

# Genetické parametry - koncept heritability

prof. Ing. Tomáš Urban, Ph.D.  
*urban@mendelu.cz*

## Heritabilita – míra

Použití korelačních koeficientů může podporovat hypotézu, že daná kontinuální vlastnost má určitý genetický základ.

Ale, pro kvantifikaci rozdílnosti příspěvku genů a prostředí se používá jiná míra: **heritabilita (dědivost)**

# Heritability in the genomics era — concepts and misconceptions - Peter M. Visscher, William G. Hill & Naomi R. Wray;

Nature Reviews Genetics 9, 255-266 (April 2008)

## Heritabilita dovoluje porovnávat relativní významnost variability genů a prostředí na změny vlastností v a mezi populacemi.

Koncept dědivosti a jeho definici jako odhadnutelný, bezrozměrný parametr populace představili Sewall Wright a Ronald Fisher téměř před sto lety.

Přes neustálé nedorozumění a spory o jeho využití a aplikaci, heritabilita i nadále **klíčem k odhadu odpovědi na selekci v evoluční biologii a zemědělství, a na předpovědi rizika onemocnění v medicíně.**

Nedávné zprávy o významnosti heritability pro expresi genu a nové metody odhadů používající data markerů podtrhují význam **heritability v éře genomiky.**

## Historický základ

Stalo se standardem, že je používán symbol  $h^2$  pro heritabilitu

Již Sewall Wright použil  $h$  (z *heredity*) pro označení **korelace mezi genotypem a fenotypem v modelu úsekových koeficientů.**

Druhá mocnina této korelace (tedy  $h^2$ ) vyjadřuje **podíl variance fenotypové, který je přičítán k úseku od genotypu k fenotypu.**

Ronald Fisher, ve své klasické práci z r. 1918, parametrizoval podobnost mezi příbuznými pomocí termínů korelačních a regresních koeficientů, což dává příklad **procento celkové variability výšky u lidí, které lze připsat genotypům: „základním genotypům“ a „odchylkám dominance“:**

XV.—The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance. By R. A. Fisher, B.A. Communicated by Professor J. ARTHUR THOMSON. (With Four Figures in Text.)

(MS. received June 15, 1918. Read July 8, 1918. Issued separately October 1, 1918.)

Genotypes ( $\sigma^2$ ):			
Essential genotypes ( $\tau^2$ )	.	.	62 per cent.
Dominance deviations ( $\epsilon^2$ )	.	.	21 „
		<hr/>	83 per cent.
Association of factors by homogamy	.	.	17 „
Other causes	.	.	...
		<hr/>	100 per cent.

# SYSTEMS OF MATING. I. THE BIOMETRIC RELATIONS BETWEEN PARENT AND OFFSPRING

X, Y - proměnné  
 A, D - nezávislé příčiny  
 B, C - společné příčiny

SEWALL WRIGHT

*Bureau of Animal Industry, United States Department of Agriculture, Washington, D. C.*

Received October 29, 1920

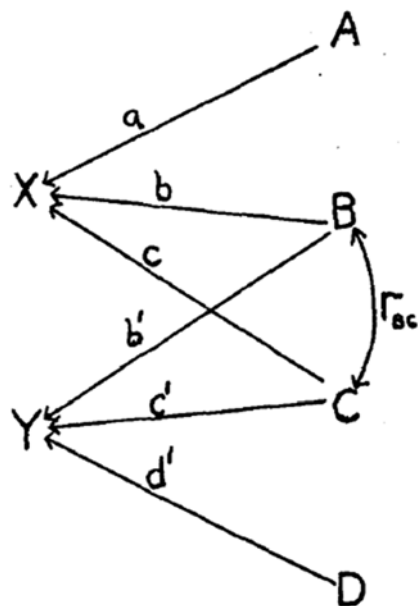


FIGURE 1.—A diagram illustrating the case of two variables (*X* and *Y*) determined in part by causes in common (*B* and *C*) which are correlated with each other.

## Úsekové koeficienty

- the squares of the path coefficients the degree of determination by each cause measure

If the causes are independent of each other, the sum of the squared path coefficients is unity.

