

Microevolution



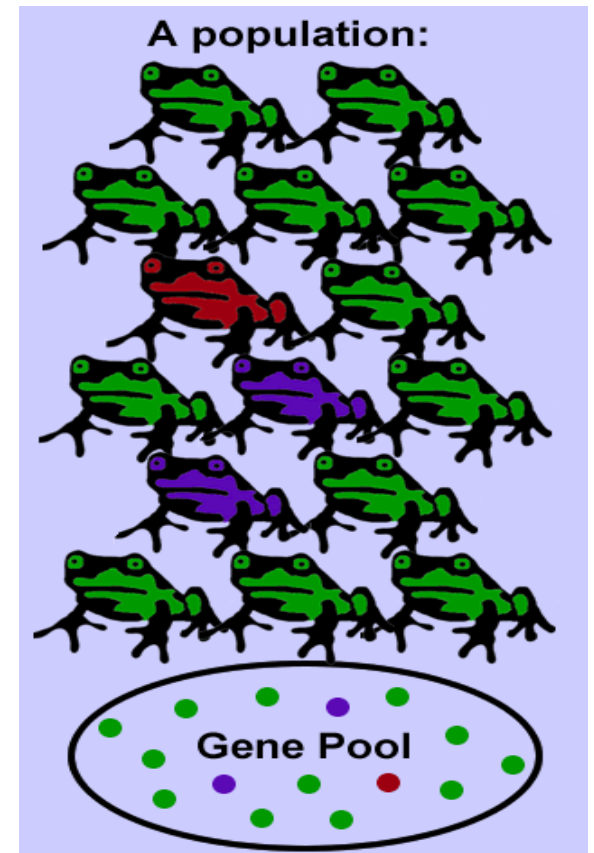
1. 유전자풀(gene pool)



유전자풀(gene pool)

1. 유전자풀(gene pool)

- T. 도브잔스키가(1951) 제창
- 유전자풀은 특정 시기에 번식 가능한 어떤 생물 집단 속의 모든 개체들이 가지고 있는 대립유전자의 총량
- 유전자풀은 다음 세대를 이루는 집단 구성원이 유전자를 얻게 될 보관소
- 개체는 현 세대에서 다음 세대로 유전자풀의 유전자를 전달하는 역할
- 유전자풀은 개체군 집단에서 대립유전자의 구성이 항상 평형(일정한 상대적 빈도를 유지)을 유지하고 있는 경우



유전자풀(gene pool)

2. 집단 유전학에서의 진화

- 한 개체가 가지는 유전자는 생식을 통해서 다른 개체의 유전자와 섞여 다음세대로 전달되므로 유전자 풀 내에서 어떤 대립유전자 풀을 구성하는 대립유전자의 상대적 비율은 세대가 지남에 따라 변할 수 있음
- 집단유전학에서 생물학적 진화란 유전자 풀을 구성하는 대립유전자 빈도의 평형이 깨져 변화가 일어난 것을 뜻함
- 상당히 큰 집단이 아니면 유전자 풀을 일정하게 유지할 수 없다. 어떤 일방적 돌연변이가 우선적으로 일어나든지, 일방적인 자연선택이 일어나면 그 평형이 깨진다. 이러한 경우에는 새로운 평형에 도달하기까지 변화는 계속한다. 생물의 진화는 어떤 생물집단의 유전자 풀의 변화에 원인이 있는 것으로 생각되고 있다.

2. 유전자풀의 다양성

유전자풀이 다양해야 개체군의 건강을 보장할 수 있다.

유전자풀의 다양성은 예기치 못한 환경적 변화 속에서 살아 남을 수 있다.



사육 조류에서 조류 독감은 왜 자주 발생하는가?

유전자풀 다양성의 중요성을 보여준 조류인플루엔자 사태

1



- . 철새들은 조류독감 바이러스의 자연 병원소로서 감염이 되어도 증상이 약하거나 없는 경우가 많음(저병원성 바이러스)
- 야생조류의 개체군은 유전적으로 다양한 개체들로 이뤄져 있기 때문에 그들 중 한두 마리가 조류 독감에 감염되어도 좀처럼 전체로 번지지 않는다.
- 조류 독감 바이러스에 대한 면역력이 부족한 개체들 중 일부가 죽어나갈 뿐 유전적으로 다른 대부분의 개체들은 살아남아 자손을 퍼뜨려 죽은 개체들이 비워준 공간을 메우며 살아간다

사육 조류에서 조류 독감은 왜 자주 발생하는가?

