

# Heteroze

---

jev, kdy v F1 po křížení geneticky rozdílných genotypů lze pozorovat zvětšení a mohutnost orgánů, zvýšení výnosu, životnosti, ranosti, odolnosti ve srovnání s lepším rodičem = heterózní efekt

**Charakter F1:**

**F1 překoná lepšího rodiče – heteroze**

**F1 se rovná lepšímu rodiči – dominance lepšího rodiče**

**F1 se rovná průměru obou rodičů – intermediální dědičnost**

# Podstata heteroze klasická genetika

---

## **Hypotéza dominance a epistáze**

Introdukce dominantních alel (komplementace, akumulace, potlačení původní nežádoucí recesivní alely)

Interakce dominantních alel nealelních genů

1908 Davenport, 1910 Bruce, 1917 Jones

**P1** *AA BB CC DD ee ff gg hh* x **P2** *aa bb cc dd EE FF GG HH*

**F1** *Aa Bb Cc Dd Ee Ff Gg Hh*

## **Hypotéza superdominance** (1945 Hull)

Komplementární interakce různých alel jednoho lokusu u

Hybrida (heterozygotnost je výhodnější než homozygotnost)

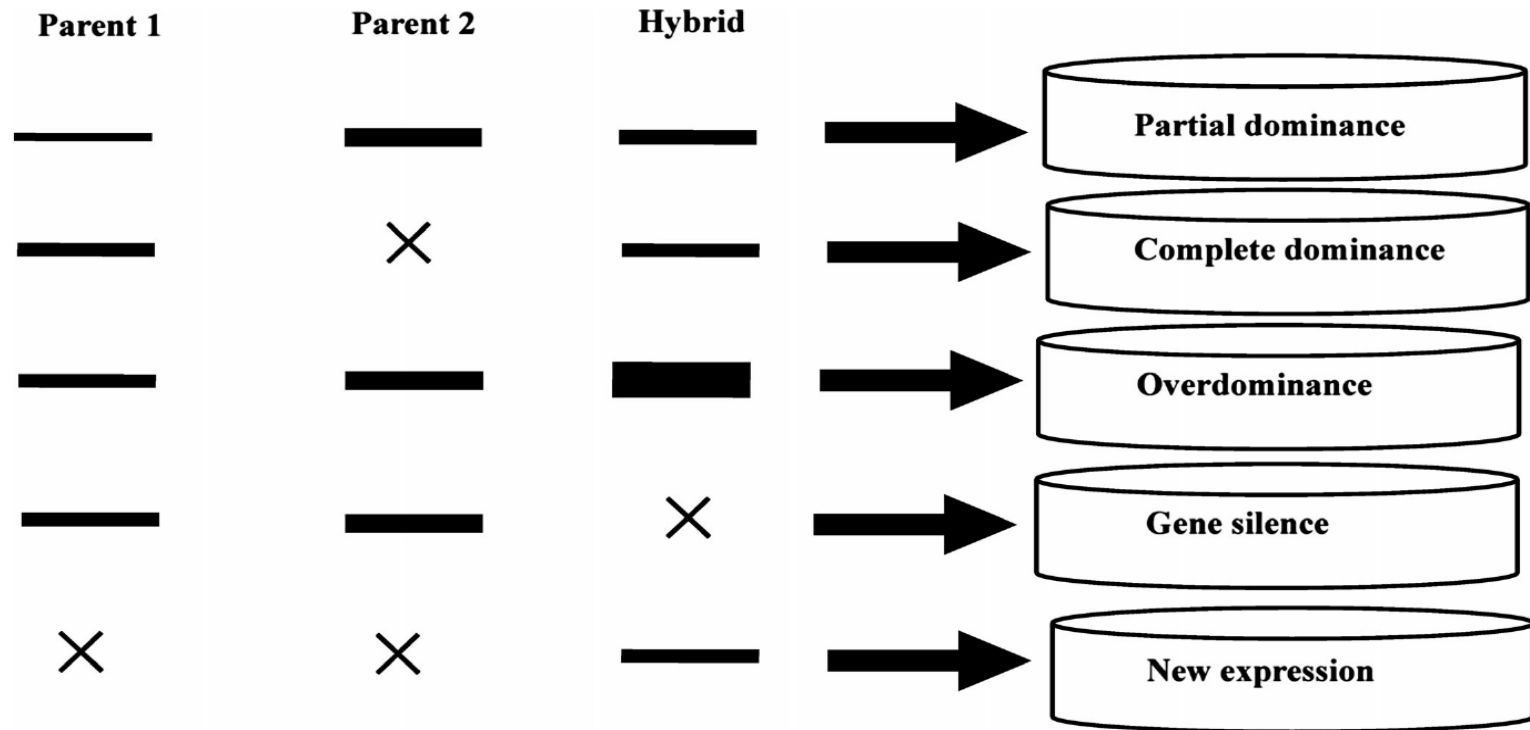
# **Molekulární a buněčné aspekty** heteroze