If the causes are correlated, terms representing joint determination must be recognized. The complete determination of *X* in figure 1 by factor *A* and the correlated factors *B* and *C* can be expressed by the equation:

$$a^2 + b^2 + c^2 + 2bc r_{BC} = 1$$

The squared path coefficients and the expressions for joint determination measure the portion of the squared standard deviation of the effect due to the causes singly and jointly.

The correlation between two variables. *X* a *Y* vlastnosti jsou spojeny:

$$r_{XY} = bb' + cc' + br_{BC}c' + cr_{BC}b'$$

## HEREDITY AND ENVIRONMENT

be responsible for much variation in early development. The path coefficients  $p_{O-H}$ ,  $p_{O-E}$  and  $p_{O-D}$  are represented by *h*, *e* and *d* respectively. From equation (1) we have the following equation which is of use in calculating the relative importance of heredity and environment:

$$h^2 + d^2 + e^2 = 1$$

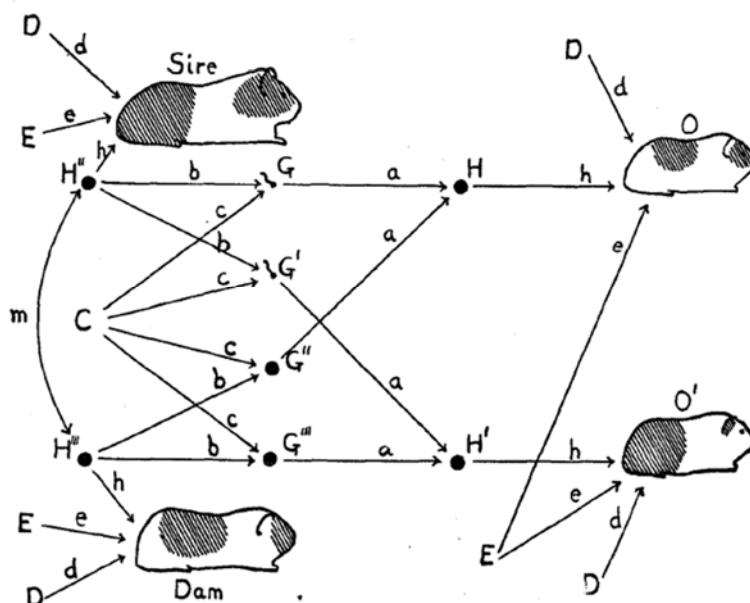


FIGURE 2.—A diagram illustrating the relations between two mated individuals and their progeny. *H*, *H'*, *H''* and *H'''* are the genetic constitutions of the four individuals. *G*, *G'*, *G''* and *G'''* are four germ-cells. *E* and *D* represent tangible external conditions and chance irregularities as factors in development. *C* represents chance at segregation as a factor in determining the composition of the germ-cells. Path coefficients are represented by small letters.

other causes, not genetic, remains constant, the degree of determination by heredity,  $h^2$ , also increases unless there has been complete determination by heredity from the first.

Tato procenta korespondují s tím, co nyní nazýváme *heritabilitou v širokém a heritabilitou v úzkém smyslu*. Tento koncept poprvé formálně použil **J. L. Lush** pro značení pojmu ‘**heritability**’ k popisu podílu genetické variance, která je způsobena dědičnými faktory (1934).

## CHAPTER 8

### Hereditry and Environment

In the strictest sense of the word, the question of whether a characteristic is hereditary or environmental has no meaning. Every characteristic is both hereditary *and* environmental, since it is the end result of a long chain of interactions of the genes with each other, with the environment and with the intermediate products at each stage of development.

Nevertheless, it is often convenient to speak of a characteristic as “hereditary” or “highly hereditary” when we wish to emphasize that most of the differences we usually see between individuals in that characteristic are caused by differences in the genes they have, and only a few of the differences between individuals are caused by differences in the environments under which they developed. The difference between black and red

With equal logic it is often convenient to call a characteristic “environmental” or “only slightly hereditary” when most of the differences ordinarily found between individuals in that population are caused by differences in the environments under which they developed and only a small part of those differences between individuals are caused by differences in the genes they have. Examples of such largely environmental

The whole matter of whether a characteristic is hereditary or environmental, if we find it convenient to state it in that way, is a question of how much of the variation in that characteristic in that population is caused by differences in heredity and how much is caused by differences in environment.