유전자풀 다양성의 중요성을 보여준 조류인플루엔자 사태

2



- 닭이나 오리 같은 가금류는 조류독감 바이러스에 대한 저항력이 상대적으로 낮아 감염이 되면 호흡곤란 등을 일으켜 심하게 앓거나 폐사됨
- 조류독감 바이러스는 감염된 가금류의 분변 속에서 35일 이상 생존이 가능, 바이러스에 오염된 분변 1g 으로 약 100만 마리의 닭을 감염 시킬 수 있음(고병원성 바이러스)
- 기르는 닭은 오랜 세월 알을 잘 낳도록 인위선택(artificial selection) 과정을 거쳐 거의 '복제 닭' 수준의 빈곤한 유전적 다양성을 갖고 있다. 일단 조류 인플루엔자 바이러스가 닭장 안으로 진입하기만 하면 모든 닭들이 감염되는 건 시간 문제일 뿐이다.

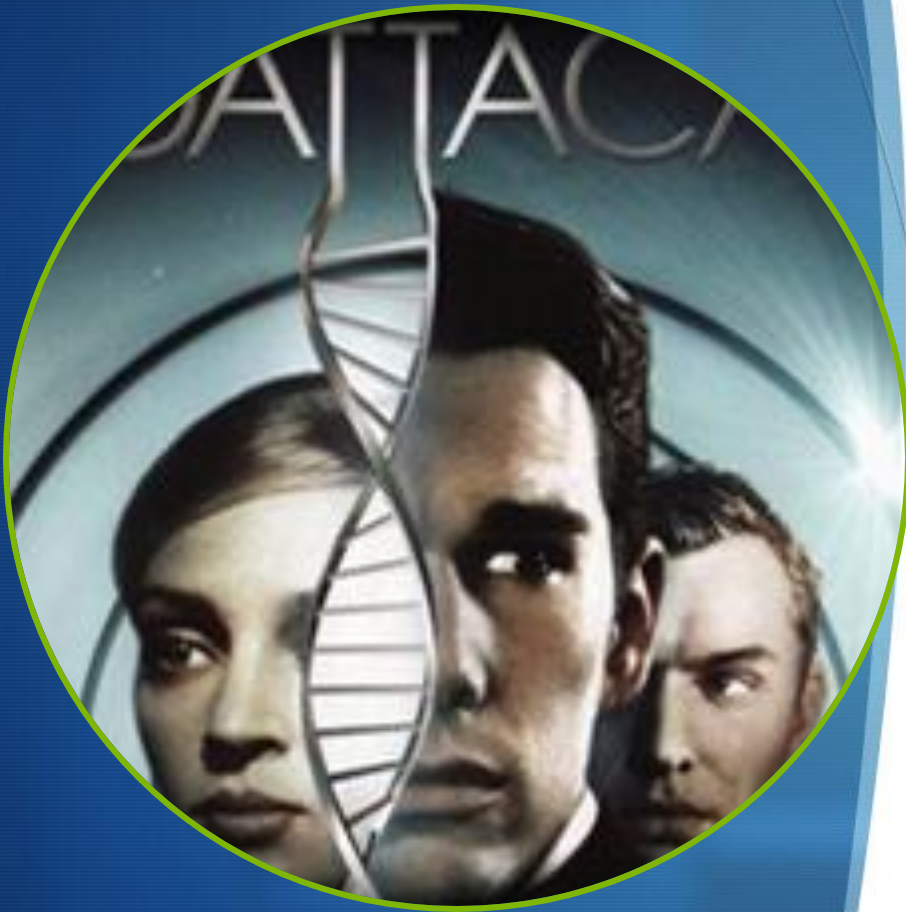
조류 독감은 왜 자주 발생하는가?

유전자풀 다양성의 중요성을 보여준 조류인플루엔자 사태

3



- 닭은 오랜 세월 우리 인간이 인위적으로 만들어낸 '괴물(자식을 하루에 하나씩 낳는 동물)'이다. 현재는 사람과 동물을 모두 감염시킬 수 있는 인수공동감염병이 됨.
- 조류 독감방역의 근본적 대책은 유전자 풀의 다양성을 높이는 것.
- 야생에 사는 새들처럼 닭장 안의 닭들도 유전적으로 다양한 변이를 갖게 된다면 실제로 바이러스에 감염되어 죽어가는 닭들만 제거하면 될 뿐 닭장을 통째로 초토화할 필요는 없을 것이다. (구제역)



GATTACA

맞춤형 유전자 산업의 미래는?

- 질병의 위험을 미리 제거한 맞춤 난자와 맞춤 정자로 제작해낸 맞춤 아기의 탄생
- 수명을 건강하게 연장해줄 맞춤 유전자 개발과 치환
- 맞춤 유전자 시대에는 개선된 개인이 모인 사회가 될 것이다. 과연 개선된 것인가?
- 유전자 치환은 개체는 보다 탁월하게 만들어줄지 모르지만 개체군은 더없이 취약한 상황으로 내몰 수 있다!

