

## *Obecná genetika*

# Genetika populací, Hardyho-Weinbergův zákon

Prof. Ing. Dušan GÖMÖRY, DrSc.

Ing. Roman LONGAUER, CSc.

Ústav zakládání a pěstění lesů

LDF MENDELU Brno



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

**Populace** – soubor jedinců stejného druhu, obývajících konkrétní biotop v konkrétním čase, kteří jsou schopni se vzájemně křížit.

Vlastnosti populace : nominální velikost (absolutní počet jedinců), hustota, dynamika vývoje, struktura (věková, pohlavní), rozptyl atd.

Z genetického hlediska jsou základními vlastnostmi populace:

**efektivní velikost:** je dána početností (nominální velikosti) populace, ale také míry, v jaké se jednotliví členové populac podílejí na reprodukci (od reprodukčního fitness jedinců)

**system reprodukce**, t.j.způsob odevzdávání genetické informace z jedné generace na následující.

# Systém reprodukce

**panmixe** – úplně náhodné párování (nejenom rodičů), při kterém je pravděpodobnost spojení kterýchkoliv dvou gamet nezávislá na jejich původu (rodičovském jedinci) a genotypu

**výběrové/ přednostní párování** – partneři se vybírají nenáhodně, na základě konkrétních kritérií. Nejběžnějším případem je výběr na základě příbuznosti, tedy **příbuzenské křížení (inbreeding)**, ktorého extrémním případem je **autogamie** (v populaci dochází výlučně k samooplozování)