# J. L. Lush- Animal Breeding Plans (1937,... 1943)

## ANIMAL BREEDING PLANS

By JAY L. LUSH, Professor in  
Animal Breeding, Iowa State  
College



1943

The Iowa State College Press  
Ames, Iowa

The question of whether heredity or environment is the more important can be phrased precisely and, if the data are available, can be answered for a particular trait in a particular population. It does not have a single answer true for all traits in one population nor for the same trait in all populations. Let  $\sigma_o^2$  = the actually observed variance,  $\sigma_H^2$  = that part of the variance caused by differences in the heredity which different individuals have, and  $\sigma_E^2$  = that part of the variance caused by differences in the environments under which different individuals developed. Then<sup>1</sup>

$\sigma_H^2 + \sigma_E^2 = \sigma_o^2$  and  $\frac{\sigma_H^2}{\sigma_H^2 + \sigma_E^2} = \frac{\sigma_H^2}{\sigma_o^2}$  = the portion of the observed variance for which differences in heredity are responsible. When this fraction is large, we say that the characteristic is highly hereditary; when this fraction is small, we call the characteristic slightly hereditary or largely environmental.

## Heritabilita - Dědivost

Heritabilita (koeficient heritability) - je mírou podílu fenotypové variance vlastnosti, která je následkem genotypových rozdílů.

Část pozorované variability, která je přímo způsobená variabilitou genotypů (rozdílnými genotypy v populaci).

➤ **Heritabilita v širším smyslu -  $H^2$** , která je poměrem genetické variance k celkové fenotypové:

$$h_{\check{s}}^2 \approx H^2 = \frac{S_G^2}{S_P^2} = \frac{S_A^2 + S_D^2 + S_I^2}{S_P^2}$$

➤ **Heritabilita v úzkém smyslu -  $h^2$** , je poměrem aditivní genetické variance k celkové fenotypové:

$$h_u^2 \approx h^2 = \frac{S_A^2}{S_P^2}$$

# Hlavní body o heritabilitě

Odhad heritability je specifický k dané populaci a prostředí, v kterém byl analyzován.

Odhaduje se na populaci, ne na jedincích.

Heritabilita neznamena stupeň genetického založení vlastnosti, **ale** měří podíl genotypové variance, která je výsledkem kombinací různých alel různých genů.

## Co není heritabilita?

- neměří množství, kterým geny ovlivňují vlastnost
- neměří relativní důsledky genů a prostředí na vlastnost
- nemá neměnný podíl v druhu
- nezahrnuje jenom geny – nedefinuje kompletní genetický základ vlastnosti
- není stejná pro všechny vlastnosti v populaci
- není výpovědí o jedincích – vypočítána z variance na populaci jedinců -> je charakteristika populace
  - **Jedinec nemá heritabilitu, populace ano**

# Co je heritabilita

- je měřítkem velikosti variability genetické informace determinující danou vlastnost v populaci, tzn. říká něco o počtu genů a různorodosti genotypů

- měří podíl fenotypové variance, která vyplývá z genetických rozdílů mezi jedinci ve specifické populaci

**Závisí na genetické varianci – není-li ( $V_G = 0$ ), pak nelze heritabilitu odhadnout**

**Vysoká hodnota může znamenat minimální  $V_E$**

$$h^2 = \frac{S_A^2}{S_P^2} = \frac{S_A^2}{S_A^2 + S_D^2 + S_I^2 + S_E^2}$$

## Definice heritability

**Heritabilita neboli dědivost je hodnota, udávající, do jaké míry je hodnota znaků závislá na genotypu jedince a nakolik je konečná hodnota znaku výsledkem působení vnějších faktorů. ??????**

- <http://genetika.wz.cz/dedicnost.htm>
- **Nevhodná definice!**

**Heritabilita (dědivost) udává, jak velká část proměnlivosti znaku je zapříčiněna genetickými faktory, takže ji lze vypočítat jako podíl variance fenotypu způsobený genetickými faktory ( $V_G$ ) a celkového rozptylu hodnot fenotypu ( $V_P$ ).**

- <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Heritabilita>

# Správnější definice?

**Heritability** is the proportion of phenotypic variation in a population that is attributable to genetic variation among individuals. Phenotypic variation among individuals may be due to genetic and/or environmental factors. Heritability analyses **estimate the relative contributions of differences in genetic and non-genetic factors to the total phenotypic variance in a population.**



Studies of heritability ask questions such as how much genetic factors play a role in *differences* in height between people. This is not the same as asking how much genetic factors influence height in any one person.