---

- **Interakce mezi jadernou DNA rodičů, interakce jádro - cytoplazma**
- **Interakce jádro cytoplazma**
- **Změny v nekódujících oblastech – repetice, chromatin**
- **Změny v expresi genů**
- **Epigenetické modifikace**
- **Metody studia: DNA markery, genetické mapování QTL, RNA-Seq**

# Genová exprese při heterozii

## Typy interakcí transkripční regulace



**Interakce alel rodičovských genomů má za důsledek změnu v naprogramování genů, což vede ke zlepšení řady vlastností**

X Žádná exprese genu

Síla čáry představuje intenzitu genové exprese

# Transkripční regulace genů u plodin

---

- **Kukuřice** – superdom. u 50% expr. genů pro výšku rostliny, 26% neúplná dom., 12,6% úplná dom., 10,2% aditivní účinek
- 42-55% genů se různě exprimuje u rodičů a hybridů F1 (B73 x Mo17)
- Aditivní alely jsou pozitivně korelovány s heterozí ve výnosu
- Geny se stejnou expresí u rodičů a hybrida F1 jsou negativně korelovány s heterozí ve výnosu

**Odlišná regulace alel hraje důležitou roli v heterozí ve výnosu**

- 
- **Rýže** – studium vztahů mezi fenotypem a transkriptomem, RNA-Seq
  - U hybrida - 2/3 transkriptů je specificky spojeno s odnožováním a začátkem kvetení
  - Rozdíly v expresi mezi rodiči a hybridy F1
  - **Řepka olejná** - specifické interakce mezi homeologickými geny
  - Výhoda duplikace genů - polyploidie, komplementace genů v F1 (např. kódují různé podjednotky proteinů), různá genová dávka

# Význam nekódujících oblastí genomu

---

- **Repetice**
- Aktivita **transpozonů**, **retrotranspozonů**, začlenění do kódujících a regulačních sekvencí. Především u polyploidů.
- **Malé RNA** miRNA, siRNA pocházející z nekód. sekv. – transpozonů, tandemových repeticí, 5'UTR, intronů-

