

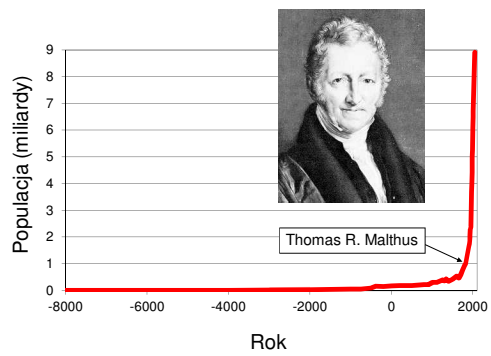


EKOLOGIA

Ekologia populacji

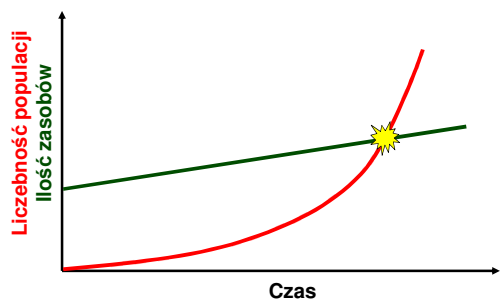
1/55

Dynamika populacji człowieka



2/55

Teoria Malthusa



3/55

Populacja – termin różnie rozumiany

- **W demografii (człowieka):** ludzie zamieszkujący określony rejon: np. populacja Krakowa, populacja Polski południowej, populacja Polski, populacja Europy itd.
- **W genetyce:** grupa krzyżujących się osobników tego samego gatunku, izolowana od innych grup tego gatunku
- **W ekologii:** grupa osobników tego samego gatunku, zamieszkujących ten sam teren i mogących się krzyżować

4/55

Cechy osobnicze vs cechy populacji

Cechy osobnicze:

- wiek
- stadium rozwojowe
- rozmiar
- płeć
- behavior



Cechy populacji:

- liczebność, zagęszczenie
- struktura wiekowa
- stosunek płci
- rozmieszczenie przestrzenne

5/55

Procesy osobnicze i na poziomie populacji

Procesy osobnicze:

- rozwój
- wzrost
- odżywianie
- reprodukcja
- śmierć



Procesy w populacji:

- wzrost liczebności lub (i) zagęszczenia
- zmiany struktury wiekowej
- rozrodczość
- śmiertelność

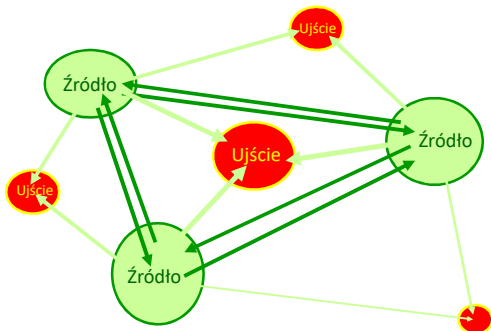
6/55

Metapopulacja – populacja – subpopulacja

- W rzeczywistości organizmy na ogół nie żyją w ściśle izolowanych grupach:
 - ◆ między lokalnymi populacjami następuje wymiana osobników (i przepływ genów) → **metapopulacja**
 - ◆ w obrębie populacji można często wyodrębnić odmienne genetycznie grupy osobników → **subpopulacje**
- **Populacje „źródłowe” i „ujściowe”**