3. 소진화 요인

유전자풀의 변화 요인



유전자 풀의 변화

1. 돌연변이(mutation)

- 개체의 유전자가 변하여 **새로운 대립유전자가 형성**되는 유일한 방법
- **유전자 돌연변이(gene mutation)**: DNA가 복제되는 과정에서 발생하는 오류로 인해 유전자 자체가 변형
- **염색체 돌연변이(chromosome mutation)**: DNA의 실타래인 염색체의 일부가 소실(deletion)되거나 중복복제(duplication)되거나 역위(inversion) 또는 서로 치환(translocation)으로 비교적 큰 규모의 돌연변이
- 유전자는 안정된 물질이므로 일반적으로 돌연변이가 일어날 확률도 돌연변이체는 생존에 불리한 경우가 많아. 환경에 대한 적응력이 떨어져 자연선택에 의해 유전자 풀에서 제거되어 점차 제거되어진다.
- 어떤 돌연변이 형질은 환경 변화에서 생존에 유리 할 수 있으며, 이들 돌연변이 대립유전자의 개체들이 생존하여 번식을 하게 되면 유전자풀이 변화될 수 있다.

유전자 풀의 변화

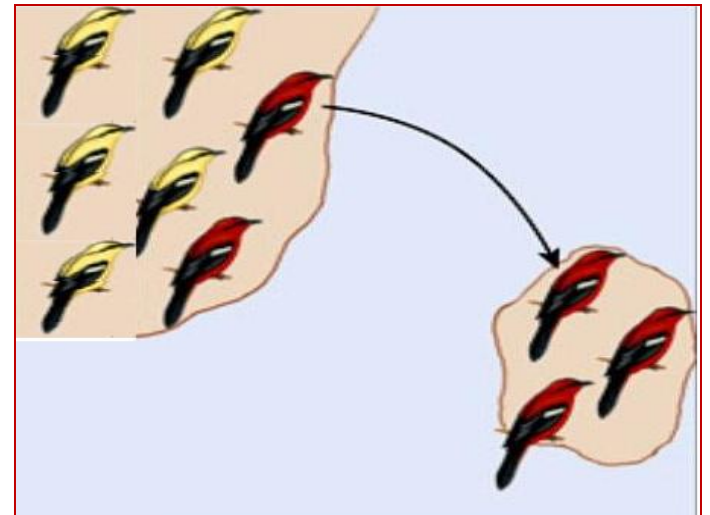
2. 개체이동(migration)

- 개체이동(유전자 흐름)은 한 생물 집단에서 다른 집단으로 유전자의 대립형질이 전달되는 현상을 나타내는 집단유전학의 개념이다. 한 집단에서 **개체의 이동으로 생식에 참여한 유입 개체** 유전자는 결과적으로 대립형질의 발현 빈도를 바꾸게 된다. 이러한 개체의 이동은 한 생물 종이나 집단의 유전자 풀의 다양성에 영향을 미친다. (유전자 흐름 gene flow)
- 글로벌 시대의 교통수단의 발달과 물류 이동은 유전자 변이의 역학에 엄청난 변화(ex. 유조선이 기름을 싣고 왔다가 돌아가는 길에 물을 채워가는 바람에 해양 플랑크톤의 분포가 혼란스러워지고 있다.)
- 자연력에 의한 유전자 변이체의 유입(ex. 태풍에 떠밀려 우연히 외딴 섬에 고립된 한 떼의 잠자리들은 또 다시 그런 일이 벌어지지 않는 한 오랫동안 자기들끼리만 유전자를 섞을 수 있다. 저 먼 대륙 떠나온 고향의 잠자리들과는 변이의 양과 폭부터 다르고 그로 인해 겪게 될 진화의 방향도 다르다.)

유전자 풀의 변화

3. 유전적부동(genetic drift)

- 개체수가 적고 고립된 소집단에서는 돌연변이나 유전자이동 없이도 순전히 **우연히 대립유전자의 상대적 빈도 수 변화현상**
- 대규모 집단에서는 대립유전자의 빈도에 비례하여 자손에게 유전자가 전달되지만, 소집단에서는 특정 사건에 의해 대립유전자의 상대적 빈도가 약간 변해도 다음 세대의 집단에 중대한 영향을 미칠 수 있음



창시자 효과(founder effect)

갈라파고스 섬에 현존하는 대부분의 종이 진화하는 과정(모집단에서 떨어져 나와 새로운 환경에 정착하여 성공적인 집단 형성. 드물던 대립유전자가 창시자 개체군 자손 중에 흔하게 나타남)

창시자 효과(founder effect)



Blue lagoon(1980)