Působí proti genovému šoku u hybridů

**Kukuřice** - 22 a 24 nt siRNA z transpozonů, odlišná akumulace u rodičů a hybridů F1

# Epigenetická regulace u hybrida

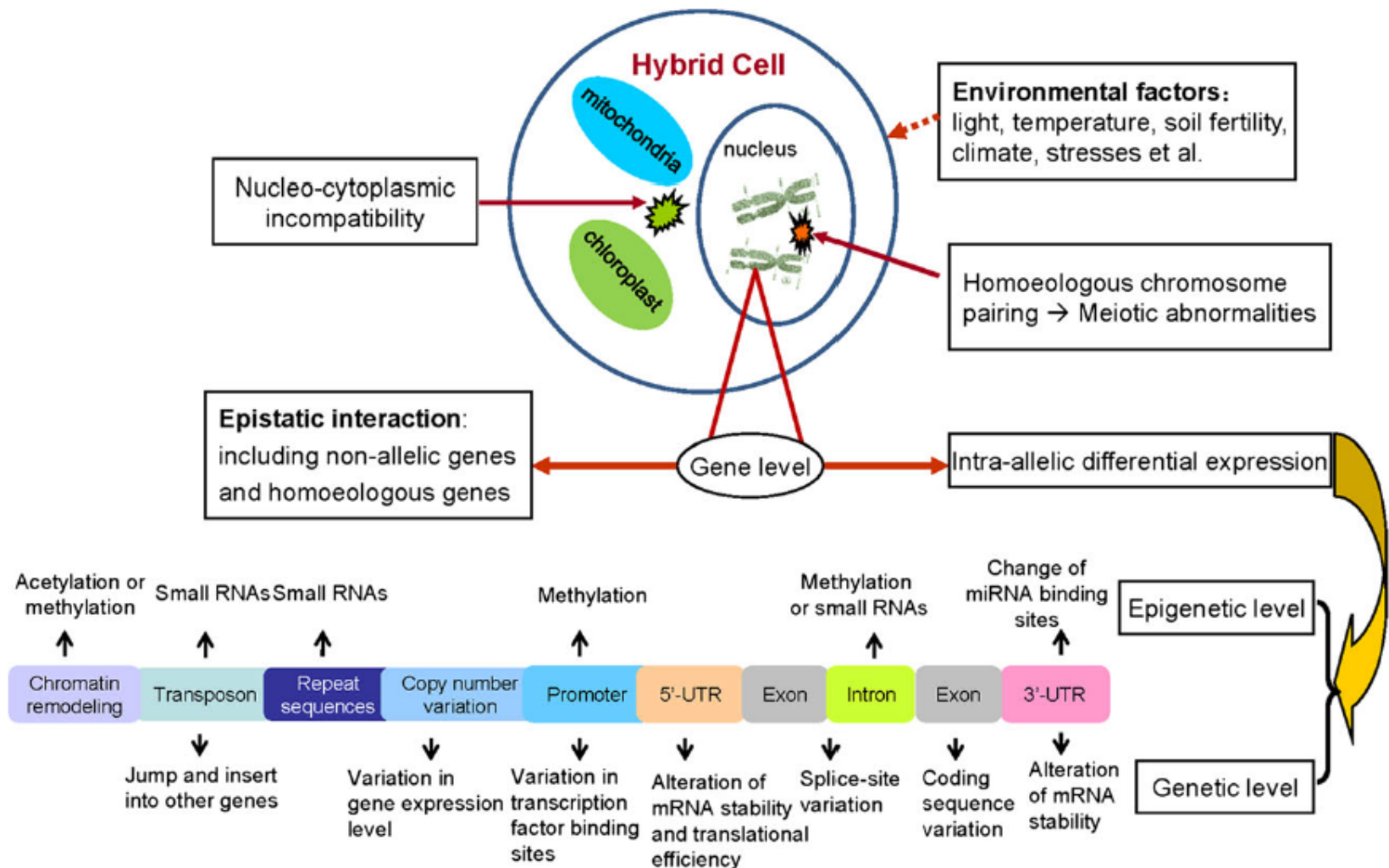
---

- Změny v metylaci DNA určitých lokusů rodiče vs. hybrid F1. suprimuje transkripci regulačních faktorů podílejících se na inbrední depresi (**rajče**).
- Acetylace histonů
- Modifikace struktury chromatinu
- Změny v expresi genů pro malé RNA

Model *Arabidopsis* – epigenet modifikace genu pro cirkadiální rytmy *CCA1*, *Late elongated hypocotyl LHY* – reguluje zdatnost hybridů F1, zvyšuje biomasu



# Genetické a negenetické faktory ovlivňující heterozi



# Inbríding

---

**Vzájemné opylování blízce příbuzných jedinců až po vynucené samosprášení téže rostliny**

**= selfování**

# Důsledky inbrídingu

---

1. deprese - snížení růstu, snížení vitality, defektu v chlorofylu
2. zvýšení homozygotnosti
3. objevování se genotypů s recesivními vlastnostmi
4. fixace genů, které řídí znaky s nízkou heritabilitou

Generace – I0, I1, I2, ... I6 ... homozygotní,  
geneticky vyrovnané linie

# Stupeň homozygotnosti

---

- ≈ počtu heterozygotních alelových párů a na celkovém počtu samosprašovaných generací
- ≈ prostředek dosažení **heteroze** (heterózní šlechtění)

**Inbriding zvyšuje celkovou genetickou proměnlivost:**

**utajená ve formě recesivních alel lokusů**

- **Druhy citlivé: kukuřice, zvláště žito, vojtěška, řepa**
- **Druhy méně citlivé: okurky, melouny, slunečnice**

# Využití heteroze

---

**Kukuřice, pšenice, ječmen, oves, rýže,  
cukrová řepa,  
vojtěška, rajče, okurek, paprika, špenát,  
květák, mrkev,  
slunečnice, begonie, aksamitník**