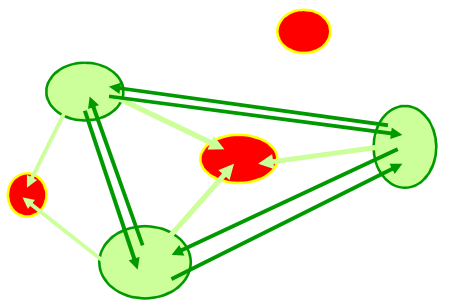
7/55

Funkcjonowanie metapopulacji



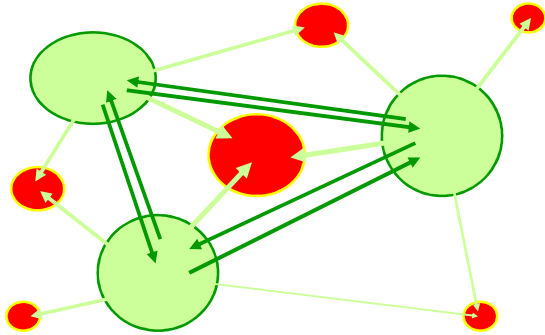
8/55

Funkcjonowanie metapopulacji



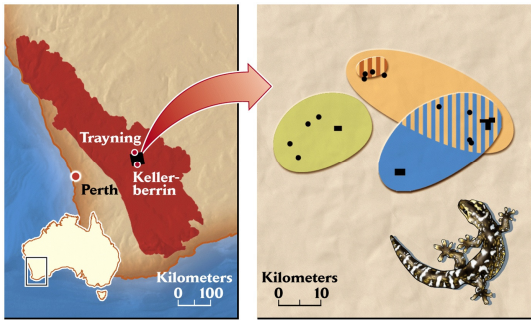
9/55

Funkcjonowanie metapopulacji



10/55

Metapopulacje i subpopulacje



11/55

Co ogranicza obszar występowania populacji?

- Rozkład przestrzenny nadających się do zasiedlenia środowisk
 - Konkurenci
 - Bariery uniemożliwiające rozprzestrzenianie
 - Drapieżniki i pasożyty
- występowanie populacji stanowi podzbiór całkowitego zasięgu gatunku

Każdy z tych czynników determinuje także rozmieszczenie osobników w populacji

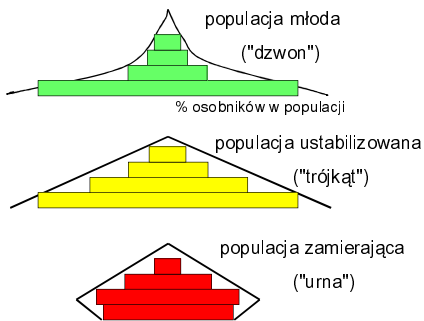
12/55

Struktura populacji

- **Zagęszczenie:** liczba osobników przypadających na jednostkę powierzchni lub objętości (tu problem z 'osobnikami modularnymi' – w tym przypadku lepiej wyrażać zagęszczenie liczbą rametów na jednostkę powierzchni);
- **Struktura wiekowa:**
 - ◆ **stała** (zrównoważona) – gdy proporcje między poszczególnymi klasami wieku nie zmieniają się;
 - ◆ **trwała** (niezmienna) – tylko w populacjach o ustabilizowanej liczebności, gdy liczebność w poszczególnych klasach wieku jest stała

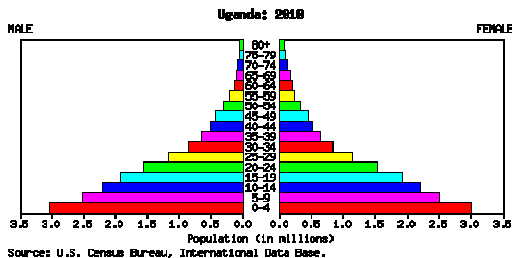
13/55

Struktura wiekowa a potencjał wzrostu



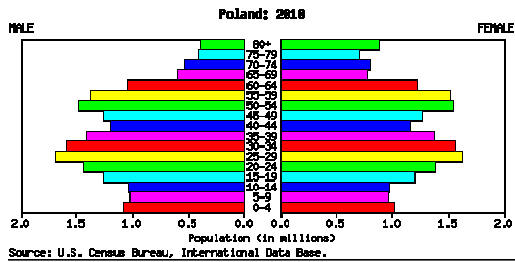
14/55

Piramida wieku dla Ugandy (2010)



15/55

Piramida wieku dla Polski (2010)



16/55

Tabele przeżywania: kohortowe

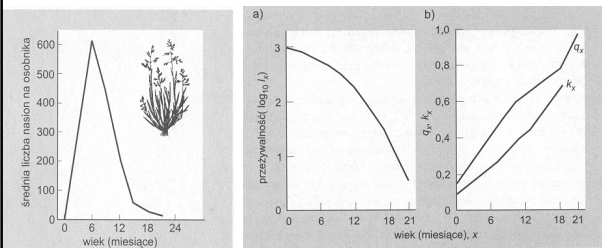
Tabela 1.1 Tabela przeżywania kohort wiechliny rocznej, *Poa annua* (Law, 1975, zmodyfikowane)