- <http://en.wikipedia.org/wiki/Heritability>

# Správnější definice...

**Proportion of the total variance that is attributable to the average effects of genes, and this is what determines the degree of resemblance between relatives.**

- Falconer, D.S. 1989. Introduction to QG
- Lynch, M. & Walsh, B. 1997. Genetics and Analysis of Quantitative Traits
- Hartl, D.L., Clark, A.G. 2007. Principles of Population Genetics



## MYLNÉ PŘEDSTAVY O HERITABILITĚ (VISSCHER HILL WRAY, 2008)

### Heritabilita je podíl fenotypu, který se přenáší na další generaci

To je obecně rozšířený omyl; **fenotypy se nepředávají, ale geny ano**. Definice dědivosti v úzkém slova smyslu obsahuje variabilitu aditivních genetických efektů (A). Polovina těchto účinků se předává od každého rodiče, ale skutečná polovina je jedinečná pro každého potomka.

### Vysoká heritabilita znamená genetickou determinaci

Vysoká heritabilita znamená, že většina variability, která je pozorována v současné populaci, je způsobena variabilitou genotypů. Znamená to, že v současné populaci je fenotyp jedince dobrým prediktorem genotypu. **Neznamená to však, že fenotyp je určen, jakmile známe genotyp, protože prostředí se může změnit** nebo může být manipulováno tak, aby se fenotyp změnil.

### Nízká heritabilita znamená, že neexistuje aditivní genetický rozptyl

Nízká heritabilita znamená, že ze všech pozorovaných variací je jen malá část způsobena variabilitou genotypů. Neznamená to, že aditivní genetická variabilita je malá

## MYLNÉ PŘEDSTAVY O HERITABILITĚ (VISSCHER HILL WRAY, 2008)

### Heritabilita vypovídá o povaze rozdílů mezi skupinami.

Problém s tímto naznačeným paradoxem spočívá v tom, že dědivost by se neměla používat k předpovědím o průměrných změnách v populaci v průběhu času nebo o rozdílech mezi skupinami, protože v každém jednotlivém výpočtu **je heritabilita definována pro konkrétní populaci a neříká nic o prostředí v jiných populacích**.

### Velká heritabilita znamená geny s velkým účinkem

V mnoha experimentech s mapováním genů se pravděpodobnost odhalení genu s velkým účinkem zvyšuje s heritabilitou. To však samo o sobě neznamená, že existuje vztah mezi heritabilitou a počtem nebo velikostí efektů genů ovlivňujících daný znak.

**Mendelovské znaky s jedním genem mají heritabilitu v širokém slova smyslu 1,0, ale zdá se, že jde o výjimky**. Morfologické znaky mají obvykle vysokou heritabilitu, ale jsou polygenní, neboť i když bylo identifikováno několik jednotlivých genů, které mají velký vliv, nevysvětlují vysoký podíl genetické variance.

# Hodnoty heritability

$$h^2 = \frac{s_A^2}{s_P^2}$$

- **VYSOKÁ HERITABILITA** ( $h^2 = 0,70$ )

$s_G^2$  relativně velká  $\Leftrightarrow$   $s_E^2$  relativně malá

- Fenotypová selekce pro tuto populaci bude efektivní
- Změny managementu, v daném prostředí, nemohou být efektivní