# **Struktura populace**

**Fenotypová** – zastoupení fenotypů anebo fenotypových tříd (barva, výška, typ větvení stromů)

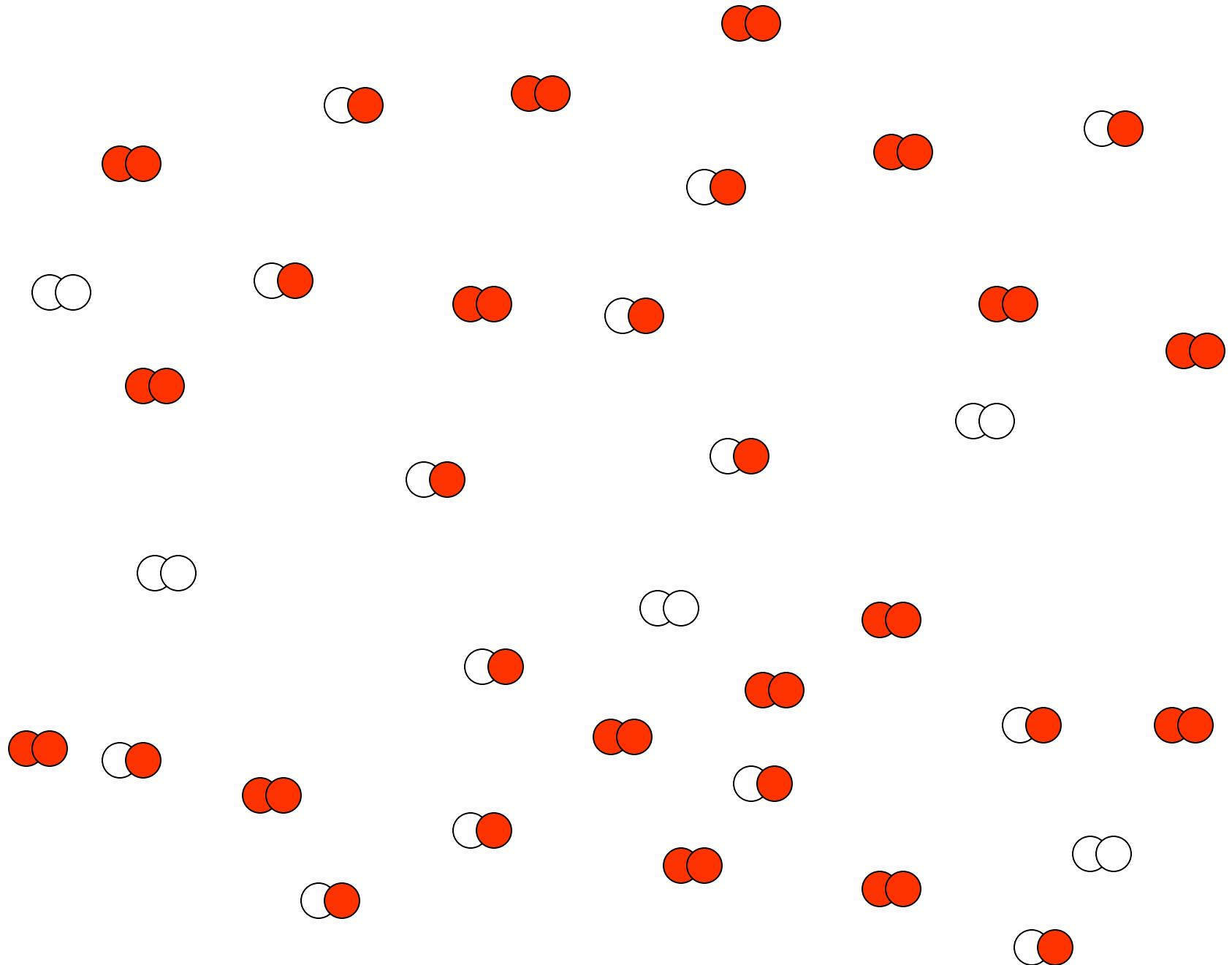
**Genetická**

**genotypová** – zastoupení genotypů

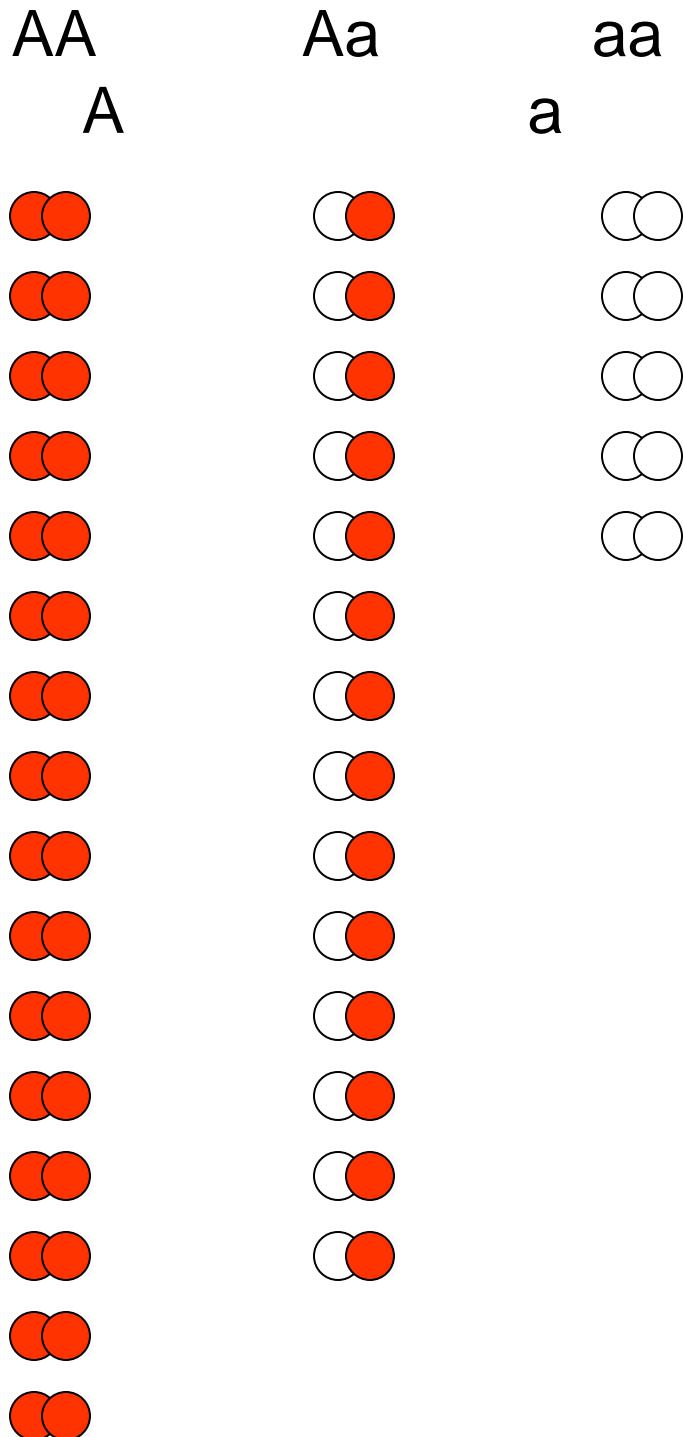
**alelická** – zastoupení jednotlivých variant genu - alel

Četnost genotypu:  $P(A_iA_j) = N(A_iA_j)/N$

Četnost alely:  $p(A_i) = P(A_iA_i) + \frac{1}{2}\sum P(A_iA_j); i \neq j$







Počty genotypů

$$N(AA) = 16$$

$$N(Aa) = 14$$

$$N(aa) = 5$$

$$N = 35$$

Četnosti genotypů

$$P(AA) = 16/35 = 0,457$$

$$P(Aa) = 14/35 = 0,400$$

$$P(aa) = 5/35 = 0,143$$

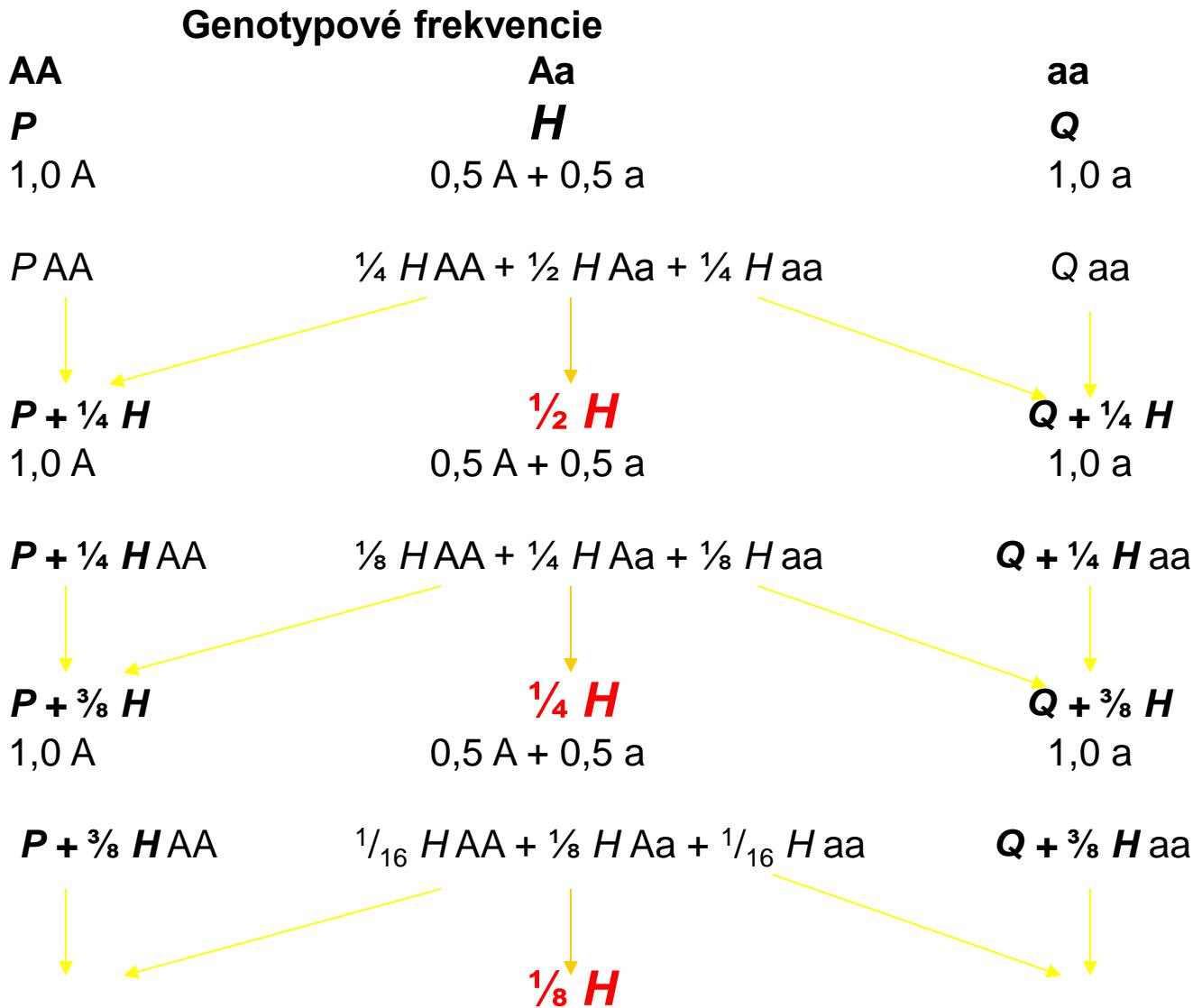
Četnosti alel

$$\begin{aligned} p(A) &= P(AA) + \frac{1}{2} P(Aa) \\ &= 0,657 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(a) &= P(aa) + \frac{1}{2} P(Aa) \\ &= 0,343 \end{aligned}$$

