

# Klasické metody šlechtění

Základní šlechtitelské pojmy

# Odrůda (kultivar)

- Záměrně pěstovaný porost
- Vyznačuje se a odlišuje od jiné odrůdy závažnými morfologickými, fyziologickými, cytologickými, chemickými, hospodářskými nebo jinými znaky a vlastnostmi. Množením se vlastnosti zachovávají.
- Výsledek záměrné šlechtitelské práce, odpovídá konkrétnímu šlechtitelskému cíli.
- Úředně registrována, množení a prodej se řídí zákonnými předpisy.
- Uvedena v katalogu odrůd.

# Čisté linie

- Produkty opakovaného **selfování** jednotlivých rostlin.
- Genotypy, které jsou základem odrůdy samosprašného druhu.
- **Homogenní a homozygotní**
- Udržovány selfováním.
- Přímé využití farmáři.

# Inbrední linie

- Vznikly vynuceným selfováním (ne přirozeným) **cizosprašných** rostlin.
- Na rozdíl čistých linií jsou uchovávány uměle.
- Genotypy, které byly vytvořeny jako rodičovské **k dalšímu využití** - tvorba hybridních odrůd a syntetických odrůd ve šlechtění cizosprašných druhů.
- Nejsou určeny k bezprostřednímu využití farmáři.
- **Homogenní a homozygotní** jako čisté linie.

# Klon

- Nepohlavním způsobem vzniklé potomstvo.
- Identické kopie jednoho genotypu.
- Fenotypově **homogenní**.
- Vysoce **heterozygotní**.

# Kmen

- Bezprostřední generativní, tedy pohlavní cestou vzniklé potomstvo daného jedince, tzv. kmenové matky.
- Cizosprašné druhy.
- Heterozygotnost, směs různých genotypů.

# Populace

- Soubor vzájemně se křížících jedinců se společným souhrnem genetických informací – genů.

# Ekotyp

- Populace rostlinného druh, která se pěstuje nebo vyskytuje v určité oblasti.
- Různé ekotypy v rámci druhu se liší.
- Vznikají vlivem vyhraněných podmínek prostředí.
- Jsou zdrojem specializovaných výchozích forem, důležitou součástí výchozího šlechtitelského materiálu.



# Typy odrůd

## ■ Odrůdy čistých linií

U druhů vysoce samosprašných.

**Homogenita a homozygotnost** - dosaženo řadou samosprášení.

Obvyklé využití jako rodičů při tvorbě dalších odrůd jiného typu.

Úzký genetický základ.

Vhodné do oblastí, kde je uniformita předností.

Linie šlechtitelů různě míchá.

Plasticita.

## ■ Odrůdy z volného sprášení

U cizosprašných druhů (žito, jeteloviny)

Populace geneticky **heterozygotních** rostlin

Vzájemně se kříží.

Široký genetický základ.

Geneticky **heterogenní**.

Existují **dva typy** odrůd:

- vytvořené rekurentní (opakovanou selekcí)
- vytvořené záměrným kombinováním klonů.

- **Hybridní odrůdy** - vytvořeny křížením inbredních linií. Cílem je dosažení heteroze.
- **Odrůdy z klonů** - sestávají z rostlin identického genotypu, **homogenní**, geneticky vysoce **heterozygotní**.
- **Odrůdy z apomiktů**  
Potomstvo geneticky identické s matkou.  
Vytrvalé pícní trávy.

## ■ **Víceřiniové odrůdy**

Samosprašné druhy.

Směs izolinií – navzájem se liší v jednom genu.

Tvorba zpětným křížením F1 s donorovým rodičem.

## ■ **Krajová odrůda**

Není výsledkem šlechtění, ale dlouhodobým pěstováním v kultuře v určitých klimatických a půdních podmínkách.

Heterogenní populace.

Význam – výchozí šlechtitelský materiál.

# Genetická struktura odrůd

- **Homozygotní a homogenní odrůdy**  
Samosprašné druhy
- **Heterozygotní a homogenní odrůdy**  
Cizosprašné druhy
- **Heterozygotní a heterogenní odrůdy**  
Syntetické populace – pícíny
- **Homozygotní a heterogenní odrůdy**  
Směs ekotypů, komponenty genotypově homozygotní, dohromady velké množství různých genotypů. Celková odrůda není uniformní.

# Klasické metody šlechtění

Šlechtění vegetativně množených druhů

# Kategorie nepohlavně množených druhů

## ■ Druhy s normálním kvetením a nasazením semen

Hybridizace, rekombinace prostřednictvím meiózy, introdukce nových genů do adaptované odrůdy.

Vegetativní množení se využívá k uchování. Výhoda heterozygotnosti.

## ■ Druhy s normálním kvetením a špatným nasazením semen

Semena nespolehlivá pro rozmnožování. Možnost hybridizace a přenosu genů do zlepšené odrůdy zachována.

- **Druhy tvořící semena apomikticky**

Tvorba semen bez oplození. Tento typ reprodukce má více než 100 druhů vytrvalých trav.

- **Druhy nekvetoucí**

Druhy obligátně nepohlavně množené. Druhy lze zlepšovat jen nepohlavní cestou. Genetická diverzita např. mutacemi.



# Genetická charakteristika šlechtění

## ■ Genetický základ

Potomstvo z jedince množeného nepohlavně - geneticky identické a uniformní.

Rozmanitost způsobena vlivy prostředí.

## ■ Heterozygotnost a heteroze

Citlivé k **inbrední depresi**.

Fixace heterózního efektu.

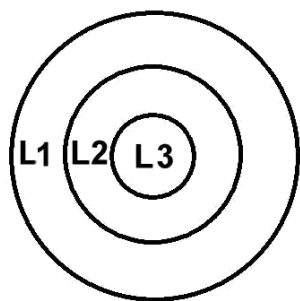
## ■ Ploidie

Časté mezidruhové hybridy a vyšší ploidie.

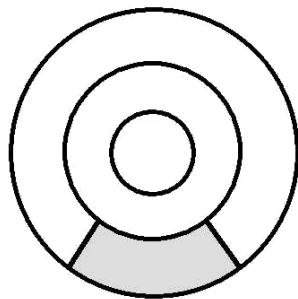
## ■ Chimérismus

Lokalizace somatické mutace na průřezu stonkem se třemi cyto-histologickými vrstvami L1, L2 a L3.

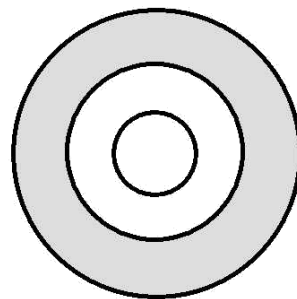
Chiméra meriklinální, periklinální a sektoriální



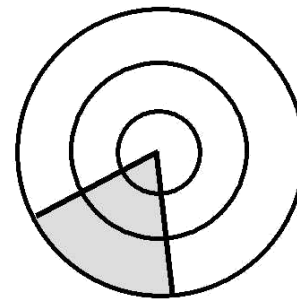
rostlina  
bez  
mutace



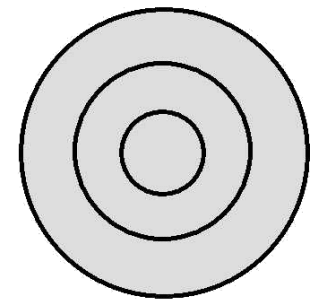
meriklinální  
chiméra  
(částečná mutace  
v L1)



periklinální  
chiméra  
(stálá mutace  
v L1)



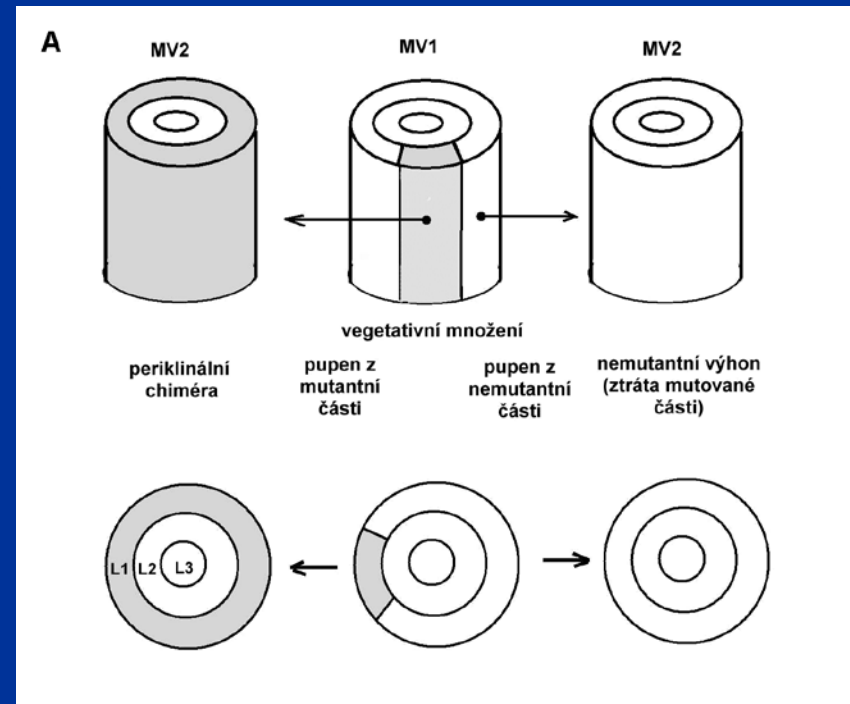
sektoriální  
chiméra



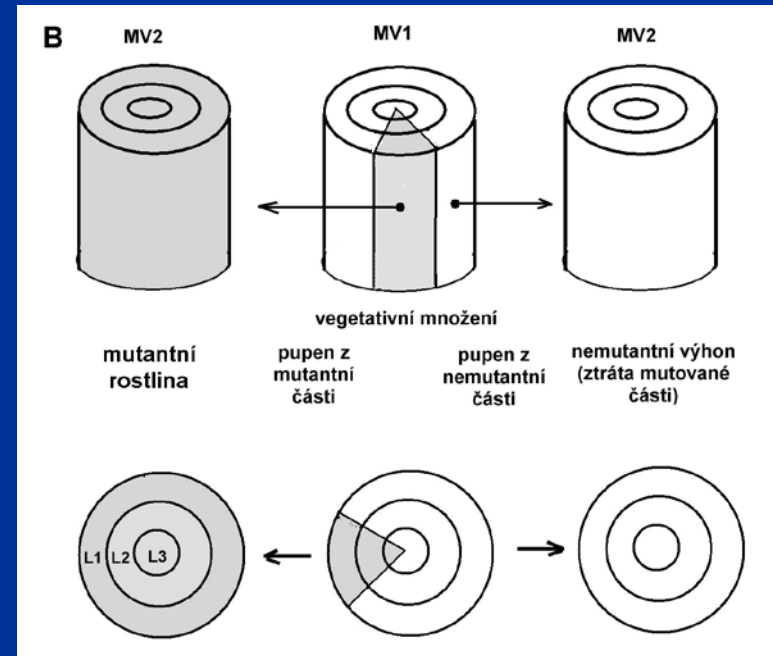
stálý  
mutant

Vyštěpení mutantních a standardních rostlin z chimérických vegetativně množených rostlin.