**Praktická aplikace heteroze  
a kombinační schopnost**

# Kombinační schopnost

---

- ***Obecná kombinační schopnost*** je průměrná hodnota heteroze všech hybridních potomstev určité linie
- ***Specifická kombinační schopnost*** je odchylka od průměrné hodnoty kombinační schopnosti určité kombinace linií

Linie A, B, C, D jsou kříženy s linií T (tester)

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>průměr</b>
<b>T</b>	11	11	16	10	12

Dialelní křížení

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>průměr</b>
<b>A</b>	-	13	20	11	14,6
<b>B</b>	11	-	16	10	12,3
<b>C</b>	11	11	-	8	10
<b>D</b>	10	9	10	-	9,6
<b>Průměr</b>	10,6	11	16,3	10	

# Fixace heterózního efektu

---

- **vegetativní rozmnožování**
- **apomikticky se množící druhy**



# Využití heteroze u autogamních a alogamních plodin

---

## **Autogamní druhy**

- **Meziodrůdová hybridizace**

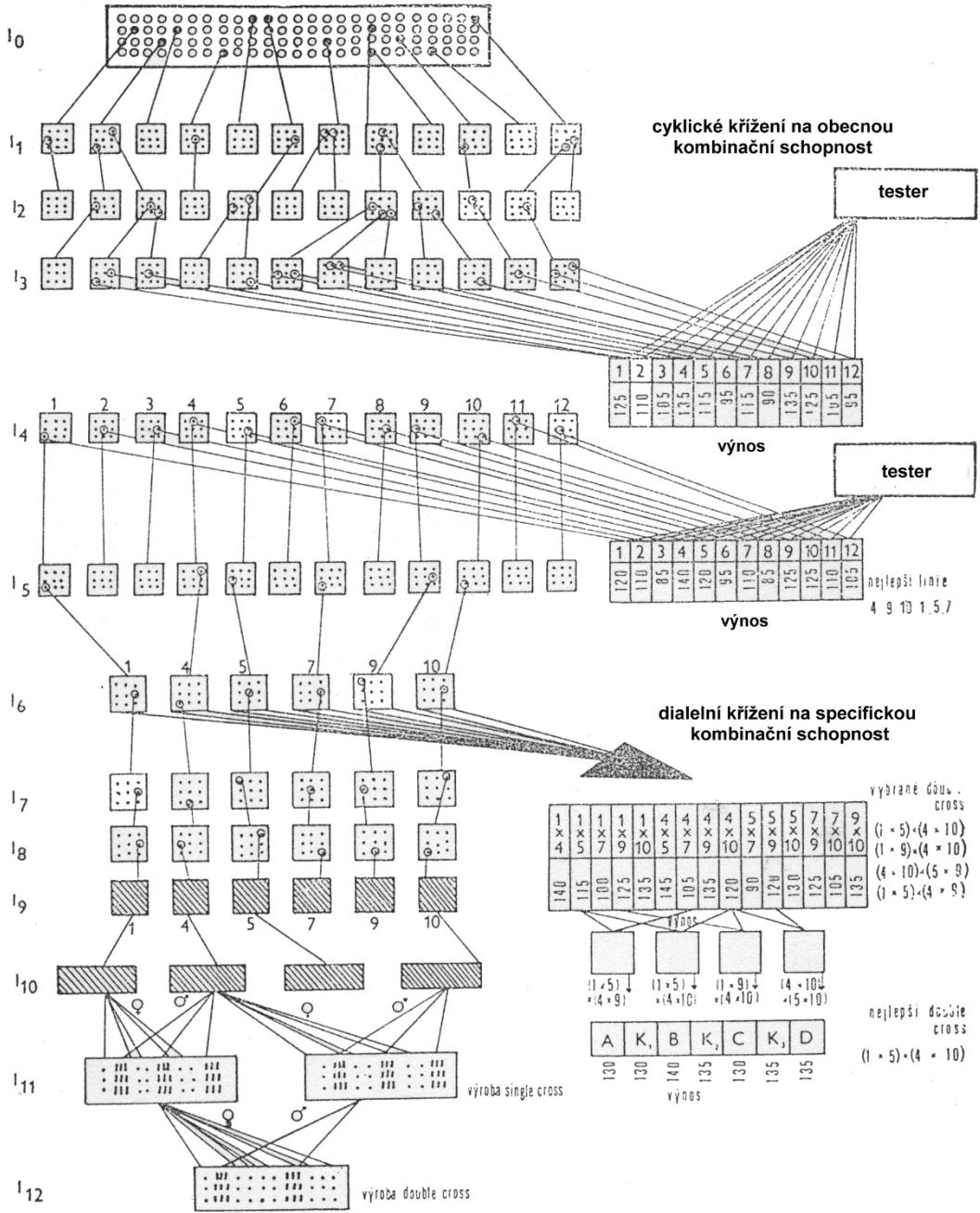
## **Alogamní druhy**

**výběr rostlin, linií, odrůd s nejlepší kombinací schopností**

- **Meziodrůdová hybridizace**
- **Meziliniová hybridizace**
- **Syntetické populace**

