %100 frekansa ulaşarak sabitlenebilir.
- Bu durum yalnızca nötr alleller için değil, hafif derecede zararlı alleller için de gerçekleşebilir.
- Özellikle çok küçük popülasyonlarda zararlı alleller bile yalnızca şans nedeniyle kalıcı hâle gelebilir.
- Böyle bir süreç popülasyonun uzun dönemli yaşama başarısını olumsuz etkileyebilir.



Gen Akışı Nedir?

- Allel frekanslarını değiştiren tek mekanizmalar doğal seçim ve genetik sürüklenme değildir.
- Gen akışı da popülasyonların genetik yapısını değiştiren önemli bir evrimsel mekanizmadır.
- Gen akışı, üreyebilen bireylerin veya gametlerinin bir popülasyona girmesi ya da popülasyondan ayrılması sonucu allellerin taşınmasıdır.
- Böylece popülasyona yeni alleller eklenebilir veya mevcut alleller başka popülasyonlara aktarılabilir.





Gen Akışı Allel Frekanslarını Nasıl Değiştirir?

- Gen akışının etkisi, yabancı bir popülasyondan gelen bireylerin veya polenlerin yeni alleller taşımasıyla ortaya çıkar.
- Örneğin beyaz çiçekli yabani çiçek popülasyonundan taşınan polenler başka bir popülasyonu tozlaştırabilir.
- Böylece yeni nesilde beyaz çiçek allellerinin frekansı artabilir.
- Sonuç olarak gen akışı, popülasyonların allel frekanslarını doğrudan değiştirebilir.





Gen Akışı Popülasyonları Birbirine Benzer Hâle Getirir

- Gen akışı popülasyonlar arasında sürekli allel alışverişine neden olur.
- Bu nedenle farklı popülasyonlar arasındaki genetik farklılıklar zamanla azalır.
- Gen akışı yeterince yoğun gerçekleşirse iki popülasyon ortak bir gen havuzuna sahip tek bir popülasyon hâline gelebilir.
- Böylece popülasyonlar arasındaki genetik ayrışma önemli ölçüde azalır.



Su Yılanlarında Gen Akışı ve Yerel Adaptasyon

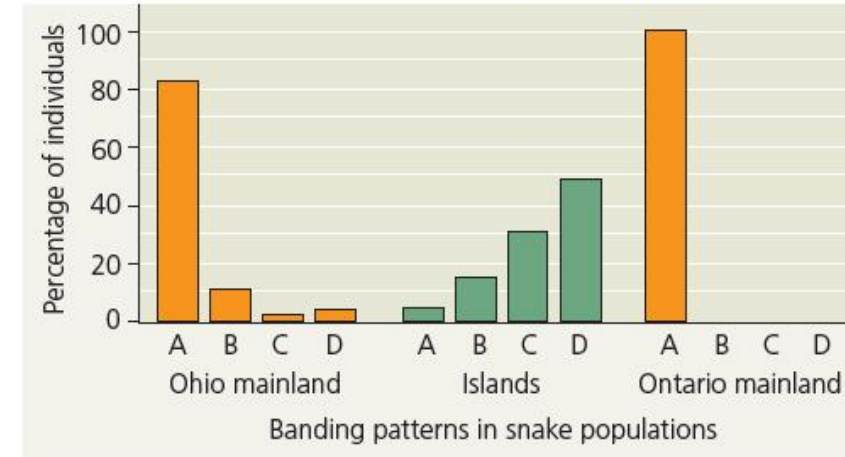
- Erie Gölü su yılanlarının anakara ve ada popülasyonları farklı renk desenlerine sahiptir.
- Anakara bireylerinin büyük çoğunluğu bantlı desen taşırken, ada popülasyonlarının çoğu bantsız veya ara desendir.
- Bantlılık kalıtsal bir özelliktir ve birkaç gen lokusu tarafından kontrol edilir.
- Adalarda yaşayan bantsız bireyler kayalık kıyılarda daha iyi kamufle olduklarından yaşama şansları daha yüksektir.



Unbanded
N. sipedon
(Pattern D)

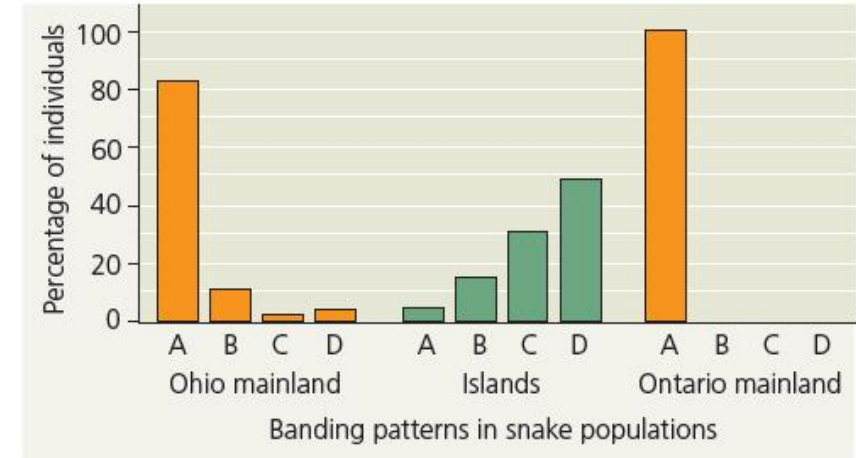
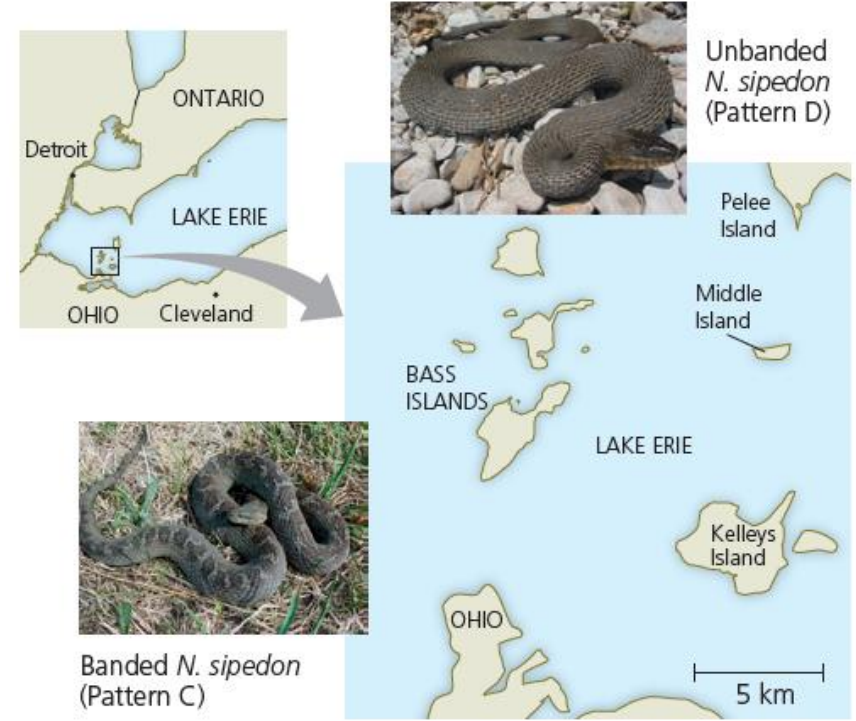


Banded *N. sipedon*
(Pattern C)



Gen Akışı Adaptasyonu Nasıl Sınırlar?