Klasy wieku (3-miesięczne)	Liczba osobników dożywających do początku klasy wieku	Względna liczba osobników dożywających do początku klasy wieku	Względna liczba osobników umierających w klasie wieku x	Wskaźnik śmiertelności d_x/l_x	$\log_{10} a_x$	$\log_{10} l_x$	Siła śmiertelności $\log_{10} a_x - \log_{10} a_{x+1}$	Średnia liczba nasion produkowanych przez osobnika w wieku x
x	a_x	l_x	d_x	q_x	$\log_{10} a_x$	$\log_{10} l_x$	k_x	B_x
0	843	1000	143	0.143	2.926	3.000	0.067	0
1	722	857	232	0.271	2.859	2.933	0.137	300
2	527	625	250	0.400	2.722	2.796	0.222	620
3	316	375	204	0.544	2.500	2.574	0.342	430
4	144	171	107	0.626	2.158	2.232	0.426	210
5	54	64	46.2	0.722	1.732	1.806	0.556	60
6	15	17.8	14.24	0.800	1.176	1.250	0.669	30
7	3	3.56	3.56	1.000	0.477	0.551	-	10
8	0	0	-	-	-	-	-	-

Begon, Mortimer i Thompson - Ekologia populacji - studium porównawcze zwierząt i roślin. PWN, 1999

17/55

Plodność, przeżywalność (l_x), śmiertelność (q_x) i siła śmiertelności (k_x) w populacji wiechliny



Begon, Mortimer i Thompson - Ekologia populacji - studium porównawcze zwierząt i roślin. PWN, 1999

18/55

Tabele przeżywania: statyczne

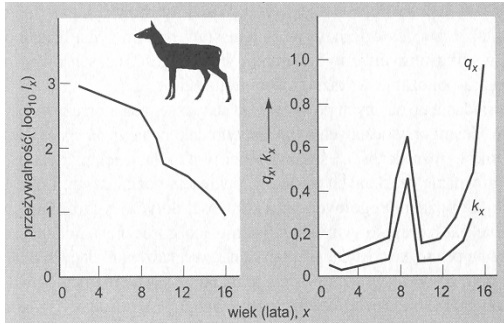
Tabela 1.2 Statyczna tabela przeżywania w populacji jelenia szlachetnego (Lowe, 1969)

x (lata)	x_x	l_x	d_x	q_x	B_x	Dane „wygładzone”				
						l_x	d_x	q_x	$\log_{10} l_x$	k_x
1	129	1000	116	0.116	0	1000	137	0.137	3.000	0.064
2	114	884	8	0.009	0	863	85	0.097	2.936	0.045
3	113	876	48	0.055	0.311	778	84	0.108	2.891	0.050
4	81	625	23	0.037	0.278	694	84	0.121	2.841	0.056
5	78	605	148	0.245	0.302	610	84	0.137	2.785	0.064
6	59	457	-47	-	0.400	526	84	0.159	2.721	0.076
7	65	504	78	0.155	0.476	442	85	0.190	2.645	0.092
8	55	426	232	0.545	0.358	357	176	0.502	2.553	0.295
9	25	194	124	0.639	0.447	181	122	0.672	2.258	0.487
10	9	70	8	0.114	0.289	59	8	0.141	1.771	0.063
11	8	62	8	0.129	0.283	51	9	0.165	1.708	0.085
12	7	54	38	0.704	0.285	42	8	0.198	1.623	0.092
13	2	16	8	0.500	0.283	34	9	0.247	1.531	0.133
14	1	8	-23	-	0.282	25	8	0.329	1.398	0.168
15	4	31	15	0.484	0.285	17	8	0.492	1.230	0.276
16	2	16	-	-	0.284	9	9	1.000	0.954	-

Begon, Mortimer i Thompson - Ekologia populacji – studium porównawcze zwierząt i roślin. PWN, 1999

19/55

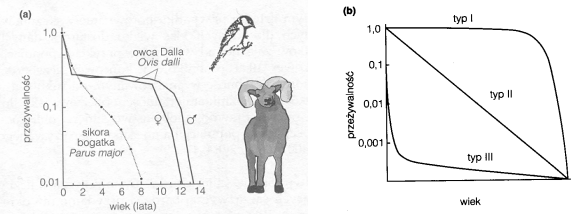
Przeżywalność (l_x), śmiertelność (q_x) i siła śmiertelności (k_x) w populacji jelenia



