

### 3.

## MENDELISTICKÁ KONCEPCIA DEDIČNOSTI

**Kľúčové slová:** alela (vloha), dihybrid, dominancia, kodominancia, monohybrid, neúplná dominancia, polyhybrid, recesivita, spätné kríženie, testovacie kríženie, trihybrid.

### Mendelove pravidlá

Dedičnosť pri voľnej kombinácii vlôh je označovaná podľa *Johanna Gregora MENDELA (1822 – 1884)* ako **mendelistická dedičnosť**. Mendel pozoroval určité vzťahy medzi generáciami pri krížení hrachu a získané poznatky boli formulované ako **Mendelove pravidlá dedičnosti**:

- 1. Pravidlo uniformity a reciprocity.** Hybridy vzniknuté z kríženia homozygotných rodičov sú v prvej generácii rovnaké, uniformné a táto genotypová a fenotypová zhoda nie je ovplyvnená smerom kríženia.
- 2. Pravidlo štiepenia.** Druhá filiálna generácia nie je jednotná, ale sa v nej vyskytujú prejavy znakov obidvoch rodičov. Fenotypové a genotypové kategórie sú v konštantných pomeroch.
- 3. Pravidlo o voľnej kombinácii alel.** Hybrid tvorí zo svojich alel toľko rôznych kombinácií v gamétach, a teda aj toľko druhov gamét, v koľkých kombináciách sa tieto alely môžu zostaviť. Všetky druhy gamét sú početne rovnako zastúpené.
- 4. Pravidlo o čistote gamét.** Gaméta obsahuje len jednu alelu z alelového páru. V zygote musí byť zastúpený každý alelový pár.

Mendelové pravidlá platia za určitých podmienok a najdôležitejšie sú:

- gény sú lokalizované v bunkovom jadre (chromozómy),
- lokalizácia sledovaných génov v rôznych chromozómoch (autozómoch),
- homozygotnosť rodičov pre sledovaný znak (dominantní homozygoti – homozygoti s dominantnými alelami, recesívni homozygoti – homozygoti s recesívnymi alelami).

Dominantné alely sa najčastejšie označujú veľkým písmenom, recesívne malým písmenom. Niekedy sa používa i iná symbolika – dominantné alely +, recesívne -.

Základom analýzy dedičnosti mendelistickej koncepcie je **hybridologická analýza**. V závislosti od počtu sledovaných znakov sa pri hybridizácii hovorí o **monohybridizme**, **dihybridizme**, prípadne **polyhybridizme**.

### Monohybridné kríženie

Pri monohybridnom krížení sa sleduje jeden znak, teda monohybrid je jedinec, ktorého rodičia sa odlišujú vo fenotypovom prejave jedného znaku. Podľa vzťahu alel u diploidného organizmu a od nich závislých fenotypov rozoznávame:

- **dominancia a recesivita:** heterozygot je fenotypom zhodný s homozygotom, ktorý má dominantné alely, napr.: *AA*, *Aa* – červenokveté, *aa* – bielokveté

Poznámka: Iná možnosť zápisu

– dominantný homozygot	++
– heterozygot	+–
– recesívny homozygot	--

- **neúplná dominancia** – heterozygot má prechodný prejav znaku v porovnaní s homozygotom, napr.:  $AA$  – červenokveté,  $Aa$  – ružovokveté,  $aa$  – bielokveté
- **superdominancia** – heterozygot má intenzívnejší prejav znaku ako homozygot s dominantnými alelami, napr.:  $AA$  – červenokveté,  $Aa$  – tmavo červenokveté,  $aa$  – bielokveté
- **kodominancia** – úplný fenotypový prejav oboch alel v géne heterozygota (AB0 krvný systém človeka.  $I^A I^B$  = krvná skupina AB).

 **Príklad:**

Mendel krížil hrach červenokvetý s hrachom bielokvetým. Červená farba kvetu je znak úplne dominantný a biela recesívny. Písmenom  $A$  si označíme alelu pre červenú farbu,  $a$  si označíme alelu pre bielu farbu, **P** – **parentálna (rodičovská) generácia**, **G** – **gaméty (rodičov)**, **F<sub>1</sub>** – **potomstvo**, **teda prvá filiálna generácia**, **G<sub>F1</sub>** – **gaméty prvej filiálnej generácie**, **F<sub>2</sub>** – **druhá filiálna generácia**.

	Genotypy	Fenotypy									
<b>P:</b>	$AA \times aa$	červená x biela									
<b>G:</b>	$A ; a$										
<b>F<sub>1</sub>:</b>	$Aa$ $Aa \times Aa$	červená samoopelenie									
<b>G<sub>F1</sub>:</b>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>A</math></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>a</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>A</math></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>AA</math></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>Aa</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>a</math></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>Aa</math></td> <td style="padding: 5px; text-align: center;"><math>aa</math></td> </tr> </table>		$A$	$a$	$A$	$AA$	$Aa$	$a$	$Aa$	$aa$	
	$A$	$a$									
$A$	$AA$	$Aa$									
$a$	$Aa$	$aa$									
<b>F<sub>2</sub>:</b>	1/4 dominantný homozygot ( $AA$ ) 2/4 heterozygot ( $Aa$ ) 1/4 recesívny homozygot ( $aa$ )	3/4 červené ( $AA, Aa, Aa$ ); 1/4 biele ( $aa$ )									

Vzhľadom na úplnú dominanciu bude celá  $F_1$  generácia fenotypom rovnaká – červenokvetá, ale genotypom rozdielna – heterozygotná, pretože obsahuje aj alelu pre bielu farbu, ktorá sa nemohla prejaviť, pretože je potlačená dominantnou alelou.  $F_2$  generácia štípe v fenotypovom prejave: 3/4 jedincov budú červenokveté, 1/4 bielokveté.

Genotypový štípný pomer: 1/4 dominantných homozygotov,  
2/4 heterozygotov (1/2 heterozygotov),  
1/4 recesívnych homozygotov.

Výsledný genotypový a fenotypový štípný pomer je dôsledok toho, že  $F_1$  generácia tvorí 2 druhy pohlavných buniek ( $A$ ,  $a$ ). Ich kombináciou vzniká  $F_2$  generácia s fenotypovým štípnym pomerom







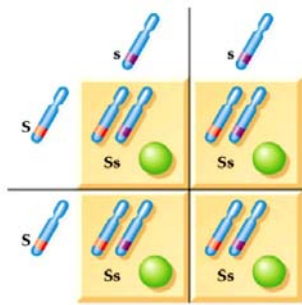
	<b>3 A-</b>	:	<b>1aa</b>		
a genotypovým štípnym pomerom	<b>1AA</b>	:	<b>2Aa</b>	:	<b>1aa</b>

 **Príklad:**

Hladký tvar semien je u hrachu podmienený dominantným génom  $S$ , zvráskavené semená jeho recesívnou alelou  $s$ . Napíšte schému kríženia medzi:







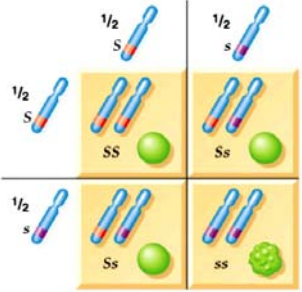
- hrachom s hladkými semenami s hrachom so zvráskavenými semenami
- dvoma rastlinami hrachu heterozygotnými v lokuse pre tvar semien.

a) monohybridné kríženie hrachu s hladkými semenami s hrachom so zvráskavenými semenami

<b>P generácia</b>	<b>rodič 1</b>	<b>rodič 2</b>
<b>Rodičovské fenotypy</b>	hladké semená 	x  zvráskavené semená
<b>Genotypy rodičov (2n)</b>	 SS	 ss
<b>Haploidné gaméty (n)</b>	 S	x  s
<b>F<sub>1</sub> generácia</b>	<b>Gaméty druhého rodiča</b>	
<b>Gaméty prvého rodiča</b>		
<b>F<sub>1</sub> genotyp</b>	<b>všetko Ss (heterozygot)</b>	
<b>F<sub>1</sub> fenotyp</b>	<b>všetky semená hladké (hladké je dominantné nad zvráskaveným)</b>	

Obr. 3.1 a) Priebeh a výsledky monohybridného kríženia v F<sub>1</sub> generácii na príklade hrachu – tvar semien (hladké a zvráskavené). Chromozómy dokumentujú segregáciu (upravené podľa Russella, 1998).

b) kríženie medzi dvoma rastlinami hrachu heterozygotnými v lokuse pre tvar semien

<b>F<sub>1</sub> generácia</b>	<b>rodič 1</b>	<b>rodič 2</b>
<b>Fenotypy F<sub>1</sub></b>	hladké semená 	x  hladké semená
<b>Genotypy F<sub>1</sub> (2n)</b>	 Ss	 Ss
<b>Haploidné gaméty (n)</b>	 S	x  s
<b>F<sub>2</sub> generácia</b>	<b>Gaméty druhého rodiča</b>	
<b>Gaméty prvého rodiča</b>		
<b>F<sub>2</sub> genotyp</b>	<b>¼ SS, ½ Ss, ¼ ss</b>	
<b>F<sub>2</sub> fenotyp</b>	<b>¾ hladké semená, ¼ zvráskavené semená</b>	

Obr. 3.1 b) Priebeh a výsledky monohybridného kríženia v F<sub>2</sub> generácii na príklade hrachu – tvar semien (hladké a zvráskavené). Chromozómy dokumentujú segregáciu (upravené podľa Russella, 1998).