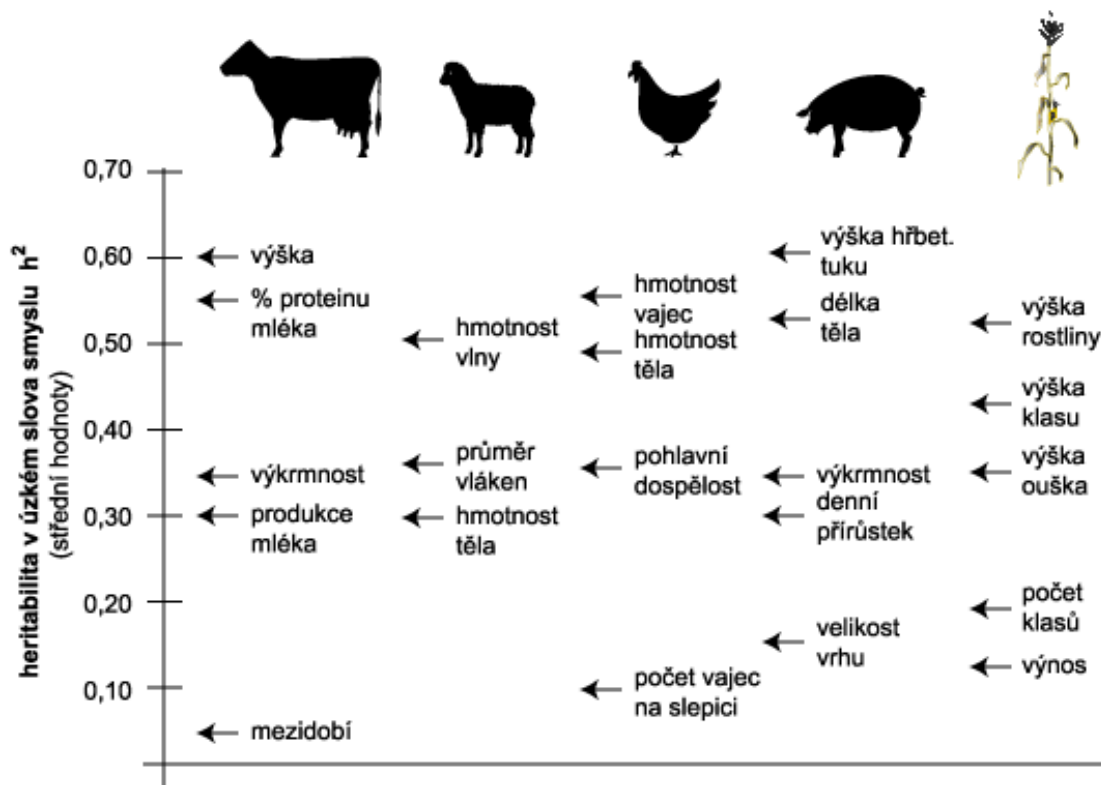
- **NÍZKÁ HERITABILITA** ( $h^2 = 0,20$ )

$s_G^2$  relativně malá  $\Leftrightarrow$   $s_E^2$  relativně velká

- Fenotypová selekce pro tuto populaci nebude efektivní
- Změny managementu, v daném prostředí, mohou být efektivní

Typ užítkovosti	Dědivost	Hodnoty $h^2$
Reprodukce	Nízká	$< 0,20$
Výkrmnost	Střední	$0,20 - 0,40$
Jatečná hodnota	Vysoká	$> 0,40$

# Hodnoty heritability



## Hodnoty heritability v přirozených populacích

Organismus	Vlastnost	$h^2$	Reference
Had	Chemoreceptivní citlivost	0,32	Arnold 1981
Jelen lesní	Plodnost samic	0,46	Kruuk et al. 2000
Hraboš polní	růst	0,54	Boonstra a Boag 1987
Pěnkava	Délka zobáku	0,65	Boag 1983
Blejsek	Délka života samců	0,15	Marilä a Sheldon 2000
Cvrček	Doba vývoje	0,32	Simons a Rof 1994
Drosophila m.	Délka křídel	0,69	Hoffmann a Schiffer 1998
	Počet břišních štětín	0,50	
Netýkavka nedůtklivá	výška	0,08	Bennington a McGraw 1996
	Doba klíčení	0,29	
Člověk	výška	0,65	

Vysoké hodnoty dědivosti – znaky podmíněné menším počtem genů

(nejvyšší – 1 genem - kvalitativní znaky – ALE u kvalitativních znaků  $V_P = V_G$  -> nemá smysl uvažovat o heritabilitě)

Nízká hodnota dědivosti – více polygenní; u vlastností s vysokým vlivem na biologickou zdatnost

