

교과 융합 프로그램

-수리생태학과 환경과학-



1147708 김윽비

목 차

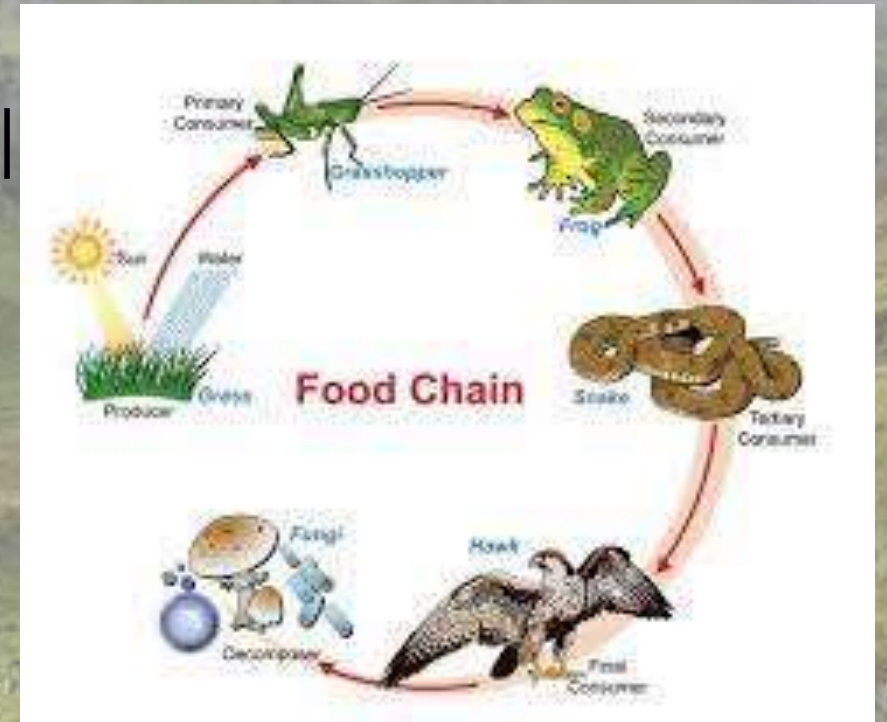
- 서론
- Theme 1. 유 전
- Theme 2. 개 체
- Theme 3. 개체군 성장
- Theme 4. 개체군 조절
- Theme 5. 경 쟁
- Theme 6. 환 경

주제 선정 이유

- 원래는 생리학과 유전학에 관심이 많았는데 3학년이 되며 ‘**확률과 통계**’, ‘**생명과학 II**’ 과목을 학습하며 통계학과 생태학에도 관심을 가지게 되었다.
- 그러던 도중 생태계와 환경의 상호작용을 수리적으로 해석하는 ‘수리생태학’에 대해 알게 되었다.
- 희망 진로 : **수학교육과**

생태학?

- 생물과 환경의 상호작용을 다루는 학문
- 유전학과 세포생리학 등이 생명과학의 미면, 생태학은 거시적인 세계를 다룬다
- 넓고 장기적인 안목이 중요한 학문



통계학?

- 흩어진 자료(변량)를 **수학적 도구**를 이용하여 분석할 수 있다.
- 통계학은 수학의 한 분야이면서도 과학의 한 분야로써 활용할 수 있는 도구이다.
- 자료를 수치화, 정량화할 수 있어 특히 **사회과학**과 **자연과학** 분야에 널리 쓰인다.



수리생태학과 환경과학

- 많은 자연 현상을 수리적 모델에 의거하여 서술할 수 있다.
- 생태학적 자료는 ‘범주형’ 과 ‘수치형’ 자료가 존재하며, 이 중 수치형 자료는 해당 자료의 특성에 따라 ‘이산형 자료’와 ‘연속형 자료’로 나뉜다.

Theme 1. 유전

- 각각의 유전특성에 대해 생물은 어버이에게서 **2개의 유전자**를 얻게 된다.
- 이 중 **한 형질**만이 발현된다. (단, **중간 유전은 예외**로 한다.)
- 우성 유전자를 T , 열성 유전자를 t 라고 하면, TT - tt 에서 1세대는 T_{-} 를 가지므로 우성 유전자만 발현된다.
- 자가수분 2세대는 TT , $2T_{-}$, tt 세 가지의 유전자형이 나타나고 표현형은 3:1의 비율을 갖는다. 이것을 멘델의 유전법칙이라 한다.