## Spätne kríženie

Zámerný oplodňovací proces jedinca získaného v prvej, prípadne ďalšej generácii s genotypom jedného alebo druhého rodiča, sa nazýva spätne kríženie.

Príklad:

<b>P:</b>	<b>rodič 1</b>	x	<b>rodič 2</b>
	<i>AA</i>		<i>aa</i>
<b>F<sub>1</sub>:</b>	<i>Aa</i>		
	1. <i>Aa</i> x <i>AA</i>		<i>F<sub>1</sub></i> x rodič 1
	2. <i>Aa</i> x <i>aa</i>		<i>F<sub>1</sub></i> x rodič 2

## Testovacie kríženie

Zámerný oplodňovací proces jedinca neznámeho genotypu s jedincom, ktorý má recesívny prejav znaku sa nazýva testovacie kríženie. Podľa výsledkov fenotypového prejavu v B<sub>1</sub> generácii, môžeme určiť alelové zloženie neznámeho génu.

Príklad: A-

1.	<i>AA</i> x <i>aa</i>	2.	<i>Aa</i> x <i>aa</i>
B <sub>1</sub>	<i>Aa</i>	B <sub>1</sub>	<i>Aa</i> : <i>aa</i>
			1 : 1

Ak je sledovaný gén dominantne homozygotný, pri testovacom krížení získame potomstvo fenotypovo uniformné. Ak je „testovaný“ gén heterozygotný, v potomstve získame fenotypový (i genotypový) štípný pomer **1 : 1**. Testovacím krížením teda môžeme odlišiť fenotypovo síce rovnakých jedincov, ale genotypovo odlišných (dominantný homozygot, heterozygot).

ak rodič 1 má: hladké semená	<b>fenotyp</b>	ak rodič 1 má: hladké semená
 <i>SS</i>	<b>genotyp</b>	 <i>Ss</i>
rodič 1 x rodič 2 	<b>diploidný rodičovský genotyp meióza haploidné gaméty</b>	rodič 1 x rodič 2 
	<b>pravdepodobné genotypy potomstva</b>	
 všetky semená hladké	<b>fenotypy potomstva</b>	 ½ hladké, ½ zvráskavené semená
rodič 1 bol určite <i>SS</i> 	<b>výsledok</b>	rodič 1 bol určite <i>Ss</i> 

**Obr. 3.2** Testovacie kríženie monohybrida. Hladké semená môžu mať dva genotypy (*SS* alebo *Ss*). Krížením s recesívnym homozygotom môžeme tento genotyp určiť (upravené podľa Russella, 1998).

## Neúplná dominancia

V prípade monohybrida (ale i dihybrida, trihybrida...) keď u diploidného organizmu sú obidve alely vo svojom účinku rovnako silné, teda nemajú vzťah nadradenosti a podradenosti, vzniká kompromisný – intermediárny typ.

### Príklad:

Pri nocovke jalapovej je červená farba kvetu podmienená dominantne homozygotným génom **BB**, pričom alela **B** je neúplne dominantná nad alelou **b**, a **bb** podmieňuje bielu farbu kvetu. Heterozygotný stav má za následok ružovú farbu. Ako vyzerá rozpis kríženia po F<sub>2</sub> generáciu?







<b>P:</b>	<b>genotyp</b> <i>BB</i> x <i>bb</i>	<b>fenotyp</b> červená x biela
<b>G:</b>	<i>B</i> ; <i>b</i>	
<b>F<sub>1</sub>:</b>	<i>Bb</i>	ružová
<b>G<sub>F1</sub>:</b>	<i>Bb</i> x <i>Bb</i> <i>B, b</i> ; <i>B, b</i>	samoopelenie
<b>F<sub>2</sub>:</b>	<i>BB</i> <i>Bb</i> <i>Bb</i> <i>bb</i> 1/4 : 2/4 : 1/4	červená : ružová : biela 1/4 : 2/4 : 1/4

– genotypový aj fenotypový štiepny pomer sú rovnaké







### Príklad:

Pri hydine Andalúzskeho plemena krížením medzi čiernou sliepkou a bielym kohútom vzniká F<sub>1</sub> sivej farby označovaná ako Andalúzska modrá. Štiepny pomer (genotypový i fenotypový) v F<sub>2</sub> generácii je **1 : 2 : 1**. Ako vyzerá rozpis kríženia v oboch prípadoch?

a) kríženie medzi čiernou sliepkou a bielym kohútom

<b>P generácia</b>	<b>rodič 1</b>	<b>rodič 2</b>
<b>Rodičovské fenotypy</b>		
<b>Genotypy rodičov (2n)</b>		
<b>F<sub>1</sub> generácia</b>	<b>Gaméty druhého rodiča</b>	
<b>Gaméty prvého rodiča</b>		
<b>F<sub>1</sub> genotyp</b>	všetko <i>Bb</i>	
<b>F<sub>1</sub> fenotyp</b>	všetky sivé, neúplne dominantné	

b) vzájomné kríženie jedincov F<sub>1</sub> generácie

F <sub>1</sub> generácia	Rodič 1	rodič 2
F <sub>1</sub> fenotypy		
Genotypy F <sub>1</sub> rodičov (2n)		
F <sub>2</sub> generácia	Gaméty druhého rodiča	
Gaméty prvého rodiča		
F <sub>2</sub> genotyp	1/4 BB 1/2Bb 1/4bb	
F <sub>2</sub> fenotyp	1/4 čierne 1/2 sivé 1/4 biele	

Obr. 3.3 Neúplná dominancia pri hydine Andalúzskeho plemena. a) krížením medzi čiernou sliepkou a bielym kohútom vzniká F<sub>1</sub> sivej farby označovaná ako Andalúzska modrá. b) F<sub>2</sub> generácia štípi v pomere 1 : 2 : 1 (upravené podľa Russella, 1998).

## Dihybridné kríženie

Dihybridom nazývame kríženca, ktorého rodičia sa líšili v dvoch sledovaných znakoch, t. j. v dvoch pároch alel.

Pri dihybridnom krížení sa môžu obidva znaky dediť **dominantno – recesívne** alebo **intermediárne** (neúplná dominancia), prípadne tak, že jeden znak bude mať dedičnosť dominantno – recesívnu a druhý intermediárnu alebo naopak.

Na vysvetlenie dominantno – recesívnej dedičnosti môžeme použiť Mendelove pokusy s hrachom, kde krížil hrach so žltými (*AA*) a hladkými (*BB*) semenami s hrachom, ktorý mal semená zelené (*aa*) a zvráskavené (*bb*). Žltá farba a hladké semená hrachu sú dominantné, zelená farba a zvráskavené semená sú recesívne (obr. 3.4).