# Vývoj genotypové struktury autogamní populace

Generace 0  
Gamety  
Četnosti genotypů  
v potomstvu



# Vývoj genotypové a alelické struktury panmiktické populace

## Hardy-Weinbergův zákon

V nekonečně velké panmiktické populaci zůstává zastoupení alel z generácie na generaci stejné, pokud v populaci nedochází ke

- selekcii
- mutacím
- migraci
- genetickému driftu (náhodným změnám)

= evoluční faktory

Jedna generace náhodného párování dostačuje na ustálení genotypové struktury

# Vývoj genotypové a alelické struktury panmiktické populace

## Hardy-Weinbergův zákon

# Rostlinné populace

		♂	♀	stí alel metách	
	Genotypové čet v diploidní gen	$p A$	$q a$		
Generace 0	AA			a	
Gamety	P				
	1,0 A				
Generace 1	$p^2$	$p$ $A$	$p \times p$ $= p^2$ $AA$	$p \times q$ $= pq$ $Aa$	$q = Q + \frac{1}{2}H$
Gamety	1,0 A				
Generace 2	$p^2$	$\odot$			
Gamety	1,0 A				
Generace 3	$p^2$	$q$ $a$	$q \times p$ $= pq$ $Aa$	$q \times q$ $= q^2$ $aa$	$q' = q^2 + \frac{1}{2}(2pq) = q(p+q) = q$
Gamety	1,0 A				
...					

		♂		
		P AA	H Aa	Q aa
♀	P AA	$P^2$ $AA \times AA$ <b>1,0 AA</b>	$PH$ $AA \times Aa$ <b>0,5 AA+0,5 Aa</b>	$PQ$ $AA \times aa$ <b>1,0 Aa</b>
	H Aa	$PH$ $Aa \times AA$ <b>0,5 AA+0,5 Aa</b>	$H^2$ $Aa \times Aa$ <b>0,25 AA+0,5 Aa+0,25 aa</b>	$QH$ $Aa \times aa$ <b>0,5 Aa+0,5 aa</b>
	Q aa	$PQ$ $aa \times AA$ <b>1,0 Aa</b>	$QH$ $aa \times Aa$ <b>0,5 Aa+0,5 aa</b>	$Q^2$ $aa \times aa$ <b>1,0 aa</b>

# Vývoj genotypové a alelické struktury panmiktické populace

## Živočišná populace

	Genotypové frekvence rodičů			Alelické frekvence	
	AA $P$	Aa $H$	aa $Q$	A	a
Generace 0				$p=P+\frac{1}{2}H$	$q=Q+\frac{1}{2}H$

Křížení	Frekv.	Genotypové frekvence potomstva		
		AA	Aa	aa
AA × AA	$P^2$	$P^2$	0	0
AA × Aa	$2PH$	$PH$	$PH$	0
AA × aa	$2PQ$	0	$2PQ$	0
Aa × Aa	$H^2$	$\frac{1}{4}H^2$	$\frac{1}{2}H^2$	$\frac{1}{4}H^2$
Aa × aa	$2HQ$	0	$HQ$	$HQ$
aa × aa	$Q^2$	0	0	$Q^2$

Generace 1	$(P+\frac{1}{2}H)^2$	$= p^2$	$2(P+\frac{1}{2}H)(Q+\frac{1}{2}H)$	$= 2pq$	$(Q+\frac{1}{2}H)^2$	$= q^2$
------------	----------------------	---------	-------------------------------------	---------	----------------------	---------

$$p' = p^2 + \frac{1}{2}(2pq) \quad q' = q^2 + \frac{1}{2}(2pq)$$

$$= p \quad = q$$

# Vývoj genotypové a alelické struktury panmiktické populace

## Živočíšní populace

	Genotypové frekvence rodičů			Alelické frekvencie	
	AA	Aa	aa	A	a
Generace 1	$p^2$	$2pq$	$q^2$	$p^2 + \frac{1}{2}(2pq) = p$	$q^2 + \frac{1}{2}(2pq) = q$

### Genotypové frekvence potomstva

Křížení	Frekv.		
AA × AA	$p^4$	$p^4$	0
AA × Aa	$4p^3q$	$2p^3q$	$2p^3q$
AA × aa	$2p^2q^2$	0	$2p^2q^2$
Aa × Aa	$4p^2q^2$	$p^2q^2$	$2p^2q^2$
Aa × aa	$2pq^3$	0	$2pq^3$
aa × aa	$q^4$	0	$q^4$

Generace 2     $p^2(p^2+2pq+q^2) = p^2$      $2pq(p^2+2pq+q^2) = 2pq$      $q^2(p^2+2pq+q^2) = q^2$

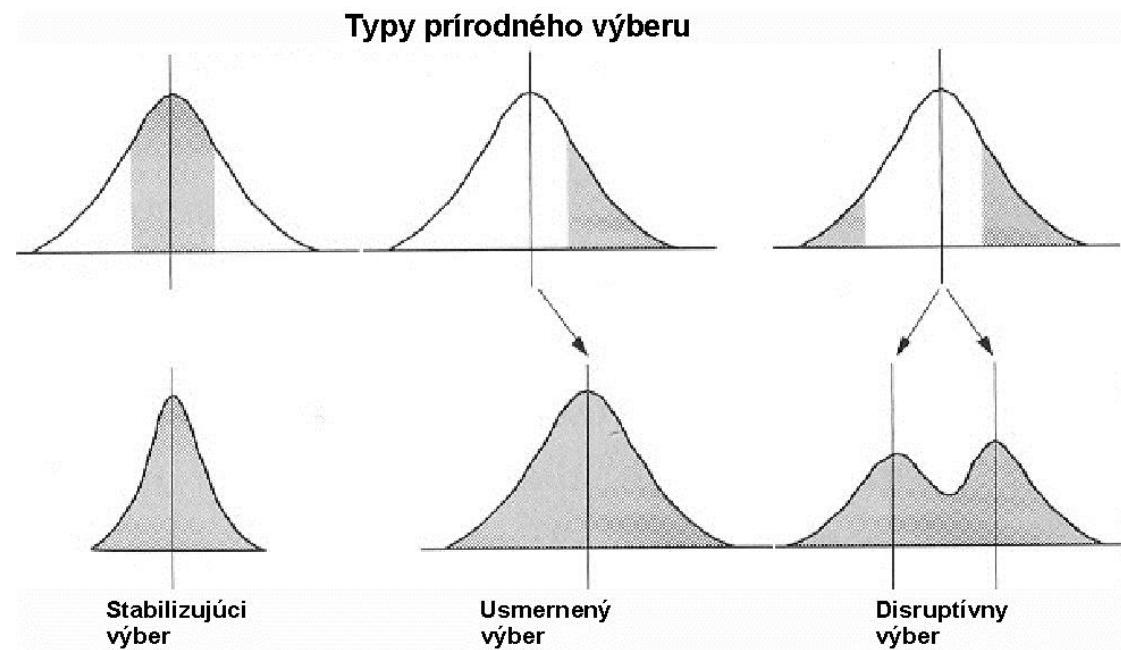
$p^2 + \frac{1}{2}(2pq) = p$      $q^2 + \frac{1}{2}(2pq) = q$

...