Begon, Mortimer i Thompson - Ekologia populacji – studium porównawcze zwierząt i roślin. PWN, 1999

20/55

Podstawowe typy krzywych przeżywania



21/55

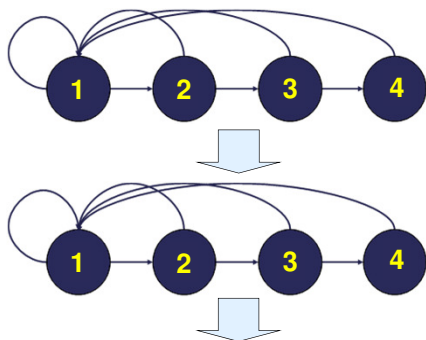
Przewidywane dalsze trwanie życia

x	l'_x	l_x	d_x	q_x	L_x $(l_x+l_{x+1})/2$	T_x	e_x $(T_x/l_x)a$
0	500	100	20	0,20	90	180	1,80
1	400	80	40	0,50	60	90	1,13
2	200	40	30	0,75	25	30	0,75
3	50	10	10	1,00	5	5	0,50
4	0	0	0	-	0	0	-

$$t_{sr} = (d_1 t_1 + d_2 t_2 + \dots + d_n t_n) / (d_1 + d_2 + \dots + d_n)$$

22/55

Historia życia osobników w populacji



23/55

Jak obliczyć liczebność populacji w kolejnych klasach wieku?

$$N_{0,t+1} = N_{0,t} \times F_0 + N_{1,t} \times F_1 + \dots + N_{n,t} \times F_n$$

$$N_{1,t+1} = N_{0,t} \times P_0$$

$$N_{2,t+1} = N_{1,t} \times P_1$$

...

$$N_{n,t+1} = N_{n-1,t} \times P_{n-1}$$

$$\begin{bmatrix} F_0 & F_1 & \dots & F_n \\ P_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & P_n & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \dots \\ n_n \end{bmatrix}$$

→ Dominująca wartość własna macierzy projekcji λ (w przybliżeniu N_{t+1}/N_t dla ustabilizowanej struktury wieku)

24/55

Dopuszczalna eksploatacja populacji

Przykład: obliczyć dopuszczalną eksploatację populacji płetwala błękitnego

Klasy wieku: 0-1 2-3 4-5 6-7 8-9 10-11 12+

0	0	0,19	0,44	0,5	0,5	0,45
0,77	0	0	0	0	0	0
0	0,77	0	0	0	0	0
0	0	0,77	0	0	0	0
0	0	0	0,77	0	0	0
0	0	0	0	0,77	0	0
0	0	0	0	0	0,77	0,78

→ $\lambda = 1,0072$ → maksymalna eksploatacja: $100 \times (\lambda - 1) / \lambda = 0,71\%$

25/55

Dynamika liczebności populacji

- Liczebność populacji jest wypadkową śmiertelności (d) i rozrodczości (b) oraz imigracji (I) i emigracji (E):

$$N_{t+1} = N_t + b - d + I - E$$

- Tempo zmian liczebności zależy od liczby osobników potomnych w pokoleniu $T+1$ przypadających na jednego osobnika w pokoleniu poprzednim → **współczynnik reprodukcji netto:**

$$R_0 = N_{T+1} / N_T$$

- R_0 można też obliczyć sumując liczbę osobników potomnych rodzonych w kolejnych klasach wieku:

$$R_0 = \sum_x m_x$$

- $R_0 = 1$ → **populacja ustabilizowana**
- $R_0 < 1$ → **liczebność populacji maleje**
- $R_0 > 1$ → **liczebność populacji rośnie**

26/55

Wewnętrzne tempo wzrostu populacji

- W danych warunkach środowiskowych, przy nieograniczonych zasobach każda populacja realizuje maksymalne możliwe tempo wzrostu – jest to **wewnętrzne tempo wzrostu populacji r**

- r zależy od gatunku (maksymalna teoretycznie możliwa reprodukcja i minimalna teoretycznie możliwa śmiertelność) oraz od środowiska (faktycznie możliwa do zrealizowania w danych warunkach rozrodczość i śmiertelność)