Theme 1. 유전

- 대립유전자의 유전자풀 내 상대적 비율을 유전자의 빈도 (frequency)라 한다.
- 하디-와인버그 법칙은 다음을 말한다.
“만일 두 대립유전자의 빈도를 p , q 라고 하면, $(p+q)^2=1$.”
- $p+q=1$ 이다.

Theme 1. 유전

- 하디-와인버그 법칙을 다음과 같이 증명할 수 있다.
- (1) 수학적 귀납법을 이용한 증명
세대 수를 n 이라고 하고, 두 형질 W 와 w 의 발생 빈도를 각각 p, q 라고 하자. 이때, 형질 발생 빈도는 각각 $W(n), w(n)$ 으로도 나타낼 수 있겠다.
- 즉 $W(0)=p, w(0)=q$ 이다. 우리가 증명해야 할 결과는 모든 자연수 k 에 대하여 $W(k)=p, w(k)=q$ 임이다.
 $n=1$ 일 때, 한 번 교배하여 얻은 결과는 $WW, 2Ww, ww$
 $W(1)=p^2+\frac{1}{2}\times 2pq=p(p+q)=p, w(1)=q^2+\frac{1}{2}\times 2pq=q(p+q)=q$
이므로, $n=1$ 일 때 위 식을 만족한다.

Theme 1. 유전

- 이제 $n=k$ 에서 전 식이 만족한다고 하자. 그러면, $W(k)=p$, $w(k)=q$
 k 번 교배한 상태에서 한 번 더 교배한 상태는 $k+1$ 번 교배한 상태와
같으므로 빈도는
 $W(k+1)=p^2+1/2 \times 2pq=p(p+q)=p$, $w(k+1)=q^2+1/2 \times 2pq=q(p+q)=q$
이므로, $n=k+1$ 일 때 위 식을 만족한다.
- 이상에서, $n=1, n=k, n=k+1$ 에서 모두 식이 성립하므로, 수학적 귀납
법에 의거해 하디-와인버그 법칙을 증명했다. ■

Theme 1. 유전

- 하디-와인버그 법칙을 다음과 같이 증명할 수 있다.
- (2) $q=1-p$ 임을 이용한 증명
- $P(W)=p$, $P(w)=1-p$ 로 놓자. 그러면 WW가 나타날 확률은 w^2 , Ww가 나타날 확률은 $2p(1-p)=2p-2p^2$, ww가 나타날 확률은 $1-2p+p^2$
- 이를 교배하여 다음 세대를 얻으면 그 세대에 있는 W유전자 수는 유전자형이 WW인 개체에서 $p^2 \times 2 = 2p^2$, Ww인 개체에서 $2p-2p^2$, 이를 더하면 $2p$. W유전자 수는 유전자형이 ww인 개체에서 $2(1-p)^2$, Ww인 개체에서 $2p-2p^2$, 이를 더하면 $2-2p$
- 즉, 유전자 상대량은 $2p : 2(1-p) = p : 1-p$ 이므로, $p+q=1$ 이다. ■

Theme 1. 유전

- 예제. 하디-와인버그 평형이 유지되는 집단에서 어떤 동물종의 두 대립유전자를 H, h 라고 하자. 이때, 유전자형 HH 를 가진 개체수는 640, Hh 를 가진 개체수는 320, hh 를 가진 개체수는 40이다. H 의 빈도를 p , h 의 빈도를 q 라 했을 때, p/q 의 값을 구하시오.
- 전체 개체수는 1000이고, 유전자형 HH 가 발생한 빈도는 $0.64=p^2$ 이므로 $p=0.8, q=0.2. p/q=4$.

Theme 1. 유전

- 홍익대 수리논술 (자연) 12년도 기출.