Gaméty materskej rastliny obsahujú alely *A* a *B*, otcovské gaméty *a* a *b*. Oplodnením vajíčkovej bunky *AB* spermatickou bunkou *ab* vznikne dihybridný heterozygot F<sub>1</sub> s genetickou štruktúrou *AaBb*. Vzhľadom na to, že ide o úplnú dominanciu oboch alel, bude mať celá F<sub>1</sub> generácia žlté a hladké semená, ale bude heterozygotná (lebo obsahuje aj alely pre zelenú farbu a zvráskavené semená). Pri vzájomnom oplodnení jedincov F<sub>1</sub> generácie môže dôjsť ku kombinácii medzi všetkými gamétami. Tieto kombinácie sa dajú najlepšie znázorniť v mendelistickom (Punnettovom) štvorci, ktorý má svoje zákonitosti.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{P:} & AABb & \times & aabb \\
 \text{G:} & AB & & ab \\
 \text{F}_1: & AaBb & \times & AaBb
 \end{array}$$

F<sub>2</sub>:

G F <sub>1</sub> : ♂	<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
♀				
<b>AB</b>	<i>AABB</i>	<i>AABb</i>	<i>AaBB</i>	<i>AaBb</i>
<b>Ab</b>	<i>AABb</i>	<i>AAbb</i>	<i>AaBb</i>	<i>Aabb</i>
<b>aB</b>	<i>AaBB</i>	<i>AaBb</i>	<i>aaBB</i>	<i>AaBb</i>
<b>ab</b>	<i>AaBb</i>	<i>Aabb</i>	<i>aaBb</i>	<i>aabb</i>

heterozygotné typy homozygotné typy

V tomto štvorci nad prvým horným radom vypíšeme všetky možné kombinácie otcovských gamét a vedľa prvého ľavého stĺpca kombinácie materských gamét v tom istom poradí. Z obrázku vidíme, že v prvom stĺpci a riadku dochádza ku spojeniu obidvoch dominantných alel, t. j. *AABB*. Ide o jedincov, ktorí majú obidva znaky dominantné a sú homozygotní. Podobne v poslednom štvorci sú všetky alely pre recesívnu vlastnosť (*aabb*) a vznikajú jedinci v obidvoch znakoch recesívni a homozygotní. Na uhlopriečke vedenej z ľavého horného rohu do pravého dolného rohu sú homozygotní jedinci v oboch znakoch a na uhlopriečke, ktorá vedie z pravého horného rohu do ľavého dolného rohu sú heterozygotné typy v obidvoch znakoch. Medzi vzniknutými hybridmi sa objavujú už pri tomto krížení (počnúc dihybridom a pokračujúc v polyhybridoch) aj jedinci s novými kombináciami alel ako mali rodičia. Teda vznikajú aj typy v našom príklade so semenom zeleným a hladkým alebo žltým a zvráskaveným. Na uhlopriečke homozygotov sú títo jedinci vo vnútri a nazývajú sa **kombinačné** alebo **šľachtiteľské novinky**. Vznik takýchto typov sa dá predpokladať a vypočítať.







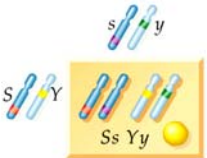
Celkove teda vzniklo v F<sub>2</sub> generácii 16 možných kombinácií v štyroch fenotypových skupinách:

- 9/16 fenotypov s obidvomi dominantnými znakmi (žltý, hladký),
- 3/16 fenotypov s prvým dominantným a druhým recesívnym znakom (žltý, zvráskavený),
- 3/16 fenotypov s prvým recesívnym a druhým dominantným znakom (zelený, hladký),
- 1/16 fenotypov s obidvomi recesívnymi znakmi (zelený, zvráskavený).



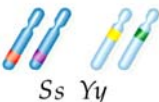


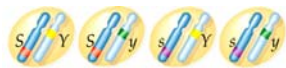




















Fenotypový štiepny pomer v F<sub>2</sub> je teda: **9 : 3 : 3 : 1**. Z uvedeného štvorca môžeme tiež zistiť zastúpenie jednotlivých genotypov. V našom príklade:

**1AABB : 2AABb : 1AAbb : 2AaBB : 4AaBb : 2Aabb : 1aaBB : 2aaBb : 1aabb.**

a)

<b>P generácia</b>	<b>rodič 1</b>	<b>rodič 2</b>
<b>Rodičovské fenotypy</b>	hladké žlté semená 	x zvráskavené zelené semená 
<b>Genotypy rodičov (2n)</b>	 SS YY	 ss yy
<b>Haploidné gaméty (n)</b>	 S Y	 s y
<b>F<sub>1</sub> generácia</b>	<b>Gaméty druhého rodiča</b>	
<b>Gaméty prvého rodiča</b>	 Ss Yy	
<b>F<sub>1</sub> genotyp</b>	<b>všetko SsYy</b>	
<b>F<sub>1</sub> fenotyp</b>	<b>všetky semená hladké žlté</b>	

b)

F <sub>1</sub> generácia		Rodič 1	x	Rodič 2	
Rodičovské fenotypy		hladké žlté semená 		hladké žlté semená 	
Genotypy F <sub>1</sub> rodičov (2n)		 Ss Yy		 Ss Yy	
Haploidné gaméty (n)					
F <sub>2</sub> generácia		Gaméty druhého rodiča			
Gaméty prvého rodiča		 $\frac{1}{4}$ SY	 $\frac{1}{4}$ Sy	 $\frac{1}{4}$ sY	 $\frac{1}{4}$ sy
		 SSYY	 SSYy	 SsYY	 SsYy
		 SSYy	 SSyy	 SsYy	 Ssyy
		 SsYY	 SsYy	 ssYY	 ssYy
F <sub>2</sub> genotyp	$\frac{1}{16} (SSYY) + \frac{2}{16} (SsYY) + \frac{2}{16} (SSYy) + \frac{4}{16} (SsYy) + \frac{1}{16} (SSyy) + \frac{2}{16} (Ssyy) + \frac{1}{16} (ssYY) + \frac{2}{16} (ssYy) + \frac{1}{16} (ssyy)$				
F <sub>2</sub> fenotyp	<b>9/16 (hladké a žlté semená)</b> <b>3/16 (hladké a zelené semená)</b> <b>3/16 (zvráskavené a žlté semená)</b> <b>1/16 (zvráskavené a zelené semená)</b>				

**Obr. 3.4** Dihybridné kríženie – princíp kombinácie. Pri tomto krížení boli využité dva znaky: tvar semena hrachu a farba semena hrachu, podmienené dvomi génmi, lokalizovanými v inom páre autozómov. a) kríženie s cieľom získať F<sub>1</sub>. b) F<sub>2</sub> generácia a štiepne pomery (genotypové, fenotypové) (upravené podľa Russella, 1998).

Využitie „vidlicovitého“ zápisu k zisteniu fenotypického štiepneho pomeru v F<sub>2</sub> generácii pri dihybridnom krížení:

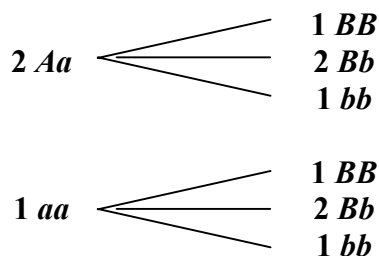
Pri krížení (F<sub>1</sub> x F<sub>1</sub>) gaméty vytvárajú 16 zygotických kombinácií, ktoré tvoria nasledujúce fenotypové skupiny:

$$\begin{array}{l}
 3A \begin{cases} \nearrow 3B \\ \searrow 1b \end{cases} = \begin{array}{l} 9AB \\ 3Ab \end{array} \\
 1a \begin{cases} \nearrow 3B \\ \searrow 1b \end{cases} = \begin{array}{l} 3aB \\ 1ab \end{array}
 \end{array}$$

Genotypový štiepny pomer dihybrida pri dominantno – recesívnej dedičnosti bude takýto:

$$1AA \begin{cases} \nearrow 1BB \\ \nearrow 2Bb \\ \searrow 1bb \end{cases}$$





V  $F_2$  vznikne 9 genotypových kombinácií v štiepnom pomere:

$$\begin{array}{cccccccccc}
 1 & : & 2 & : & 1 & : & 2 & : & 4 & : & 2 & : & 1 & : & 2 & : & 1 \\
 1AABB: & 2 AABb: & 1 AAbb: & 2 AaBB: & 4 AaBb: & 2 Aabb: & 1 aaBB: & 2 aaBb: & 1 aabb
 \end{array}$$

**Testovacie kríženie** ako mechanizmus na odlišenie homozygotných a heterozygotných jedincov môžeme využiť aj pri dihybridoch.

### Príklad:

Ako príklad testovacieho kríženia dihybrida pri dominantno – recesívnej dedičnosti použijeme jačmeň s nasledujúcim označením:

*B* – čiernozrnný jačmeň (čierne sfarbenie pliev)

*bb* – žltozrnný jačmeň (žlté sfarbenie pliev)

*D* – dvojradový klas jačmeňa

*dd* – šesťradový klas jačmeňa

$$\begin{array}{rcl}
 P: & BbDd & \times & bbdd \\
 & \text{čiernozrnný} & & \text{žltozrnný} \\
 & \text{dvojradový} & & \text{šesťradový} \\
 G_p: & BD, Bd, bD, bd & ; & bd \\
 F_1: & BbDd, Bbdd, bbDd, bbdd & & \\
 \text{fenotypový štiepny pomer} & 1 : 1 : 1 : 1 & & \begin{array}{l} \frac{1}{4} \text{ čiernozrnný dvojradový} \\ \frac{1}{4} \text{ čiernozrnný šesťradový} \\ \frac{1}{4} \text{ žltozrnný dvojradový} \\ \frac{1}{4} \text{ žltozrnný šesťradový} \end{array}
 \end{array}$$

Ak je testovaný jedinec heterozygotný v oboch génoch (*BbDd*), pri testovacom krížení získame fenotypový (i genotypový) štiepny pomer **1 : 1 : 1 : 1**.