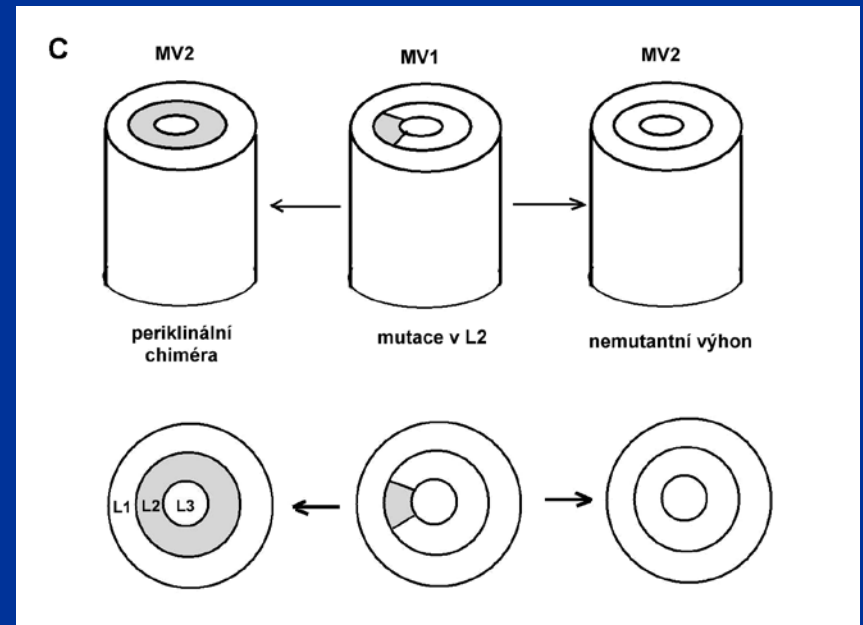
**A/ mutace v L1**  
u meriklinální chiméry  
(MV1 a MV2 generace vegetativního množení)



# B/ mutace v L1 u sektoriální chiméry



# C/ mutace v L2 u meriklinální chiméry



# Šlechtitelské postupy

- Výběr klonů
- Hybridizace s výběrem klonů
- Mutační šlechtění

# Výběr klonů

## 2 cíle:

### 1) Uchování ozdraveného materiálu

- Skrínink genotypů
- Eliminace patogenů
  - explantátové kultury a mikropropagace (meristémy)
  - ošetření při vysoké teplotě 30 min až 4 hod při 43 až 57 °C
  - chemické působení

## 2) Tvorba odrůd

**Rok 1:** Tvorba klonové školky

působení patogena, výběr rezistentních klonů bez příznaků a dalšími vhodnými znaky, sklizeň jednotlivých rostlin

**Rok 2:** Pěstování potomstva z jednotlivých vybraných klonů a hodnocení jako v r. 1, výběr nejlepších klonů

**Rok 3:** Předzkoušky výkonu, výběr nejlepších klonů

**Rok 4 až 6:** Zkoušky výkonu v různých lokalitách, tvorba odrůdy

# Hybridizace s výběrem klonů

U druhů schopných tvořit semena

**Rok 1:** Křížení vybraných rodičů. Sklizeň semen F1.

**Rok 2:** Výsev a hodnocení rostlin F1. Výběr zdatných a zdravých rostlin.

**Rok 3:** Klonování vybraných rostlin, pěstování klonových potomstev v řadách, výběr asi 100 až 200 nejlepších rostlin z potomstev.

**Rok 4:** Předzkoušky výkonu.

**Rok 5 až 7:** Zkoušky výkonu v různých lokalitách, tvorba odrůdy.



# Mutační šlechtění

- Mutace jsou vzácné, skrínink velkých populací M1V2.
- Chiméry je možné redukovat pomocí adventivních pupenů

# Výhody a limity klonového šlechtění

- Sterilita nevadí, protože na tvorbě semen nejsme závislí.
- Klony jsou homogenní, komerční produkt je uniformní.
- Pro rychlé namnožení materiálu je využitelná mikropropagace.
- Heterozygotnost a heteroze jsou u klonů fixovány.

# Klasické metody šlechtění

Šlechtění samosprašných druhů

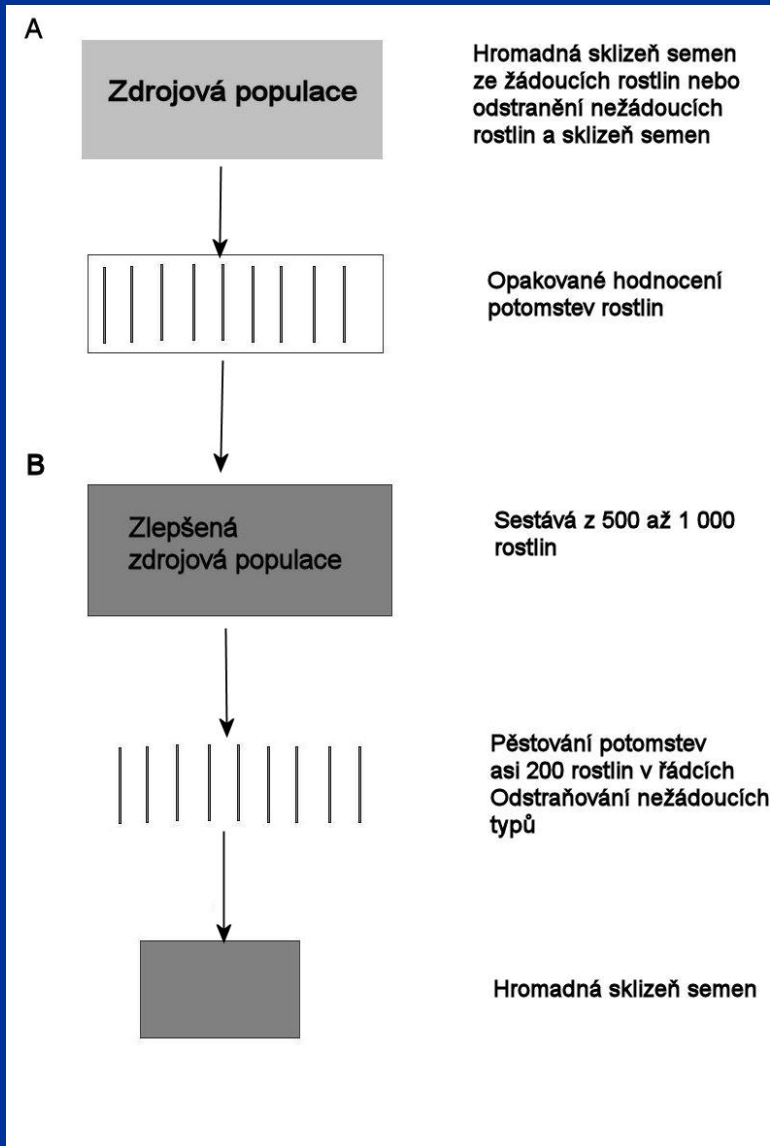
# Přehled metod

- Hromadný výběr
- Výběr čistých linií
- Výběr v rodokmenech
- Šlechtění populací
- Šlechtění inbredních linií
- Šlechtění zpětným křížením
- Víceliniové šlechtění

# Hromadný výběr

- Poprvé použil dánský biolog W. Johansen r. 1903.
- Nejstarší metoda šlechtění u samosprašných druhů.
- Důvodem výběru je zlepšení populace prostřednictvím zvýšení alelových četností žádoucích genů.
- Výběr je založen na fenotypu, opakuje se jedenkrát nebo několikrát (rekurentní hromadný výběr).
- Výběr většího počtu jedinců z dané populace a založení další generace ze **směsi** jejich osiva.
- Na formování následných generací se podílejí neznámí otcové, což nemusí mít vždy příznivý vliv.
- Rozsah zlepšení závisí na genetické rozmanitosti, která existuje v původní populaci.