문제 2

멘델의 유전법칙에 따르면 각 개체의 유전자형은 부모 각각으로부터 하나씩 받은 두개의 유전자에 의해 결정된다. 여기서 부모란 유전자를 자식에게 전해주는 두 개체를 의미한다. 양쪽 부모로부터 모두 유전자 D 를 받은 경우의 유전자형을 DD , 모두 유전자 d 를 받은 경우를 dd , 부모 중 어느 한쪽에게서 D 를 받고 다른 한쪽에게서 d 를 받은 경우를 Dd 라 표현하자. 또한 각 개체는 자기가 가지고 있는 두개의 유전자 중 하나를 자식에게 무작위로 전달한다. 예를 들면, 유전자형 Dd 를 가진 개체는 D 나 d 를 각각 $\frac{1}{2}$ 의 확률로 자식에게 전해준다.

하디-바인베르크 법칙(Hardy-Weinberg law)에 의하면 무한한 크기의 집단에서 무작위로 교배가 일어나고, 돌연변이나 이주, 혹은 자연 선택과 같은 일이 없다고 가정했을 때, 유전자형의 비율이 일정 세대가 지나면 변하지 않는다고 한다.

이러한 가정에 맞는 어떤 집단의 초기 유전자형 DD , Dd , dd 의 비율을 각각 p_0 , q_0 , r_0 ($p_0 + q_0 + r_0 = 1$)라 하자. 이 경우 집단내의 유전자 D 와 d 의 비율은 각각 $\alpha = p_0 + \frac{1}{2}q_0$, $\beta = r_0 + \frac{1}{2}q_0$ 로 생각할 수 있다. 이 집단에서는 임의의 두 개체가 모여 다음 세대의 개체를 생산한다. 처음의 집단을 0세대라 하고, 0세대로부터 생산된 개체들만의 집단을 1세대라고 하자. 1세대는 같은 방법으로 2세대를 생산한다. 이 때, 1세대의 유전자형 DD , Dd , dd 의 비율은, α 와 β 의 비율을 갖는 유전자 D 와 d 의 풀(pool)에서 임의로 뽑은 두 유전자가 모두 D 일 확률, D 와 d 일 확률, 모두 d 일 확률과 각각 같음을 알 수 있다.

(가) 위 집단의 1세대의 유전자형 DD , Dd , dd 의 비율, p_1 , q_1 , r_1 과 2세대의 유전자형 DD , Dd , dd 의 비율, p_2 , q_2 , r_2 를 각각 α 와 β 로 표현하시오. 이 결과를 바탕으로 하디-바인베르크 법칙의 정당성에 대해 논하시오.

Theme 1. 유전

- 대립유전자가 세 개라면 어떨까. 가령 ABO 혈액형 등.
- 우열 관계는 $A=B>O$. 즉 나타날 수 있는 모든 표현형은 **AB, A, B, O** **뿐**임. 유전자형은 $A_{-}, AA, B_{-}, BB, AB, OO$.
- 이때, A의 빈도를 p , B의 빈도를 q , O의 빈도를 r 라 하면 $(p+q+r)=1$ 이 성립해야 한다.
- 물론 $P(AA)=p^2$, $P(BB)=q^2$, $P(OO)=r^2$, $P(AB)=2pq$, $P(B_{-})=2qr$, $P(A_{-})=2rp$ 로 두면, 여러분이 고등학교 1학년 시절 지긋지긋하게 배웠던 $(p+q+r)^2=p^2+q^2+r^2+2(pq+qr+rp)=1$ 임을 이용해 증명할 수 있지만 시간이 지나치게 오래 걸리니 생략한다.
- 어쨌든 **하디-와인버그 법칙은 멘델 집단에서는 항상 성립한다.**

Theme 1. 유전

- 이상에서 본 모든 자료는 이산적 자료이다. 이는 통계학에서의 ‘이산확률변수’를 이용한 ‘이산확률분포표’와 같은 자료로 나타낼 수 있다. 가령, ABO 혈액형에 대해서 어떤 인구 집단에서는 $P(A)=0.6$, $P(B)=P(O)=0.2$ 일 때 닫힌 세대 G_1, G_2 에 대하여 다음을 정리할 수 있다. (편의상 빈도는 F로 나타내었다.)