Ako to bude v prípade dedičnosti dominantno – recesívnej v *jednom alelovom páre* a intermediárnej v *druhom alelovom páre*?

### Príklad:

*Antirrhinum majus* (papuľka väčšia) má pre červenú farbu kvetu alelu *A* a pre bielu farbu kvetu *a*. Tento alelový pár má intermediárny typ dedičnosti (neúplná dominancia). Vysoký vzrast pri tejto rastline je podmienený alelou *F* a nízky vzrast alelou *f*. Tieto alely sú voči sebe v dominantno – recesívnom vzťahu. Po krížení papuľiek červenokvetých s vysokým vzrastom s papuľkami bielokvetými a nízkym vzrastom dostaneme takéto hybridy:

$$\begin{array}{rcl}
 P: & AAFF & \times & aaff \\
 & \text{červený kvet} & & \text{biely kvet} \\
 & \text{vysoký vzrast} & & \text{nízky vzrast} \\
 G_p: & AF & & Af \\
 F_1: & & & AaFf
 \end{array}$$

teda heterozygotná v oboch alelových pároch. Fenotypovo uniformná, t. j. celá ružová a vysoká.  $F_1$  bude tvoriť štyri typy gamét a ich kombináciou ( $AaFf \times AaFf$ ) vznikne nasledujúca  $F_2$  generácia:

GF <sub>1</sub> :		<i>AF</i>	<i>Af</i>	<i>aF</i>	<i>af</i>
	<i>AF</i>	<i>AAFF</i>	<i>AAFf</i>	<i>AaFF</i>	<i>AaFf</i>
	<i>Af</i>	<i>AAFf</i>	<i>AAff</i>	<i>AaFf</i>	<i>Aaff</i>
	<i>aF</i>	<i>AaFF</i>	<i>AaFf</i>	<i>aaFF</i>	<i>aaFf</i>
	<i>af</i>	<i>AaFf</i>	<i>Aaff</i>	<i>aaFf</i>	<i>aaff</i>

V  $F_2$  nám vznikne 6 kategórií fenotypov:

- 3/16 červený kvet a vysoký vzrast (*AAF-*)
- 1/16 červený kvet a nízky vzrast (*AAff*)
- 6/16 ružový kvet a vysoký vzrast (*AaF-*)
- 2/16 ružový kvet a nízky vzrast (*Aaff*)
- 3/16 biely kvet a vysoký vzrast (*aaF-*)
- 1/16 biely kvet a nízky vzrast (*aaff*)

Z tejto analýzy vyplýva, že zo 16 možných kombinácií vzniklo 6 kategórií fenotypov v pomere: 3 : 1 : 6 : 2 : 3 : 1 a 9 skupín genotypov v pomere: 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1.

Toto je typický štiepny pomer pre intermediaritu jedného alelového páru dihybrida.

### Príklad:

Príklad testovacieho kríženia dihybrida pri intermediárnom type dedičnosti papuľky s nasledujúcim označením:

P:		<i>AaFf</i>	x	<i>aaff</i>
		ružovokvetá vysoký vzrast		bielokvetá nízky vzrast
G <sub>p</sub> :				
	♀	♂		
	<i>AF</i>	<i>af</i>		
	<i>Af</i>	<i>AaFf</i>	ružovokveté, vysoké	
	<i>aF</i>	<i>Aaff</i>	ružovokveté, nízke	
	<i>af</i>	<i>aaFf</i>	bielokveté, vysoké	
		<i>aaff</i>	bielokveté, nízke	

Teda v  $F_1$  štiepny pomer : **1 : 1 : 1 : 1**.

Ďalší príklad dihybrida si ukážeme na prípade intermediárnej dedičnosti oboch znakov:

### Príklad:

Pri jahode obyčajnej – *Fragaria vesca* – je červené zafarbenie plodu podmienené alelou *E*, bledé zafarbenie *e*. Normálny tvar kalicha podmieňuje alela *G* a listový tvar kalicha *g*. Krížením jahody s červeným zafarbením plodu a normálnym kalichom (*EEGG*) s jahodou s bledým zafarbením plodu a listovým tvarom kalicha (*eegg*) vznikne  $F_1$  generácia *EeGg*, ktorá má ružové plody a intermediárny tvar kalicha. V  $F_2$  generácii zo 16 možných kombinácií vznikne 9 fenotypových aj genotypových skupín v pomere: 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1. (Heterozygot má svoj „vlastný“ fenotyp.)

P:	<i>EEGG</i>	x	<i>eegg</i>
	červený plod normálny kalich		bledý plod listový kalich
G:	<i>EG</i>		<i>eg</i>

$F_1$ :	$EeGg$ ružový plod intermediárny kalich	x	$EeGg$ ružový plod intermediárny kalich			
$GF_1$ :	♀	♂	$EG$	$Eg$	$eG$	$eg$
	$EG$	$Eg$	$EEGG$	$EEGg$	$EeGG$	$EeGg$
	$Eg$	$eG$	$EEGg$	$EEgg$	$EeGg$	$Eegg$
	$eG$	$eg$	$EeGG$	$EeGg$	$eeGG$	$eeGg$
	$eg$		$EeGg$	$Eegg$	$eeGg$	$eegg$

1/16  $EEGG$  červený plod, normálny kalich  
 2/16  $EEGg$  červený plod, intermediárny kalich  
 1/16  $EEgg$  červený plod, listový kalich  
 2/16  $EeGG$  ružový plod, normálny kalich  
 4/16  $EeGg$  ružový plod, intermediárny kalich  
 2/16  $Eegg$  ružový plod, listový kalich  
 1/16  $eeGG$  bledý plod, normálny kalich  
 2/16  $eeGg$  bledý plod, intermediárny kalich  
 1/16  $eegg$  bledý plod, listový kalich

### Trihybridné kríženie

Trihybridné kríženie je kríženie, pri ktorom sa rodičia odlišovali v troch alelových pároch. Sledované znaky sa môžu dediť vo vzťahu dominantno – recesívnom alebo intermediárne. Tieto dva typy dedičnosti sa môžu navzájom kombinovať, pričom vzniknú 4 skupiny kombinácií:

- všetky alelové páry majú dominantno – recesívny vzťah,
- všetky alelové páry majú intermediárny charakter,
- jeden alelový pár má dominantno – recesívnu dedičnosť a zostávajúce dva intermediárnu,
- dva alelové páry majú dominantno – recesívnu dedičnosť a jeden pár má intermediárnu, dedičnosť.

Uvedieme si príklad dedičnosti, keď všetky 3 alelové páry sú v dominantno – recesívnom vzťahu.

#### Príklad:

Čierne zafarbenie kvetných pliev jačmeňa je podmienené génom **B-**, žlté **bb**. Dvojradososť v prípade jačmeňa podmieňuje gén **D-** a šesťradososť konštitúcia **dd**. Gén **N-** podmieňuje ovisnutý klas, konštitúcia **nn** vzpriamený klas.