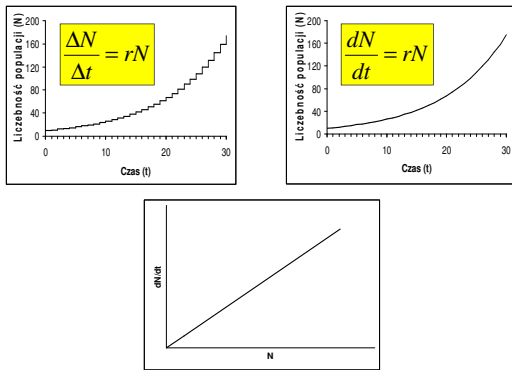
$$r = \frac{\log(\text{średnia_liczba_potomstwa_na_osobnika})}{\text{czas_trwania_pokolenia}} = \frac{\ln R_0}{T}$$

→ zmiana liczebności w czasie $t = \text{wewnętrzne tempo wzrostu} \times \text{liczebność}$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN$$

27/55

Dynamika populacji – model wykładniczy



28/55

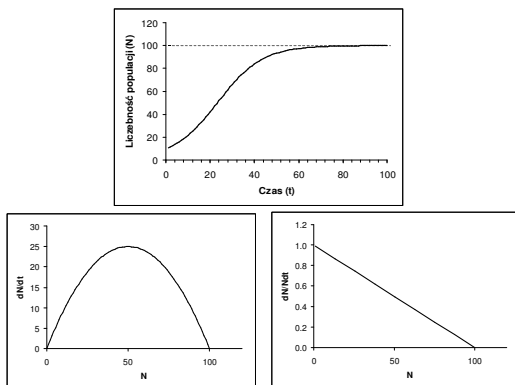
Populacje żyją na ogół w środowiskach o ograniczonych zasobach → model logistyczny

- **Pojemność środowiska, K** (ang. *carrying capacity*) – maksymalna liczebność populacji, jaka może istnieć w danym środowisku:
 - ♦ wraz ze zbliżaniem się liczebności do K nasila się konkurencja → dostępne do zasiedlenia środowisko jest już pomniejszone o N_t osobników:

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{K - N}{K}$$

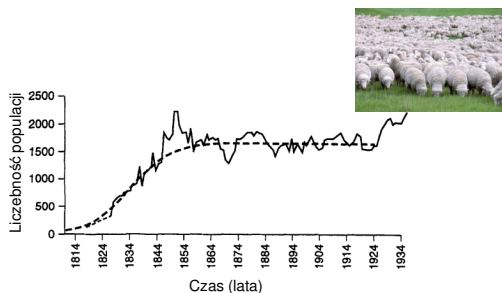
29/55

Logistyczny model wzrostu liczebności populacji



30/55

Dynamika populacji w rzeczywistości: zależność od zagęszczenia

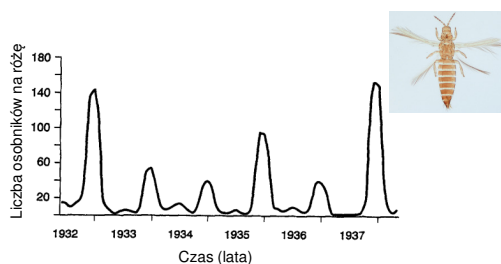


Dynamika populacji owiec po ich sprowadzeniu na Tasmanię

Davidson, 1938; fot.: lifeasahuman.com

31/55

Dynamika populacji w rzeczywistości: brak zależności od zagęszczenia



Dynamika przyłżeńców (Thysanoptera) na różach w Australii

Davidson and Andrewartha, 1948; fot.: <http://www.ozthrips.org>

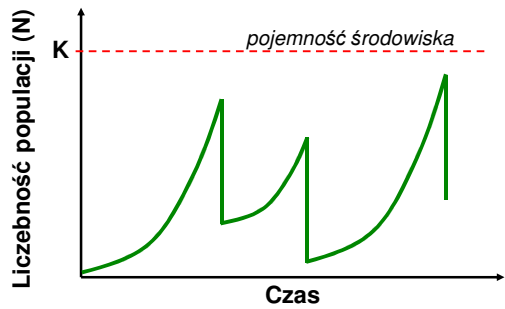
32/55

Czynniki determinujące liczebność populacji

- **Niezależne od zagęszczenia** (hipoteza Andrewarthy i Bircha, 1954):
 - ◆ liczebność populacji jest wciąż redukowana przez zaburzenia środowiskowe, dzięki którym nigdy nie dochodzi do osiągnięcia liczebności K
- **Zależne od zagęszczenia** → regulacja liczebności populacji (hipoteza Lacka, 1954)
 - ◆ liczebność populacji wzrasta aż do osiągnięcia liczebności K , kiedy dalszy wzrost jest niemożliwy ze względu na ograniczone zasoby (wyczerpujące się zasoby pokarmowe, brak siedlisk itp.)

