

1. U slepice je tvar hřebínku určován alelami genů *R* a *P*. Typ „ořech“ vzniká, pokud jsou přítomny dominantní alely *R* a *P*. Typ „růže“ vzniká, pokud je přítomna alela *R* a dvě recesivní alely *p*. Typ „hrášek“ vzniká, pokud jsou přítomny dvě recesivní alely *r* a alespoň jedna dominantní alela *P*. Pokud jsou dvě recesivní alely přítomny v obou genech, vznikne jednoduchý hřebínek. Jaké potomstvo a v jakých poměrech vznikne z těchto křížení?

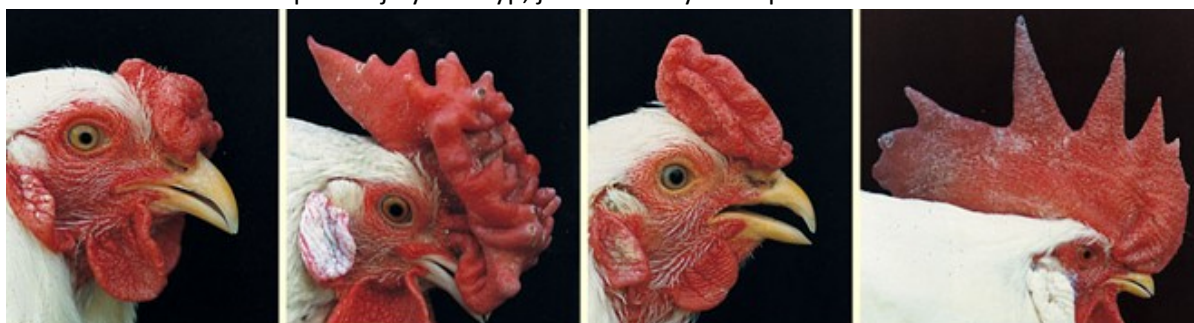
A) *RR Pp* x *rr Pp*

B) *rr PP* x *Rr Pp*

C) *Rr Pp* x *Rr pp*

D) Určete genotyp slepice s hřebínkem růže a kohouta s hřebínkem ořech, jejichž zkřížením vzniklo 15 potomků s ořechovitým hřebenem, 14 s typem růže, 5 s typem hrášek a 6 s jednoduchým hřebenem.

- Každé kombinaci alel odpovídá jiný fenotyp, jedná se tedy o reciprokou interakci.



Ořech (*R-P-*)

Růže (*R-pp*)

Hrášek (*rrP-*)

Jednoduchý (*rrpp*)

- Štěpné poměry lze získat pomocí Punnettova čtverce nebo rozvětřovací metody.

A) Oba rodiče jsou v genu *R* homozygoti, to znamená, že potomstvo bude štěpit jen v druhém genu.

	<i>RP</i>	<i>Rp</i>
<i>rP</i>	<i>RrPP</i>	<i>RrPp</i>
<i>rp</i>	<i>RrPp</i>	<i>Rrpp</i>

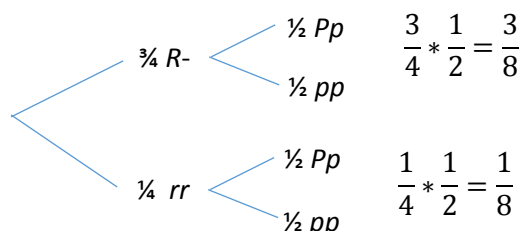
Všichni potomci budou heterozygotní v genu *R*. Fenotypově budou mít $\frac{3}{4}$ potomků hřebínek typu ořech a $\frac{1}{4}$ typu růže.

B) Všichni potomci zdědí dominantní alelu v genu *P* od prvního rodiče. V genu *R* bude $\frac{1}{2}$ potomků heterozygotní a $\frac{1}{2}$ homozygoti recesivní.

	<i>RP</i>	<i>Rp</i>	<i>rP</i>	<i>rp</i>
<i>rP</i>	<i>RrPP</i>	<i>RrPp</i>	<i>rrPP</i>	<i>rrPp</i>

Fenotypově bude tedy potomstvo štěpit 1:1 typ hřebínku ořech a hrášek.

C) Potomstvo bude štěpit v obou genech.



Výsledek: $\frac{3}{8}$ typ ořech, $\frac{3}{8}$ typ růže, $\frac{1}{8}$ typ hrášek a $\frac{1}{8}$ jednoduchý hřebínek.