**Selekce** – odlišné odevzdávání genetické informáce mezi generacemi v důsledku odlišné životaschopnosti (viability) nebo plodnosti (fertility)

**Fitness (biologická zdatnosť = životaschopnosť × plodnosť)**

Vliv výběru na promenlivost polygénního fenotypového znaku:



# Selekce

Genetický základ selekcie:

- proti recesívním homozygotům (letální a semiletální alely)
- proti dominantní alele
- ve prospěch nebo oproti aditivite genů (kvantitativní znaky)
- ve prospěch heterozygotů (heteróza)
- v neprospech heterozygotů (outbrední deprese)

**Selekční koeficient** – podíl jedinců konkrétního genotypu, kteří z populace vymizí za 1 generaci

# Selekcia v nekonečne veľkých populáciach

**Parciální selekce u additivity genů:**

$$s_{AA} = 0, 0 < s_{aa} < 1, s_{Aa} = \frac{1}{2}s_{aa}$$

Generace	Genotypové frekvence				Frekvence alel v gametách		
	AA	Aa	aa	Spolu	A	a	$\Sigma$
0					$p$	$q$	1
1 – zygoty	$p^2$	$2pq$	$q^2$	1			
1 – po selekci	$p^2$	$(1-s/2)2pq$	$(1-s)q^2$	$1 - sq$			
1 – nové frekvencie u dospelých jedincú	$p^2/(1 - sq)$	$(1-s/2)2pq/(1 - sq)$	$(1 - s)q^2/(1 - sq)$	1	$p^2/(1 - sq) + \frac{1}{2}(1 - s/2)2pq/(1 - sq) =$ $p(1 - sq/2)/(1 - sq)$	$(1 - s)q^2/(1 - sq) + \frac{1}{2}(1 - s/2)2pq/(1 - sq)$ $= q[1 - s/2(1 + q)]/(1 - sq)$	1
2	...						

$$\Delta q = q[1 - s/2(1 + q)]/(1 - sq) - q = (q - sq/2 - sq^2/2 - q - sq^2)/(1 - sq) = -spq/2(1 - sq)$$

# Důsledky genetického driftu:

- náhodné změny četnosti alelické a genotypů v malých populacích
- změny frekvencí alel s nízkým zastoupením i v populacích větších

# Genetický drift

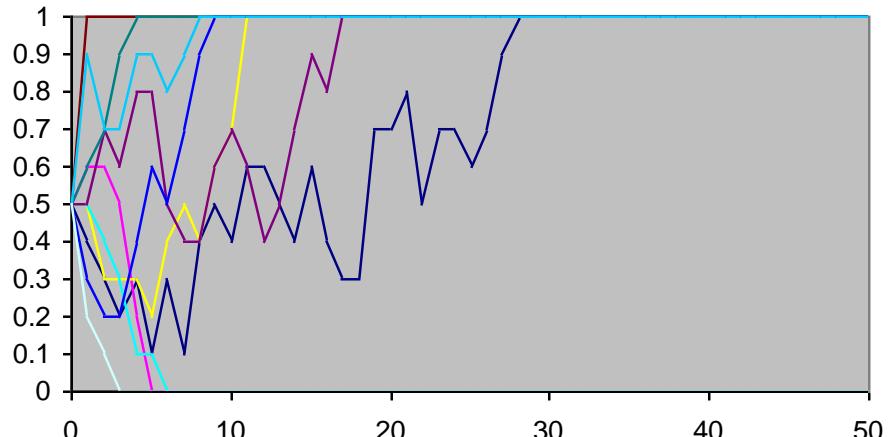
$$P_i(x) = \binom{2N}{x} p_i^x (1 - p_i)^{2N-x}$$

$$\binom{2N}{x} = \frac{(2N)!}{(2N - x)!x!}$$

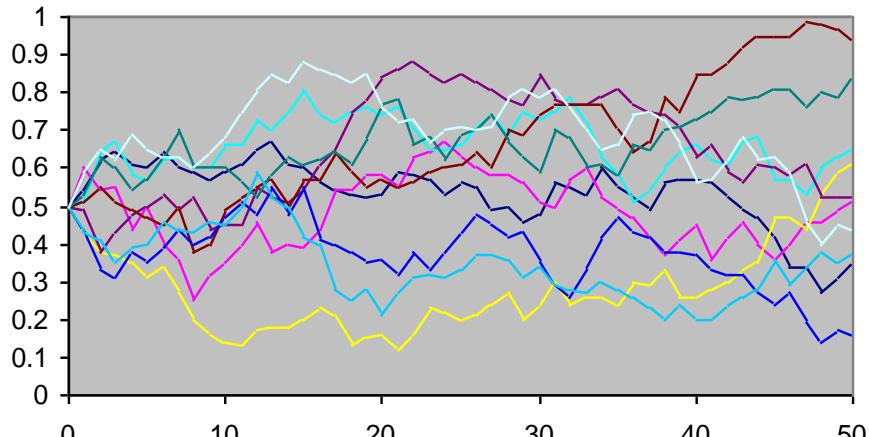
$2N=4$	0	1	2	3	4
$x$	$p_i$				
0	1	0,3164	0,0625	0,0039	0
1	0	0,4219	0,2500	0,0469	0
2	0	0,2109	0,3750	0,2109	0
3	0	0,0469	0,2500	0,4219	0
4	0	0,0039	0,0625	0,3164	1