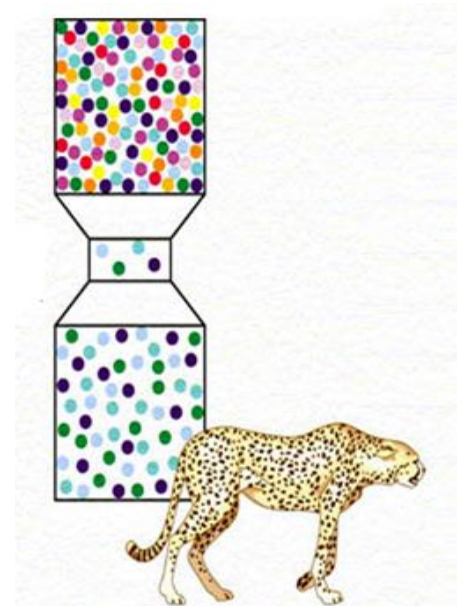
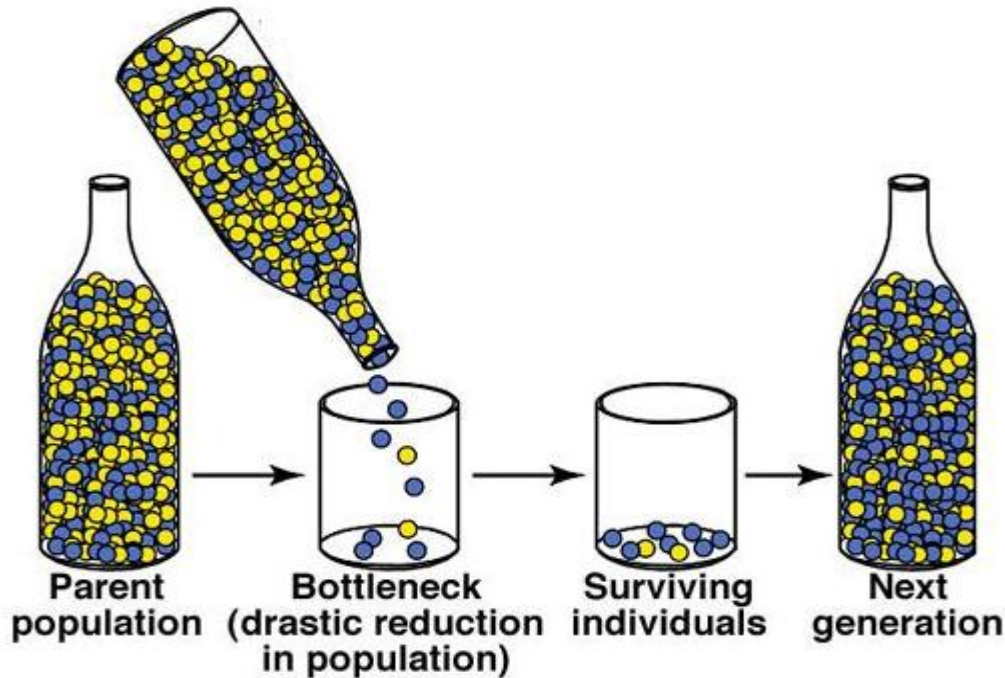
오누이가 아이를 낳고 그 아이가 계속 자식을 낳는다면?

파라오개미의 아파트 석권!

오라버니와 잠자리를 같이한 개미공주들은 수정낭에 정자를 채운 뒤 새로운 곳으로 이동하여 비정상적 방법으로 군락을 형성한다.