D) Rodič s hřebínkem růže musí mít alespoň jednu alelu *R*, zároveň musí být homozygotní pro alelu *p*. Kohout musí mít alespoň jednu dominantní alelu v obou genech, aby mohl vzniknout hřebínek typu ořech. Protože v potomstvu vznikají jedinci s jednoduchým hřebínkem, což odpovídá genotypu *rrpp*, musí mít každý rodič v obou genech alespoň jednu recesivní alelu. Slepice má tedy genotyp (růže) *Rrpp* a kohout (ořech) *RrPp*.

2. Slepice leghornky jsou homozygotně dominantní pro alelu *C*, která podmiňuje barevné peří. Toto plemeno je však současně nese dominantní alelu *I* jiného nezávisle kombinovatelného genu, která zbarvení peří inhibuje. V důsledku toho mají leghornky bílé peří. Wyandotky nenesou ani alelu pro barvu peří, ani alelu, která zbarvení inhibuje. Jaké fenotypy a v jakých poměrech můžeme očekávat v potomstvu bílé slepice z plemene leghornek a bílého kohouta z plemene wyandotek?

- Plemena jsou čisté linie, jedinci jsou tedy homozygotní, tzn. jedinci plemene leghornek mají genotyp *CCII*, jedinci z plemene wyandotek mají genotyp *ccii*.
- Jedná se tedy o křížení *CCII* x *ccii*. Potomstvo tedy nebude štěpit od matky všichni jedinci získají dominantní alely v obou genech a od otce recesivní alely v obou genech. Všichni tedy budou heterozygoti *CcIi*, protože stále nesou jednu inhibující alelu *I*, budou všichni bílí.

Výsledek: 100% potomstva bez zbarvení peří.

Poznámka: Pokud bychom takto získané křížence dále křížili do F2 generace, barevné jedince už bychom získali. Barevní budou jedinci homozygotní pro recesivní alelu *i* (aby nedocházelo k inhibici), kteří zároveň ponесou, alespoň jednu dominantní alelu *C*. V křížení *Ccli* x *Ccli* by takový jedinci tvořili $\frac{3}{16}$ potomstva. $\frac{3}{4} * \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$

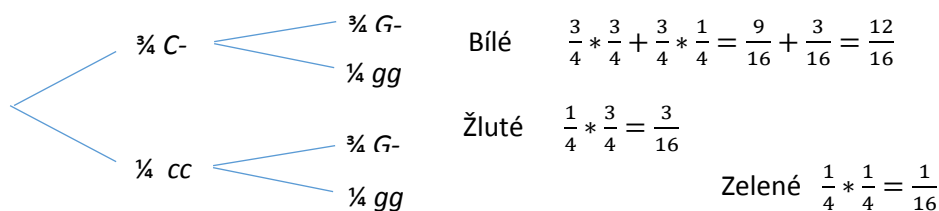
3. U tykve mají rostliny s dominantní alelou *C* v genotypu bílé plody, zatímco rostliny homozygotní pro recesivní alelu *c* mají plody barevné. Pokud je plod barevný, dominantní alela *G* podmiňuje žlutou barvu, a v nepřítomnosti této alely je barva zelená. Jaké fenotypy a v jakých poměrech nalezneme v F2 generaci, budeme-li křížit rostliny *CCGG* a *ccgg*?

Předpokládejme, že geny *C* a *G* se kombinují nezávisle.

- Jedná se o dominantní epistázi, protože alela *C* sice potlačuje projev genu *G*, ale sama má svůj vlastní fenotypový projev.
 - Bílý fenotyp odpovídá genotypům *C-G-* a *C-gg*.
 - Zelené plody mají rostliny s genotypem *ccgg*.
 - Žluté plody mají rostliny s genotypy *ccG-*.
 - P: *CCGG* X *ccgg*
F1: *CcGg* všechny rostliny budou mít bílé plody
- K zjištění štěpného poměru v F2 generaci můžeme použít Punnettův čtverec nebo rozvětvací metodu.

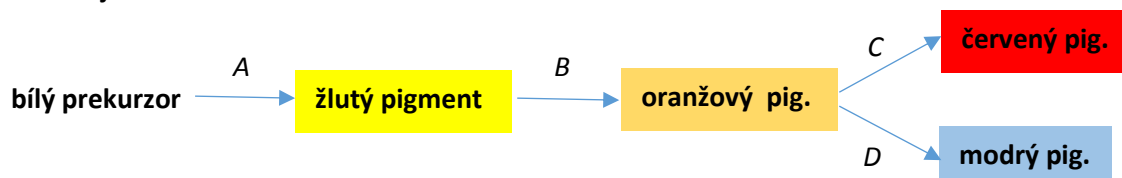
	<i>CG</i>	<i>Cg</i>	<i>cG</i>	<i>cg</i>
<i>CG</i>	<i>CCGG</i>	<i>CCGg</i>	<i>CcGG</i>	<i>CcGg</i>
<i>Cg</i>	<i>CCGg</i>	<i>CCgg</i>	<i>CcGg</i>	<i>Ccgg</i>
<i>cG</i>	<i>CcGG</i>	<i>CcGg</i>	<i>ccGG</i>	<i>ccGg</i>
<i>cg</i>	<i>CcGg</i>	<i>Ccgg</i>	<i>ccGg</i>	<i>ccgg</i>