# Postup



## Výhody

- Rychlá, jednoduchá
- Levná
- Odrůda je fenotypově poměrně uniformní
- Účinný u znaků s vysokou heritabilitou a znaků recesivních

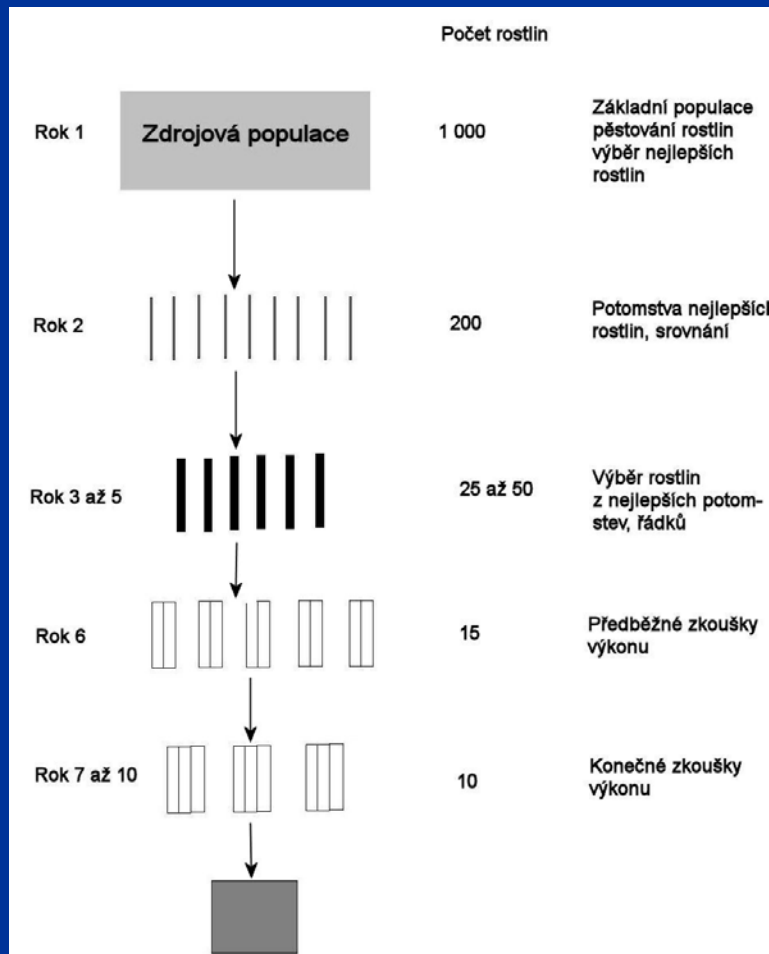
## Nevýhody

- Aby byla efektivní, znak musí mít vysokou heritabilitu
- Uniformní prostředí
- Fenotypová uniformita je menší než u odrůd z čistých linií
- V případě dominance nejsou heterozygoti odlišitelní od dom. homozygotů. Bez testování potomstev budou vybraní heterozygoti segregovat v následující generaci (je nutné výběry opakovat)

# Výběr čistých linií

- Teorii čistých linií formuloval dánský botanik Johansen r. 1903.
- Tvorba odrůd pro:
  - mechanizovanou produkci, kde je nutná uniformita (ve zrání, výšce - kvůli umístění ekonomicky důležitých částí).
  - odrůda pro trh, kde je důležitý vizuální aspekt – uniformní tvar a velikost.
  - odrůdy pro zpracovatelský trh – nároky na konzervařenskou kvalitu
- Uplatnění mutací v květu pro okrasné využití.
- Zlepšení nově domestikovaných plodin, které mají určitou variabilitu.
- Metoda čistých linií je součástí jiných šlechtitelských postupů.

# Postup



## Výhody

- Rychlá metoda
- Laciná. Velikost zdrojové populace může být různá v závislosti na cílech.
- Odrůdy takto vytvořené jsou lahodící oku vzhledem k uniformitě fenotypů.
- Je možné zlepšit znaky s nízkou heritabilitou, protože výběry jsou založeny na výkonu potomstev.
- U čistých linií se vybere pouze ta nejlepší linie.

## Nevýhody

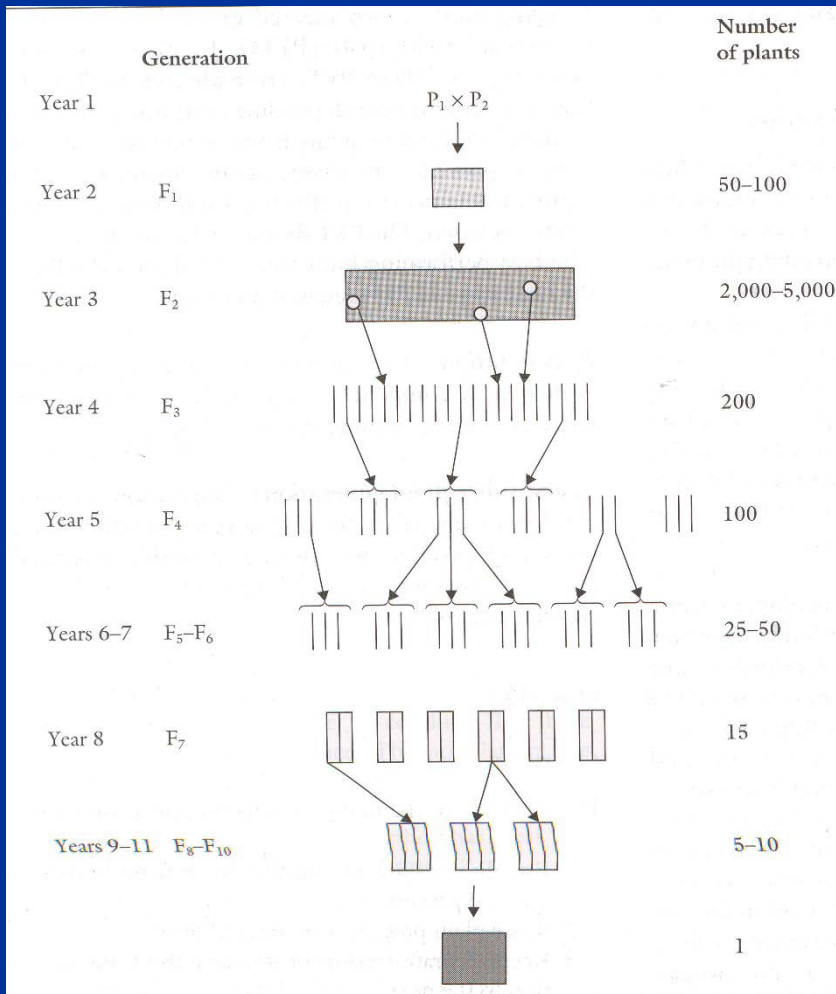
- Odrůda z čistých linií může být změněna příměsí po přirozeném křížení s jiným kultivarem nebo mutací. Takové rostliny se odstraní.
- Úzký genetický základ, možnost napadení a devastace v jiném prostředí.
- Nelze vytvořit nový genotyp, zlepšení je tak omezeno jen na výběry z dané základní populace.
- Výsevy potomstev zabírají čas, prostor a peníze.



# Výběr v rodokmenech

- Poprvé popsána H.H. Lowem 1927.
- Široce využívaná u samosprašných i cizosprašných druhů. Kukuřice a jiné plodiny produkované jako hybridy.
- Zásadním rozdílem mezi výběrem v rodinách a hromadným výběrem nebo výběrem čistých linií je **začlenění hybridizace** pro vytvoření rozmanitosti a získání základní populace.
- Šlechtitel vede záznamy o předcích odrůdy- rodokmen. Základní populace je založena křížením vybraných rodičů, následuje práce se segregující populací. Dokumentace umožňuje rekonstruovat rodokmen jednotlivých rostlin F<sub>2</sub>.

# Postup



Výběr rodičů a křížení

Hromadná sklizeň semen; pěstování rostlin

Pěstování rostlin; výběry podle fenotypů

Pěstování potomstev v řádcích

Z nejlepších řádků vybrat 3 až 5 rostlin

Pěstování potomstev a výběry jednotlivých rostlin

Předzkoušky na výnos a výběry jednotlivých rostlin

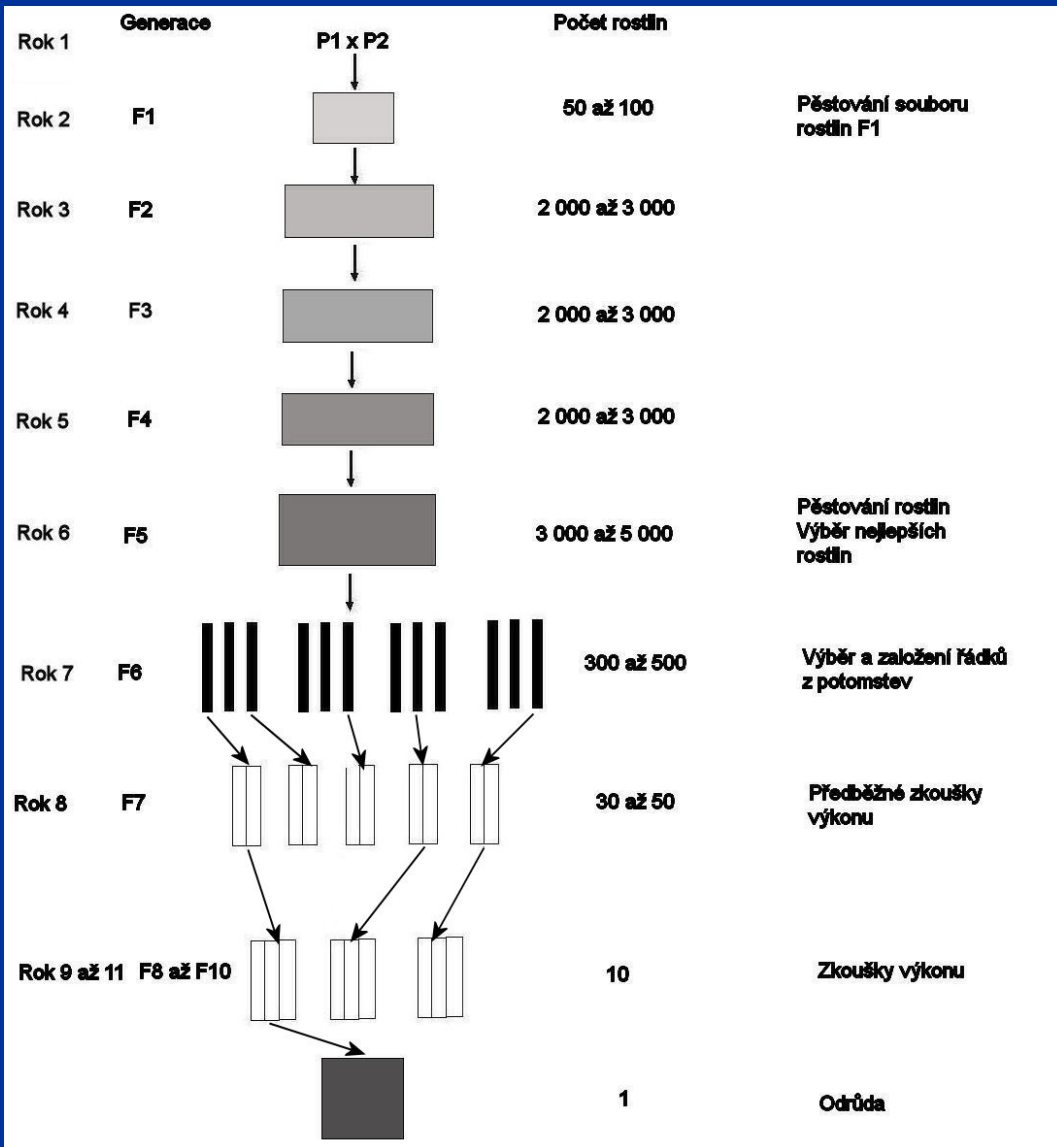
Zkoušky výkonu ve více opakováních; více lokalit