## Vliv prostředí na hodnoty heritability

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P} = \frac{V_A}{V_A + V_D + V_I + V_E}$$

Hodnoty heritability se mohou lišit v různých prostředích

$V_E$  se zvyšuje ( $h^2$  se snižuje), protože menší podíl fenotypové variance je aditivně genetická

Př. délka křídel u *Drosophila melanogaster* (Hoffmann a Schiffer, 1998)

V normálních podmínkách  $h^2 = 0,69$

V stresujících podmínkách  $h^2 = 0,09$ , i když  $V_A$  byla jen nepatrně větší za stresu

**Příčina:** větší hodnota  $V_E$  v podmínkách stresu ( $V_E = 9,2$  oproti  $V_E = 0,9$  normální)

Čítenel ovlivňuje hodnotu  $h^2$  – zejména  $V_E$

Expresse genetické informace může být ovlivněna prostředím (interakce **G × E**)

HERITABILITA platí pro

**danou populaci  
daný čas  
konkrétní podmínky**

**Je specifická**

**! nemá obecnou platnost !**

Hodnota dědivosti závisí na

struktúře populace

podmínkách chovu

úrovni užítkovosti

úrovni plemenářské práce

sezónnosti vlastnosti

pohlavním dimorfismu

**četnosti souboru**

**metodě výpočtu**

**přesnosti výpočtu**

meziplenných rozdílech (užitkovém zaměření)

# Odhadování $V_A$ a $h^2$

$V_A$  je zapříčiněna podobností mezi příbuznými

cíl: odhad  $V_A$  a oddělit ji od  $V_E$  a neaditivní genetické variance

## Statistické metody

Analýza **regrese** (rodič-potomek, ...)

Analýza variance **ANOVA** (rodiny vlastních sourozenců a plosourozenců)

Moderní metody:

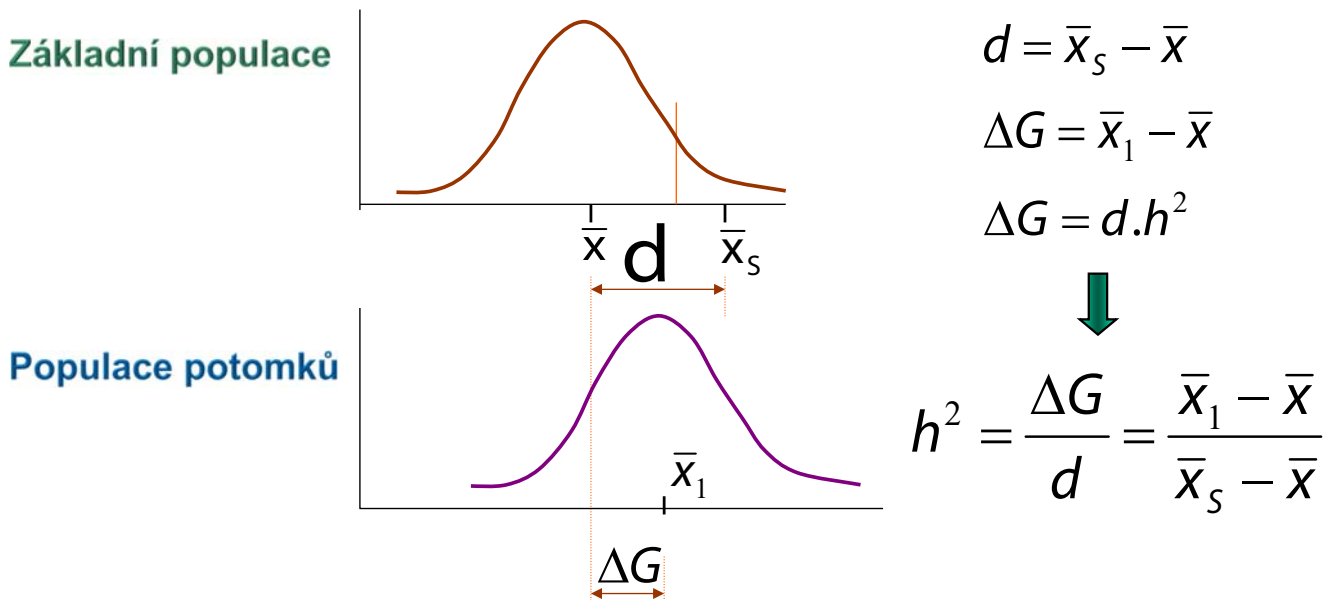
**Maximální věrohodnosti** (maximum likelihood), REML