12:3:1



Výsledek: V F2 budou vyštěpovat všechny tři fenotypové kategorie v poměru 12:3:1 bílé plody:žluté plody:zelené plody.

4. U určitého druhu stromu je barva semen determinována čtyřmi nezávisle kombinovatelnými geny *A*, *B*, *C* a *D*. Recesivní alely těchto genů kódují nefunkční enzymy, které nemohou provádět příslušné reakce v biosyntetické dráze pro barvu semen. Tuto dráhu lze znázornit následujícím schématem:



Pokud se tvoří současně červený a modrý pigment, výsledná barva semene je nachová. Byly kříženy stromy s následujícími genotypy: *AaBbCcDd* x *AaBbCcdd*.

A) Jakou barvu mají semena rodičů?

B) Jaká část potomstva bude mít bílá semena?

C) Určete četnost rostlin s červenými, modrými a žlutými semeny v potomstvu tohoto křížení.

- Protože se jedná o nezávisle kombinovatelné geny, můžeme četnosti potomků řešit postupně pro každý gen zvlášť a pak dílčí četnosti mezi sebou vynásobit.

	<i>A</i>	<i>a</i>
<i>A</i>	<i>AA</i>	<i>Aa</i>
<i>a</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>

	<i>D</i>	<i>d</i>
<i>d</i>	<i>Dd</i>	<i>dd</i>

- Aby se mohly uplatnit enzymy kódované dominantními alelami, které jsou na konci biosyntetické dráhy, musí být funkční i všechny enzymy před nimi.

A) Rodič *AaBbCcDd* bude mít nachová semena (syntetizuje se jak červené, tak modré barvivo), rodič *AaBbCcdd* bude mít červená semena (syntetizuje se červený pigment).

B) Bílá semena budou všechna, která jsou recesivní pro alelu *a*, tudíž neumí zpracovávat bílý prekurzor a tím pádem ostatní enzymy, i kdyby byly funkční, nemají substrát pro příslušnou reakci. Rostliny s bílými semeny budou tedy tvořit 1/4 všech potomků tohoto křížení.

C) Červená semena budou mít rostliny, které mají, alespoň jednu dominantní alelu v genech *A*, *B* a *C* a zároveň jsou homozygoti recesivní v genu *D* (netvoří modré barvivo). *A-B-C-dd*

$$\frac{3}{4} * \frac{3}{4} * \frac{3}{4} * \frac{1}{2} = \frac{27}{128}$$

Modrá semena bude mít rostlina s alespoň jednou dominantní alelou v genech *A*, *B* a *D* a

recesivní homozygot v genu *C* (netvoří se červený pigment). *A-B-ccDd* $\frac{3}{4} * \frac{3}{4} * \frac{1}{4} * \frac{1}{2} = \frac{9}{128}$

Žlutá semena mají rostliny s alespoň jednou dominantní alelou v genu *A* a homozygotní pro recesivní alelu *b* (tvoří se žlutý pigment, ten se dál nemůže přeměňovat, na alelách v genech *C* a *D* nezáleží, protože ty stejně nebudou mít oranžový pigment jako substrát). *A-bb----*

$$\frac{3}{4} * \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

5. Ledňáček mikroneský, *Halcyon cinnamomina*, má skořicově zbarvenou hlavu. U některých ptáků tato barva zasahuje až na hrud' a může vytvářet jeden z následujících tří tvarů: kruh, štít nebo trojúhelník; u jiných ptáků není ale hrud' zbarvena vůbec. Sameček se zbarvením ve tvaru trojúhelníku byl křížen se samičkou s nezbarvenou hrudí a všichni jejich potomci měli zbarvení ve tvaru štítu. Při dalším křížení tohoto potomstva se v F2 generaci objevily následující fenotypové poměry: 3 zbarvení ve tvaru kruhu, 6 zbarvení ve tvaru štítu, 3 zbarvení ve tvaru trojúhelníku, 4 bez zbarvení.

A) Určete způsob dědičnosti tohoto znaku a stanovte genotypy jedinců ve všech generacích.