- Doğal seçim adalarda bantsız bireyleri desteklediği için zamanla tüm bireylerin bantsız olması beklenebilir.
- Ancak her yıl anakaradan yaklaşık 3–10 yılan adalara göç etmektedir.
- Bu bireyler bantlılık allellerini ada popülasyonlarına taşımaya devam eder.
- Sürekli devam eden gen akışı, doğal seçilimin bantlı allelleri tamamen ortadan kaldırmasını engelleyerek yerel adaptasyonu sınırlar.





Gen Akışı Faydalı Allelleri de Yayabilir

- Gen akışı her zaman yerel adaptasyonu azaltmaz; bazı durumlarda faydalı allellerin yayılmasını da sağlar.
- Bunun önemli örneklerinden biri *Culex pipiens* sivrisineğinde görülen insektisit direnç allelleridir.
- Araştırmalar, bu allellerin yalnızca bir veya birkaç bölgede mutasyonla ortaya çıktığını göstermektedir.
- Daha sonra gen akışı sayesinde farklı popülasyonlara taşınan bu alleller, doğal seçilimin etkisiyle yeni popülasyonlarda da yaygınlaşmıştır.





İnsan Popölasyonlarında Gen Akışının Artan Önemi

- Günümüzde insanlar geçmişe göre dünya üzerinde çok daha serbest hareket edebilmektedir.
- Bunun sonucunda daha önce birbirleriyle çok az temas eden popölasyonlar arasında çiftleşmeler daha sık gerçekleşmektedir.
- Bu süreç, popölasyonlar arasında allel alışverişini artırmaktadır.
- Sonuç olarak insan popölasyonları arasındaki genetik farklılıklar zamanla azalma eğilimi göstermektedir.



Doğal Seçilim Adaptif Evrimin Temel Mekanizmasıdır

- Doğal seçim, adaptif evrime sürekli olarak yön veren tek evrimsel mekanizmadır.
- Evrim, yeni genetik çeşitliliğin oluşması ile doğal seçilimin bu çeşitliliği ayıklamasının birlikte işlemesi sonucunda gerçekleşir.
- Genetik çeşitlilik mutasyon gibi rastlantısal süreçlerle ortaya çıkarken, doğal seçim avantaj sağlayan allelleri sistematik olarak destekler.
- Bu nedenle doğal seçilimin sonucu rastgele değildir; üreme başarısını artıran allellerin popülasyondaki sıklığı zamanla artar.





Doğal Seçilimde Şans ve Ayıklanmanın Birlikte Rolü

- Doğal seçim iki temel sürecin birleşiminden oluşur. Bunlardan biri yeni genetik varyasyonların rastlantısal olarak oluşması, diğeri ise bu varyasyonların seçim yoluyla ayıklanmasıdır.
- Mutasyon gibi olaylar yeni alleller oluşturur, ancak hangi allellerin gelecek nesillere daha fazla aktarılacağını çevresel koşullar belirler.
- Üreme başarısını artıran özelliklere sahip bireyler daha fazla yavru bıraktıkları için bu özellikleri taşıyan alleller nesiller boyunca yaygınlaşır.
- Böylece popülasyon çevreye daha iyi uyum sağlayan özellikler kazanarak adaptif evrim geçirir.



Göreceli Uygunluk Kavramı

- Doğal seçim açıklanırken sıkça kullanılan "yaşam mücadelesi" ve "en uygun olanın hayatta kalması" ifadeleri her zaman doğrudan fiziksel rekabet anlamına gelmez.
- Üreme başarısı yalnızca bireylerin birbirleriyle mücadele etmesine değil, çevrede sahip oldukları birçok farklı özelliğe bağlıdır.
- Aynı ortamda bazı bireyler besini daha verimli kullanabilir, avcılardan daha iyi saklanabilir veya daha fazla enerji depolayabilir.
- Bu avantajlar bireyin gelecek neslin gen havuzuna yaptığı katkıyı artırır ve bu katkı göreceli uygunluk olarak tanımlanır.





Göreceli Uygunluğa Günlük Yaşamdan Örnekler

- Daha verimli beslenen bir midye, daha fazla enerji depolayarak daha çok yumurta üretebilir.
- Vücut rengi avcılardan daha iyi gizlenmesini sağlayan bir güve daha uzun süre yaşayabilir ve daha fazla yavru bırakabilir.
- Bu örneklerde üstünlük sağlayan özellikler doğrudan güçten değil, daha yüksek üreme başarısından kaynaklanır.
- Dolayısıyla doğal seçim, belirli bir çevrede bireyin genlerini gelecek nesillere aktarma başarısını artıran özellikleri destekler.





Doğal Seçilim Fenotip Üzerinden Etki Gösterir

- Göreceli uygunluk çoğu zaman genotiple ilişkilendirilse de doğal seçilimin doğrudan hedefi genotip değil organizmanın kendisidir.
- Doğal seçilim bireyin gözlenebilir özellikleri yani fenotipi üzerinde etkili olur.
- Genotip ise fenotipi belirlediği için seçimden dolayı olarak etkilenir.
- Başka bir ifadeyle seçim, genleri değil genlerin oluşturduğu özellikleri değerlendirir.



Doğal Seçilimin Fenotip Dağılımını Değiştirme Yolları

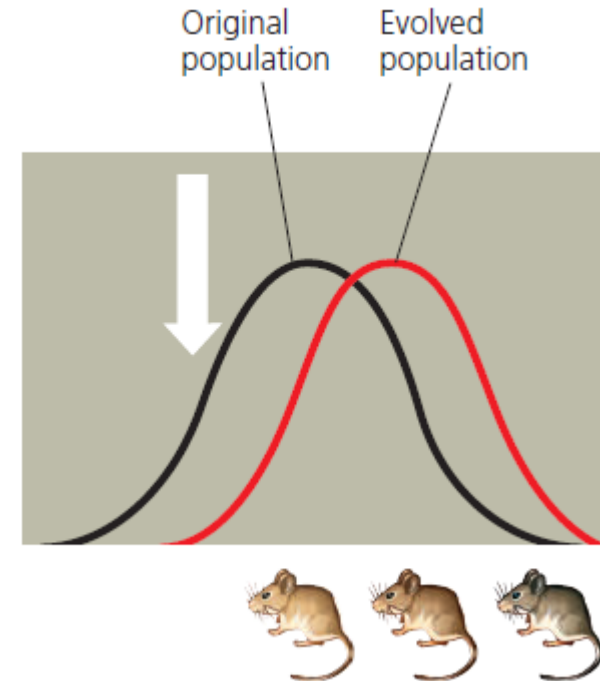
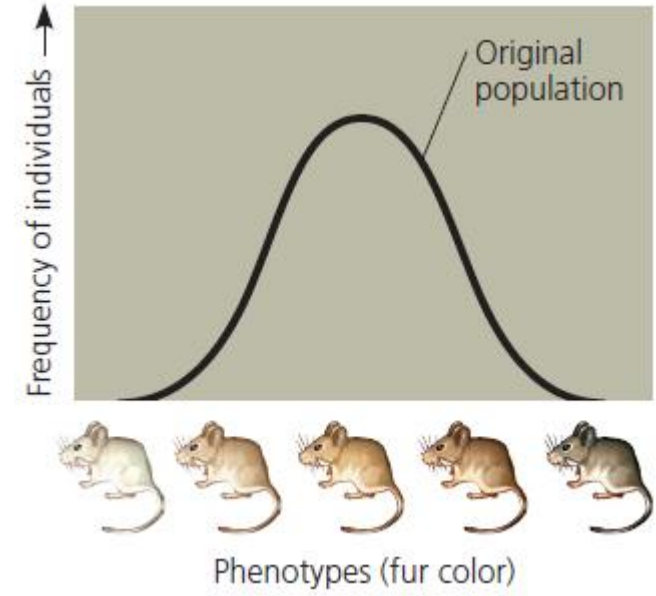
- Doğal seçim, kalıtsal özelliklerin popülasyondaki dağılımını farklı biçimlerde değiştirebilir.
- Hangi fenotiplerin avantaj sağladığına bağlı olarak üç temel seçim modeli ortaya çıkar.
- Bunlar yönlendirici seçim, ayrıştırıcı seçim ve dengeleyici seçilimdir.
- Bu üç model farklı sonuçlar oluştursa da hepsi aynı temel doğal seçim mekanizmasına dayanır.





