

MUTAGENEZE INDUKOVANÁ TRANSPOZONY (TRANSPOZONOVÁ MUTAGENEZE)

Nejrozšířenější použití transpozonů je mutagenéza za účelem lokalizace genů a charakterizace jejich exprese

Výhody:

1. vyšší frekvence mutace než při klasické mutagenézi
2. úplná blokáda transkripce a translace zasažených genů – dosažení plně mutantního fenotypu
3. silný polární účinek (zejména na operony)
4. ve většině případů jen jediná mutace na buňku (inzerce jediného transpozonu)
5. možnost přímé selekce mutant (geneticky podle markeru na transpozonu, nebo s využitím sekvence transpozonu jako sondy)

Inzerce transpozonu pro účely mutagenézy **nemohou být směřovány do určitého genu**. Technika využívá skutečnosti, že inzerční místa transpozonu jsou víceméně náhodná. Požadované mutace jsou skrínovány mezi větším počtem inzerčních mutant standardními postupy.

Vlastnosti transpozonu vhodného pro mutagenézu:

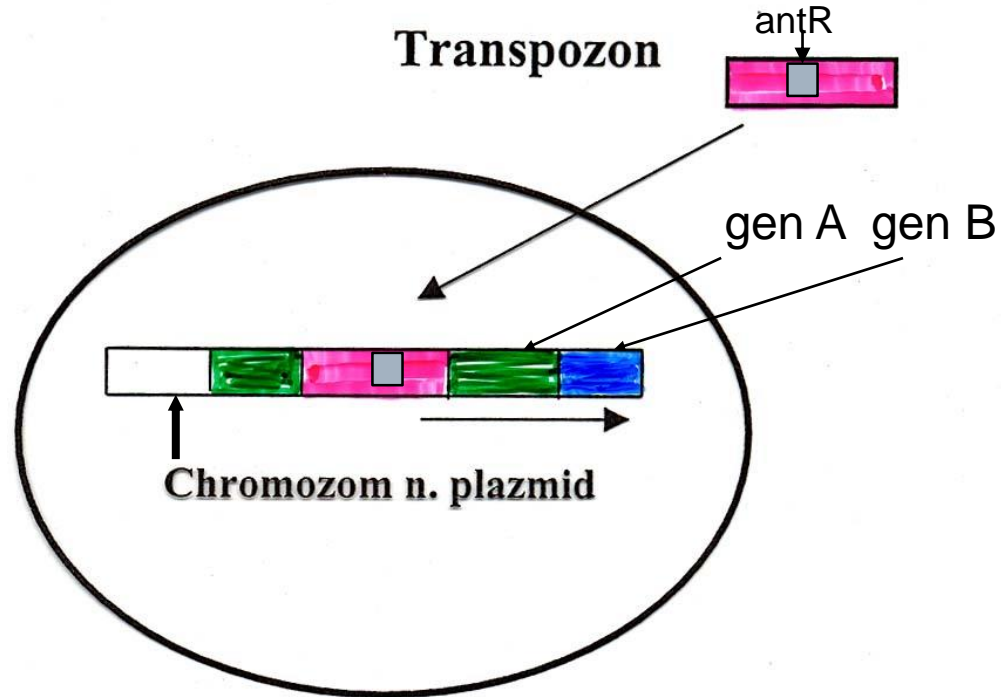
- a) začleňování do náhodných míst (Tn5, Tn7, Mu)
- b) stabilita inzerce (možnost odstranění genu pro transponázu)

Charakteristika mutací způsobených transpozony

- 1. Transpozony mohou být začleněny do velkého počtu různých míst v bakteriálním genomu (chromozomu a plazmidech) - (prakticky v každém genu nebo v jeho blízkosti).
- 2. Geny se začleněným transpozonem ztrácejí plně svou funkci (nulové (inzerční) mutace).
- 3. Fenotyp inzerčních mutací je doprovázen rezistencí k antibiotikům podmíněnou genem pro rezistenci na transpozonu (snadná selekce mutant v novém hostiteli selekcí na AntR).
- 4. Inzerční mutanty mají inaktivován obvykle jen jeden gen, mutanty s více mutacemi jsou vzácné.
- 5. Inzerční mutace obvykle revertují přesnou excizí transpozonu, doprovázenou ztrátou transpozonu (frekvence zpětné mutace je ale velmi nízká).

- 6. Inzerce v operonech jsou silně polární. Lze určit, zda geny jsou součástí operonu (a jejich pořadí).
- 7. Transpozony mohou vyvolat delece v okolí svého začlenění. Lze tak připravit deleční mutanty vhodné pro mapování genů.
- 8. Transpozony představují přenosné oblasti homologie. Lze pomocí nich vnést do genomu další genetické elementy rekombinací.
- 9. Lze získat inzerce poblíž genu zájmu, nikoliv v něm samém (vnesení promotorů a dalších sekvencí na transpozonu – **reportérové geny**)

Mutace vyvolané transpozony



1. Inzerční inaktivace genu, do něhož se transpozon začlenil (negativní mutace) – změna fenotypu
2. Nabytí rezistence k antibiotiku (pozitivní mutace) – změna fenotypu
3. Polární mutace ovlivňující expresi sousedních genů – změna fenotypu
4. Označení místa, do něhož se transpozon začlenil