B) Sameček s nezbarvenou hrudí bude křížen se samičkou se zbarvením ve tvaru štítu.

Fenotypové poměry v F1 budou: 1 zbarvení ve tvaru kruhu, 2 zbarvení ve tvaru štítu, 1 zbarvení ve tvaru trojúhelníku. Určete genotypy rodičů.

- Protože F1 generace je uniformní, rodiče museli být homozygoti. F2 generace se rozpadá na více než tři fenotypové kategorie, takže dědičnost tohoto znaku na základě F1 a F2 generace nepůjde vysvětlit jen jedním genem.
- V F2 generaci tvoří jedinci bez zbarvení hrudníku $\frac{1}{4}$ ($\frac{4}{16}$) všech potomků. Což by naznačovalo, že mezi alelami genů, které se podílí na zbarvení hrudi u ledňáčka je vztah recesivní epistáze, kdy v F2 splývají do jedné fenotypové kategorie všichni jedinci, kteří jsou recesivně homozygotní pro epistatickou alelu.
- F1 generace je sice uniformní, ale fenotypově se liší od obou rodičů, to naznačuje, že mezi alelami genu pro tvar zbarvení je vztah neúplné dominance.
- Vybereme si označení alel.
- Gen 1: T^k (zbarvení tvaru kruh), T^t (zbarvení tvaru trojúhelník)
- Gen 2: Z (zbarvení hrudníku), z (hrudník bez zbarvení)

A) Zbarvení hrudníku a jeho tvar je u ledňáčka řízen dvěma geny, každý z nich má dvě alely.

Mezi alelami pro tvar zbarvení je vztah neúplné dominance: T^kT^k (tvar kruhu), T^kT^t (tvar štítu), T^tT^t (tvar trojúhelníku). Recesivní alela genu pro přítomnost barvy na hrudníku je epistatická vůči alelám genu pro tvar zbarvení.

Ověříme, že daná hypotéza platí pro uvedená křížení.

P: T^tT^tZZ (zbarvení tvaru kruhu) x T^kT^kzz (samička bez zbarvení)

F1: T^kT^tZz (zbarvení ve tvaru štítu)

F2: 3 zbarv. tvaru kruhu, 6 zbarv. tvaru štítu, 3 zbarv. tvaru trojúhel., 4 bez zbarvení

	T^kZ	T^kz	T^tZ	T^tz
T^kZ	T^kT^kZZ	T^kT^kZz	T^kT^tZZ	T^kT^tZz
T^kz	T^kT^kZz	T^kT^kzz	T^kT^tZz	T^kT^tzz
T^tZ	T^kT^tZZ	T^kT^tZz	T^tT^tZZ	T^tT^tZz
T^tz	T^kT^tZz	T^kT^tzz	T^tT^tZz	T^tT^tzz

Naše hypotéza tedy dobře vysvětluje popsané výsledky křížení.

B) Sameček musí být homozygot recesivní v genu pro přítomnost zbarvení, samička musí mít alespoň jednu dominantní alelu Z, aby se tvar zbarvení mohl projevit, a zároveň je heterozygot pro alely T^k a T^t , aby vznikalo zbarvení tvaru štítu. Ostatní rodičovské alely určíme na základě F1 generace.

P: ♀ T^kT^tZ- x ♂ $--zz$

F1: 1 T^kT^kZz 2 T^kT^tZz 1 T^tT^tZz

Od otce dostali všichni potomci recesivní alelu z, protože jsou všichni zbarvení, musí být všichni v tomto genu heterozygoti.

Protože jsou všichni potomci zbarvení, samička musela být homozygot pro dominantní alelu Z, jinak by vyštepovali nezbarvení jedinci. Protože v potomstvu se objevují všechny tři možné tvary v poměru 1:2:1, což odpovídá genotypovému a v případě neúplné dominance i fenotypovému štěpnému poměru při křížení dvou heterozygotů, musel mít i sameček v genu pro tvar zbarvení obě alely. P: ♀ T^kT^tZZ x ♂ T^kT^tzz

6. Představte si, že se snažíte změnit znak, jehož heritabilitu neznáte. Průměrná hodnota populace je 100, průměr výběru 120. Potomstvo výběru má průměrnou hodnotu 104. Jaká je h^2 ?