Yönlendirici Seçilim

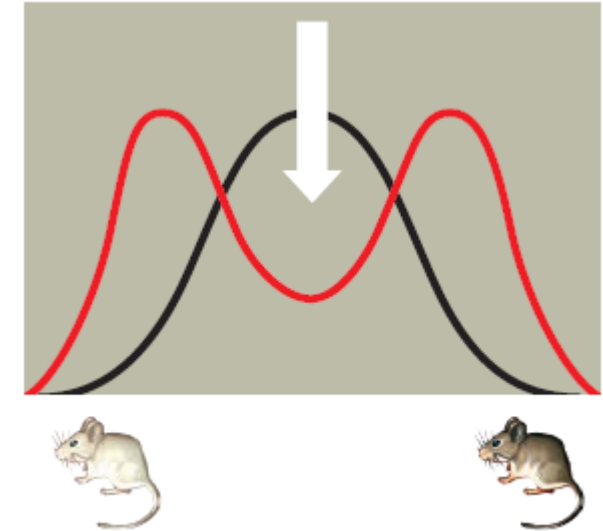
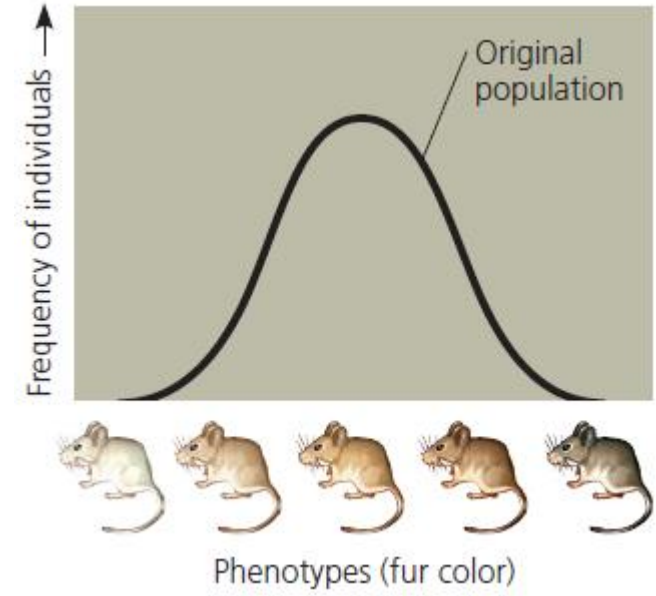
- Yönlendirici seçim, fenotip dağılımının bir ucundaki bireylerin avantaj kazandığı durumlarda görülür.
- Bu durumda popülasyonun fenotip dağılımı avantajlı olan yöne doğru kayar.
- Yönlendirici seçim özellikle çevresel koşullar değiştiğinde veya popülasyon yeni bir yaşam alanına göç ettiğinde yaygın olarak ortaya çıkar.
- Yandaki örnekte, daha açık renkli fareler, koyu renkli kayalıklar arasında yaşadıkları ve bu durumun avcılardan saklanmalarını zorlaştırdığı için, seçim baskısı altında kalırlar.
- Galápagos ispinozlarında da büyük tohumların artması, daha derin gagaya sahip bireylerin seçilmesine yol açmıştır.





Ayrıştırıcı Seçilim

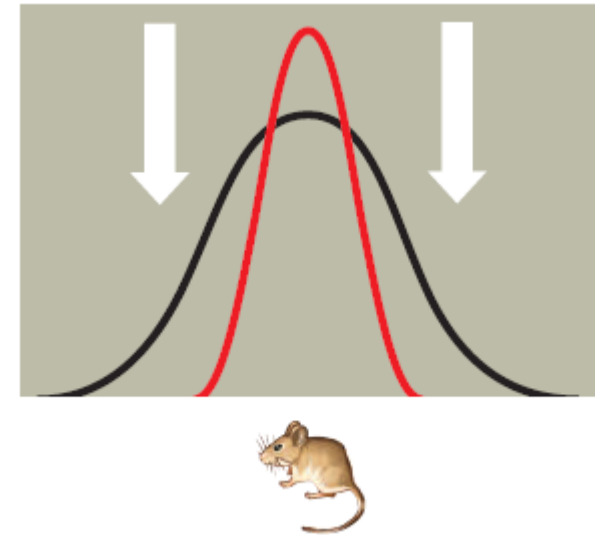
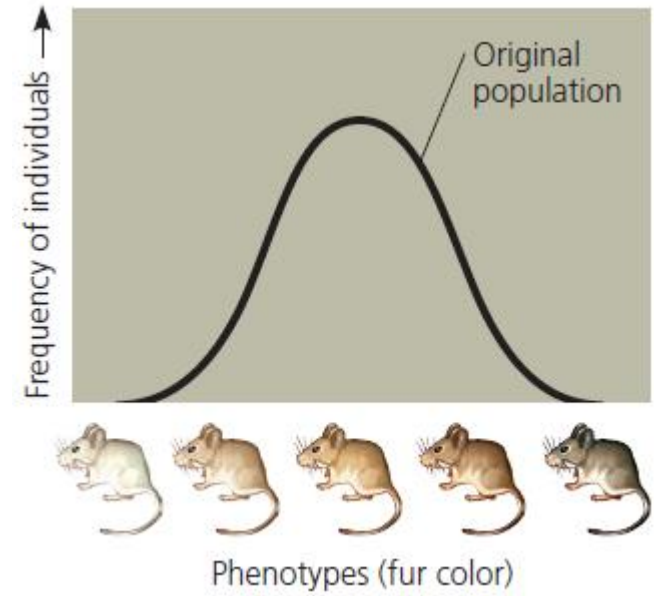
- Ayrıştırıcı seçim, fenotip dağılımının her iki ucundaki bireylerin orta fenotiplere göre avantaj kazandığı durumlarda görülür.
- Bu seçim tipi, popülasyonda iki farklı fenotip grubunun belirginleşmesine neden olabilir.
- Yandaki figürde yer alan fareler, açık ve koyu renkli kayalardan oluşan düzensiz bir yaşam alanını kolonize etmiş ve bunun sonucunda ara renkteki fareler elenmiştir.
- Kamerun'da yaşayan siyah karınlı tohumkiran ispinozlarında ise küçük gagalı bireyler yumuşak tohumları, büyük gagalı bireyler ise sert tohumları daha başarılı şekilde tüketmektedir.
- Orta büyüklükte gagaya sahip bireyler her iki besin tipini de verimli kullanamadıkları için daha düşük göreceli uygunluğa sahiptir.