Odrůda

# Šlechtění populací

- Poprvé použil Švéd H. Nilsson-Ehle, H.V. Harlan a kol. teoreticky objasnili a využili r. 1940 ve šlechtění ječmene.
- Metoda zahrnuje **zkoušky výkonu směsi semen** F2 z výchozích křížení a odstranění celých křížení na základě zkoušek výkonu-výnosu.
- Využití hlavně u samosprašných druhů, modifikována může sloužit k tvorbě inbredních populací pro cizosprašné.

# Postup



- Zvýšení rozmanitosti křížením
- Nové genotypy v důsledku rekombinace
- Zvyšování homozygotnosti

# Šlechtění inbredních linií

- C.H. Gulden 1941
- H.W. Johnson a R.L. Bernard 1962 použili u sóje
- Podrobně popsal C.A. Brom 1966 a nazval ji modifikovaná metoda kmenů.
- Znamená urychlení šlechtitelského programu **rychlým inbridngem 1 populace** před tím, než se začnou vybírat jednotlivé rostliny.
- Umožňuje pokračovat s maximálním počtem rostlin F2 až do F5. To umožňuje náhodný výběr jednoho semene na rostlinu v prvních segregujících generacích.
- „Single seed descent“

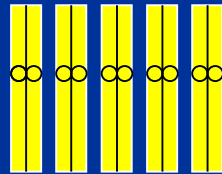
# Inbrední linie

## RIL (recombinant isogenic lines)

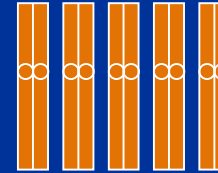
⊗ časová náročnost

⊕ vysoká homozygotnost

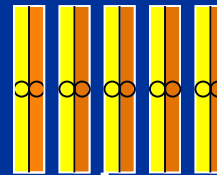
Křížení polymorfních  
(fenotypově kontrast-  
ních) linií



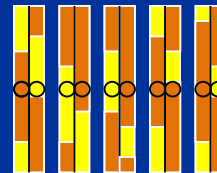
X



F<sub>1</sub>



F<sub>2</sub> 50,0%



F<sub>3</sub> 75,0%

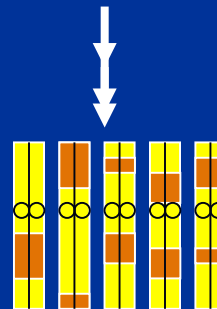
F<sub>4</sub> 87,5%

F<sub>5</sub> 93,8%

F<sub>6</sub> 96,9%

F<sub>7</sub> 98,7%

F<sub>8</sub> 99,5%

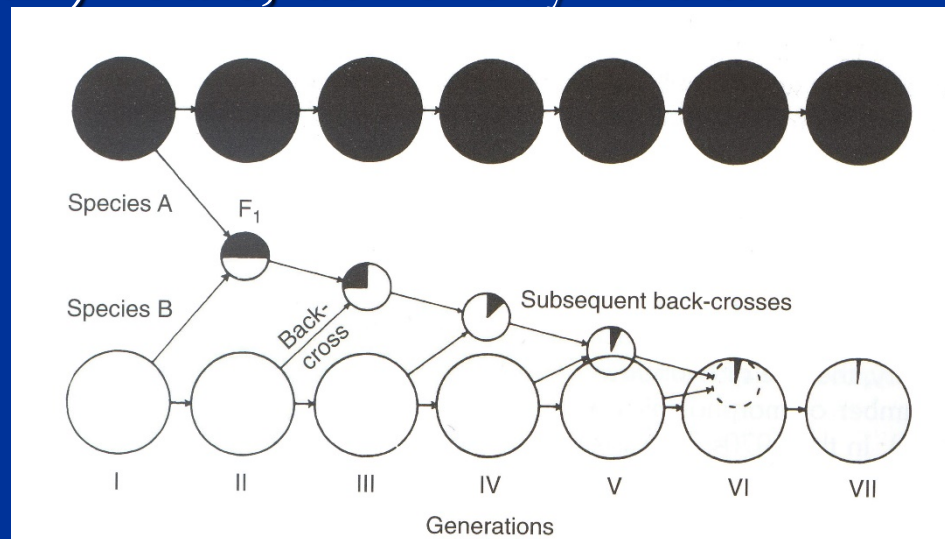


# Šlechtění zpětným křížením

- Konvergentní šlechtění
- H.V. Harlan, M.N. Pope 1922
- **Nahrazení nežádoucích genů lepšími**, zachování ostatních vlastností – adaptace, výkonnost.
- Zlepšení jednoho znaku odrůdy.
- Recipientní (rekurentní) rodič, donorový rodič.