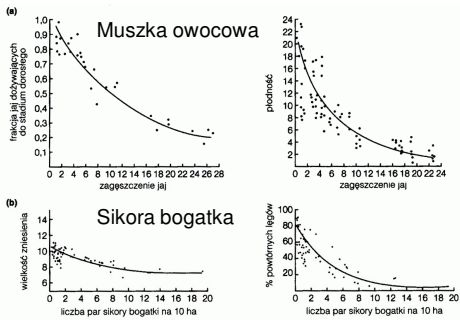
33/55

Regulacja niezależna od zagęszczenia



34/55

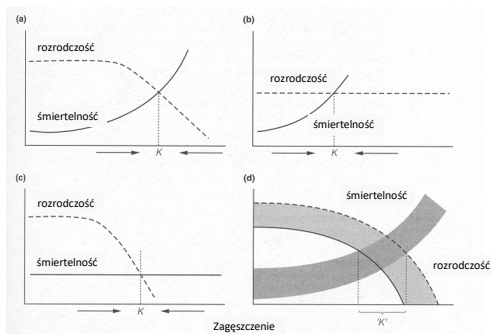
Regulacja zależna od zagęszczenia



Figs. 1. Zależność od zagęszczenia: (a) przeżywalności i płodności w populacji muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*), i (b) płodności w populacji sikory bogatki (*Parus major*)

35/55

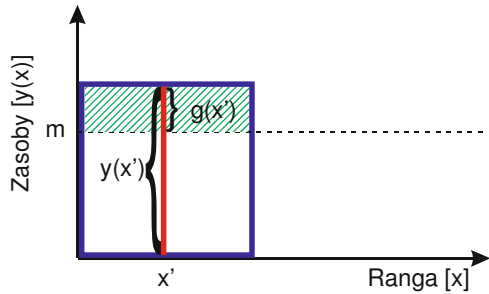
Zależność od zagęszczenia może być różnie realizowana



Begon, Townsend, Mortimer. 1996. Ecology.