# Genetický drift

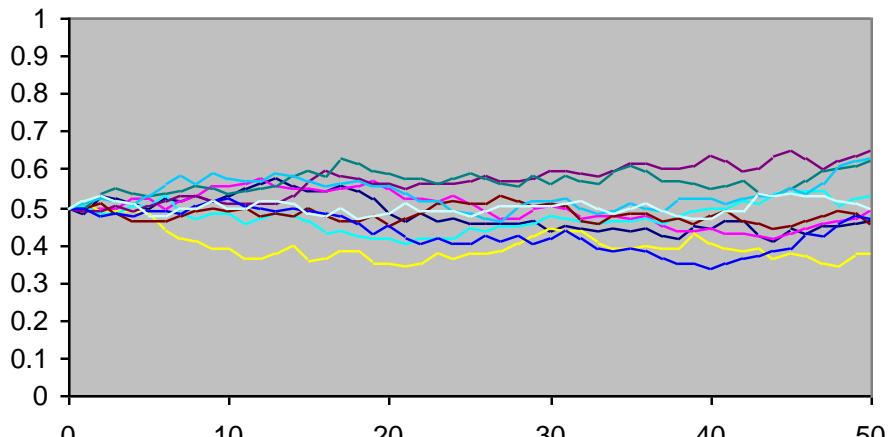
**Ne = 5**



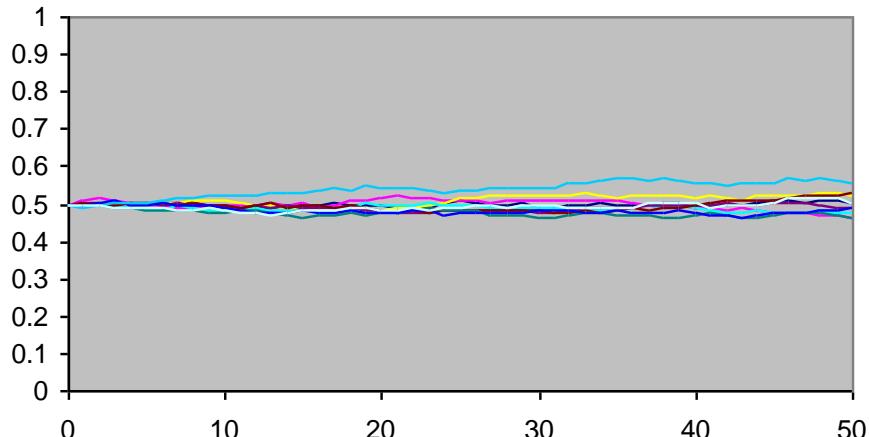
**Ne = 50**



**Ne = 500**

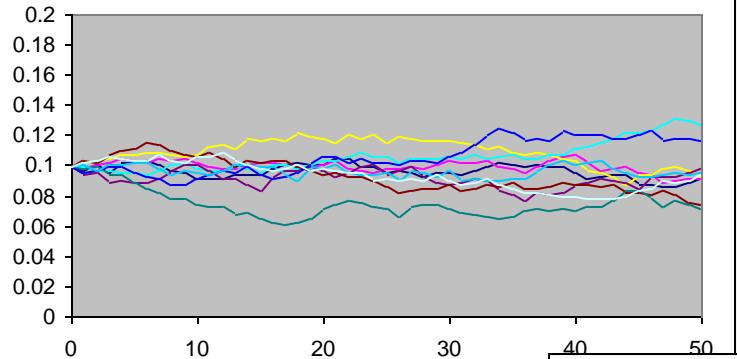


**Ne = 5000**

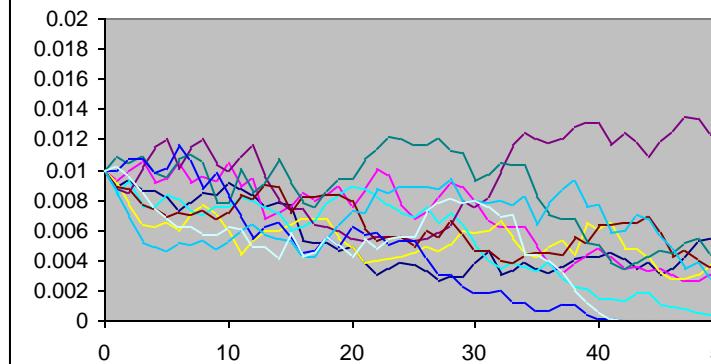


# Genetický drift

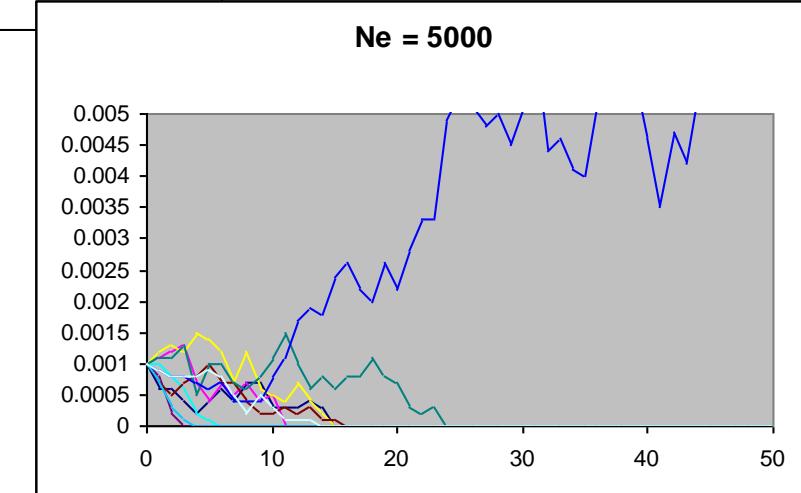
$N_e = 5000$



$N_e = 5000$



$N_e = 5000$



# Genetický drift (posun)

- efekt hrdla láhve (bottleneck effect)
- efekt zakládatele (founder effect)