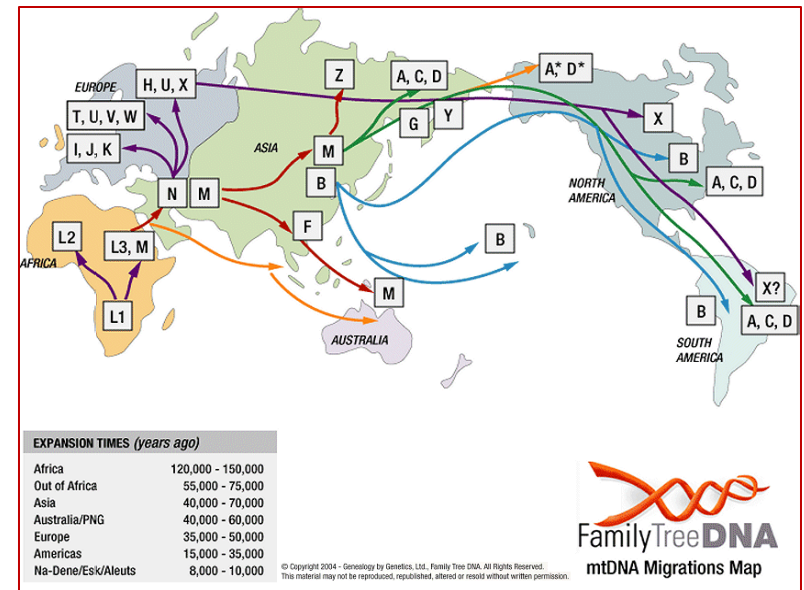
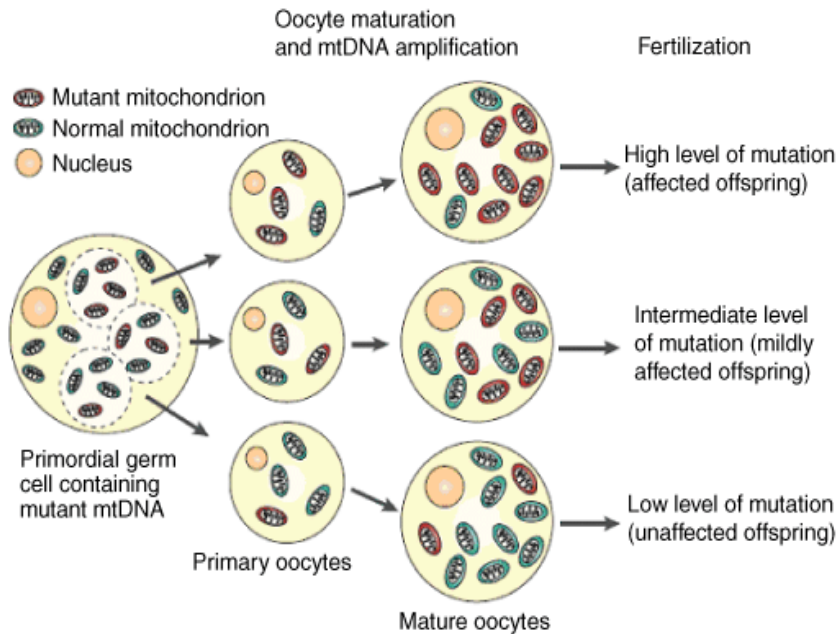
유전적 부동: 병목효과(Bottleneck Effect)

천재지변 등으로 집단의 크기가 크게 줄었을 때 나타나는 유전적 부동 효과
홍수, 산불, 지진, 인간의 활동 등에 의해 개체군의 대부분이 죽었을 때 살아남은
소집단은 병목현상을 통과했다고 표현한다. (북방코끼리바다표범은 24개 유전자자리의
변이를 남방코끼리바다표범과 비교했을 때 변이가 존재하지 않는 비정상적 수준)



치타는 지금 심각한 병목현상에 처해있다. 유전적 변이의 저하가 정자 수의 감소로 나타나고 있다.

모계유전 mtDNA 분석을 기반으로 한 세계 인류집단 기원(동아프리카 기원설)



Source: Fauci AS, Kasper DL, Braunwald E, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL, Loscalzo J: *Harrison's Principles of Internal Medicine*, 17th Edition: <http://www.accessmedicine.com>

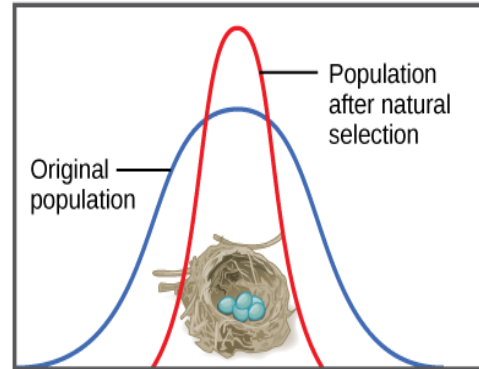
유전자 풀의 변화

4. 자연선택(natural selection)

- ◆ 조건: 서로 다른 대립유전자를 가진 개체들의 번식력과 생존율이 같을 경우
 - ◆ 집단 내의 대립유전자 중에서 **환경에 대한 적응력의 차이나 배우자의 선택**에 의해 어떤 것이 자연선택 되어 생존율이나 번식률이 높아져 대립유전자의 빈도가 높아지거나, 반대로 생존율이나 번식률이 낮아져 도태되어 대립유전자의 빈도가 낮아질 수 있다. 이와 같이 대립유전자의 상대적 빈도에 변화가 생기면 유전자풀에 변화되어 진화가 일어난다.
 - ◆ 자연선택의 효과는 오랜 세월을 거쳐 일어나지만 환경이 급격하게 변하거나 우성 형질이 도태될 때는 효과가 빠르게 나타날 수 있다.