- nebalancovaná data
- maximilizuje pravděpodobnost pozorovaných dat daných parametry

## Předpověď efektu selekce - realizovaná dědivost

≈ selekční zisk, genetický zisk, odpověď na selekci

Populace má průměrnou hodnotu vlastnosti  $\bar{x}$ , a budeme selektovat skupinu jedinců, kteří mají průměr  $\bar{x}_s$



D – selekční diference (~ vyjadřuje stupeň přísnosti selekce)  
 $\Delta G$  – genetický zisk (efekt selekce)

# Odhadování fenotypu potomků

Odhad fenotypu potomků z křížení dvou rodičů selektovaných ze základní populace

$\bar{X}$  = průměr populace

$\bar{X}_M$  = fenotypová hodnota populace otců

$\bar{X}_F$  = fenotypová hodnota populace matek

$\bar{X}_S$  = průměrná hodnota obou populací rodičů =  $(\bar{X}_M + \bar{X}_F)/2$

$\bar{X}_1$  = předpovídaná fenotypová hodnota potomků

- Vzorec pro předpověď hodnoty fenotypu potomků:

$$\Delta G = d \cdot h^2 \quad \bar{X}_1 = \bar{X} + h^2(\bar{X}_S - \bar{X})$$

## Příklad předpovědi hodnoty potomků

Jestliže průměrná hodnota IQ ve vybrané populaci otců je 120 a matek 110,  $h^2 = 0,40$  a průměr celé populace je 100, pak :

$$\bar{X}_S = (120 + 110)/2 = 115$$

- Jak se odlišují rodiče od populace?  $\bar{X}_S - \bar{X} = 115 - 100 = 15$
- Jak moc je tato odchylka dědičná?  $h^2(\bar{X}_S - \bar{X}) = 0,4 \cdot (15) = 6$
- Jak se budou potomci odlišovat od populace?  
Průměrná hodnota IQ u potomků?

$$\bar{X}_1 = h^2(\bar{X}_S - \bar{X}) = 100 + 6 = 106$$

CZ **Dědičnost** ×ENG **Heredity**  
**Inheritance**GER **Vererbung**

- » **proces** přenosu genetické informace z rodiče na potomka
- » **jev**, kde biologická vlastnost se jeví, že je přenášena z jedné generace do druhé; ve skutečnosti se přenáší dědičné informace o těchto vlastnostech (*geny*)
- » na molekulární úrovni je tento proces představován jako **replikace**
- » po přenosu se následně *geny* mohou realizovat, tj. projevit (exprimovat) do fenotypu jedince
- » je o DNA jako takové

**Dědičnost**

Úroveň	Proces
<b>Gen</b>	~ replikace DNA ~ transkripce a translace
<b>Buňka</b>	~ dělení buňky (mitóza, meióza), segregace, volná kombinovatelnost, rekombinace
<b>Jedinec</b>	~ projevený fenotyp

**Dědivost**

Heritability

Heritabilität  
Erblichkeit

- » charakteristika (**statistický parametr**) komplexní polygenní kvantitativní vlastnosti populace, která se vyjadřuje jako část celkové fenotypové variability způsobená genetickou variabilitou (tj. na kolik jsou fenotypové rozdíly mezi jedinci v populaci zapříčiněny genetickými rozdíly)
- » 
$$h^2 = \frac{V_G}{V_p} = \frac{V_G}{V_G + V_E}$$
- » kvantifikuje vliv genetické variability (množství rozdílných genotypů mezi jedinci v populaci) na fenotypovou variabilitu populace
- » je o rozdílnosti DNA v mnoha genech u mnoha jedinců a jejím vlivu na variabilní fenotypy v populaci
- » lze ji využít pro predikci odpovědi na selekci (genetického zisku)

**Populace** ~ rozdílné varianty mnoha genů podmiňující jednu vlastnost

**Dědivost** ~ vztah genetické a prostředkové variability k fenotypové variabilitě