Donorový rodič

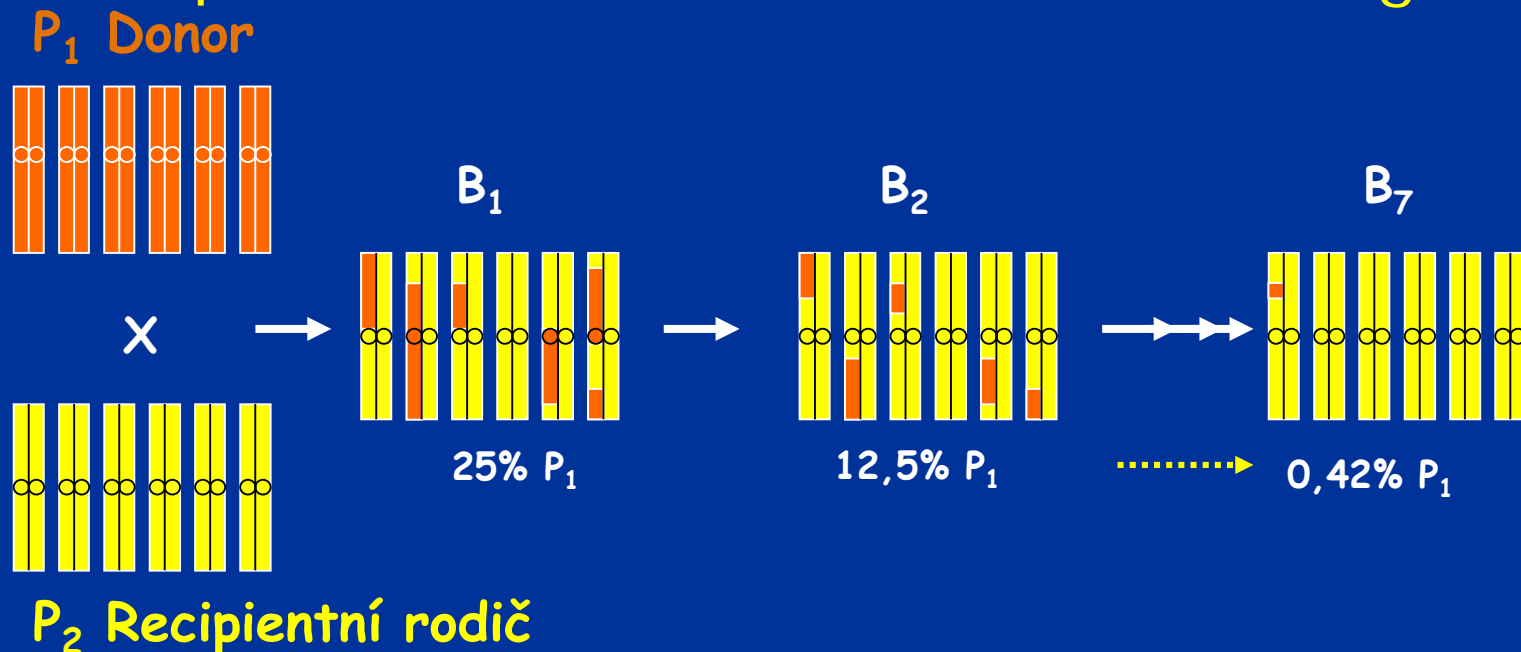
Recipientní rodič  
příjemce



# Izogenní linie - izolinie

## NIL near isogenic lines

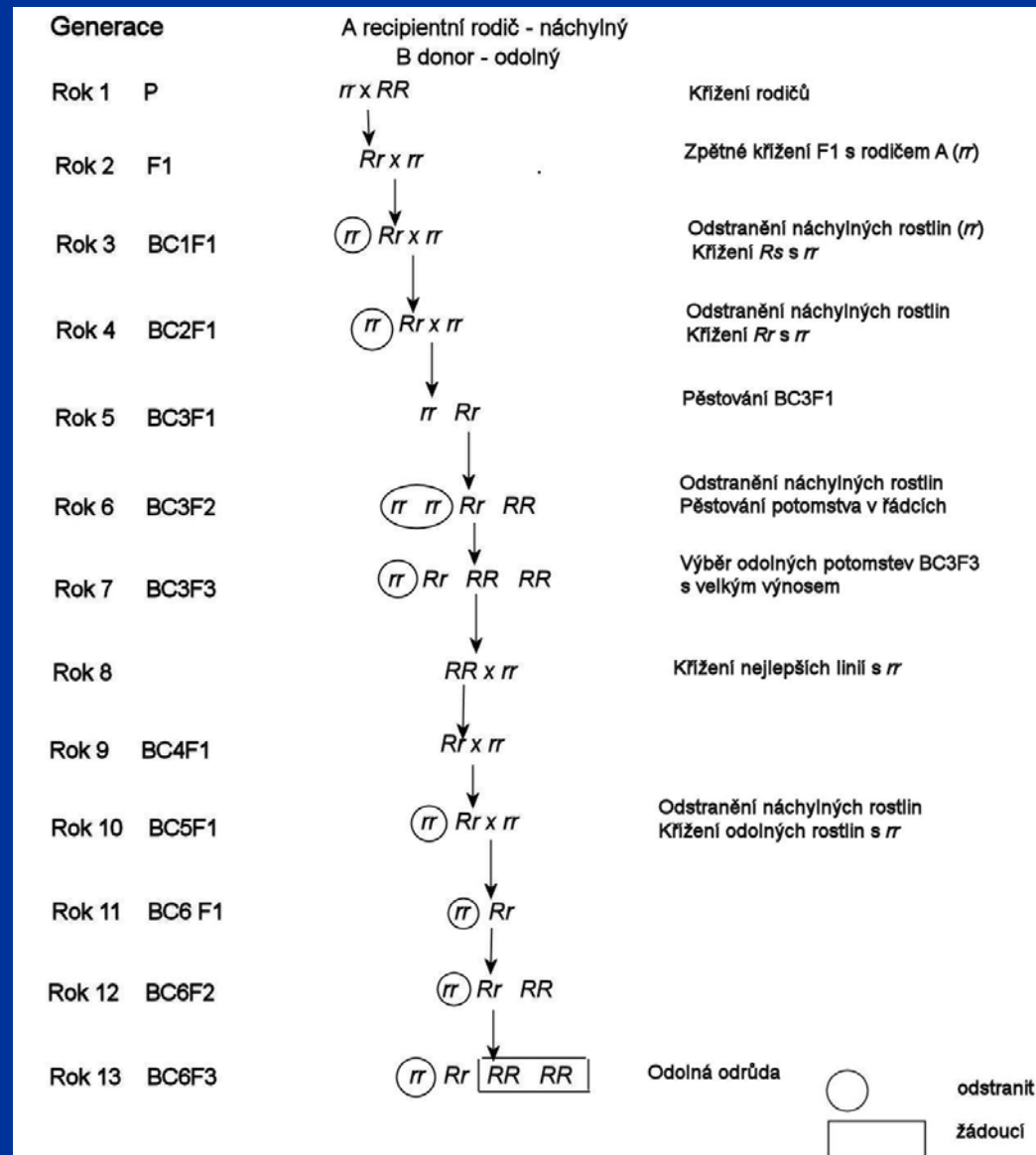
- ⊗ časová náročnost – vytvoření  $F_1$  + 6 x BC, selekce na daný gen (znak) v každé generaci
- ⊕ vysoká homozygotnost, rozdíl jen v lokusu konkrétního genu a jeho okolí
- ⊕ polymorfismus (DNA) mezi NIL s vysokou pravděpodobností souvisí s vazbou marker-gen



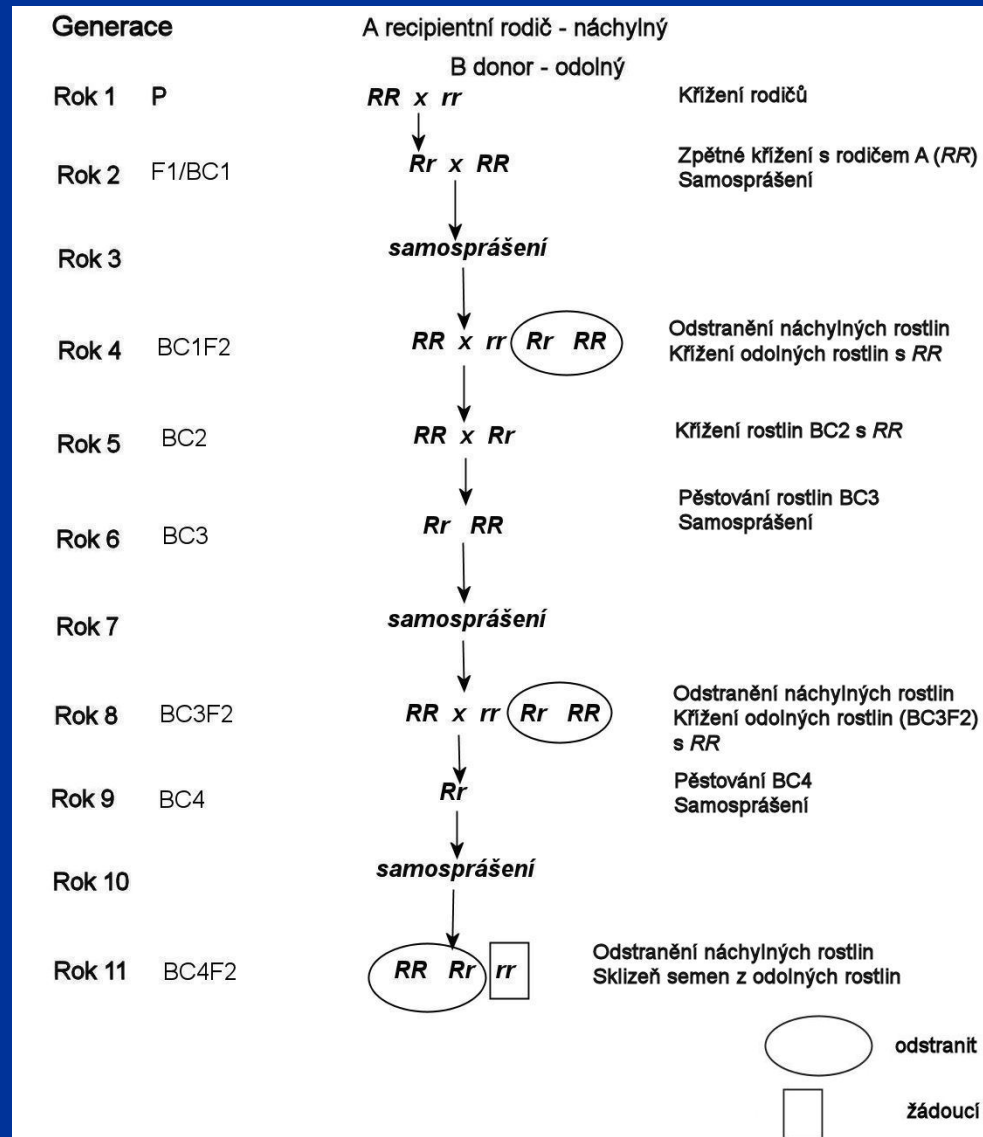


# Přenos dominantního znaku

- Recipientní rodič se kříží s donorem.
- F1 se vypěstuje a kříží opět s recipientním rodičem. Druhý krok se opakuje tak dlouho, dokud recipient nezíská žádanou charakteristiku.
- 2 až 5 cyklů i více. Závisí to na tom, jak snadná je exprese a vyhodnocení znaku, v jakém rozsahu recipientní genotyp chce šlechtitel získat.



# Přenos recesivního znaku



## Genetické vlastnosti

- Každým BC se potomstvo přibližuje recipientnímu rodiči. V BC4 je 93,75% identita s recipientem.

Genetický pokrok závisí na:

- Heritabilitě – vysoká heritabilita znaku, snadnější přenos genu BC
- Choroby – je dobré mít genetický marker pro rezistenci, zjednodušení, nemusí se dělat fytopatologické testy.

## Výhody

- Snižuje se počet testování na poli.
- Opakovatelnost.
- Konzervativní metoda, která neumožňuje rekombinaci.
- Introgrese konkrétního znaku vzdáleným křížením.
- Jak u samo- tak cizosprašných druhů.

## Nevýhody

- Neefektivní pro kvant. znaky a znaky s nízkou heritabilitou.
- V přítomnosti nežádoucí vazby brání přenosu konkrétního znaku a brání dosažení původního výnosu recesivního rodiče.
- Přenos recesivních znaků je dlouhodobější.

# Víceliniové šlechtění

N.F. Jensen využit u ovsa r. 1952

Získal vytrvalejší formy vzhledem k odolnosti k chorobám.

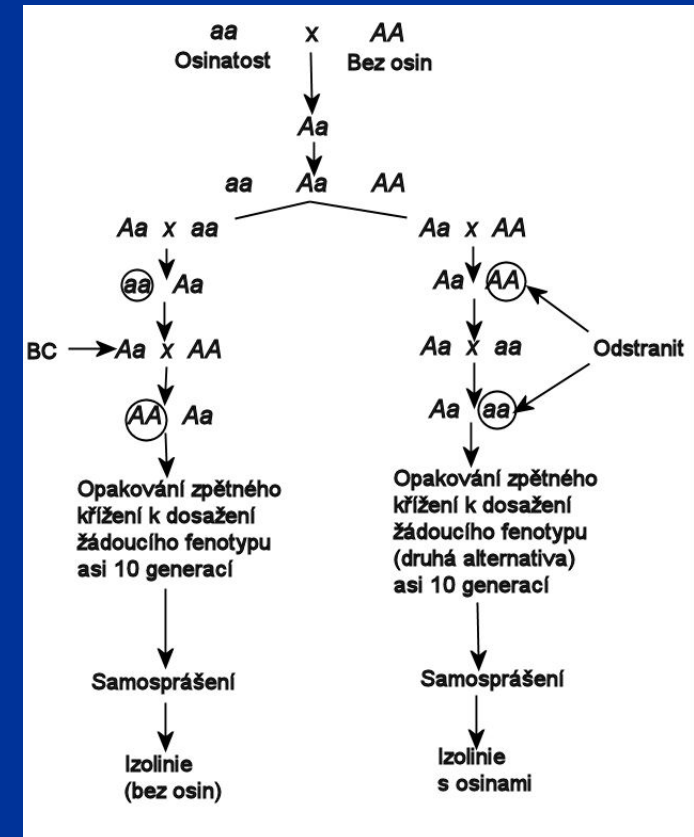
- Víceliniové odrůdy jsou dražší než tvorba syntetických odrůd, protože každá komponenta – linie se musí vyšlechtit odděleným BC.