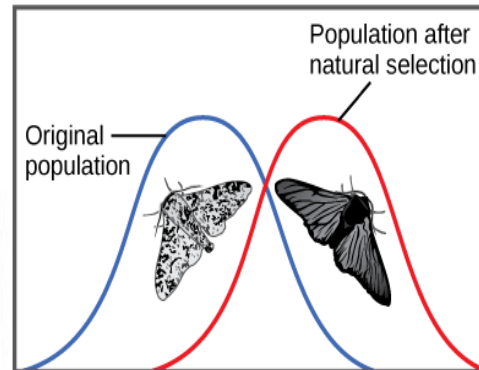
자연선택의 유형

(a) Stabilizing selection



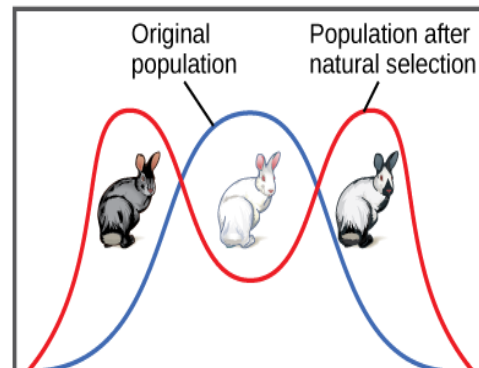
Robins typically lay four eggs, an example of stabilizing selection. Larger clutches may result in malnourished chicks, while smaller clutches may result in no viable offspring.

(b) Directional selection



Light-colored peppered moths are better camouflaged against a pristine environment; likewise, dark-colored peppered moths are better camouflaged against a sooty environment. Thus, as the Industrial Revolution progressed in nineteenth-century England, the color of the moth population shifted from light to dark, an example of directional selection.

(c) Diversifying selection



In a hypothetical population, gray and Himalayan (gray and white) rabbits are better able to blend with a rocky environment than white rabbits, resulting in diversifying selection.

자연선택 유형

1. 안정화 선택

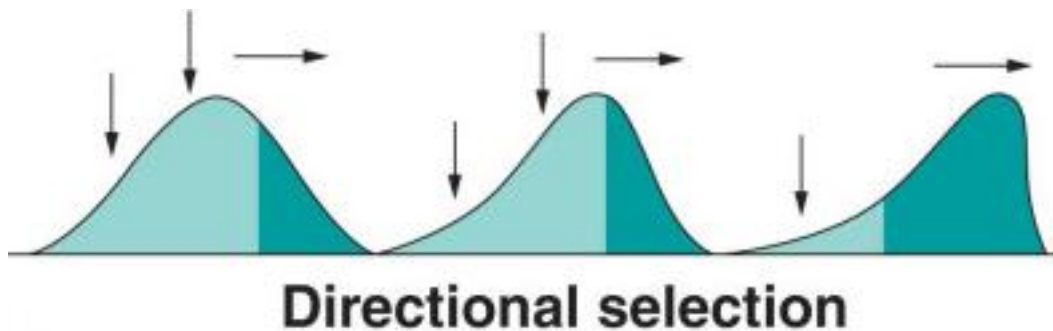
- 중간 정도의 특성을 나타내는 개체가 주로 선택되어 개체수가 증가하는 유형
- 변동 없는 안정된 환경에서 잘 적응된 개체군에서 보이는 자연선택의 결과
- 대부분의 개체군은 서식하고 있는 환경에 잘 적응하고 있기 때문에 안정화 선택이 자연선택의 유형 중에 가장 흔함(갯난아기의 체중: 출생 시 3~4kg)



자연선택 유형

2. 방향성 선택

- 표현형의 범위 중에서 한쪽의 극단의 형질이 많아지는 유형
- 한쪽 극단의 개체에게 유리한 환경 변화가 일어나거나 집단이 새로운 환경으로 이주한 경우 자연선택의 결과(살충제 내성 모기의 발달은 결과적으로 인위적 선택)

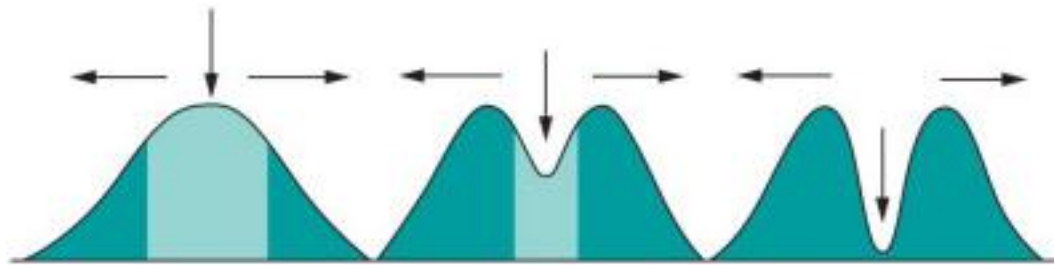


Susceptible Pest	Resistant Pest
<p>In any pest population there may be some pests with the genetic ability to survive a pesticide application.</p>	<p>After pesticide application, most susceptible pests are killed whereas the resistant ones survive.</p>
<p>A number of the offspring of the survivors inherit the resistance to pesticides. These resistant pests survive the next spray.</p>	<p>After a subsequent application, an even higher proportion of the survivors will be resistant to the insecticide.</p>
<p>If a similar pesticide is applied frequently, the resistant pests will soon make up most of the population.</p>	<p>After several applications of the insecticide, the surviving population will be practically constituted of only resistant individuals.</p>