Dengeleyici Seçilim

- Dengeleyici seçim, fenotip dağılımının her iki ucundaki bireyleri elerken orta fenotipleri destekler.
- Bu süreç popülasyondaki çeşitliliği azaltır ve mevcut fenotip dağılımının korunmasına katkı sağlar.
- Yandaki figürde ortam orta renkteki kayalardan oluşuyorsa, hem açık renkli hem de koyu renkli fareler elenecektir.
- İnsanlarda doğum ağırlığının çoğunlukla 3–4 kg arasında olması da bu seçilimin tipik bir örneğidir.
- Çok düşük ya da çok yüksek doğum ağırlığına sahip bebeklerde ölüm oranı daha yüksek olduğu için orta ağırlıklar avantaj sağlar.





Doğal Seçilimin Ortak Temel İlkesi

- Yönlendirici, ayrıştırıcı ve dengeleyici seçim farklı sonuçlar oluştursa da aynı temel mekanizma ile çalışır.
- Doğal seçim, kalıtsal özellikleri sayesinde daha yüksek üreme başarısı gösteren bireyleri avantajlı hâle getirir.
- Bu bireylerin allelleri gelecek nesillere daha sık aktarıldığından popülasyonun genetik yapısı zaman içinde değişir.
- Sonuç olarak doğal seçim, popülasyonların çevreye uyum sağlayan özellikler kazanmasını sağlayan temel evrimsel süreçtir.



Adaptif Evrimde Doğal Seçilimin Temel Rolü

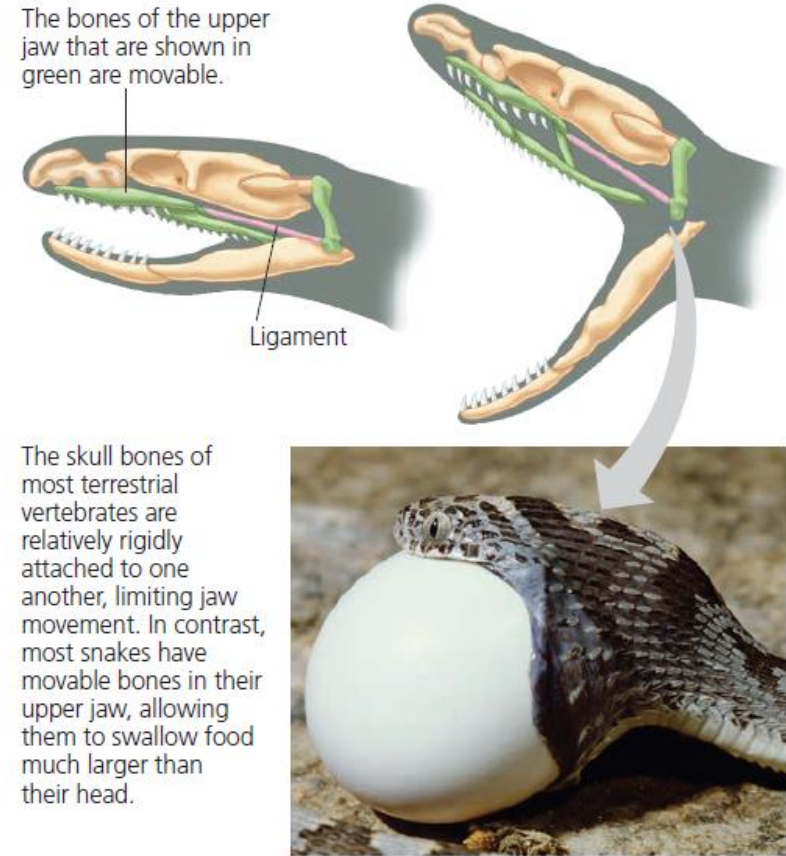
- Canlılarda gözlenen adaptasyonlar, doğal seçilimin uzun zaman boyunca etkili olması sonucunda ortaya çıkar.
- Bazı adaptasyonlar dış görünüşte belirgin olurken, bazıları yalnızca fizyolojik düzeyde avantaj sağlar.
- Ortak özellikleri ise bireyin hayatta kalma ve üreme başarısını artırmalarıdır.
- Doğal seçim, avantaj sağlayan özelliklerin popülasyonda giderek yaygınlaşmasını sağlayarak adaptif evrimi gerçekleştirir.





Adaptasyonlara Çarpıcı Örnekler

- Bazı ahtapotlar bulundukları ortama uyum sağlayabilmek için vücut renklerini çok kısa sürede değiştirebilir.
- Bu özellik, avcılardan saklanmalarını ve çevreyle uyumlu hâle gelmelerini sağlar.
- Yılanların son derece esnek çene yapısı ise başlarından çok daha büyük avları yutmalarına olanak tanır.
- Bu iki özellik, doğal seçilimin oluşturduğu dikkat çekici adaptasyon örnekleridir.





Görünmeyen Adaptasyonlar da Büyük Avantaj Sağlar

- Adaptasyonlar her zaman dışarıdan kolayca fark edilebilen özellikler değildir.
- Bazı enzimlerin soğuk ortamlarda daha verimli çalışmasını sağlayan moleküler değişiklikler de önemli adaptasyon örnekleridir.
- Bu tür biyokimyasal özellikler, bireyin yaşamını sürdürmesine ve başarılı şekilde üremesine katkıda bulunur.
- Dolayısıyla adaptasyonlar hem morfolojik hem de fizyolojik düzeyde ortaya çıkabilir.





Adaptif Evrim Nasıl Gerçekleşir?

- Doğal seçim, hayatta kalmayı veya üremeyi artıran allellerin popülasyondaki sıklığını nesiller boyunca artırır.
- Böylece avantajlı özelliklere sahip bireylerin oranı giderek yükselir.
- Popülasyon çevresine daha iyi uyum sağlayan özellikler kazandıkça adaptif evrim gerçekleşir.
- Adaptif evrim ani değil, uzun zaman dilimleri boyunca kademeli olarak meydana gelir.



Adaptif Evrim Sürekli Devam Eden Bir Süreçtir

- Canlıların yaşadığı çevrenin fiziksel ve biyolojik özellikleri zaman içinde değişebilir.
- Bu nedenle bugün avantaj sağlayan bir özellik gelecekte aynı avantajı sağlamayabilir.
- Organizma ile çevresi arasındaki uyum sürekli yeniden şekillendiği için adaptif evrim dinamik bir süreçtir.
- Doğal seçim değişen çevre koşullarına göre popülasyonları sürekli yeniden yönlendirir.





Farklı Ortamlar Farklı Adaptasyonları Destekler

- Aynı türün yaşadığı farklı bölgelerde çevresel koşullar birbirinden farklı olabilir.
- Bu durum farklı popülasyonlarda farklı allellerin avantaj kazanmasına yol açar.
- Sonuç olarak doğal seçim, aynı türe ait popülasyonların zamanla genetik açıdan birbirinden farklılaşmasına neden olabilir.
- Böylece tür içindeki genetik çeşitlilik coğrafi koşullara bağlı olarak şekillenir.





Genetik Sürüklenme ve Gen Akışı Adaptif Evrim Sağlar mı?

- Genetik sürüklenme ve gen akışı da zaman zaman avantajlı allellerin sıklığını artırabilir.
- Ancak genetik sürüklenme aynı avantajlı allellerin sıklığını azaltabilecek rastlantısal değişimlere de neden olabilir.
- Benzer şekilde gen akışı, popülasyona yararlı ya da zararlı alleller taşıyabilir.
- Bu nedenle adaptif evrime sürekli ve güvenilir biçimde yön veren tek mekanizma doğal seçilimdir.





Eşeyssel Seçilim Nedir?