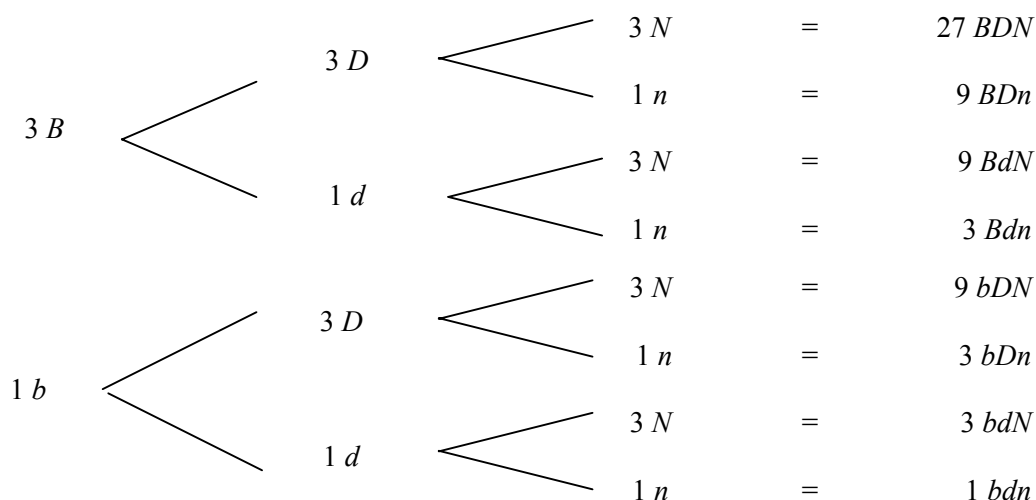
Priebeh kríženia jačmeňa so žltými plevami, dvojradosým a ovisnutým klasom s čiernoplevnatým, šesťradosým a vzpriameným klasom sa môže znázorniť takto:

<b>P</b>	$bbDDNN$ žlté plevy dvojradosý klas ovisnutý klas	x	$BBddnn$ čierne plevy šesťradosý klas vzpriamený klas
<b>G</b>	$b D N$		$B d n$
<b>F<sub>1</sub></b>	$BbDdNn$ – čierne plevy, dvojradosý ovisnutý klas		

$F_1$  je trojnásobný heterozygot, ktorý bude tvoriť 8 druhov gamét:

$B D N$	$B d N$	$b D N$	$b d N$
$B D n$	$B d n$	$b D n$	$b d n$

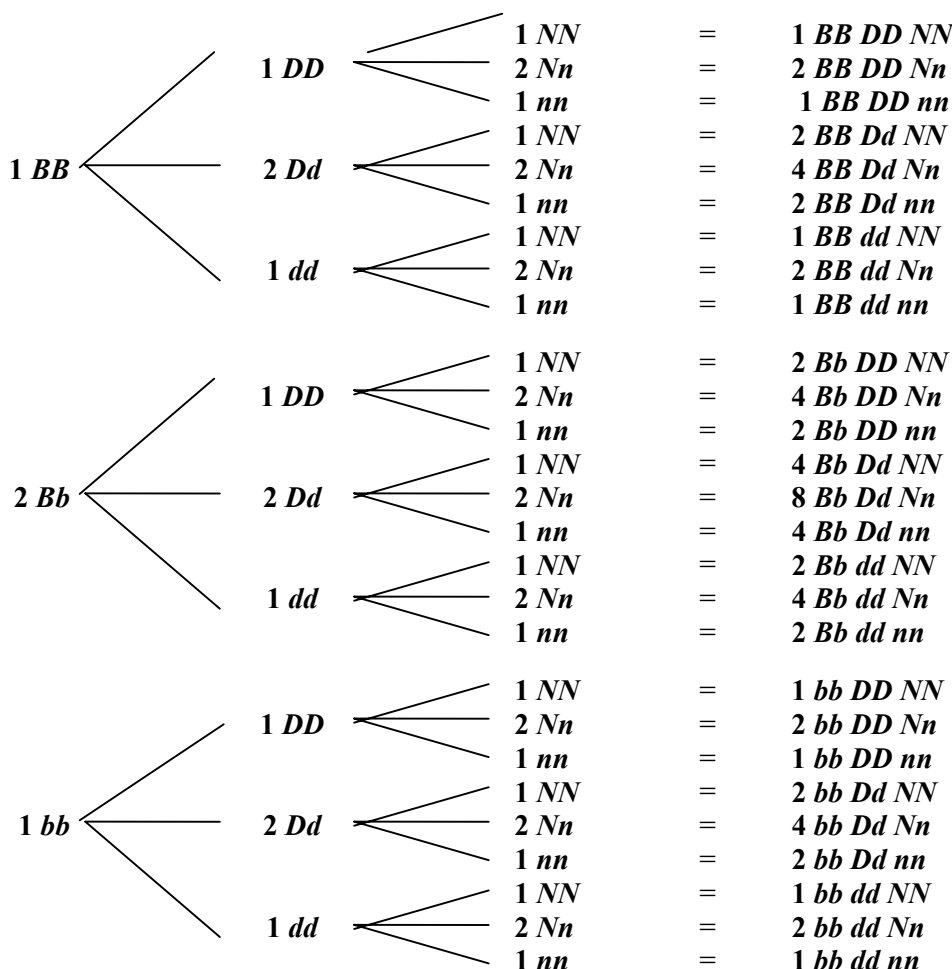
Pri krížení ( $F_1 \times F_1$ ) gaméty vytvárajú 64 zygotických kombinácií, ktoré tvoria nasledujúce **fenotypové skupiny** (vidlicový spôsob zápisu):



Pri dominantno – recesívnom vzťahu všetkých troch alelových párov vzniká v  $F_2$  **fenotypový štiepny pomer**:




























$$27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1.$$

Genotypový štiepny pomer trihybrida pri dominantno – recesívnej dedičnosti bude takýto:



V F<sub>2</sub> vznikne 27 genotypových kombinácií v štiepnom pomere:

1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 4 : 8 : 4 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1.

P generácia	rodič 1	rodič 2																								
<b>Rodičovské fenotypy</b>	hladké, žlté semená, fialová farba kvetu 	 zvráskavené, zelené semená, biela farba kvetu																								
<b>Genotypy rodičov (2n)</b>	SSYYCC	ssyycc																								
<b>F<sub>1</sub> generácia</b>	hladké, žlté semená, fialová farba kvetu SsYyCc 																									
<b>F<sub>2</sub> generácia (F<sub>1</sub> x F<sub>1</sub>)</b>	<table border="0"> <tr> <td>27/64 (S-Y-C-)</td> <td></td> <td>hladké, žlté, fialové</td> </tr> <tr> <td>9/64 (S-Y-cc)</td> <td></td> <td>hladké, žlté, biele</td> </tr> <tr> <td>9/64 (S-yyC-)</td> <td></td> <td>hladké, zelené, fialové</td> </tr> <tr> <td>3/64 (S-yycc)</td> <td></td> <td>hladké, zelené, biele</td> </tr> <tr> <td>9/64 (ssY-C-)</td> <td></td> <td>zvráskavené, žlté, fialové</td> </tr> <tr> <td>3/64 (ssY-cc)</td> <td></td> <td>zvráskavené, žlté, biele</td> </tr> <tr> <td>3/64 (ssyyC-)</td> <td></td> <td>zvráskavené, zelené, fialové</td> </tr> <tr> <td>1/64 (ssyycc)</td> <td></td> <td>zvráskavené, zelené, biele</td> </tr> </table>		27/64 (S-Y-C-)		hladké, žlté, fialové	9/64 (S-Y-cc)		hladké, žlté, biele	9/64 (S-yyC-)		hladké, zelené, fialové	3/64 (S-yycc)		hladké, zelené, biele	9/64 (ssY-C-)		zvráskavené, žlté, fialové	3/64 (ssY-cc)		zvráskavené, žlté, biele	3/64 (ssyyC-)		zvráskavené, zelené, fialové	1/64 (ssyycc)		zvráskavené, zelené, biele
27/64 (S-Y-C-)		hladké, žlté, fialové																								
9/64 (S-Y-cc)		hladké, žlté, biele																								
9/64 (S-yyC-)		hladké, zelené, fialové																								
3/64 (S-yycc)		hladké, zelené, biele																								
9/64 (ssY-C-)		zvráskavené, žlté, fialové																								
3/64 (ssY-cc)		zvráskavené, žlté, biele																								
3/64 (ssyyC-)		zvráskavené, zelené, fialové																								
1/64 (ssyycc)		zvráskavené, zelené, biele																								

**Ob. 3.5** Trihybridné kríženie. Sledované znaky: Tvar semien, farba semien, farba kvetov, podmienené tromi génmi lokalizovanými v troch rôznych pároch autozómov. Rodičia: hladké semená, žlté semená, fialové kvety x zvráskavené semená, zelené semená, biele kvety (upravené podľa Russella, 1998)