## Vlastnosti

- Čisté linie uniformní – výška, zrání, fotoperioda, i odolnost choroby. Jednotlivé linie se pěstují odděleně, míchají se v předem určeném poměru.
- Multilinie – směs izolinií, genetická identita až na jeden znak.

## Postup – shrnutí

- Agronomicky nejlepší linie je recipientním rodičem, zdroj odolnosti je donor.
- Řada BC – tvorba různých izolinií.
- Výsledkem jsou 2 odrůdy, které se liší v jednom znaku. Každá izolinie se liší v genu odolnosti – má jinou odolnost.



# Klasické metody šlechtění

Šlechtění cizosprašných druhů

# Zlepšení celých populací

- Hromadná selekce
- Rekurentní selekce
- Výběry s kontrolou potomstev
- Výběry po samosprášení rostlin
- Tvorba syntetických odrůd
- Zpětné křížení

# Hlediska klasifikace metod

## Zlepšení

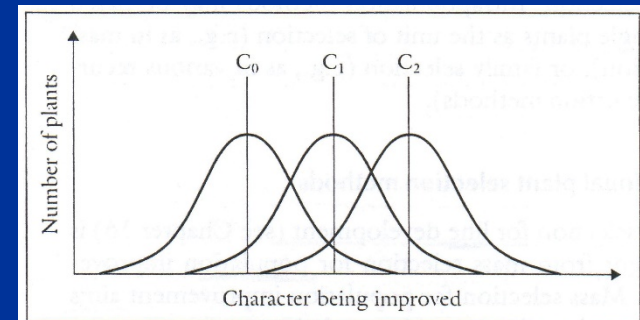
- v rámci jedné populace
- v rámci více populací

## Jednotka selekce

- jednotlivé rostliny
- rodiny

# Rekurentní selekce

- Metoda zpětné selekce; periodický, vracející se výběr.
- Výchozím materiálem může být heterozygotní porost, např. volně se opylující odrůdy, syntetické odrůdy, jednoduchý nebo dvojitý hybrid.
- Opakovaná a systematická technika, při které jsou vybírání z populace žádoucí jedinci a křížení, aby vytvořili novou populaci.
- Cílem rekurentní selekce je zlepšení výkonnosti populace s ohledem na jeden nebo několik znaků, tak aby nová populace byla lepší než původní v průměrném výkonu a výkonu nejlepších jedinců v populaci.





# 1) Jednoduchá rekurentní selekce

- Podobná hromadné selekci s jednoletými nebo dvouletými cykly.
- Nezahrnuje využití testerů, je založena na výběrech jedinců podle fenotypů a jejich samosprášení.
- V druhém roce se získají potomstva ze samoopyleních jedinců a na základě ZV se vyberou nejlepší potomstva.
- Ve třetím roce se **kříží** nejlepší potomstva ve všech možných kombinacích. Tím se získává první zlepšená výběrová populace a současně končí první výběrový cyklus. Ve čtvrtém roce začíná druhý výběrový cyklus (z první zlepšené výběrové populace), v němž se uvedený postup opakuje až do té doby, dokud populace křížení nevykazuje žádoucí vlastnosti.

## 2) Rekurentní selekce na obecnou kombinační schopnost

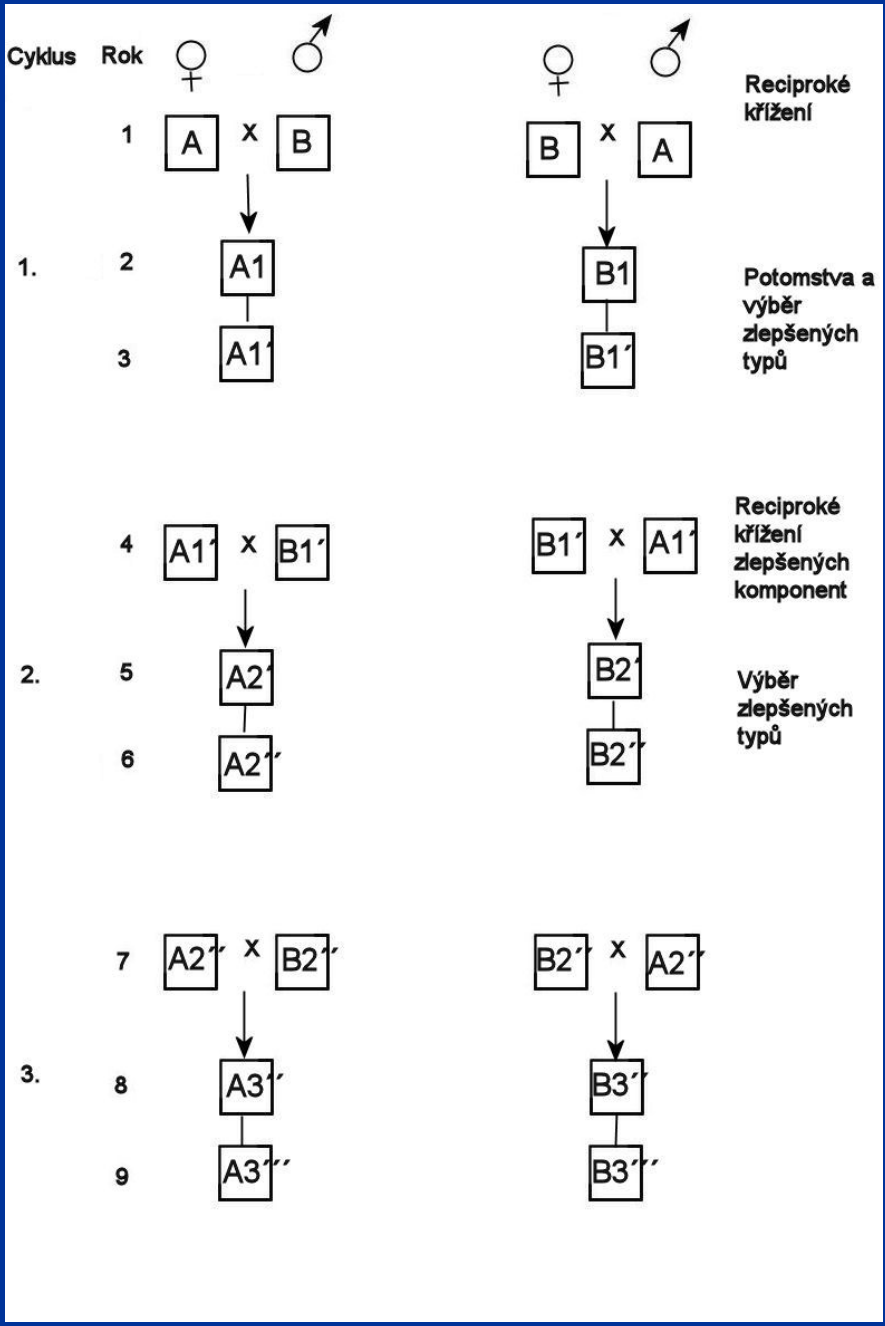
- Zařazují se testovací křížení pro stanovení kombinační schopnosti jednotlivých potomstev rostlin, která mají být křížena; polosesterská potomstva
- Jako tester je použit materiál se širokým genetickým základem (odrůda, populace).
- Testovací křížení jsou vyhodnocena v opakovaných pokusech před selekcí. Rozdíly v produkci jsou způsobeny obecnou kombinační schopností.

### 3) Rekurentní selekce na specifickou kombinační schopnost

- Testerem je inbrední linie s úzkým genetickým základem.
- Testovací křížení před selekcí. Rozdíly v produkci jsou způsobeny specifickou kombinační schopností.

## 4) Reciproká rekurentní selekce

- Využívá se jak obecné tak specifické kombinační schopnosti.
- Zahrnuje dvě heterozygotní populace, pokud možno různého původu.
- Každá slouží jako tester pro druhou. V obou se provede výběr určitého počtu rostlin a jejich samosprášení.



- Rostliny odrůdy A se kříží s rostlinami odrůdy B a opačně.
- Semena samoopylených rostlin se uchovávají tři roky.
- Ze semen z křížení se ve druhém roce založí ZV. Na jejím základě se zjišťuje, které rostliny odrůdy A a odrůdy B dávají nejlepší hybridy. Z uchovaného osiva samoopylených rostlin se ve třetím roce získávají potomstva odrůdy A a odrůdy B odděleně. Mezi potomstvy se provádí **křížení** ve všech možných kombinacích a pak výběr zlepšených typů A'1 a B'1.
- Tím je první výběrový cyklus uzavřen. Ve čtvrtém roce začíná druhý výběrový cyklus, v němž se uvedený postup opakuje s novými populacemi A'1 a B'1.

# Metody selekce založené na jednotlivých rostlinách

- Hromadná selekce pro tvorbu linií se liší od té pro zlepšování populací.
- Směřuje ke zlepšení obecné zdatnosti populace prostřednictvím výběrů a tvorby směsí semen nejlepších genotypů, které již existují v populaci.