- Charles Darwin, eşeyssel seçilim kavramını ayrıntılı olarak açıklayan ilk bilim insanıdır.
- Eşeyssel seçilim, belirli kalıtsal özelliklere sahip bireylerin eş bulma konusunda daha başarılı olmasıyla gerçekleşir.
- Bu süreç, aynı türün dişi ve erkek bireyleri arasında belirgin farklılıkların ortaya çıkmasına neden olabilir.
- Vücut büyüklüğü, renklenme, süs yapıları ve davranış farklılıkları eşeyssel dimorfizmin örnekleridir.
- Erkek tavus kuşu (solda) ve dişisi (sağda) aşırı cinsel dimorfizm göstermektedir, rekabet eden erkekler arasında eşey içi seçilim gerçekleşir, ardından dişiler en gösterişli erkekler arasından seçim yaptığında eşeyler arası seçilim başlar.





Tür İçi Seçilim

- Tür içi seçimde aynı cinsiyetteki bireyler karşı cinsle çiftleşebilmek için birbirleriyle rekabet eder.
- Pek çok türde bu rekabet erkek bireyler arasında görülür.
- Bazı erkekler dişi grubunu koruyarak diğer erkeklerin çiftleşmesini engeller.
- Rekabet çoğu zaman gerçek kavgalardan çok rakipleri caydıran gösteri davranışlarıyla gerçekleşir ve böylece yaralanma riski azaltılır.





Tür İçi Seçilim Yalnızca Erkeklerde Görülmez

- Tür içi seçilim yalnızca erkek bireylerle sınırlı değildir.
- Halka kuyruklu lemurlar ve geniş burunlu deniz iğneleri gibi bazı türlerde dişiler de çiftleşme başarısı için rekabet eder.
- Bu durum eşeysel seçilimin farklı canlı gruplarında farklı biçimlerde ortaya çıkabileceğini gösterir.
- Dolayısıyla eş bulma rekabeti her iki cinsiyette de evrimsel önem taşıyabilir.





Türler Arası Seçilim ve Eş Seçimi

- Türler arası seçimde bireylerden biri, genellikle dişiler, karşı cins içinden eşini seçer.
- Dişi tercihleri çoğu zaman erkeğin görünüşüne veya sergilediği davranışlara bağlıdır.
- Gösterişli tüyler, dikkat çekici renkler veya özel kur davranışları eş seçimini etkileyebilir.
- Bu süreç eş seçimi olarak da adlandırılır.





Gösterişli Özellikler Neden Evrimleşir?

- Bazı erkek özellikleri avcılarının dikkatini çekerek birey için risk oluşturabilir.
- Buna rağmen bu özellikler eş bulma başarısını yeterince artırıyorsa doğal seçim tarafından korunabilir.
- Örneğin parlak tüyler erkek kuşları avcılara daha görünür hâle getirirse de dişiler tarafından tercih edilmelerini sağlayabilir.
- Elde edilen üreme avantajı, hayatta kalma riskinden daha büyük olduğunda bu özellikler popülasyonda yaygınlaşır.





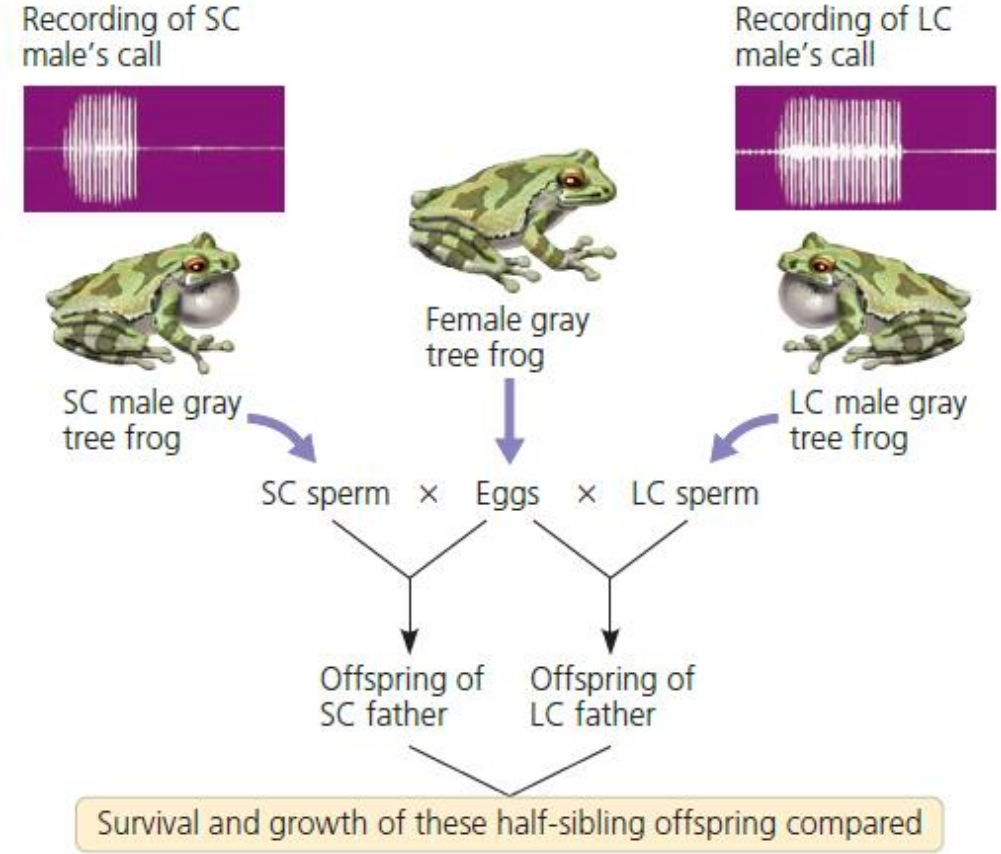
İyi Genler Hipotezi

- Dişilerin belirli erkek özelliklerini neden tercih ettiği uzun yıllardır araştırılan bir konudur.
- İyi genler hipotezine göre dişiler, yüksek genetik kaliteyi yansıtan özelliklere sahip erkekleri seçme eğilimindedir.
- Eğer tercih edilen özellik gerçekten genetik üstünlüğü gösteriyorsa hem bu özellik hem de dişilerin tercihi zamanla popülasyonda daha sık görülür.
- Gri ağaç kurbağaları üzerinde yapılan bir deney bu hipotezi test etmektedir.



Gri Ağaç Kurbağaları Üzerinde Yapılan Deney

- Dişi gri ağaç kurbağaları (*Hyla versicolor*), uzun süreli çiftleşme çağrısı yapan erkekleri tercih eder.
- Aynı dişinin yumurtaları kısa çağrılı (SC) ve uzun çağrılı (LC) iki farklı erkekten gelen spermlerle döllenerek yarı kardeş yavrular elde edilmiştir.
- Yavrular aynı çevre koşullarında büyütülmüş; yaşama başarısı, büyüme hızı ve metamorfoz süresi karşılaştırılmıştır.
- Uzun çağrılı erkeklerin yavruları genel olarak daha başarılı performans göstermiş ve bu özellik yüksek genetik kaliteyle ilişkilendirilmiştir.





Eş Tercihi ve Bağışıklık Sistemi

- Bazı kuş türlerinde dişilerin tercih ettiği erkek özelliklerinin genel sağlık durumuyla ilişkili olduğu gösterilmiştir.
- Bu özellikler güçlü bir bağışıklık sistemini yansıtan genetik yapının göstergesi olabilir.
- Böylece dişiler yalnızca gösterişli bireyleri değil, aynı zamanda daha kaliteli genlere sahip bireyleri seçmiş olur.
- Sonuç olarak eşeysel seçim, popülasyonda genetik kaliteyi artırabilecek önemli bir evrimsel süreç olarak görev yapar.