# Tvorba čtyřliniových hybridů u kukuřice

generace



# Fenotypová heteroze hybridů kukuřice



Mo17

F<sub>1</sub>

B73



**Table 1.** Phenotypes and heterosis in B73 relative to Mo17

Trait	B73	Mo17	Hybrid	Heterosis per se <sup>a</sup>	% heterosis <sup>a</sup>
Yield (mg/ha) <sup>b</sup>	6.32	4.06	10.41	4.1	64.7%
Seed number <sup>c</sup>	430	271	628	198.0	46.0%
Seed weight (g/ear) <sup>d</sup>	115	98	232	117.0	101.7%
Height (cm) <sup>d</sup>	173.3	169	211.1	37.8	21.8%
Total nodes <sup>d</sup>	14.6	13.3	15.1	0.5	3.4%
Ear node <sup>d</sup>	8.9	8.4	9.2	0.3	3.4%
Leaf length (cm) <sup>d</sup>	75.3	62.7	87	11.7	15.5%
Leaf width (mm) <sup>d</sup>	90.1	84.2	106.4	16.3	18.1%
Days to first silk <sup>d</sup>	70.1	77.1	68.05	2.1	2.9%
Days to first anther <sup>d</sup>	68.9	71.1	65.95	3.0	4.3%
Tassel branches <sup>d</sup>	9.3	6.9	9.75	0.4	4.8%
Ear length (cm) <sup>d</sup>	12.7	14.3	21.2	6.9	48.3%
11-d seedling height (cm) <sup>c</sup>	32.4	27.3	41	8.6	26.5%
11-d seedling biomass (g) <sup>c</sup>	0.42	0.32	0.71	0.3	69.0%

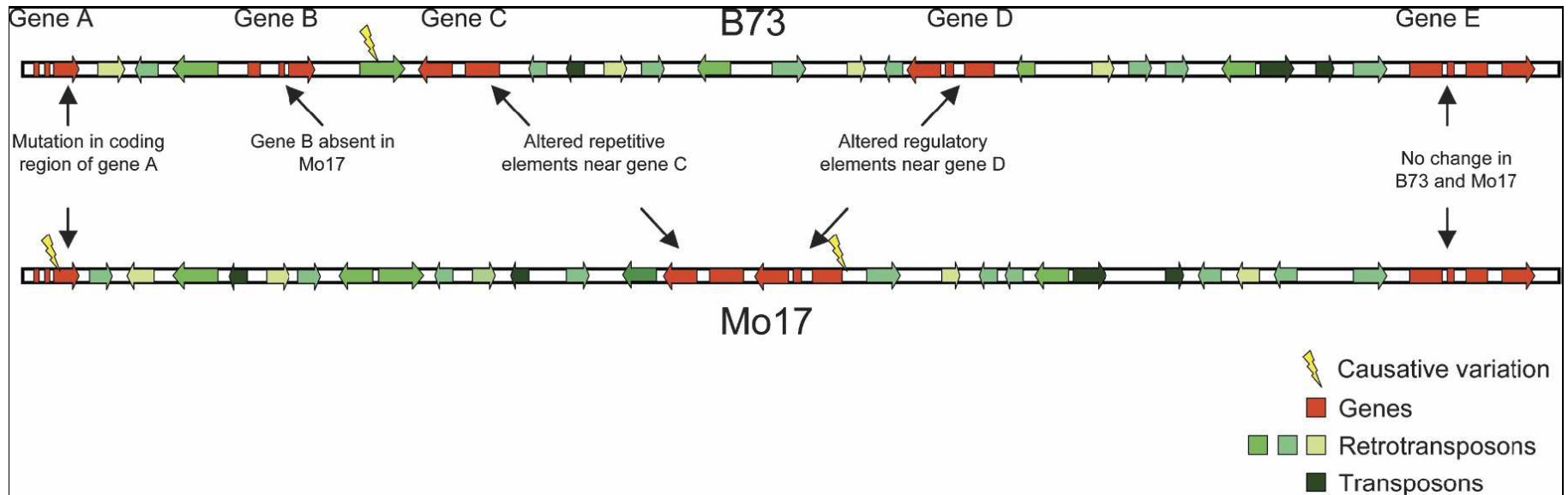
<sup>a</sup>Better-parent heterosis.