자연선택 유형

3. 분단화 선택

- 표현형의 범위 중에서 양극단에 있는 것이 유리해지는 유형
- 종 분화는 서로 다른 형질을 가져 더 이상 생식적 교류가 일어나지 않을 때 생길 수 있다. 따라서 다수를 차지하는 개체들이 자연도태 되어 극단의 형질을 가진 개체들만이 자연선택 된다면 이들 사이에 종 분화를 기대할 수 있다. 따라서 자연선택의 유형 중 분단화 선택에 의해 종 분화가 일어날 가능성이 높다.



Disruptive selection
= Diversifying selection

소진화과정에서 변이의 자연선택에 대한 오해

1. 자연선택은 여러 변이 중 보다 우수한 것만을 선택하는 과정인가?

- 자연선택 과정이 여러 번에 걸쳐 거듭됨에 따라 그 개체군에는 궁극적으로 '나쁜' 변이들은 다 사라지고 '좋은' 변이들만 남으리라고 생각할 수 있다. 그러나, 만일 궁극적으로 좋은 변이들만 남는다면 그들을 가지고 무슨 선택이 가능할 것인가? 변이가 없으면 선택도 없다.

2. 자연선택은 자연도태를 뜻하는가?

- 자연선택의 결과 나쁜 변이가 걸러져 도태된다. 생물의 삶을 규정하는 두 기본 요소는 '생존(survival)'과 '번식(reproduction)'이다. '자연선택'이 번식에 초점을 맞춘 개념으로 생존에 더 큰 비중을 둔 개념은 '자연도태'와 다르다. 그러므로 자연도태를 통해 진화는 일어날 수 없다.

소진화과정에서 변이의 자연선택에 대한 오해

3. 자연선택에는 일정한 방향성이 있는가?

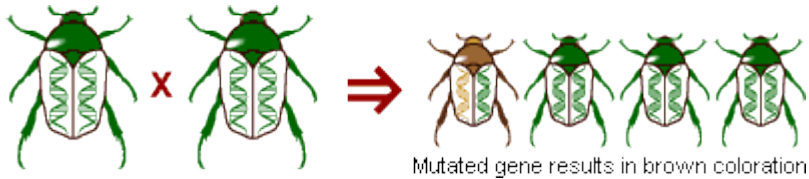
- 만일 환경이 항상 일정하게 유지된다고 가정한다면 자연선택에 의한 진화도 **오랜 세월 동안 한 방향으로 일어날 수 있을 것이다.** 그러면 동일한 형태의 선택과정이 반복될 것이고 그 결과 정말 좋은 변이들만 남을 수도 있을 것이다. **(대진화, 대기후, 대지질변동)**
- 생물의 환경은 매 세대마다 급변하는 것은 아니더라도 얼마간 비교적 일정하게 유지되다가 갑자기 예기치 못한 방향으로 변화하곤 한다. (유전적 부동) 어떤 생물들에게는 그다지 큰 변화가 아닌 작은 환경 변화들도 다른 생물들에게는 엄청난 도전이 될 수 있다. 늘 변화하는 환경 속에서 어떤 변이가 선호될지는 아무도 예측할 수 없다. **(소진화, 소기후, 국소적 지질변동, 인간의 활동)**

소진화과정에서 변이의 자연선택에 대한 오해

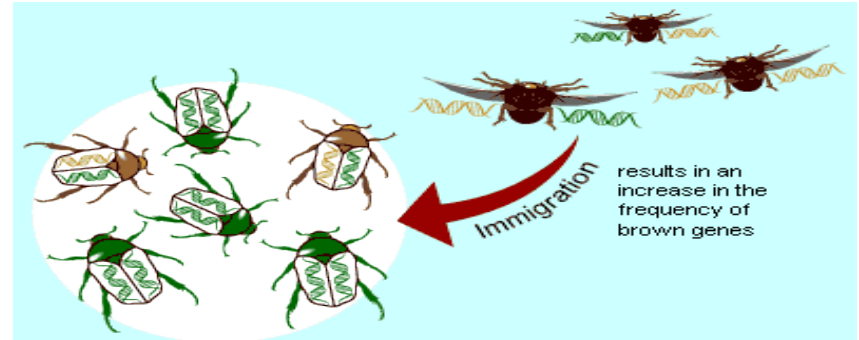
4. 진화의 원동력은 주로 돌연변이에 의해서만 형성된 변이에 의해 주도되는가?