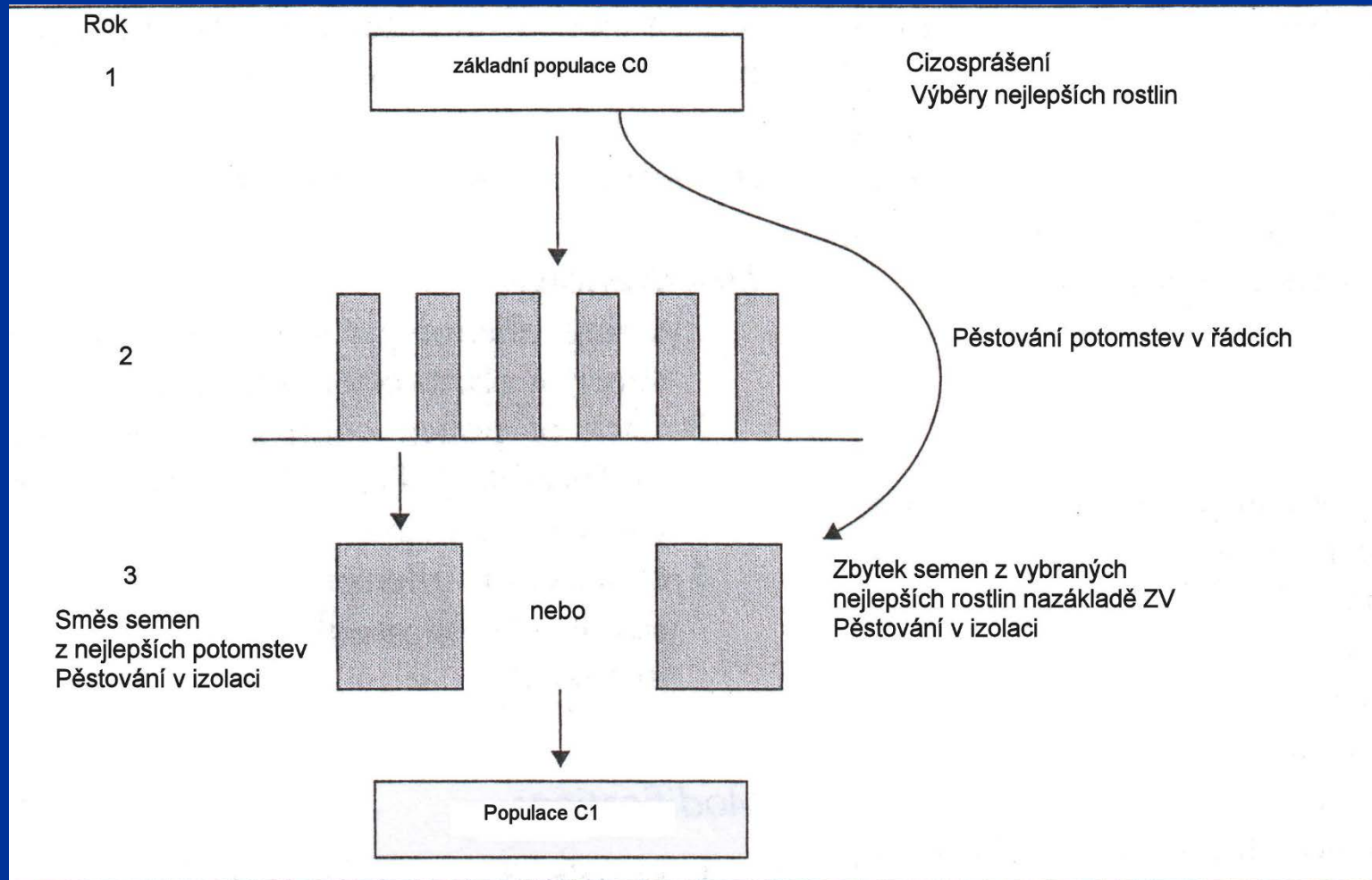
# Metody selekce založené na rodinách

3 kroky

- Tvorba rodin
- Vyhodnocení rodin a selekce nejlepších rodin na základě testování potomstev
- Rekombinace vybraných rodin vytváří novou základní populaci pro následující cyklus selekce.

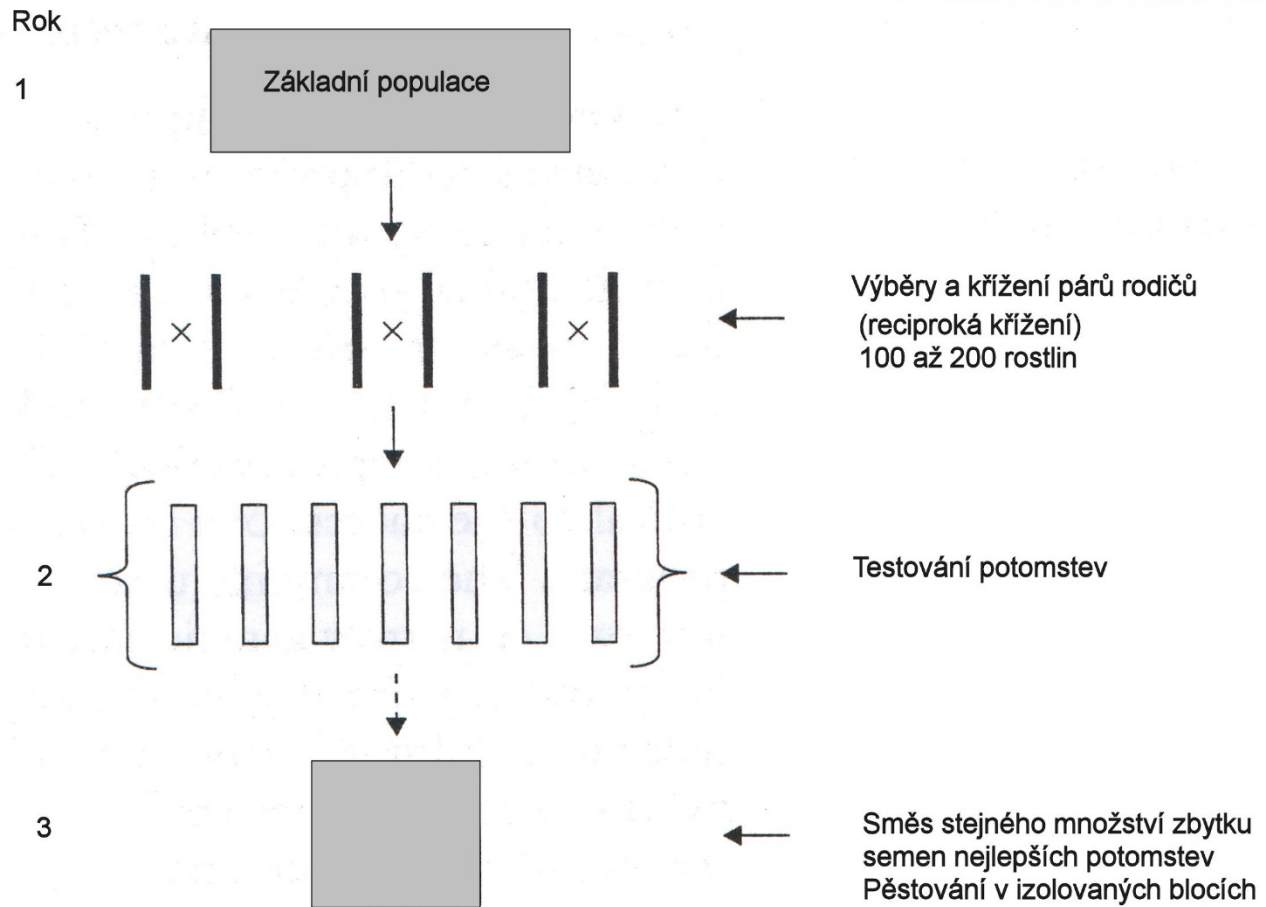
Obvykle je trvání každého kroku jedna generace.