F	A	B	O	합
P(F)	3/5	1/5	1/5	1

Theme 1. 유전

- 물론 아까 본 자료만으로는 ‘이산확률변수’임이 성립하지 않는다. 이산확률변수에서 자료는 ‘수’여야 하기 때문이다.
- 따라서, 유전자별로 가지는 수리적 특징 (예: 해당 유전자를 가졌을 때의 탈모 시작 연령대)을 대입하여 이산확률분포표를 완성하고, 평균과 분산 등의 데이터를 끄집어낼 수 있다.

Theme 1. 유전

- $+a$ 유전자풀의 변화 요인
- 유전자는 끊임없이 변화하며, 이 때문에 자연계에서 멘델 집단은 발생하기 매우 어렵다.
- 돌연변이: 돌연변이 유전자가 대립 유전자보다 생존에 뛰어난 경우 돌연변이 유전자의 빈도가 증가한다.
- 유전적 부동: 병목 효과와 창시자 효과가 있으며, 대립유전자의 무작위적 전달로 빈도가 예측 불가능한 방향으로 변화
- 자연 선택: 특정 표현형의 개체만 살아남음.
- 유전자 흐름: 대립유전자의 유입 및 유출은 집단간 이주에 의해 발생.

Theme 2. 개체

- 우리는 닫혀 있는 개체군에 대해서 t 를 시간, 시간에 따른 개체군 크기를 $N(t)$ 라 놓을 수 있다. 이때, 출생 개체 수는 출생 비율을 b 라 할 때 이에 시간 증분인 Δt 를 곱하여 $bN(t)\Delta t$ 로 나타낼 수 있고, 사망 개체 수 역시 사망 비율을 d 라 할 때 $dN(t)\Delta t$ 로 나타낼 수 있을 것이다.
- 시간 $t + \Delta t$ 동안의 개체군 크기는
$$N(t + \Delta t) = N(t) + bN(t)\Delta t - dN(t)\Delta t = N(t) + (b - d)N(t)\Delta t$$
이고, 이를 정리하면 $N(t + \Delta t) - N(t) / \Delta t = (b - d)N(t)$ 이다.
- 좌변은 시간 Δt 동안의 개체군 크기의 변화율이다.

Theme 2. 개체

- 즉, 좌변을 개체수 변화율인 ΔN 라 놓을 수 있고, 이는 $\Delta N/\Delta t = (b - d)N(t)$ 가 성립함을 뜻한다. 따라서, $b - d = r$ 라고 하면,
 $dN/dt = rN$ 이다. (r 은 순증가율이다.)
- 이는 시간 t 에 대한 미분방정식이다.
- 양 변을 적분하여 일정 조건 하에서의 개체군 크기인 $N(t)$ 를 예측할 수 있다.

Theme 2. 개체

- 이를 증명해 보자.
- 좌변을 N 에 관해 정리하면 미적분학의 기본 성질에 의해 $dN/N = rdt$ 이고, 양변에 적분을 취하면 $\ln N + c_1 = rt + c_2$ 이고, $c_1 - c_2 = c$ 로 묶으면 $\ln N = rt + c$ 이 때, $e^{\ln N} = e^{rt} e^c$ 가 되고, 즉 $N = e^c e^{rt}$ 이다. $N(0) = e^c$ 이므로, e^c 는 초기 개체수이다.
- 따라서, 지수적 모델 $N(t) = N(0)e^{rt}$ 임이 증명되었다. ■

Theme 2. 개체

- r 은 상수이고, 앞서 $r = b - d$ 로 정의하였으므로 $r > 0$ 에서 $b > d$ 로 개체 수가 증가하는 상태, $r < 0$ 에서 $b < d$ 로 개체 수가 감소하는 상태임을 알아낼 수 있다.