**Testovacie kríženie trihybrida** si môžeme schematicky znázorniť takto:

<b>P:</b>	<i>Aa Bb Dd</i>	x	<i>aa bb dd</i>																					
<b>Gp:</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>♂</td> <td></td> </tr> <tr> <td>♀</td> <td></td> <td><i>a b d</i></td> </tr> <tr> <td><i>A B D</i></td> <td> </td> <td><i>AaBbDd</i></td> </tr> <tr> <td><i>A B d</i></td> <td> </td> <td><i>AaBbdd</i></td> </tr> <tr> <td><i>A b D</i></td> <td> </td> <td><i>AabbDd</i></td> </tr> <tr> <td><i>A b d</i></td> <td> </td> <td><i>Aabdd</i></td> </tr> <tr> <td><i>a B D</i></td> <td> </td> <td><i>aaBbDd</i></td> </tr> </table>		♂		♀		<i>a b d</i>	<i>A B D</i>		<i>AaBbDd</i>	<i>A B d</i>		<i>AaBbdd</i>	<i>A b D</i>		<i>AabbDd</i>	<i>A b d</i>		<i>Aabdd</i>	<i>a B D</i>		<i>aaBbDd</i>		
	♂																							
♀		<i>a b d</i>																						
<i>A B D</i>		<i>AaBbDd</i>																						
<i>A B d</i>		<i>AaBbdd</i>																						
<i>A b D</i>		<i>AabbDd</i>																						
<i>A b d</i>		<i>Aabdd</i>																						
<i>a B D</i>		<i>aaBbDd</i>																						

<i>a B d</i>	<i>aaBbdd</i>
<i>a b D</i>	<i>aabbDd</i>
<i>a b d</i>	<i>aabbdd</i>

Štiepny pomer pri testovacom krížení trihybrida je:

$$1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1$$

Všeobecne štiepny pomer pri testovacom krížení si môžeme vypočítať podľa výrazu  $2^n$ , kde  $n$  udáva počet nezávislých párov alel. Tento výraz všeobecne platí ako pre dominantno – recesívnu dedičnosť, dedičnosť intermediárnu a tiež pre zmiešaný typ dedičnosti dihybrida, trihybrida i polyhybrida, t. j. keď niektorý alelový pár je vo vzťahu dominantno – recesívnom a iný alelový pár je zase v intermediárnom vzťahu.

### Polyhybridné kríženie

**Polyhybrid** je kríženec, ktorého parentálna generácia sa odlišovala vo viacerých alelových pároch. Ako sme uviedli pri monohybridizme, dihybridizme, trihybridizme – pri voľnej a nezávislej kombinácii alel pri dominantno – recesívnom vzťahu alel, vzniká základný fenotypový štiepny pomer **3 : 1** a genotypový štiepny pomer **1 : 2 : 1**. Z týchto štiepných pomerov si môžeme odvodiť štiepny pomer ľubovoľne násobného hybridu. Štiepne pomery vyplývajú z teórie pravdepodobnosti a sú odvodené od **(3 : 1)<sup>n</sup>**, respektíve **(1 : 2 : 1)<sup>n</sup>**.

**Tabuľka 3.1**

Všeobecný prehľad o štiepných pomeroch, gametických a zygotických kombináciách pre dominantno – recesívny vzťah (podľa Hrubého, 1961).

P o č e t	Vzorec	Počet sledovaných znakov (n)			
		1	2	3	4
gametických kombinácií $F_1$	$2^n$	$2^1=2$	$2^2=4$	$2^3=8$	$2^4=16$
zygotických kombinácií $F_2$	$2^{2n}$	$2^2=4$	$2^4=16$	$2^6=64$	$2^8=256$
genotypov v $F_2$	$3^n$	$3^1=3$	$3^2=9$	$3^3=27$	$3^4=81$
homozygotov v $F_2$	$2^n$	2	4	8	16
kombinačných noviniiek	$2^n-2$	0	2	6	14
heterozygotov v $F_2$	$2^{2n}-2$	2	12	56	240
fenotypových kategórií $F_2$	$2^n$	2	4	8	16
frekvencia fenotypových kategórií v $F_2 \rightarrow$ rozvinutý dvojiteln $(3+1)^n$					
$(3+1)^1$	3 : 1				
$(3+1)^2$	9 : 3 : 3 : 1				
$(3+1)^3$	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1				
$(3+1)^4$	81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1				

#### Príklady:

- Urobte úplný rozpis kríženia dvoch homozygotných foriem jačmeňa čiernoplevnatého a žltoplevnatého za predpokladu, že čierna farba je podmienená dominantnou alelou  $B$  a žltá recesívnou alelou  $b$ .
- Mendel krížil rastliny hrachu, ktorých žlté sfarbenie semien je podmienené dominantnou alelou  $D$  a zelené sfarbenie recesívnym stavom ( $dd$ ). Uvedte schému kríženia medzi homozygotne dominantnou rastlinou a homozygotne recesívnou. Vypíšte výsledky kríženia  $F_1$  a  $F_2$  generácie. Ak z celkového počtu 8003 semien v  $F_2$  získal 6002 žltých a 2001 zelených – porovnajte experimentálne a vypočítané výsledky (pozri kap. 11).
- Urobte schému kríženia a odvodte fenotypový a genotypový štiepny pomer v  $F_2$  generácii po krížení hrachu siateho, keď ako rodičovská bola použitá línia s hladkým semenom ( $EE$ ) a druhá línia so zvráskaveným semenom ( $ee$ ).
- Dedičnosť farby očí u človeka je zložitejšie geneticky podmienená, ale budeme modelovať situáciu s monogénne podmienenou dedičnosťou, keď gén pre hnedú farbu očí je dominantný voči

- génu pre modré oči. Muž s modrými očami sa ožení s hnedookou ženou, ktorej matka mala modré oči. Aká časť detí bude mať modré oči?
5. Hnedooký muž sa ožení s modrookou ženou a majú 8 detí – všetky s hnedými očami:
    - a) môžeme si byť istí, že muž je homozygot,
    - b) ak 9-te dieťa má modré oči, môže táto informácia prispieť k riešeniu otázky?
  6. Pri krížení červenokvetého hrachu ( $A-$ ) a bielokvetého ( $aa$ ) hrachu v  $F_2$  generácii z celkového počtu 1004 hybridov vyštípilo 253 bielokvetých a 751 červenokvetých rastlín. Zistite, či experimentálny štiepny pomer sa zhoduje s teoreticky očakávaným (3 : 1) (pozri kap. 11).
  7. V  $F_2$  generácii kríženia odrody tritikale odolnej k hrdzi trávnej (rasa 21) s odrodou náchylnou vyštípilo v poľnom pokuse 240 rastlín odolných a 78 rastlín náchylných. Aký je predpokladaný štiepny pomer odolnosti tritikale k hrdzi trávnej a aká je jeho zhoda so zisteným štiepnym pomerom?
  8. Po krížení odrody fazule s elipsovým prierezom strukov s odrodou, ktorá mala kruhový prierez strukov vyštípilo v  $F_2$  generácii 620 rastlín s eliptickým a 201 rastlín s kruhovitým prierezom strukov. Aká je zhoda experimentálneho a teoretického štiepneho pomeru?
  9. Krížením odrôd hrachu líšiacich sa tvarom listov, sa v  $F_2$  generácii zistilo 204 rastlín s úzkymi listami a 618 rastlín so širokými listami. Aká je dedičnosť tvaru listov hrachu? Na konštrukciu schémy kríženia si zvolte ľubovoľné symboly!
  10. Pri istom druhu paradajok sa získalo v  $F_2$  generácii 1814 plodov červených a 583 žltých. Očakávaný štiepny pomer bol 3 : 1. Zistite, či sú odchýlky medzi experimentálnymi a očakávanými výsledkami!
  11. Po krížení hrachu červenokvetého s bielokvetým bola  $F_1$  generácia červenokvetá a v  $F_2$  generácii sa zistilo 315 červenokvetých rastlín a 102 bielokvetých rastlín. Pri spätnom krížení červenokvetých rastlín  $F_1$  generácie s bielokvetými rastlinami vyštípilo v  $B_1$  generácii 220 červenokvetých a 209 bielokvetých jedincov. Aká je zhoda experimentálneho a teoretického štiepneho pomeru?
  12. Napíšte typ kríženia, ak výsledky v  $B_1$  generácii boli 58 červenokvetých rastlín a 52 bielokvetých. Zhodu overte  $\chi^2$  testom. Na schému kríženia použite ľubovoľné symboly!
  13. Po opelení rastlín hrachu siateho s červenými kvetmi peľom z rastlín, ktoré mali kvety biele, boli rastliny v ďalšej generácii červenokveté. Samoopelením týchto rastlín vyštípili v nasledujúcej generácii 2 fenotypové kategórie rastlín vo farbe kvetu – červenokveté (305) a bielokveté (96). Červenokveté rastliny boli ďalej opelené peľom z rastlín bielokvetých. V nasledujúcej generácii mali rastliny farbu kvetov červenú (205) a bielu (208). Navrhňte schému opísaných krížení a štiepne pomery overte  $\chi^2$  testom!
  14. Uveďte schému kríženia použitím ľubovoľných symbolov, ak v  $F_2$  generácii boli zastúpené dve fenotypové kategórie v pomere 58 : 54. Zhodu overte  $\chi^2$  testom!
  15. Pri istom druhu paradajok bolo získaných v  $F_2$  generácii 3629 rastlín s červenými plodmi a 1175 so žltými. Očakávaný štiepny pomer bol 3 : 1. Zistite:
    - a) sú odchýlky medzi experimentálnymi a očakávanými výsledkami preukazné?
    - b) overte  $\chi^2$  testom výsledok testovacieho kríženia, ktorý bol pri fenotypovom štiepnom pomere 569 : 571!
  16. Urobte schému kríženia: rastlina pšenice so širokou listovou čepeľou ( $B-$ ) bola krížená s rastlinou, ktorá mala úzku listovú čepeľ ( $bb$ ).  $F_1$  generácia mala listy široké. Po samoopelení sa v  $F_2$  generácii zistilo 920 rastlín so širokou listovou čepeľou a 309 s úzkou. Spätným krížením rastlín  $F_1$  generácie vyštípilo v  $B_1$  650 rastlín so širokými listovými čepeľami a 639 s úzkymi.
  17. Ako môžeme zistiť, či čiernosrstá samica králika je v tomto znaku homozygotná alebo heterozygotná? Rozpíšte schému kríženia!
  18. Matka má krvnú skupinu 0 a dieťa krvnú skupinu A. Pri kodominantnom mechanizme dedičnosti určite krvnú skupinu možného otca! Urobte genetický zápis!
  19. S akou pravdepodobnosťou môžu mať rodičia s krvnou skupinou A dieťa s krvnou skupinou 0? Urobte genetický zápis!
  20. Krížením rastlín pšenice ozimnej s riedkym klasom a hustým klasom vznikli v potomstve rastliny s riedkym klasom. Opakovaným krížením týchto rastlín (s riedkym klasom) s rastlinami, ktoré