Dengeleyici Seçilim Genetik Çeşitliliği Korur

- Doğal seçim çoğu zaman avantajlı allellerin yayılmasını sağlarken, bazı durumlarda genetik çeşitliliğin korunmasına da katkıda bulunur.
- Peki doğal seçim tüm dezavantajlı allelleri ortadan kaldırmıyorsa bunun nedeni nedir?
- Diploid canlılarda birçok çekinik allel heterozigot bireylerde baskın alleller tarafından gizlendiği için seçimden kaçabilir.
- Ayrıca doğal seçilimin bazı biçimleri, popülasyonda birden fazla fenotipin birlikte varlığını sürdürmesini destekler.





Dengeleyici Seçilimin İki Temel Mekanizması

- Genetik çeşitliliği koruyan bu seçim biçimi dengeleyici seçim olarak adlandırılır.
- Dengeleyici seçim sayesinde popülasyonda iki veya daha fazla allel uzun süre korunabilir.
- Bu seçim iki temel mekanizma ile gerçekleşir.
- Bunlar frekansa bağlı seçim ve heterozigot üstünlüğüdür.





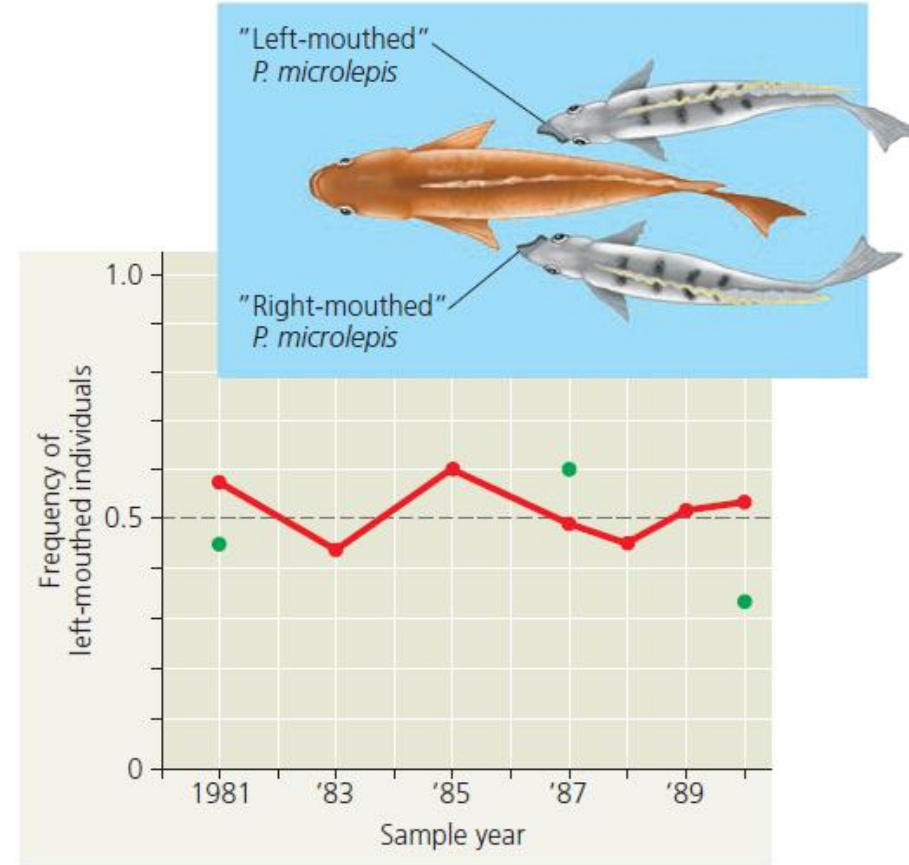
Frekansa Bağlı Seçilim Nedir?

- Frekansa bağlı seçimde bir fenotipin başarısı, popülasyonda ne kadar yaygın olduğuna bağlıdır.
- Bir fenotip ne kadar sık görülürse sağladığı avantaj zamanla azalabilir.
- Buna karşılık nadir görülen fenotipler seçim açısından avantaj kazanabilir.
- Böylece popülasyondaki fenotip çeşitliliği korunur.



Tanganika Gölü'ndeki Pul Yiyen Balıklar

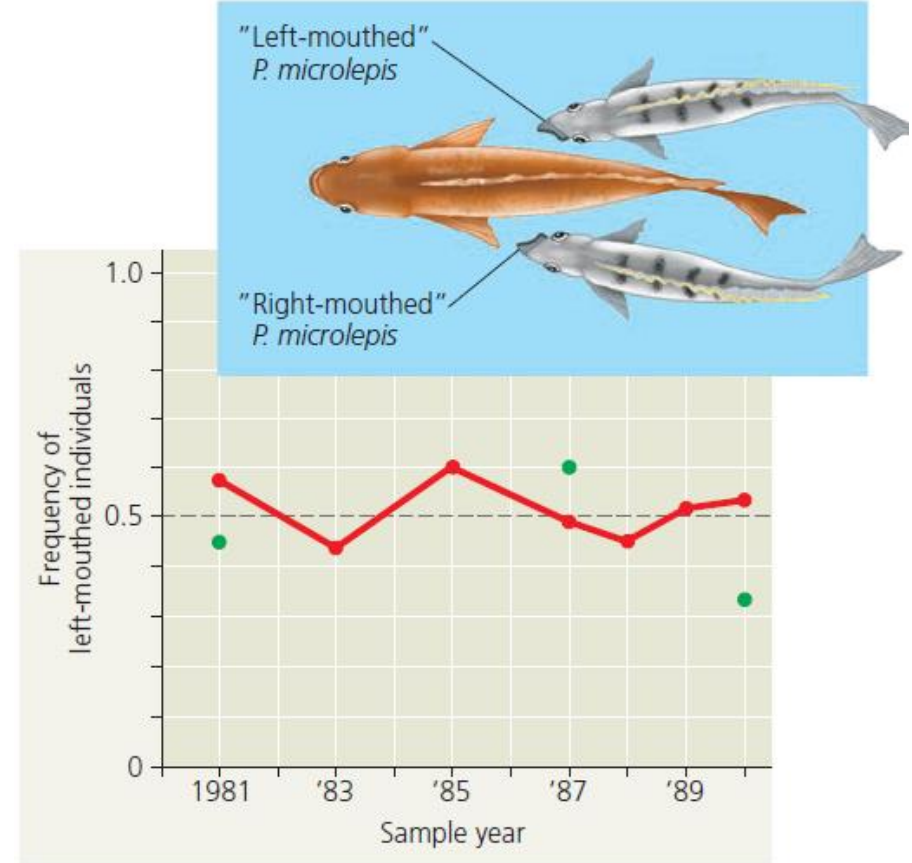
- Afrika'daki Tanganika Gölü'nde yaşayan pul yiyen balıklar diğer balıkların pullarını kopararak beslenir.
- Bu balıkların bir kısmının ağzı sola, diğer kısmının ise sağa doğru kıvrılmıştır.
- Ağız yönü iki allel tarafından belirlenir ve basit Mendel kalıtımı gösterir.
- Bu nedenle popülasyondaki tüm bireyler ya sol ağızlı ya da sağ ağızlıdır.





Nadir Fenotipin Avantajı

- Sol ağızlı balıklar avlarının sağ tarafından, sağ ağızlı balıklar ise sol tarafından saldırır.
- Av türleri, gölde daha yaygın bulunan saldırı yönüne karşı zamanla savunma geliştirir.
- Böylece daha az görülen ağız tipine sahip balıklar beslenmede avantaj elde eder.
- Sonuç olarak iki fenotipin sıklığı yıllar içinde dalgalanır ve her biri yaklaşık %50 düzeyinde korunur.