Theme 2. 개체

- 개체군의 사망과 생존은 연속적 데이터인 ‘코호트’로 생명표(life table)를 작성하여 구할 수 있다.
- 길고양이 데이터를 통해 생명표를 작성해 보자. 다음 자료는 길고양이의 50 마리의 특정 연령(x)에 생존한 개체 수(n_x)에 대한 것이다.

x	n_x
0	50
1	21
2	16
3	11
4	8
5	6
6	3
7	2
8	1

Theme 2. 개체

- 연령 0의 50마리 길고양이 중 21마리만이 1살이 될 수 있고, 16마리만이 2살이 될 수 있다. 9년 이상 생존하는 개체는 없었다. 이때, 특정 연령 p 까지 살아남은 개체수 n_p 의 초기 개체수에 대한 상대적 비율을 l_p 로 정의한다. l_p 은 다음과 같이 나타낼 수 있다. l_p 은 n_p 에 비례할 것이다.

x	n_x	l_x
0	50	1.00
1	21	0.42
2	16	0.32
3	11	0.22
4	8	0.16
5	6	0.12
6	3	0.06
7	2	0.04
8	1	0.02

Theme 2. 개체

- 이때, 어떤 연령 등급과 다음 연령 등급에서의 개체수 차이는 그 시간 간격 동안 사망한 개체수이며, 이를 d_x 라 하고, 연령등급별 사망률을 $q_x = \frac{d_x}{n_x}$ 로 정의하여 표를 작성하면 다음과 같다.

x	n_x	d_x	q_x
0	50	29	0.58
1	21	5	0.24
2	16	5	0.31
3	11	3	0.27
4	8	2	0.25
5	6	3	0.50
6	3	1	0.33
7	2	1	0.50
8	1	1	1.00

Theme 2. 개체

- 하지만 연령별 사망률만을 가지고 기대수명을 나타내는 지표라고 우기기엔 곤란하다. 통계적 모델을 이용해 개체의 기대 수명을 구해 보자.

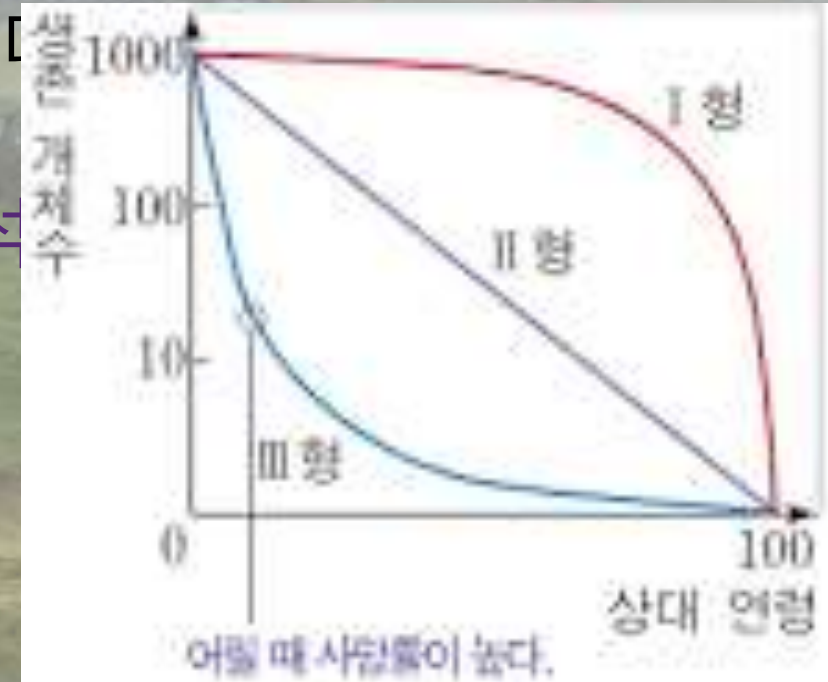
- $L_x = \frac{n_x + 1}{2}$
정의하자
체 수의 평균
다음과 같

x	n_x	T_x	e_x
0	50	93.0	1.86
1	21	57.5	2.74
2	16	34.0	2.44
3	11	25.5	2.32
4	8	16.0	2.00
5	6	9.0	1.50
6	3	4.5	1.50
7	2	2.0	1.00
8	1	0.5	0.50

$= \frac{T_x}{n_x}$ 으로
아있는 개
통해 표를

Theme 2. 개체

- 연령등급 별 l_x 을 통해 생존 곡선을 얻을 수 있다. 대략적인 성장 곡선은 크게 세 가지로 분류할 수 있다.
- 길고양이는 유년기 II 형 성장곡선을 나타내며, 포유류의 그래프이다.
- 생존 곡선은 한 종의 생존 시기를 분석할 수 있다.