# Migrace

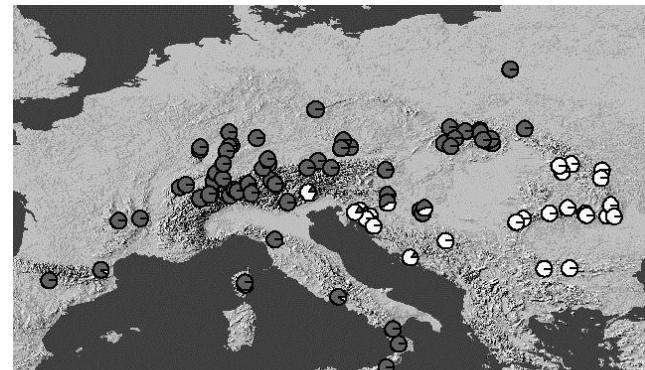
## Přenos genů mezi populacemi

- pylem

- semeny

- vegetativně

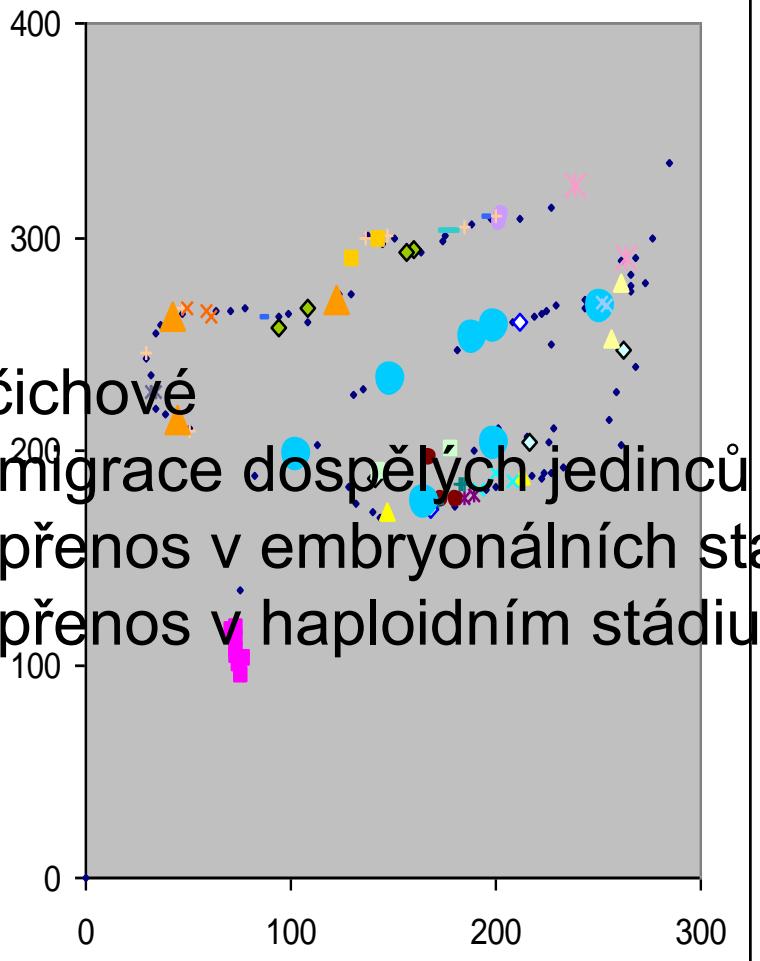
- kořenovým vymlazovaním
- hroužením
- zakořeněním prenesené části



# Migrace

## čerešňa Králová

- Živočichové**
- migrace dospělých jedinců
  - přenos v embryonálních stadiích (vajíčka, jikry)
  - přenos v haploidním stádiu (sperma)



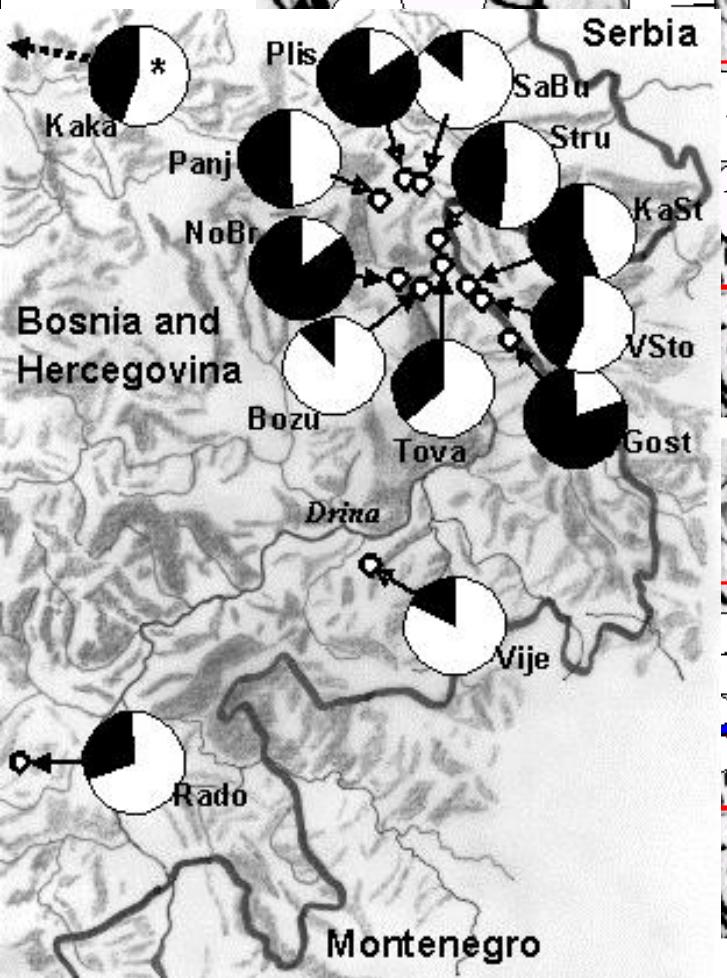
Baum	X	Y	Klon	Voll-	Halb-	Nicht-	geschw.	geschw.	verwandt	Baum	X	Y	Klon	Voll-	Halb-	Nicht-	geschw.	geschw.	verwandt	
2	( 1.1	61.1	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	62	( 27.4	69.0	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
12	( 28.8	0.6	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	108	( -1.8	87.3	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
42	( 7.0	43.2	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	-	*	*	171	( 10.1	124.0	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
3	( 8.6	10.2	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	36	( 15.2	33.8	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
24	( 2.0	20.4	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	41	( 29.8	46.6	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
4	( 12.1	10.8	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	63	( 24.3	65.2	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
38	( 26.3	37.0	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	67	( 12.5	66.6	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
76	( -0.7	81.8	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	70	( -0.5	65.4	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
86	( 22.0	80.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	1	*	*	120	( 25.1	93.8	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
110	( 0.3	95.8	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	74	( 0.9	76.4	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
149	( 10.0	118.7	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	119	( 22.6	95.6	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
6	( 13.6	3.4	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	79	( 5.5	83.3	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
7	( 15.6	1.8	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	1	*	*	151	( 13.5	111.5	)	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
31	( 20.6	31.4	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	152	( 15.0	111.6	) 1	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
34	( -6.4	36.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	153	( 14.9	110.9	) 1	-	*	*	*	*	*	*
11	( 21.4	6.5	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	154	( 17.9	109.8	-	-	*	*	*	*	*	*
92	( 26.7	85.7	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	80	( 9.2	77.2	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
140	( 1.5	112.3	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	160	( 31.0	126.1	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
14	( 26.1	19.2	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	161	( 30.5	127.4	-	-	*	*	*	*	*	*
131	( 18.2	103.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	81	( 9.3	78.8	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
133	( 12.8	103.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	129	( 25.3	109.8	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
109	( -6.6	92.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	130	( 24.8	109.6	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
17	( 16.5	6.1	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	99	( 23.3	84.8	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
107	( 12.3	87.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	1	*	*	134	( 11.2	104.0	)	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
53	( 9.4	59.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	135	( 10.5	104.9	) 3	-	*	*	*	*	*	*
166	( 16.9	124.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	136	( 11.1	104.9	-	-	*	*	*	*	*	*
18	( 6.3	19.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	117	( 5.6	99.8	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	*	*	*
27	( -6.8	25.2	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	128	( 24.7	108.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
85	( 20.1	74.6	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	180	( 24.1	138.5	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
101	( 21.1	87.8	)	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	168	( 15.0	122.4	) 4	-	*	*	*	*	*	*