mali hustý klas vyštípilo potomstvo s hustým klasom (163 rastlín) a riedkym klasom (170). Urobte schému kríženia a určte, aká je dedičnosť hustoty klasu ozimnej pšenice!

21. Pri krížení červenokvetej a bielokvetej nocovky jalapovej bola v  $F_2$  generácii zistená nasledujúca frekvencia fenotypov:

666 rastlín červenokvetých  
1369 rastlín ružovokvetých  
683 rastlín bielokvetých.

Napište ľubovoľnou symbolikou genotypy k uvedeným fenotypom, schému kríženia a  $\chi^2$  testom overte preukaznosť experimentálnych štiepných pomerov!

22. Červená farba hovädzieho dobytká je podmienená génom  $R$ , ktorý nie je úplne dominantný nad svojou alelou  $r$  (biela farba). Pri heterozygotnej kombinácii  $Rr$  vzniká dobytok strakatý.

a) aká je pravdepodobnosť, že z každého nasledujúceho kríženia budú teľatá strakaté?

1. biely x strakatý
2. červený x strakatý
3. strakatý x strakatý

b) aká je pravdepodobnosť, že teľatá z týchto krížení budú biele?

23. Pri rastlinách rodu púpavcovitých vzniká vzájomným krížením rastlín so širokými listami potomstvo so širokými listami, krížením rastlín s úzkymi listami, len rastliny s úzkymi listami.

Z kríženia úzkolistej a širokolistej formy vzniká potomstvo, ktoré má stredne široké listy.

Ako bude vyzerat' potomstvo dvoch rastlín so stredne širokými listami? Aké rastliny získame, keď krížime rastlinu s úzkymi listami s rastlinou, ktorá má široké listy? Urobte schémy!

24. U *Antirrhinum majus* (papuľka väčšia) pri krížení červenokvetej línie s bielokvetou sa získal nasledujúci štiepný pomer:

97 rastlín s červenými kvetmi  
200 rastlín s ružovými kvetmi  
89 rastlín s bielymi kvetmi

Vysvetlite výsledok kríženia a správnosť overte  $\chi^2$  testom!

25. Rastliny bôbu so strednou opadavosťou listov sa získali krížením rastlín, ktoré mali vysokú opadavosť s rastlinami vyznačujúcimi sa nízkou opadavosťou listov. Krížením rastlín so strednou opadavosťou listov medzi sebou sa v potomstve získalo 138 rastlín s vysokou opadavosťou listov, 260 so strednou opadavosťou a 129 rastlín s nízkou opadavosťou. Aká je dedičnosť opadavosti listov bôbu?

Urobte schému a experimentálne výsledky overte  $\chi^2$  testom!

26. Zelená farba semien bôbu ( $A$ -) je dominantná nad žltou farbou semien ( $aa$ ). Na základe výsledkov kríženia napíšte pravdepodobný genotyp rodičov:

fenotyp rodičov	štiepný pomer	genotyp rodičov?
zelená x žltá	81 : 82	
zelená x zelená	118 : 39	
zelená x žltá	74 : 0	
zelená x zelená	90 : 0	

27. Červená farba plodu rajčiaka dominuje nad žltou farbou ( $A - a$ ). Zakrpatenosť (nízky vzrast) je recesívna oproti normálnemu vzrastu rastlín ( $B - b$ ). Aký fenotyp budú mať hybridné rajčiaky získané krížením červenoplodých rastlín normálneho vzrastu so žltoplodými zakrpatenými rastlinami? Aký bude výsledok, keď urobíme kríženie týchto rastlín navzájom ( $F_1 \times F_1$ )? Pri riešení tejto úlohy predpokladáme, že obidve východiskové formy sú homozygotné a gény, zodpovedajúce za dedičnosť týchto znakov sa nachádzajú v rôznych chromozómoch.

28. Predpokladá sa, že hnedá farba očí dominuje nad modrou ( $H - h$ ) a praváctvo nad ľaváctvom ( $P - p$ ). Modrooký pravák sa ožení s hnedookou praváčkou. Majú dve deti. Jedno je hnedooký ľavák, druhé modrooký pravák. V druhom manželstve si tento muž zoberie ženu, ktorá bola tiež hnedooká praváčka. Má s ňou 9 detí – všetko praváci s hnedými očami. Napíšte pravdepodobné genotypy muža a oboch žien!