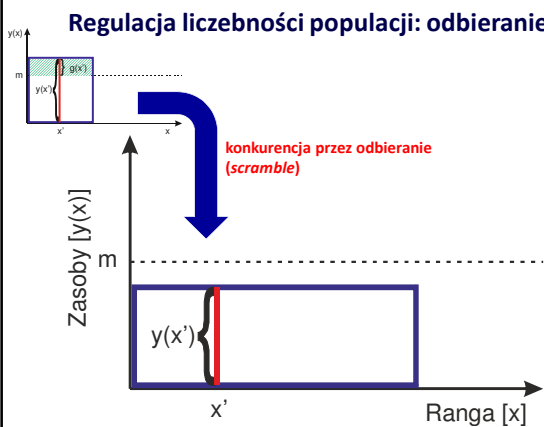
36/55

Regulacja liczebności populacji: model Łomnickiego



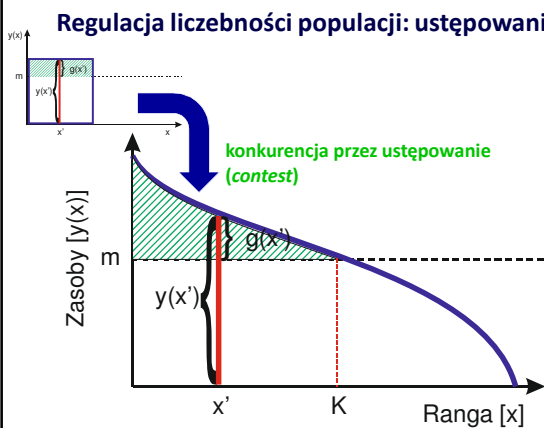
37/55

Regulacja liczebności populacji: odbieranie



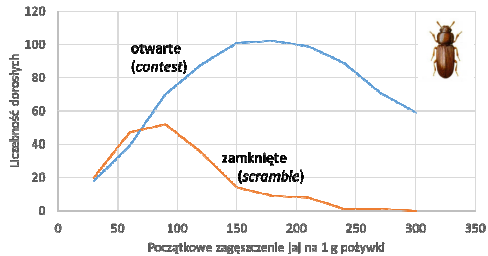
38/55

Regulacja liczebności populacji: ustępowanie



39/55

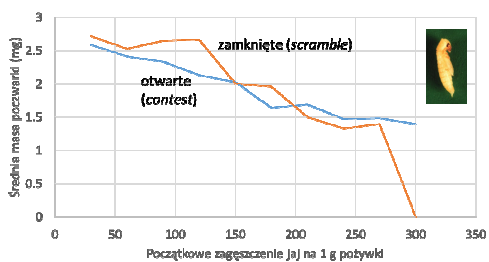
Tribolium confusum – ustępowanie pozwala na przeżycie większej populacji w tych samych warunkach środowiskowych



Laskowski, R., 1986; fot. <http://www.ces.csiro.au>

40/55

Tribolium confusum – spadek masy ciała osobników wskutek konkurencji



Laskowski, R., 1986; fot. <http://tru.gmpc.ksu.edu>

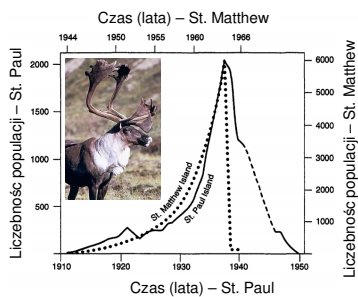
41/55

Konkurencja wewnątrzgatunkowa

- Przedmiotem konkurencji mogą być rozmaite zasoby, gdy ich ilość dostępna dla populacji jest ograniczona
- Zasada wzajemności → **wszyscy tracą**:
 - zmniejszenie udziału osobników w tworzeniu następnych pokoleń
- **Sukces reprodukcyjny osobnika w warunkach konkurencji zależy od jego względnego dostosowania**
- Nacisk konkurencji rośnie wraz ze wzrostem zagęszczenia populacji
- Konkurencja przez odbieranie (*scramble*) może prowadzić do ekstynkcji populacji

42/55

Dynamika populacji a zasoby



Dynamika reniferów na wyspach St. Matthew i St. Paul

Scheffer, 1951; Klein, 1968; fot.: Encyclopedia of life (<http://eol.org>)

43/55

Ekstynkcje populacji

- Prawdopodobieństwo ekstynkcji **maleje ze wzrostem**:
 - ◆ **wewnętrznego tempa wzrostu r**
 - ◆ **pojemności środowiska (wielkości stałej K)**
- Prawdopodobieństwo ekstynkcji **rośnie ze wzrostem tempa zmian środowiskowych**
- Czynniki stochastyczne (losowe) mogące wpływać na dynamikę populacji i prawdopodobieństwo ekstynkcji:
 - ◆ **Demograficzne** (stałe wartości F_i i P_i , ale różne faktycznie realizowane);
 - ◆ **Środowiskowe** (losowe zmiany F_i i P_i);
 - ◆ **Genetyczne** (losowe zmiany F_i i P_i).

44/55

Konkurencja międzygatunkowa

- Zasada „jedna nisza - jeden gatunek” – trzy możliwości rozwiązania konfliktu:
 - ◆ Konkurencyjne wypieranie (np. *Tribolium*)
 - ◆ Podział zasobów (np. kraby, lasówki)
 - ◆ Rozchodzenie się cech (np. zięby Darwina)
- W jakich warunkach możliwa jest koegzystencja gatunków konkurujących o te same zasoby?
 - ◆ model Lotki-Volterra

45/55

Konkurencyjne wypieranie: dwa gatunki Tribolium

Mikroklimat	Procentowy udział gatunku	
	<i>T. confusum</i>	<i>T. castaneum</i>
Gorący i wilgotny	0	100
Umiarkowany i wilgotny	14	86
Chłodny i wilgotny	71	29
Gorący i suchy	90	10
Umiarkowany i suchy	87	13
Chłodny i suchy	100	0

46/55

Podział zasobów: trzy gatunki krabów pustelników – liczba osobników w zależności od cech środowiska