102	( 18.0	90.3	) 3	) ))))))))	-	) ))))))))	*	*	*	169	( 13.5	123.5	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
103	( 17.5	90.1	-	-	-	-	*	*	*	123	( 28.8	98.1	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
26	( 4.2	21.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	124	( 31.2	96.3	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
72	( -3.6	70.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	186	( 12.0	139.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
73	( -5.0	69.3	-	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	37	( 25.4	36.6	) 6	-	*	*	*	*	*	*
104	( 17.8	90.1	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	93	( 35.0	87.2	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
105	( 13.3	86.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	126	( 30.6	116.8	) ))))))))	1	*	*	*	*	*	*
29	( 5.1	25.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	178	( 31.8	135.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
43	( 7.5	48.2	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	179	( 26.5	140.3	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
142	( -8.8	112.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	181	( 22.5	145.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
147	( 7.4	115.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	127	( 26.9	108.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
32	( 26.3	29.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	145	( 5.6	105.8	) 3	-	*	*	*	*	*	*
143	( -4.2	112.3	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	192	( 1.5	146.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
15	( -3.0	137.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	28	( -1.4	29.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
114	( 1.8	147.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	104	( 1.8	75.8	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
33	( 30.6	26.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	84	( 2.1	9.9	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
45	( 9.6	45.7	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	111	( 0.0	99.4	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
43	( 31.8	40.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	137	( 4.8	103.6	1	-	*	*	*	*	*	*
85	( 24.7	81.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	138	( 1.3	101.1	1	-	*	*	*	*	*	*
89	( 25.7	81.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	139	( 0.2	112.1	1	-	*	*	*	*	*	*
35	( 11.7	34.2	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	141	( -0.9	112.7	1	-	*	*	*	*	*	*
125	( 30.0	103.4	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	144	( 3.1	106.1	-	-	*	*	*	*	*	*
68	( 14.6	62.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	157	( 20.9	111.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
39	( 28.0	41.2	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	25	( -1.2	23.2	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
69	( 6.3	66.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	162	( 25.5	128.8	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
148	( 9.7	118.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	164	( 19.8	122.5	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
44	( -0.7	46.9	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	168	( 19.1	125.8	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
122	( 24.7	98.6	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	177	( 31.0	135.5	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
159	( 27.8	117.2	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	16	( 23.9	21.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
48	( 17.4	58.6	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	170	( 12.4	123.4	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
65	( 15.6	68.3	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	175	( 22.0	133.0	1	-	*	*	*	*	*	*
66	( 15.4	68.5	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	176	( 2.2	142.9	1	-	*	*	*	*	*	*
30	( 8.1	28.8	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	185	( 18.0	134.0	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
64	( 17.8	64.1	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	75	( -4.2	79.9	) ))))))))	-	*	*	*	*	*	*
132	( 22.0	129.0	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	188	( 8.0	146.6	1	-	*	*	*	*	*	*
54	( 4.0	55.6	) ))))))))	-	) ))))))))	) ))))))))	*	*	*	189	( 7.6	146.3	1	-	*	*	*	*	*	*
56	( 1.8	55.7	) 3	) ))))))))	-	) ))))))))	*	*	*	172	( 15.4	129.6	1	-	*	*	*	*	*	*
163	( 15.4	129.7	-	-	-	-	*	*	*	173	( 15.4	129.9	1	-	*	*	*	*	*	*
174	( 15.7	129.7	-	-	-	-	*	*	*	174	( 15.7	129.7	-	-	*	*	*	*	*	*