- 돌연변이는 유전물질에 마구잡이로 발생하는 유전 가능한 변화이므로 이러한 변화가 언제나 생명체에게 유리한 방향으로 발생하리라고 기대하기는 어렵다. 돌연변이는 그리 자주 일어나지도 않으며 일어나서 그리 좋을 게 없는 현상이다. 아주 드물게나마 요행히 생존이나 번식에 유리한 돌연변이가 나타나 개체군 내에 어렵사리 자리를 잡는 것이다.
- 만일 바람직한 변이의 출현이 돌연변이에만 의존하였다면 자연선택에 의한 진화는 매우 드물게 일어났을 것이며, 지금과 같은 생물다양성은 나타나지 않았을 것이다.
- 다양한 소진화 대진화적 메카니즘에 의해서도 진화를 일으키는 원동력이 있다.

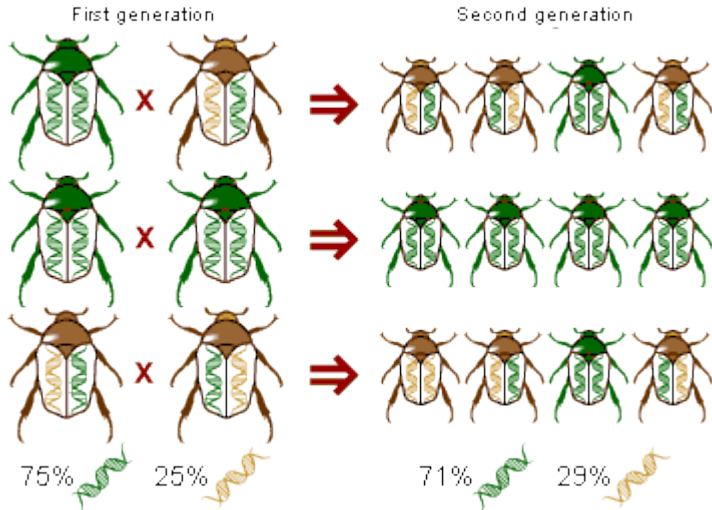
Microevolution Summary



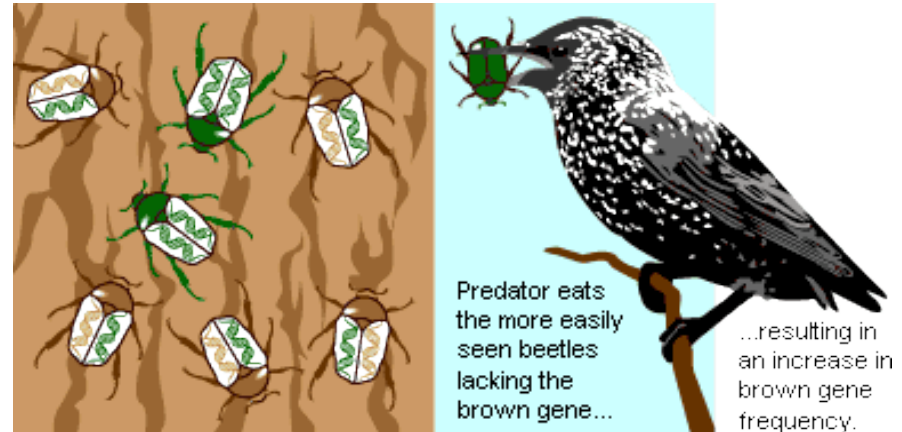
돌연변이(mutation) : 새로운 변이 형성



개체이동(migration) : 특정 대립유전자 상대빈도수 증가(gene flow)



유전적부동(genetic drift) : 대립유전자 상대빈도수 변화



자연선택(natural selection) : 적응력 차이, 최적자 생존 대립유전자 상대빈도수 증가

4. 성선택(sex selection)



인간의 유래와 성선택

The Descent of Man, and Selection in
Relation to Sex(1871. 찰스 다윈의 책)



- 생명체 삶의 궁극적인 목적이 자신의 유전자를 후세에 남기는 것이다. 암컷은 본인의 유전자를 본인의 몸을 통해 남길 수 있으나, 수컷은 암컷의 몸을 빌려 남길 수 밖에 없다.
- 일처다부제, 일부다처제, 일부일처제



성선택과 수컷 공작의 꼬리

- 수컷 공작의 꼬리가 길고 화려한 이유는 생존이 아닌 짝짓기를 위한 것이다. 번식을 위한 설비투자 측면에서 수컷의 정자 형성은 난자에 비해 저렴하다.
- 암컷은 번식에 관련하여 초기 투자를 많이 한 쪽이다. 그러므로 보다 더 좋은 짝을 골라야 한다.(간택)
- 수컷의 경우에는 어떻게 하든 더 많은 기회를 찾아서 더 많은 짝을 고르는 것이 더 유리하다.(경쟁, 영역설정, 순위결정)

부성불확실성

질투심에는 성 차이가 있다.



김동인(1948)