Siedlisko	<i>Pagarus hirsutiusculus</i>	<i>Pagarus beringanus</i>	<i>Pagarus granosimanus</i>
	muszle ślimaka <i>Littorina sitkana</i>		
Wyższe partie litoralu z udziałem brunatnicy <i>Hedophyllum sessile</i>	20	0	0
Głębsze partie litoralu	10	16	2
Duże głazy w środkowej części litoralu	6	0	2
muszle ślimaka <i>Searlesia dira</i>			
Głębsze partie litoralu	0	18	1
Płystsze części środkowego litoralu	0	0	26

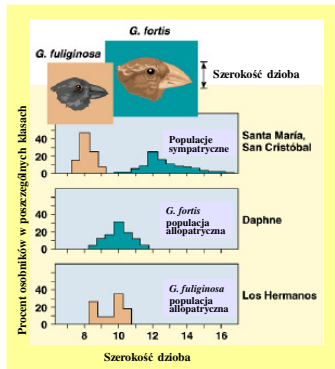
Podział zasobów: pięć gatunków północnoamerykańskich lasówek na świerku



MacArthur, 1958, Ecology.

48/55

Rozchodzenie się cech: zięby na wyspach Galapagos



Grant & Grant, 2002, Pearson Education, Inc. (Benjamin Cummings)

49/55

Konkurencja międzygatunkowa – model Lotki-Volterra

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \frac{K_1 - N_1 - \alpha_{1,2} N_2}{K_1}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \alpha_{2,1} N_1}{K_2}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = 0 \Leftrightarrow r_1 N_1 \frac{K_1 - N_1 - \alpha_{1,2} N_2}{K_1} = 0$$

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 \Leftrightarrow r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \alpha_{2,1} N_1}{K_2} = 0$$

1. $r_1 = 0$

1. $r_2 = 0$

2. $N_1 = 0$

2. $N_2 = 0$

3. $K_1 - N_1 - \alpha_{1,2} N_2 = 0$

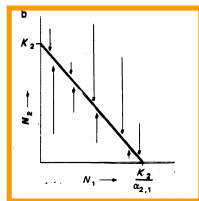
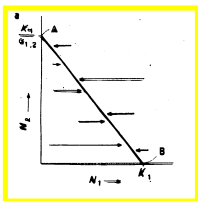
3. $K_2 - N_2 - \alpha_{2,1} N_1 = 0$

$\Rightarrow N_1 = K_1 - \alpha_{1,2} N_2$

$\Rightarrow N_2 = K_2 - \alpha_{2,1} N_1$

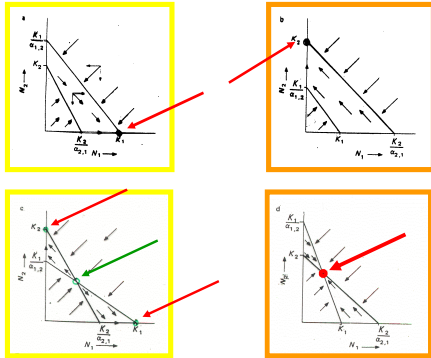
50/55

Izolinie $dN/dt = 0$ dla konkurujących populacji wg modelu Lotki-Volterra



51/55

Poszukiwanie punktów równowagi stabilnej dla dwugatunkowego układu



52/55

Inne układy wielogatunkowe i ich konsekwencje

- Drapieżnictwo – model Lotki-Volterry:

$$\frac{dn}{dt} = rn - cnN$$

$$\frac{dN}{dt} = \beta cnN - mN$$

- Parazytydy: specjalny przypadek drapieżnictwa
 - Pasożytnictwo (hipoteza Hamiltona: ewolucja płci)
 - Roślinożerność („wyścig zbrojeń” – substancje toksyczne/detoksykacja)
- Koewolucja (hipoteza Czerwonej Królowej)

53/55

- Mutualizm

- ◆ symbiozy metaboliczne
 - ◆ powstanie Eucaryota z Proteobacteria i Cyanobacteria
 - ◆ porosty – symbioza glonów z grzybami
 - ◆ mikoryza (endo- i ekto-)
- ◆ Zoogamia i zoochoria
- ◆ Komensalizm

54/55

**Pomóż młodszym kolegom:
pamiętaj o wypełnieniu ankiety USOS!**

Egzamin

1. Termin: 28.02.2019, godz. 12⁰⁰-14⁰⁰, s. P0.1.1
2. Nie zapomnij legitymacji studenckiej!

55/55