<sup>b</sup>Zanoni and Dudley (1989).

<sup>c</sup>Unpublished data, N.M. Springer and R.S. Stupar.

<sup>d</sup>Auger et al. (2005a).

U dvou náhodně vybraných inbredních linií kukuřice je průměrně 1 polymorfismus na 100 bp (SNP, Indel).  
Hodnoceno pro několik set inbredních linií.



## B73 a Mo17 alelové varianty

Gen A mutace v kódující sekvenci, funkčně odlišný protein

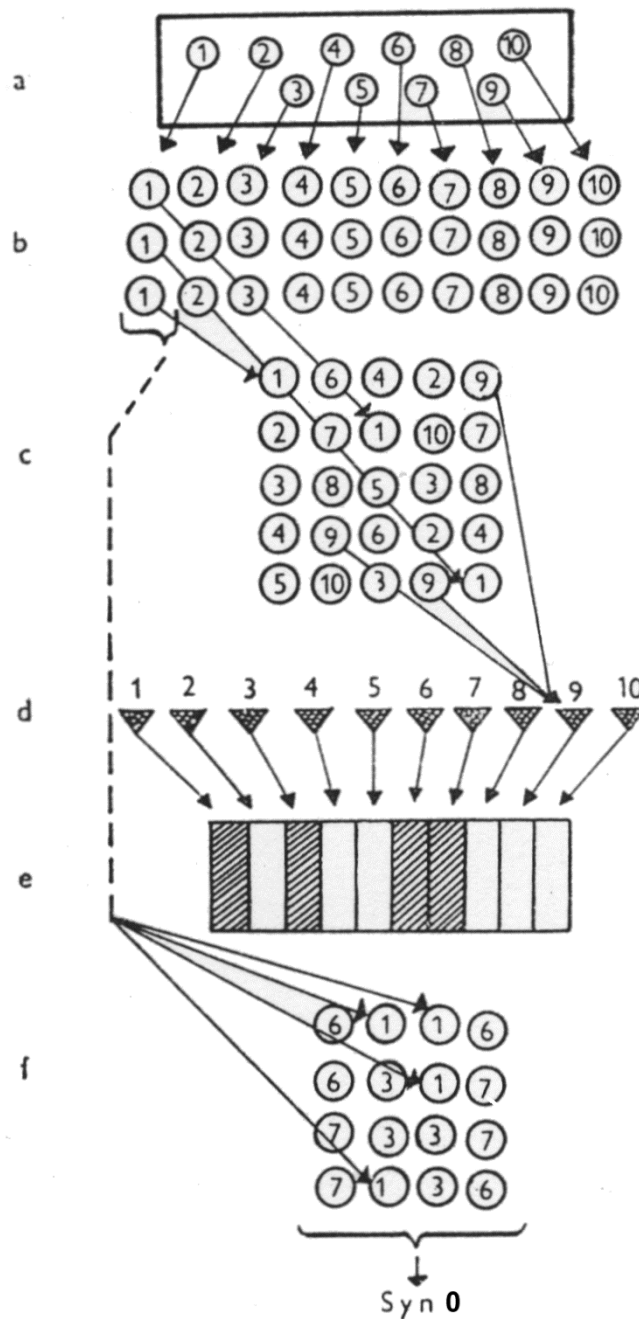
Gen B chybí

Gen C vyšší exprese (změna v přilehlé repetitivní sekvenci)

Gen D není exprimován (změna v regulační sekvenci)

Gen E žádná změna

# Tvorba syntetické populace u pícein



výběrová školka

klonová školka

hromadné křížení  
(polykros)

zkoušky výkonu

hybridizační školka

Syn 0