29. U človeka gén pre schopnosť cítiť fenylytkarbamid (PTC) je dominantný ( $A-$ ) voči génu pre neschopnosť cítiť PTC ( $aa$ ). Gén pre hnedé oči je dominantný ( $H-$ ) voči génu pre modré oči ( $hh$ ). V akom pomere bude potomstvo dvoch rodičov s genotypom  $AaHh$  vyštepovať potomkov cítiacich modrookých a necítiacich modrookých?
30. U človeka gén pre schopnosť cítiť fenylytkarbamid (PTC) je dominantný ( $A-$ ) voči génu pre neschopnosť cítiť PTC ( $aa$ ). Gén pre hnedé oči je dominantný ( $H-$ ) voči génu pre modré oči ( $hh$ ). Aké potomstvo môžeme očakávať pri rodičoch genotypu  $AaHh \times aahh$ ?
31. Šedý zákal očí je u človeka podmienený dominantným génom ( $Z-$ ) a albinizmus recesívnym ( $aa$ ). Gény sú lokalizované v rôznych chromozómoch. Z manželstva normálne pigmentovanej matky a otca so šedým zákalom sa narodila albinotická dcéra. Na základe schémy napíšte pravdepodobný genotyp rodičov!
32. V prípade drozofily sa získal pri krížení mušiek normálneho fenotypu (šedá farba tela, krídla rovné presahujúce dĺžku tela) s muškami ebony – tmavá farba tela ( $ee$ , III. chromozóm) vestigial – zakrpatené krídla ( $vvg$ , II. chromozóm) v  $F_2$  generácii nasledujúci pomer fenotypov:
- 105 mušiek normálneho fenotypu v oboch znakoch  
 39 *ebony* (tmavá farba tela)  
 42 *vestigial* (zakrpatené krídla)  
 17 *ebony vestigial* (tmavá farba tela a zakrpatené krídla)
- V experimente získaný štiepny pomer vyhodnoďte  $\chi^2$  testom!
33. V  $F_2$  generácii pri krížení bol získaný nasledujúci pomer fenotypov: 1068 : 367 : 354 : 125. Overte  $\chi^2$  testom, s akou pravdepodobnosťou zodpovedá tento štiepny pomer očakávanému 9 : 3 : 3 : 1!
34. U potkanov tmavé sfarbenie srsti závisí od dominantného génu ( $B-$ ), hnedé sfarbenie podmieňuje recesívny stav. Normálna dĺžka srsti je determinovaná dominantnou alelou  $R$ , krátka recesívnym stavom. Urobte schému a uveďte výsledky kríženia medzi homozygotne čiernym jedincom s normálnou dĺžkou srsti a homozygotne hnedým jedincom s krátkou srst'ou po  $F_2$  generáciu!
35. Pri krížení rastlín fazule záhradnej, ktoré sa líšili vo farbe struku a vo farbe semena, vyštiepilo v  $F_2$  generácii:
- 584 rastlín so žltou farbou struku a čiernym semenom,  
 192 rastlín so zelenou farbou struku a čiernym semenom,  
 186 rastlín so žltou farbou struku a bielym semenom a  
 63 rastlín so zelenou farbou struku a bielym semenom.
- Na označenie alel použite ľubovoľnú symboliku. Aká je dedičnosť farby semena a farby struku fazule záhradnej? Aký genotyp a fenotyp mali rodičia? Urobte schému kríženia! Výsledky kríženia overte  $\chi^2$  testom!
36. Pri testovacom krížení dihybrida bola zistená nasledujúca experimentálna frekvencia fenotypov: 210 : 208 : 199 : 209 z celkového počtu 826 potomkov  $B_1$  generácie. Aký je teoreticky očakávaný štiepny pomer? Pomocou  $\chi^2$  testu overte zhodnosť experimentálne zisteného s teoretickým očakávaným štiepnym pomerom!
37. Pri papuľke väčšej (*Antirrhinum majus*) červené sfarbenie kvetu je podmienené dominantnou alelou  $R$ , biele sfarbenie recesívnym stavom ( $rr$ ). Škl'abivý, teda normálny tvar kalicha je podmienený dominantnou alelou  $N$ , svietnikovitý recesívne homozygotným stavom. Krížením genotypu  $RRNN$  s genotypom  $rrnn$  vznikne  $F_1$  generácia, ktorá má kalich ružovo sfarbený a škl'abivý. Aký je mechanizmus dedičnosti v uvedenom prípade? V  $F_2$  generácii zistíte fenotypový a genotypový štiepny pomer. Označte kombinačné novinky!
38. U hovädzieho dobytká je bezrohosť dominantná ( $A-$ ) nad rohatosťou ( $aa$ ) a strakatosť je podmienená heterozygotným stavom ( $Bb$ ) génu pre červenú a bielu farbu. V akom pomere bude potomstvo strakateho heterozygotne bezrohého býka a strakatej rohatej kravy vyštepovať strakatých a rohatých jedincov?
39. Red'kev siata má guľatý tvar koreňa ( $GG$ ) neúplne dominantný nad mrkvovitým ( $gg$ ). Intermediárny je repovitý tvar koreňa. Tmavočervená farba je podmienená dominantným génom v homozygotnom stave ( $RR$ ), biela recesívnou konštitúciou ( $rr$ ). Svetločervená farba koreňa je dôsledkom heterozygotného stavu. Urobte rozpis schémy dihybridného kríženia, keď materská

- forma bude mať okrúhly tvar a tmavočervenú farbu koreňa a otcovská mrkvovitý tvar a bielu farbu po  $F_2$  generáciu! Odvodte genotypový a fenotypový štiepny pomer!
40. U *Antirrhinum majus* (papuľka väčšia) bola krížená červenokvetá línia s okrúhlymi semenami ( $AABB$ ) s bielokvetou a hranatými semenami ( $aabb$ ). Urobte analýzu štiepneho procesu po  $F_2$  generáciu:
- pri úplnej dominancii oboch génov,
  - pri neúplnej dominancii oboch génov.
- Použite ľubovoľnú symboliku a pri neúplnej dominancii označenie intermediárny fenotyp!
41. Urobte schémy kríženia červenokvetej línie (modelovej rastliny) s okrúhlymi semenami a bielokvetej s hranatými semenami do  $F_2$  generácie a odvodte štiepne pomery pri:
- úplnej dominancii oboch génov,
  - neúplnej dominancii jedného génu,
  - neúplnej dominancii oboch génov.
- Použite ľubovoľnú symboliku, pričom intermediárna farba je ružová a intermediárny tvar semien je zvráskavený.
42. Tri gény sú v rôznych chromozómoch. Aká je pravdepodobnosť vzniku zygoty s genotypom  $AaBBcC$  z kríženia jedincov  $AaBbCc$  x  $AaBbCc$ ?
43. Ak skrižíte dvoch jedincov s rovnakým genotypom  $BbDdEe$ , v akom pomere budú v potomstve vyštepovať genotypy  $bbddee$ ?
44. Môže sa v potomstve kríženia  $AaBbddEeff$  x  $AabbDdEEff$  vyskytnúť jedinec homozygotne recesívny vo všetkých alelových pároch? S akou pravdepodobnosťou? Ak nie, prečo?
45. Koľko rôznych typov gamét tvoria jedinci uvedených genotypov?
- DdRRBbnn
  - NNRrKkBbffSs
  - NNDdvvJJ
  - DdrrKkUUNnYy
46. Určte pravdepodobnosť vzniku potomka daného genotypu v uvedených kríženiach:
- | Genotypy rodičov:                | Genotypy potomstva:                             |
|----------------------------------|---|
| 1. $Aa Bb Dd rr$ x $aa Bb Dd Rr$ | $aa Bb DD Rr$<br>$Aa BB Dd rr$<br>$Aa bb dd Rr$ |
| 2. $AA Bb Dd rr$ x $Aa bb Dd Rr$ | $Aa bb DD Rr$<br>$AA Bb dd RR$<br>$Aa bb Dd Rr$ |
| 3. $Aa BB Dd Rr$ x $Aa Bb Dd Rr$ | $AA Bb DD RR$<br>$AA BB DD rr$<br>$aa BB DD Rr$ |
47. Červená farba kvetov hrachu siateho je podmienená alelou  $A$ , biela farba recesívnym stavom  $aa$ , žltá farba semien alelou  $B$ , zelená farba  $bb$ , guľatý tvar semien alelou  $D$ , hranaté semená  $dd$ . Všetky tri alelové páry sú v dominantno – recesívnom vzťahu. Odvodte fenotypový štiepny pomer v  $F_2$  generácii, keď východiskoví rodičia boli z homozygotných línií fenotypu červenokvetá so žltosfarbenými guľatými semenami a bielokvetá so zelenosfarbenými hranatými semenami!
48. Koľko typov gamét tvorí diploidný jedinec genotypu  $AABbCCDdEe$  a s akou frekvenciou vznikajú gaméty so všetkými dominantnými alelami?
49. Koľko typov gamét tvorí diploidný jedinec genotypu  $AabbCcDdEe$  a s akou frekvenciou vznikajú gaméty so všetkými recesívnymi alelami?
50. Uveďte aká časť potomstva kríženia  $AaBbDdEeFf$  x  $AaBbDdEeFf$  bude:
- homozygotná vo všetkých alelových pároch,
  - heterozygotná vo všetkých alelových pároch.
51. Predpokladajme genotyp s tromi alelovými prami ( $AaBbCc$ ), z ktorých každý determinuje iný znak. Pri všetkých troch alelových pároch veľké písmeno označuje dominantnú formu znaku, malé písmeno recesívnu formu znaku. Medzi uvedenými alelovými párami je voľná kombinovateľnosť. Určte pravdepodobnosť vzniku:

- a)  $AaBbCcDdEe$  zygoty z kríženia jedincov  $AaBBCcddEe$  x  $AabbCcDDEe$ ,  
 b)  $AaBBcc$  zygoty z kríženia jedincov  $aaBBcc$  x  $AAbbCC$ ,  
 c)  $ABCD$  fenotypu z kríženia jedincov  $AaBbCCDD$  x  $AaBbccdd$ .
52. U psov je tmavá a svetlá sršť determinovaná jedným alelovým párom a krátka a dlhá sršť druhým párom alel, ktoré sa voľne kombinujú. Napíšte genotypy rodičov nižšie uvedených krížení a určte, ktoré alely sú v jednotlivých alelových pároch dominantné.  
 T = tmavá sršť, S = svetlá sršť, D = dlhá sršť, K = krátka sršť

Rodičovské fenotypy:	Potomstvo:			
	T, K	T, D	S, K	S, D
T, K x T, K	89	31	29	11
T, K x T, D	18	19	0	0
T, K x S, K	20	0	21	0
S, K x S, K	0	0	28	9
T, D x T, D	0	32	0	10
T, K x T, D	30	31	9	11