Theme 3. 개체군 성장

- 개체의 출생률과 사망률을 분석해 개체군의 성장을 예측할 수 있다.
- 먼저, 연령 x 에 대해 b_x 라 정의하고, 표를

x	b_x
0	0
1	0
2	1
3	2
4	4
5	3
6	1
7	1
8	0
Σ	12

이난 암컷의 평균 수를

Theme 3. 개체군 성장

- 길고양이는 2 ~ 7년의 연령에서 암컷 자손을 생산할 능력을 가짐을 알 수 있고, $\sum_x b_x$ 는 총생식률이며 길고양의 경우는 12임을 알 수 있다. - 이론적인 최대

x	l_x	b_x	$l_x b_x$
0	1.00	0	0.00
1	0.42	0	0.00
2	0.32	1	0.32
3	0.22	2	0.44
4	0.16	4	0.64
5	0.12	3	0.36
6	0.06	1	0.06
7	0.04	1	0.04
8	0.02	0	0.00
Σ		12	1.86

- Theme 20기 위해 C는 상수 $R_0 \geq 1$ 한 결과

을 보정하 만족시키
은 축소되
터를 추가

Theme 3. 개체군 성장

- 길고양이 개체군에서 $R_0 \geq 1$ 이었으므로 개체군은 유지된다. 위 표를 출산력표라고 일컫는다.

- 이번에는 출생률과 예측해 볼 것이다. 생존률 $S_x = 1 - q_x$ 있다.

x	l_x	S_x	b_x
0	1.00	0.42	0
1	0.42	0.76	0
2	0.32	0.69	1
3	0.22	0.73	2
4	0.16	0.75	4
5	0.12	0.50	3
6	0.06	0.67	1
7	0.04	0.50	1
8	0.02	0.00	0

개체군 성장의 추이를 사망률 q_x 에 대하여, 다음과 같다고 할 수

Theme 3. 개체군 성장

- 이 표와 길거리에 도입된 길고양이 개체군의 자료를 이용해 개체군 성장 예측표를 작성해 보자. 암컷이 번식 단위이므로 표 작성시에는 암컷만을 추적하여 반영하여야 하는 점을 명심해라.
- 시작 연도를 0이라 설정하고, 도입된 길고양이 개체군은 연령 0의 15, 연령 1의 10, 연령 2의 5라고 하자. 그러면 $N(0)=30$ 이라 하자. 연도 0을 통해 연도 1에서의 개체군을 예측해 볼 수 있겠다. 초기 개체군에서 모든 길고양이는 생존하지 않으므로, 연도 0에서 연령 0의 암컷 고양이 중 42%만이 생존하여 연도 1의 연령 1 암컷 고양이가 되므로, 이를 곱하여 6.3으로 오른쪽 대각선에 내려 표기한다. 이렇게 해서 연도 1의 연령 1~3의 고양이 개체를 모두 구한 후, 이 개체가 연도 1에서 생산하는 연령 0의 고양이 수를 구하면 14.5이다. 이 과정을 반복한다.

Theme 3. 개체군 성장

- 위와 같이 작성된 성장 예측표에서, $\frac{x}{N(t)_x}$ 로 연령분포를 작성할 수 있다. 각 항에 대해 $\frac{x}{N(t)_x}$ 을 구해 안정연령분포표를 만든다.
- 한정 증식률(λ ; 해당 기간 동안의 개체수 증가 비율)은 $\frac{N(t+1)}{N(t)}$ 로 구한다. 예측표에서 보듯이, λ 의 값은 t 가 충분히 커지면 일정해지며, $\lambda \geq 1.0$ 에서 개체군은 유지된다.
- 한편, 위 식에 $t=0, 1$ 을 대입하면 $N(2)=N(0)\lambda^2$ 임을 알 수 있고 이를 일반화하면 $N(t) = N(0)\lambda^t$ 이다. 이는 Theme 2에서 유도한 지수적 성장모델인 $N(t) = N(0)e^{rt}$ 와 동일한 식으로 볼 수 있다.