# *Selekce bez kontroly vlivu otcovského genotypu*

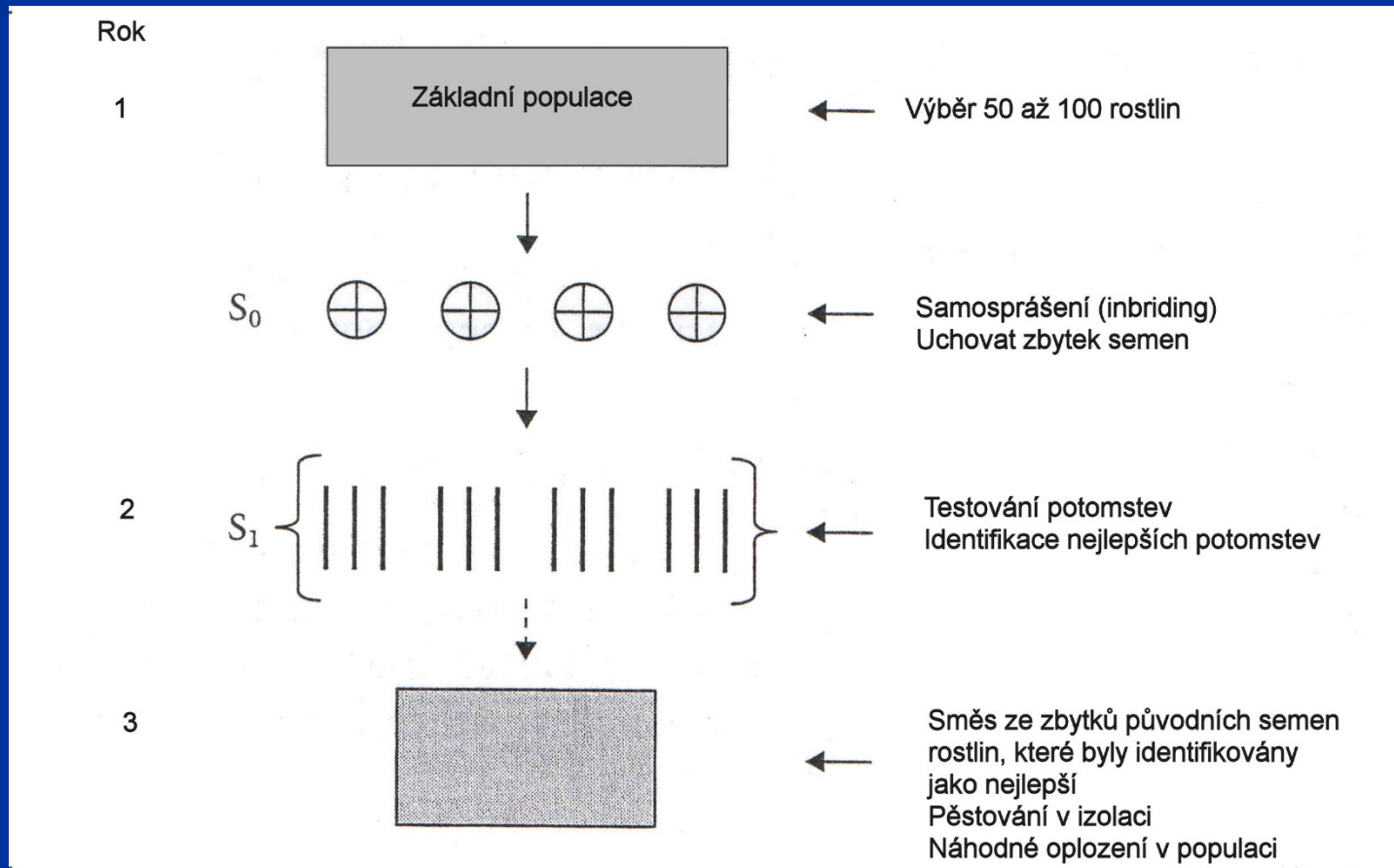




# Selekce plně kontrolovaných potomstev



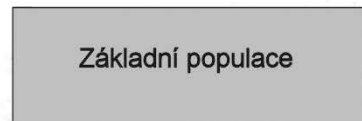
# Šlechtění založeno na samosprášení výchozích genotypů



# Šlechtění založené na testovacím křížení

Rok

1



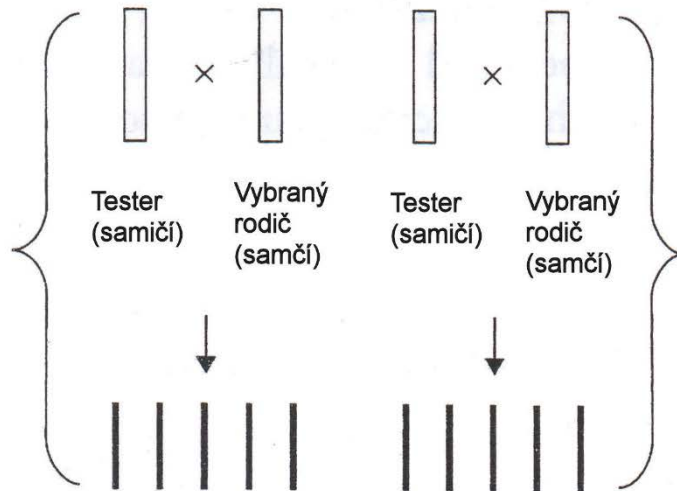
Volné sprášení v populaci  
Výběr nejlepších rostlin

nebo



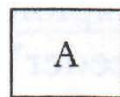
Je možné zařadit selfování  
vybraných rostlin

2



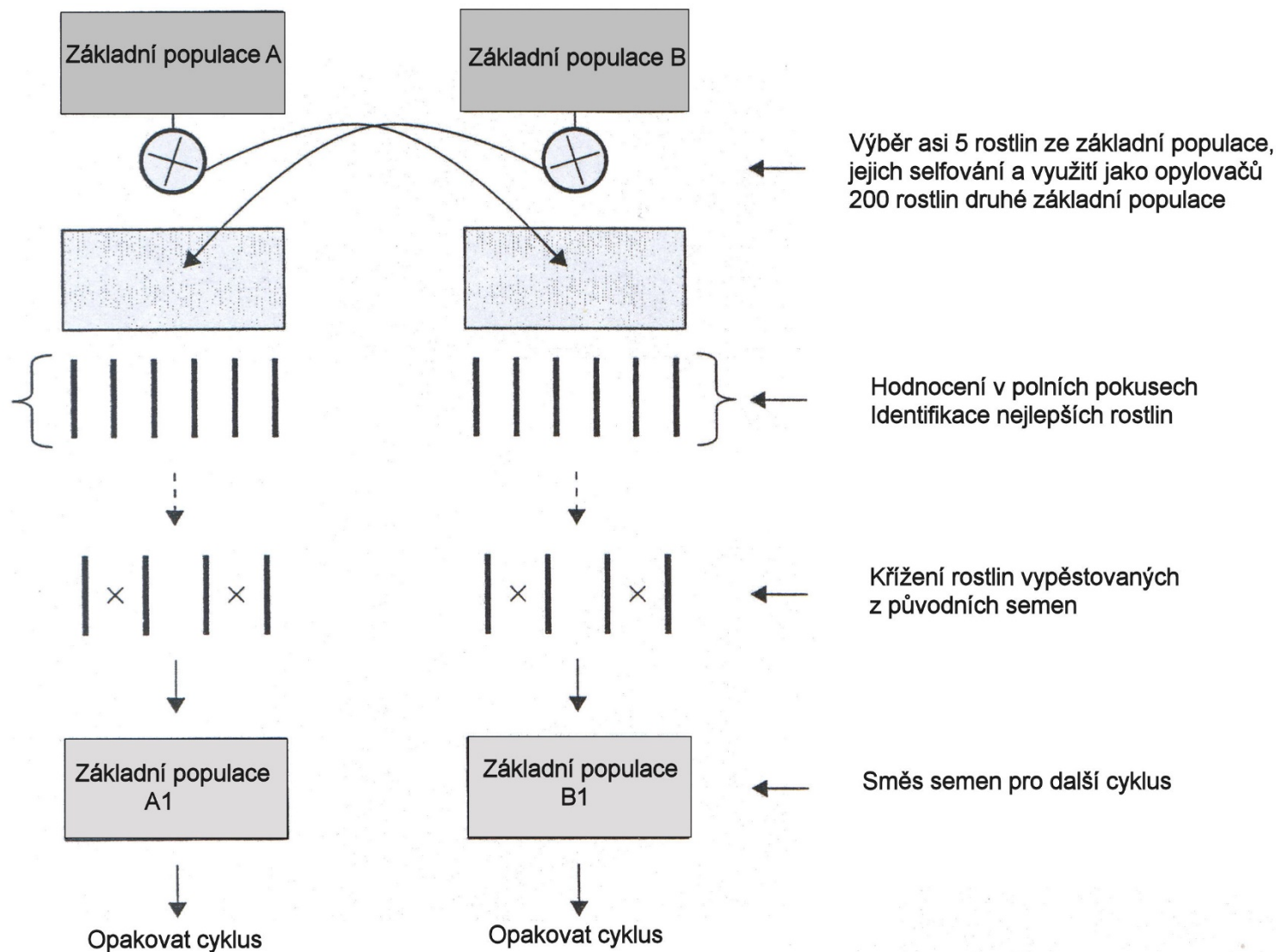
Testovací křížení s testerem  
pěstování potomstev v řádcích  
Identifikace nejlepších potomstev  
(5 až 10)

3



A - směs stejného množství zbytku  
semen nejlepších rodičů z volného sprášení  
B - z rodičů po selfování

# Metody interpopulačního zlepšení

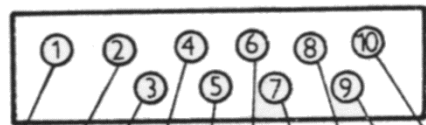


# Tvorba syntetických odrůd

- Populace vzniklá vzájemným prokřížením komponent (jedinců, klonů, samospravovaných linií) s dobrou kombinační schopností (tj. schopností poskytovat po křížení s jinými komponentami žádoucí výnosový nebo jiný efekt).
- Pro výběr komponent byla vyvinuta metoda hromadného křížení (polycross). Byla úspěšně využita při šlechtění žita, trav, vojtěšky aj. umožňuje přezkoušení jakkoli heterozygotních jedinců na jejich kombinační schopnost.
- Po dobu trvání zkoušek jsou vybraní jedinci zachováni v původní genetické formě. To je možné buď jejich vegetativním namnožením (klonování trav, řízkování vojtěšky, klonování žita), nebo nuceným samosprašením části květů vybraných rostlin.

# Tvorba syntetické populace u pícein

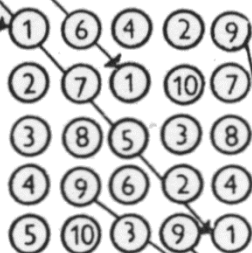
Rok 1



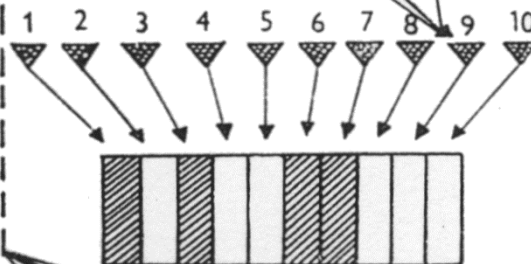
2



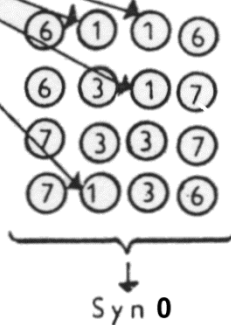
3



4



5



Základní výběrová školka

5 až 10 tisíc rostlin

Klonová školka

100 až 200 rostlin

20 až 25 rostlin na klon

Hromadné křížení  
(polykros)

Zkoušky výkonu

Hybridizační školka

# Šlechtění zpětným křížením=konvergentní šlechtění

$(P1 \times P2) \times P1 \dots / (P1 \times P2) \times P1 / \times P1 \dots\dots$

- Základním problémem aplikace BC u cizosprašných je inbriding.
- Selfování cizosprašných plodin vede k inbrední depresi.
- Pro minimalizaci snížení zdatnosti použít velkou populaci.
- Vhodné pro zlepšení kvalitativních znaků determinovaných jedním dominantním genem.
- Šlechtitel vybírá jedince s konkrétním znakem.
- Introdukce recesivní alely genu - po každém BC křížení pro identifikaci recesivních fenotypů.
- Optimální 2 až 3 BC.