- h^2 označuje heritabilitu v užším slova smyslu, tedy podíl aditivní složky genetické variability k celkové variabilitě. $h^2 = \frac{V_a}{V_T}$
- Zároveň, pokud do další generace křížíme jen část populace, platí, že $R = h^2 * S$. S označuje tzv. výběrový rozdíl nebo selekční diference, tedy o kolik se liší námi vybraní jedinci, které budeme dále křížit od průměru celé populace v tomto znaku. R označuje selekční zisk, tedy o kolik se liší potomci výběru od průměru celé populace.
- Z předešlého vztahu vyplývá, že pokud je h^2 je rovna 1 (tedy veškerou variabilitu lze vysvětlit genetickou variabilitou), potomci výběru se od průměru populace budou lišit stejně výrazně jako jejich rodiče. Pokud h^2 je rovna 0,5 (tedy veškerou variabilitu lze z poloviny vysvětlit genetickou variabilitou), potomci výběru se od průměru populace budou lišit o polovinu toho, co se lišili jejich rodiče. Atd.
- V tomto případě je pro sledovaný znak průměr populace 100, vybraní jedinci pak mají hodnotu tohoto znaku v průměru 120, liší se tedy o 20 od průměru populace ($S=20$). Jejich potomci mají průměr daného znaku 104, od průměru populace se tedy liší o 4 ($R=4$).

$$\begin{aligned} R &= h^2 * S \\ 4 &= h^2 * 20 \\ h^2 &= \frac{4}{20} = 0,2 \end{aligned}$$

Výsledek: Heretabilita v užším slova smyslu je pro tento znak 0,2.

7. Leo má IQ 86, Julie 110. Průměr IQ populace je 100. Předpokládejme, že heretabilita IQ v užším slova smyslu je 0,4. Jaké IQ očekáváme u Leova a Juliina prvního dítěte?

- Pro predikci IQ dítěte tohoto páru můžeme využít vztah uvedený u předešlého příkladu
$$R = h^2 * S$$
- Nejprve musíme, ale spočítat jaké je průměrné IQ tohoto páru a jak se tento průměr liší od průměru celé populace. $S = \frac{86+110}{2} - 100 = 98 - 100 = -2$
- Po dosazení do vzorečku pak můžeme vypočítat R, tedy o kolik se bude lišit od průměru populace IQ jejich dětí. $R = h^2 * S = 0,4 * (-2) = -0,8$
- Děti Lea a Julie budou tedy v průměru mít IQ o 0,8 nižší než je průměr populace. Protože IQ se udává v celých číslech, je potřeba výsledek pro predikci IQ konkrétního dítěte zaokrouhlit.

Výsledek: Předpokládané IQ pro dítě Lea a Julie je 99.

8. Délka stébla u pšenice v době zralosti je určena několika geny, předpokládejme, že tyto geny mají stejný a aditivní účinek. U jedné odrůdy je klas pouze asi 21 cm nad zemí, zatímco u jiné je to téměř 85 cm. Po zkřížení obou odrůd byla výška klasu u F1 asi 53 cm nad zemí. U populace F2 vzniklé samooplozením F1 se oba rodičovské fenotypy (21 cm a 85 cm) vyskytovaly s četností 1/256. Kolik genů určuje výšku klasu u těchto kmenů pšenice a jaký je příspěvek každé jednotlivé alely těchto genů k výšce klasu?

- Protože začínáme se dvěma odrůdami, lze předpokládat, že se jedná o homozygoty, v F1 generaci nám tedy vzniká heterozygot v několika genech. Pokud jsou tyto geny nezávisle kombinovatelné, lze pravděpodobnost vzniku určitého genotypu v F2 počítat pro každý gen nezávisle a dílčí pravděpodobnosti mezi sebou vynásobit.

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Příklad se 2 geny:

P: *aabb* X *AABB*

F1: *AaBb*

Podíl jedinců *aabb* v F2 generaci $\frac{1}{4} * \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{16}$

- Každý rodičovský typ tvořil v F2 generaci 1/256, toto číslo tedy musí odpovídat $\left(\frac{1}{4}\right)^n$, kde n je počet genů, které se na daném znaku u těchto odrůd podílejí.

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{4}\right)^n &= \frac{1}{256} \\ \log \left(\frac{1}{4}\right)^n &= \log \frac{1}{256} \\ n * \log \frac{1}{4} &= \log \frac{1}{256} \\ n &= \frac{\log \frac{1}{256}}{\log \frac{1}{4}} = 4 \end{aligned}$$

- Na tvorbě tohoto znaku se tedy podílí 4 geny. Rostlina tedy může mít maximálně 8 aktivních alel, za předpokladu, že všechny aktivní alely mají stejný aditivní účinek, můžeme jejich příspěvek vypočítat. Odrůdy se od sebe liší o 64 cm. Příspěvek jedné alely je tedy 8 cm.

Výsledek: Výška klasu je určena 4 geny, každá aktivní alela přispívá k výšce klasu 8 cm.