Heterozigot Üstünlüğü

- Bazı gen bölgelerinde heterozigot bireyler her iki homozigot genotipten daha yüksek yaşama ve üreme başarısına sahiptir.
- Bu durum heterozigot üstünlüğü olarak adlandırılır.
- Böylece doğal seçim aynı gen bölgesinde birden fazla allelin korunmasını sağlar.
- Heterozigot üstünlüğü fenotipe değil, doğrudan genotipe göre tanımlanır.



Heterozigot Üstünlüğünün Seçilimle İlişkisi

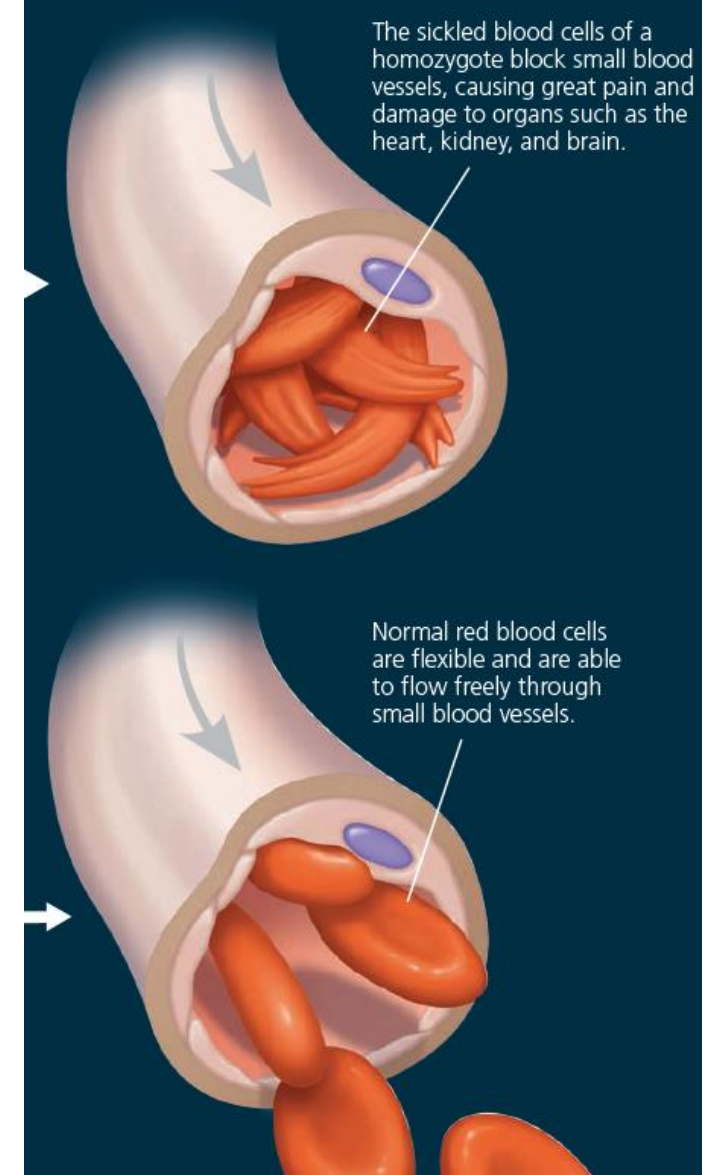
- Heterozigot üstünlüğünün hangi seçim tipine karşılık geldiği genotip ile fenotip arasındaki ilişkiye bağlıdır.
- Eğer heterozigot bireyin fenotipi iki homozigot fenotip arasında yer alıyorsa bu durum dengeleyici seçilimin bir örneği olarak değerlendirilir.
- Dolayısıyla aynı genetik mekanizma farklı fenotipik sonuçlar oluşturabilir.
- Seçilimin değerlendirilmesinde hem genotip hem de fenotip birlikte dikkate alınmalıdır.





Orak Hücre Alleli ve Hemoglobin

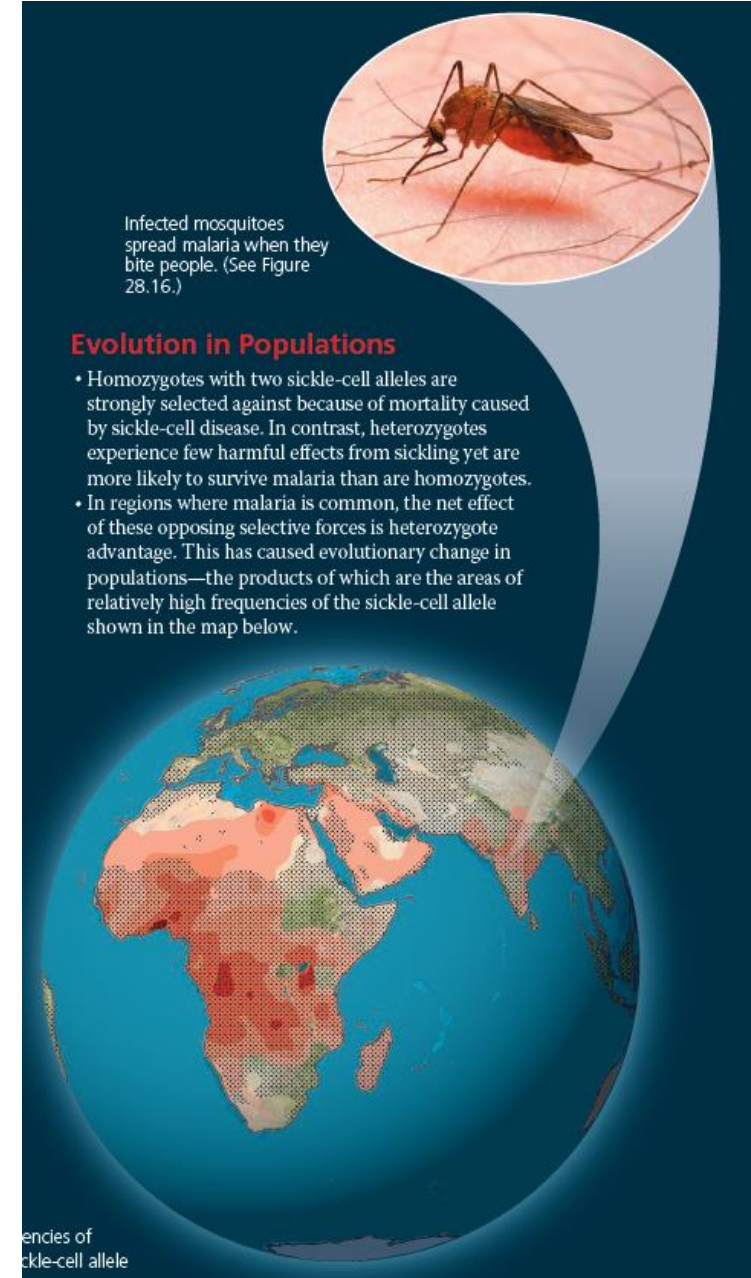
- Heterozigot üstünlüğünün en iyi bilinen örneklerinden biri insan hemoglobini genidir.
- Bu genin çekinik alleli homozigot bireylerde orak hücre hastalığına neden olur.
- Düşük oksijen koşullarında alyuvarlar normal şekillerini kaybederek orak biçimini alır.
- Bu hücreler damarları tıkayabilir ve böbrek, kalp ile beyin gibi organlarda ciddi hasarlara yol açabilir.