# Izolace

- geografická (v nespojitém areálu)
- vzdáleností (v spojitém areálu)
- fenologická
  - sezónní rytmus
  - denní rytmus
- výšková (fenologická)
- genetická
  - prezygotické mechanizmy
    - gametofytická inkompatibilita
    - sporofytická inkompatibilita
  - postzygotické mechanizmy
    - aborce semen
    - sterilita kříženců
    - snížená životaschopnost kříženců

geografická

*F. sylvatica*



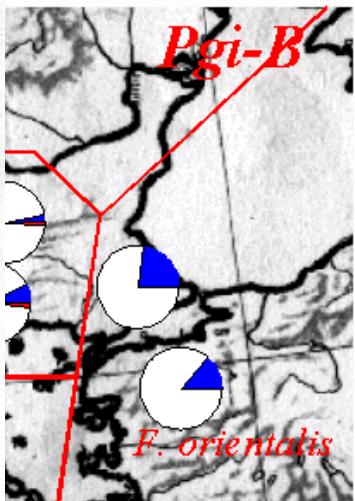
vzdáleností

*Mdh-B*

*Fagus sylvatica*

Balkán

*F. orientalis*

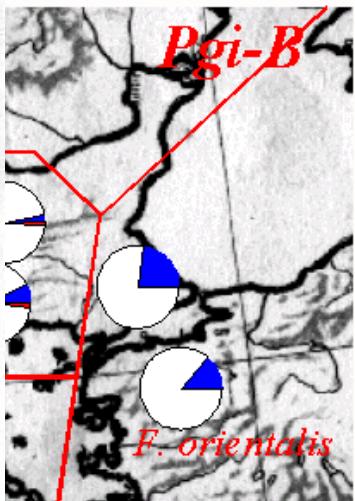


*F. sylvatica*

*Mdh-C*

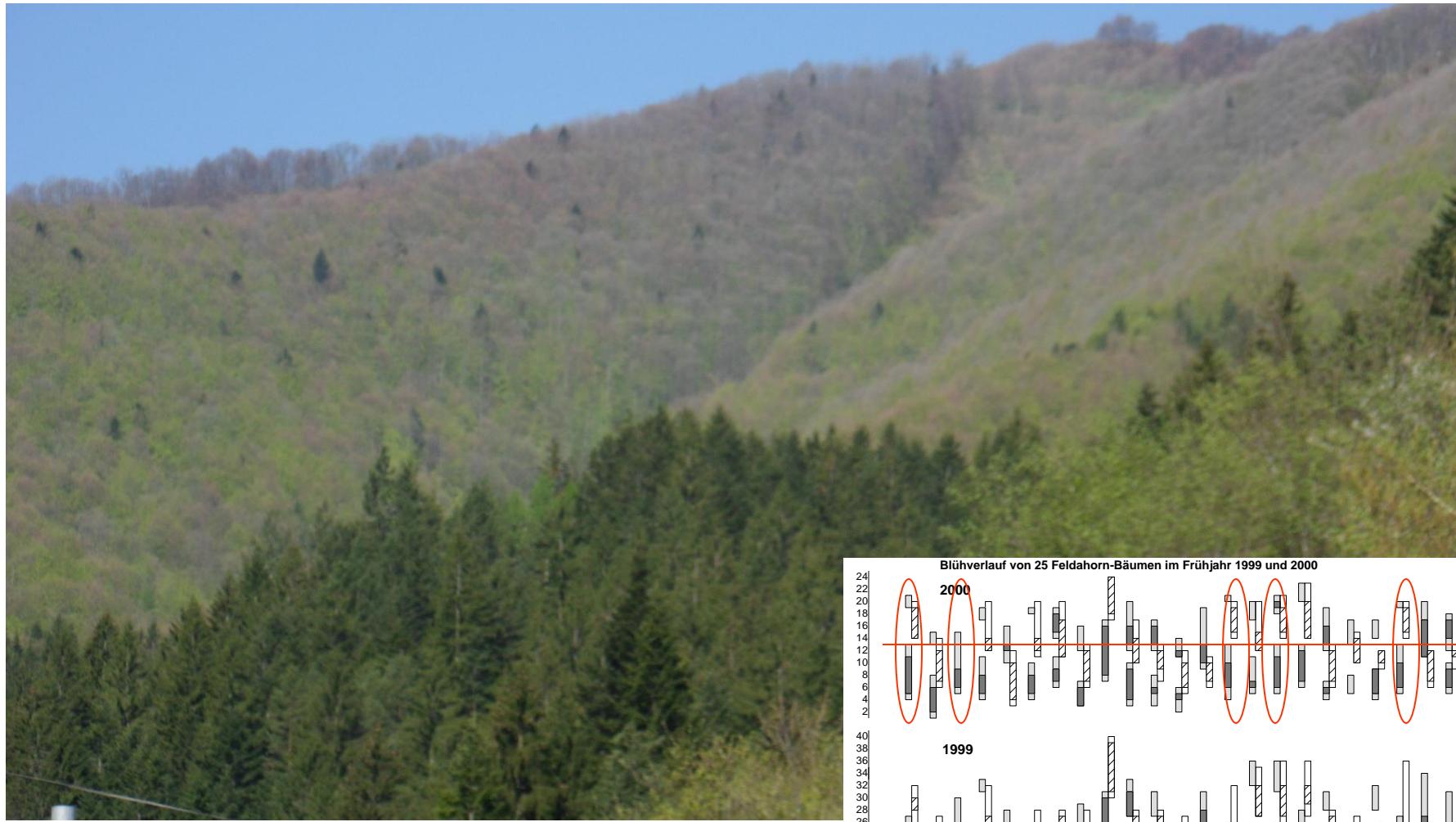
*F. moesica*

*F. orientalis*



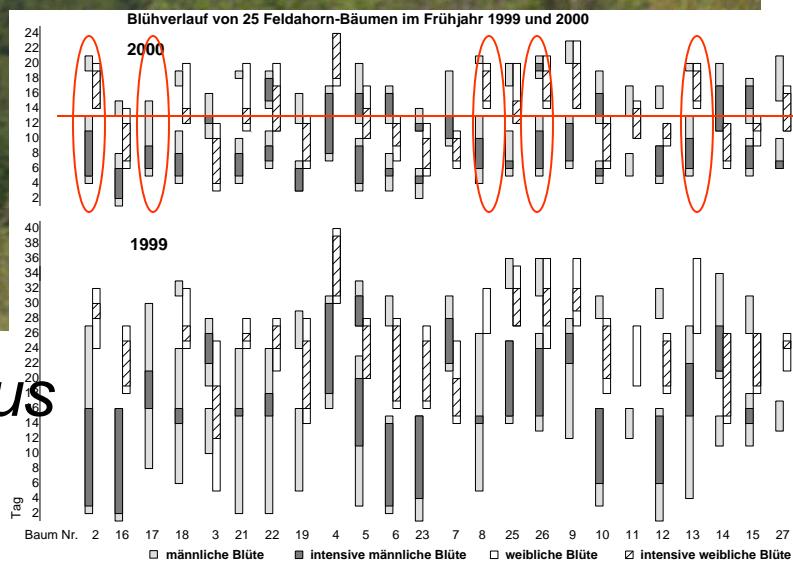
*Picea omorika*  
Bosna

výšková

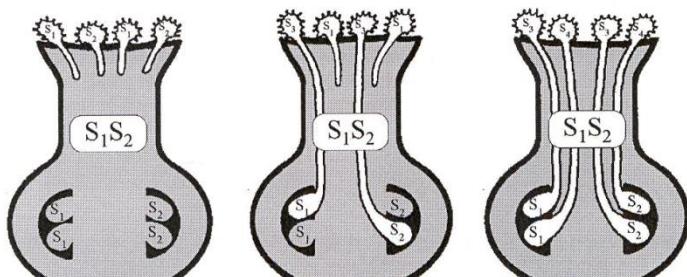


fenologická

*Acer pseudoplatanus*  
sem. sad.



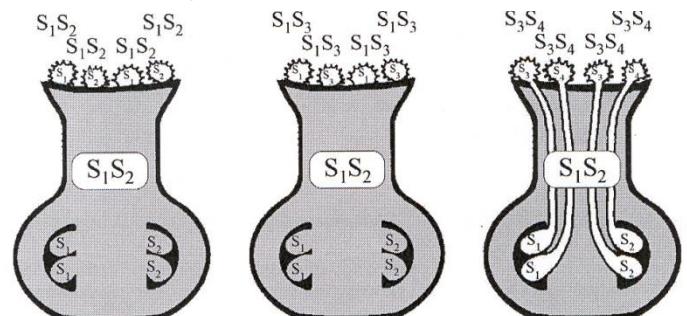
# genetická – prezygotické mechanizmy



Cross:  $S_1S_2 \times S_1S_2$        $S_1S_2 \times S_1S_3$        $S_1S_2 \times S_3S_4$

♀ ♂  
 $S_1S_2 \times S_1S_2 \rightarrow 0$   
 $S_1S_2 \times S_1S_3 \rightarrow S_1S_3, S_2S_3$   
 $S_1S_2 \times S_3S_4 \rightarrow S_1S_3, S_2S_3, S_1S_4, S_2S_4$

## Gametofytická inkompatibilita

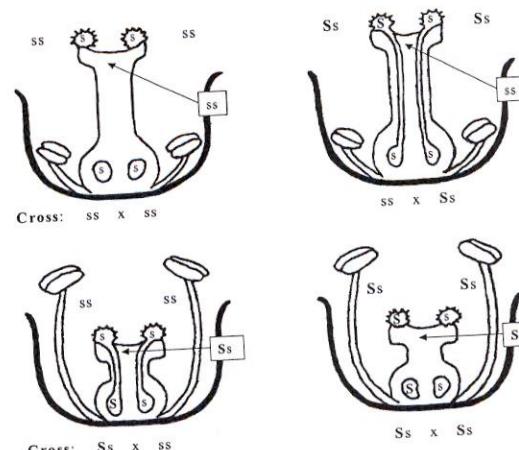


Cross:  $S_1S_2 \times S_1S_2$        $S_1S_2 \times S_1S_3$        $S_1S_2 \times S_3S_4$

♀ ♂  
 $S_1S_2 \times S_1S_2 \rightarrow 0$   
 $S_1S_2 \times S_1S_3 \rightarrow 0$   
 $S_1S_2 \times S_3S_4 \rightarrow S_1S_3, S_2S_3, S_1S_4, S_2S_4$

## Sporofytická inkompatibilita

## postzygotické mechanizmy letální alely



Distyilia