Theme 3. 개체군 성장

- 즉, $N(0)\lambda^t = N(0)e^{rt}$ 에서 $\lambda=e^r, r=\ln \lambda$ 임을 증명하였다. ■
- $\lambda > 1$ 일 때 $r > 0$ 임을 참고하면 좋다.
- 길고양이 개체군에서 역시 일정한 r 값이 나타난다.
- 이산적 데이터를 성장모델이라는 연속적 데이터로 나타낼 수 있게 되었다.

Theme 4. 개체군 조절

- Theme 2, 3에서의 지수적 성장모델은 개체군 증가에 있어서 공간과 먹이 등이 무제한이고 일정한 환경 내에서 유전자 변이가 없는 상황을 가정한 것이다. 실제로 개체군 크기와 출생률은 반비례한다.
- 출생률을 b , 이상적 상태에서의 출생률을 b_0 , 사망률을 d , 이상적 상태에서의 사망률을 d_0 , 출생률 직선 기울기를 a , 사망률 직선 기울기를 c 라 하면, $b = b_0 - aN$, $d = d_0 + cN$ 이다. 이상을 나타내면 다음 그래프와 같다. $N < K$ 일 때 성장률은 양수가 된다.

Theme 4. 개체군 조절

- Theme 2에서 $r = b - d$ 로 정의하였으므로 식 $dN / dt = rN$ 을 다시 작성하면 $\frac{dN}{dt} = \{(b_0 - aN) - (d_0 + cN)\}N$ 이다. R에 대해서 좀 더 명확해 질 수 있게 되었다.
- $dN / dt = 0$ (변화율 = 0)일 대의 N의 크기는 임의의 환경조건에서 유지가능한 최대 개체군의 크기이고, 이를 정리하면 $(b_0 - aN)N = (d_0 + cN)N$ 이고 $N > 0$ 이므로, 이를 정리하면 $N = \frac{b_0 - d_0}{a + c}$ 이다. 이 값은 상수이므로 K라고 두자. K는 환경수용능(能)이라 하며 지배적인 환경 하에서의 이론상 최대 개체군의 크기이다.

Theme 4. 개체군 조절

- 이를 반영하여 이론상의 최대 수치였던 $\frac{dN}{dt} = rN$ 을 다시 정의하면 $\frac{dN}{dt} = rN(1 - \frac{a+c}{b_0-d_0}N) = rN(1-N/K)$ 이다.
- 이를 t에 대해 적분하여 개체군 크기를 시간에 대한 함수로 나타내면

$$N(t) = \frac{K}{1 + \frac{K-N(0)}{N(0)}e^{-rt}}$$

이다.

- N(t)와 dN / dt 의 그래프는 다음과 같다.
- 이를 통해 생명과학 I 에서 학습한 ‘생장 곡선’이 무슨 의미를 갖는지 알 수 있다.

Theme 5. 경쟁

- Theme 4에서 얻은 수정된 로지스틱형 개체군 성장식은 다음과 같이 나타낼 수도 있을 것이다: $\frac{dN}{dt} = rN \frac{K-N}{K}$.
- 종간 경쟁의 모델을 살펴보기 위해 두 종 종 1, 종 2에 대해 종 1의 개체수를 N_1 , 종 2의 개체수를 N_2 라 정의하고, 종 1의 한 개체는 종 2의 β 개체와, 종 2의 한 개체는 종 1의 α 개체수와 같은 효율을 지닌다고 하면 종 1과 2에 대한 새로운 로지스틱형 방정식을 적을 수 있다.
- Species 1: $\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1}$
- Species 2: $\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2}$

Theme 5. 경쟁

- 이때, 종 1에서 $N_1 + \alpha N_2 \rightarrow K_1$ 이면, $\frac{dN_1}{dt} \rightarrow 0$ 이다. 즉 α 와 $\frac{dN_1}{dt}$ 이 반비례함을 알 수 있다. 종 2에 대하여도 마찬가지다.
- α, β 가 커진다는 것은 각각 경쟁관계의 종의 한 개체와 대응되는 자신의 개체 수가 많이 필요하다는 뜻이기 때문에, 해당종의 **한 개체의 효율이 상대적으로 감소**하는 것으로 해석할 수 있다.
- $K_i (i = 1, 2), \alpha, \beta$ 값의 조합에 따라 다음 네 가지의 종간 경쟁에 대한 그래프 개형을 분석할 수 있다.