Heterozigotların Sağladığı Avantaj

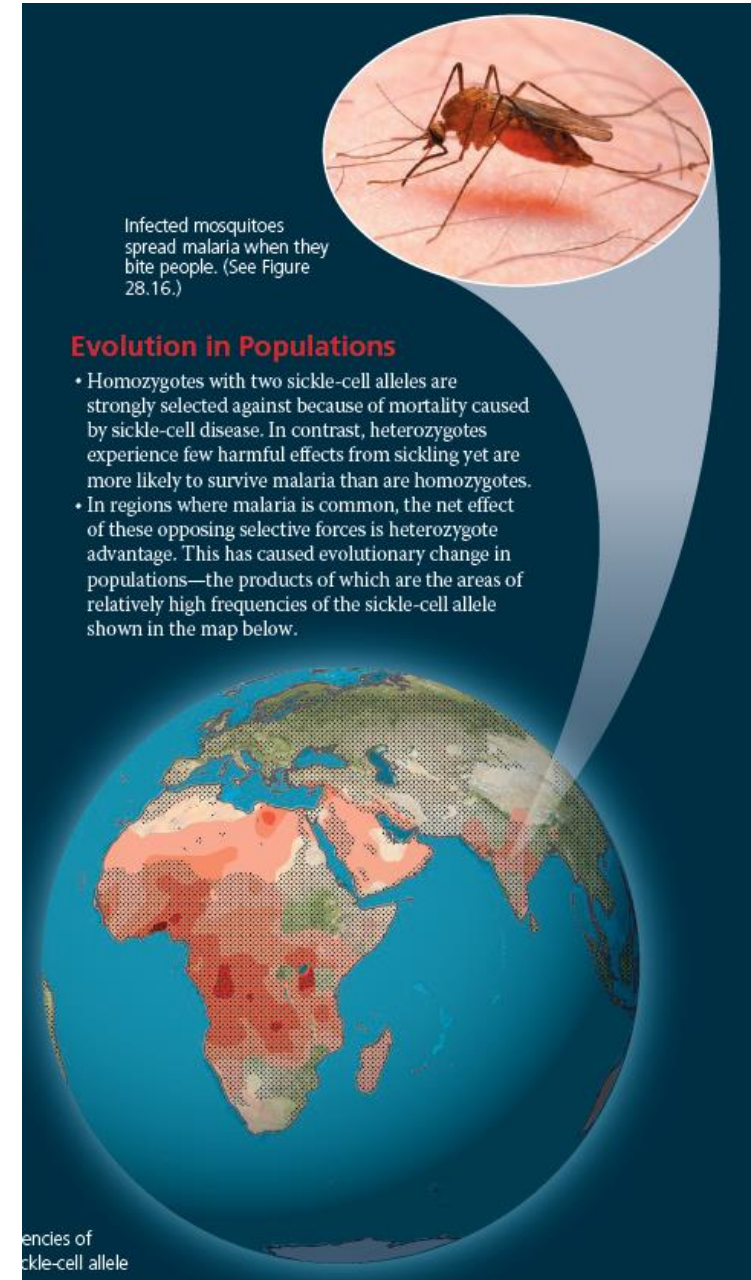
- Heterozigot bireylerde bazı alyuvarlar oraklaşsa da bu durum hastalık oluşturacak düzeye ulaşmaz.
- Buna karşılık bu bireyler sıtmanın en ağır etkilerine karşı önemli ölçüde korunur.
- Bunun nedenlerinden biri, oraklaşan alyuvarların hızla yok edilmesiyle parazitlerin de ortadan kaldırılmasıdır.
- Böylece heterozigot bireyler hem sağlıklı kalabilir hem de sıtmaya karşı avantaj elde edebilir.





Sıtma ve Orak Hücre Allelinin Korunması

- Sıtmanın yaygın olduğu tropikal bölgelerde heterozigot bireyler doğal seçim tarafından avantajlı hâle gelir.
- Homozigot baskın bireyler sıtmaya daha duyarlıdır, homozigot çekinik bireyler ise orak hücre hastalığına yakalanır.
- Bu nedenle doğal seçim heterozigot genotipi destekler.
- Sonuç olarak orak hücre alleli sıtmanın yaygın olduğu bölgelerde beklenenden daha yüksek sıklıkta korunur.





Doğal Seçilim Neden Kusursuz Canlılar Oluşturamaz?

- Doğal seçim canlıların çevrelerine uyum sağlamasını destekler ancak kusursuz organizmalar oluşturamaz.
- Doğada birçok canlı yaşadığı ortama tam anlamıyla mükemmel uyum göstermemektedir.
- Bunun temelinde evrimin işleyişini sınırlayan çeşitli biyolojik etkenler bulunur.
- Bu sınırlamalar, doğal seçilimin ulaşabileceği sonucu belirler.





Mevcut Genetik Çeşitliliğin Sınırları

- Doğal seçim yalnızca popülasyonda zaten bulunan genetik çeşitlilik üzerinde etkili olabilir.
- Yeni ve avantajlı alleller ihtiyaç duyulduğu anda ortaya çıkmaz.
- Bu nedenle seçim yalnızca mevcut fenotipler arasından en avantajlı olanları destekleyebilir.
- En iyi olası özellik her zaman popülasyonda bulunmayabilir.



Evrimin Tarihsel Sınırlamaları

- Evrim her yeni yapıyı sıfırdan oluşturmaz, atalarından miras kalan yapıları değiştirerek yeni işlevler kazandırır.
- Türlerin evrimsel geçmişi gelecekte gelişebilecek yapıların sınırlarını belirler.
- Örneğin kuşlar ve yarasalar uçabilmek için yeni uzuvlar geliştirmemiştir.
- Bunun yerine mevcut ön üyeler zamanla uçmaya uyum sağlayacak şekilde değişmiştir.





Adaptasyonlar Çoğu Zaman Uzlaşmaların Ürünüdür

- Canlılar aynı anda birçok farklı görevi yerine getirmek zorundadır.
- Bu nedenle bir özelliğin geliştirilmesi başka bir özelliğin performansını sınırlayabilir.
- Örneğin fokların yüzgeçleri yüzmede büyük avantaj sağlarken karada hareket etmelerini zorlaştırır.
- İnsanlarda esnek eklemler ve kavrayıcı eller çevikliği artırırken burkulma, bağ yırtılması ve çıkık riskini de yükseltir.



Şans ve Çevresel Değişimler Evrimi Etkiler

- Şans faktörü popülasyonların evrimsel geleceğini önemli ölçüde etkileyebilir.
- Örneğin fırtınalar bazı kuşları veya böcekleri yeni adalara taşıyabilir ancak taşınan bireyler mutlaka en iyi uyum sağlayanlar olmayabilir.
- Ayrıca çevresel koşullar yıllar içinde öngörülemeyen biçimde değişebilir.
- Bu nedenle doğal seçim her zaman organizmaları mevcut çevreye kusursuz biçimde uyumlu hâle getiremez.





Evrim Mükemmeli Değil Daha İyiyi Seçer

- Evrimsel süreç kusursuz organizmalar üretmeye yönelik işlemez.
- Doğal seçim her nesilde mevcut bireyler arasında daha avantajlı olanları destekler.
- Bu nedenle evrim "mükemmel" yerine "öncekinden daha iyi" çözümler üretir.
- Canlılarda görülen birçok yapısal ve işlevsel eksiklik, evrimin bu temel özelliğinin önemli kanıtlarından biridir.



Teşekkür ederim

Prof. Dr. Bektaş TEPE