Theme 5. 경쟁

- 앞서 $\alpha N_2 = K_1$, $\beta N_1 = K_2$ 였고, 이를 통해 위 4가지의 그래프를 해석할 수 있다.
- 종 1이 이기는 그림에서, $\frac{K_2}{\beta} < K_1$; $K_2 < \frac{K_1}{\alpha}$ 로, 종 2가 종 1에 비해 개체의 ‘효율’이 떨어지는 것으로 해석할 수 있다. 종 2가 이기는 그림에서는 위수만 바뀌어 $\frac{K_1}{\alpha} < K_2$; $K_1 < \frac{K_2}{\beta}$ 이다.

Theme 5. 경쟁

- 불안정 평형 상태에서는 $\frac{K_2}{\beta} < K_1; \frac{K_1}{\alpha} < K_2$ 이므로 효율만 가지고는 두 종의 우열을 가릴 수 없으며, 빈도, 피도, 밀도가 이를 결정한다.
- 안정 평형(공존) 상태에서는 $K_1 < \frac{K_2}{\beta}; K_2 < \frac{K_1}{\alpha}$ 으로 양쪽이 서로를 제거할 정도의 밀도에 도달하지 못하기 때문에 공존 상태가 유지된다.
- 이러한 직선들을 zero-growth isocline (제로-성장 등사습곡)이라 하며, 환경수용능(能)의 우열을 가리는 지표로서 작용한다.
- 화살표의 경우는 각 종의 자연적 진행 방향의 합력으로 볼 수 있다. 이는 자연적 흐름이다.

Theme 6. 환경

- 생태계 안에서 일어나는 모든 상호작용 과정의 다양성을 포함한다.
- 인간은 약 200 년 동안 5억에서 60억이라는 토지 이용과 자원 개발 등을 통한 끝었다.
- 지구 상의 다양한 종이 인간에 의해 절멸되고 있다.
- 따라서, 수리생태적 분석을 통해 이러한 문제의 원인을 이해하고 영향을 완화시키는 수단을 생각해 보아야 한다.
- 환경과학은 자연환경에 대한 인간의 영향을 조사하고, 농업, 농경학, 지질학, 열역학 등의 학제를 폭넓게 망라한다.



Theme 6. 환경

- 생태학적 자료는 실험적 연구에 의해 얻어지며 대부분의 연구는 가설 설정 뒤 이를 검증하는 과정의 교집합이 관찰된다.
- 예를 들어, 풀의 생산성은 질소가용성과 정비례 관계를 띤다.
- 생태학적 자료는 통계적 모집단의 수집을 통한 분석으로 이루어지며, 이러한 실험은 불확실성을 띠고 언제든지 결과가 바뀔 수 있음에 유의하라.
- 결과가 예측과 일치하지 않아도, 끊임없이 새로운 가설을 고찰하여 설정한 뒤 예측을 재전개할 수 있다.

느낀 점

- 처음에는 매우 난해하고 시작하기 어려운 활동이었다. 구상에만 1주일이 넘게 걸렸으며 결국 답을 찾지 못한 채 무지성으로 생태학 책을 대출하였다.
- 그러던 와중 ‘개체수 모델’을 여러 장에 걸쳐 서술한 것을 보고 다양한 요소가 개체군의 크기 분석과 변화 양상의 예측에 관여할 수 있음을 알게 되었다.
- 종합적으로 크게 어렵거나 수준높은 이론은 다루지 않았지만 **하위 과목들을 포괄적으로 이해하고 재점검**하는 데 의의를 둔다.



Q&A

The background of the slide is a wide-angle photograph of a rugged, mountainous landscape. In the foreground, there are rolling green hills with some rocky patches. A small, clear stream flows through a valley in the middle ground. In the background, more mountains are visible, some with patches of snow or light-colored rock. The sky is filled with large, soft clouds, and the overall lighting suggests a bright but slightly overcast day.

Thank You

참고 문헌 : 생태학 6판 (Thomas M. Smith | Robert Leo Smith)