SITUACE VHODNÉ PRO VYUŽITÍ TRANSPOZONOVÉ MUTAGENEZE

- a. hledaná mutace má obtížně selektovatelný fenotyp
 - snížení počtu klonů, které nutno prověřit (mutanty *Nif*- deficientní v symbióze s rostlinou: genotyp může být *nod*- nebo *nif*-)
 - identifikace genů, které jsou zapínány např. při poškození DNA nebo po vystavení buněk specifickým faktorům

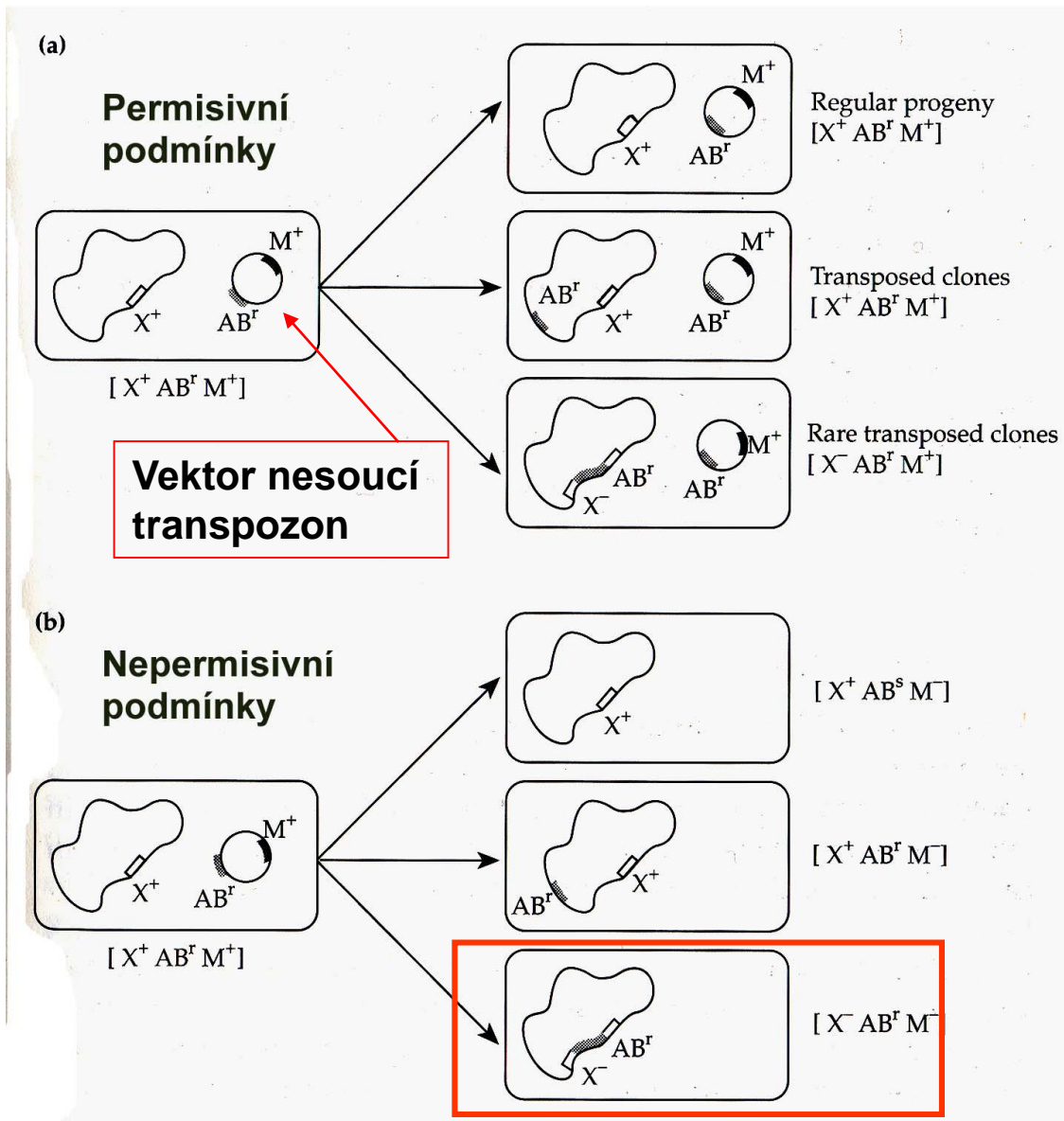
- b. studovaný druh (kmen) je klasické mutagenezi nepřístupný
 - mutanty v metabolických drahách, např. auxotrofní

- c. kmen má několik podobných aktivit, znemožňujících přímý skrínig na fenotyp
 - gen je nejdříve klonován v jiném hostiteli (*E. coli*) a po mutagenezi je přenesen do původního kmene, kde se alely zamění homologní rekombinací („reverzní genetika“ - u druhů dosud geneticky málo prostudovaných)

Vektory používané pro dopravení transpozonu do buněk, v nichž mají navodit mutaci = tzv. SEBEVRAŽEDNÉ VEKTORY

- A. Vektory odvozené od fága lambda obsahující mutace *sus* - replikují se v buňkách *E. coli* obsahujících supresory; v buňkách *sup*- se chovají sebevražedně
- B. Vektory odvozené z promiskuitních plazmidů (konjugativních nebo mobilizovatelných) – po přenosu do cílové buňky se nereplikují
- C. Vektory s *ts* mutacemi v replikačním aparátu (při vyšší teplotě se nereplikují)
- D. Inkompatibilní plazmidy: první plazmid nese transpozon, po přenosu je z buňky vytěsněn druhým plazmidem

Použití sebevražedných vektorů k přenosu transpozonů



Vysvětlivky:

AB^r = ANT rezistence na T

M = marker na vektoru

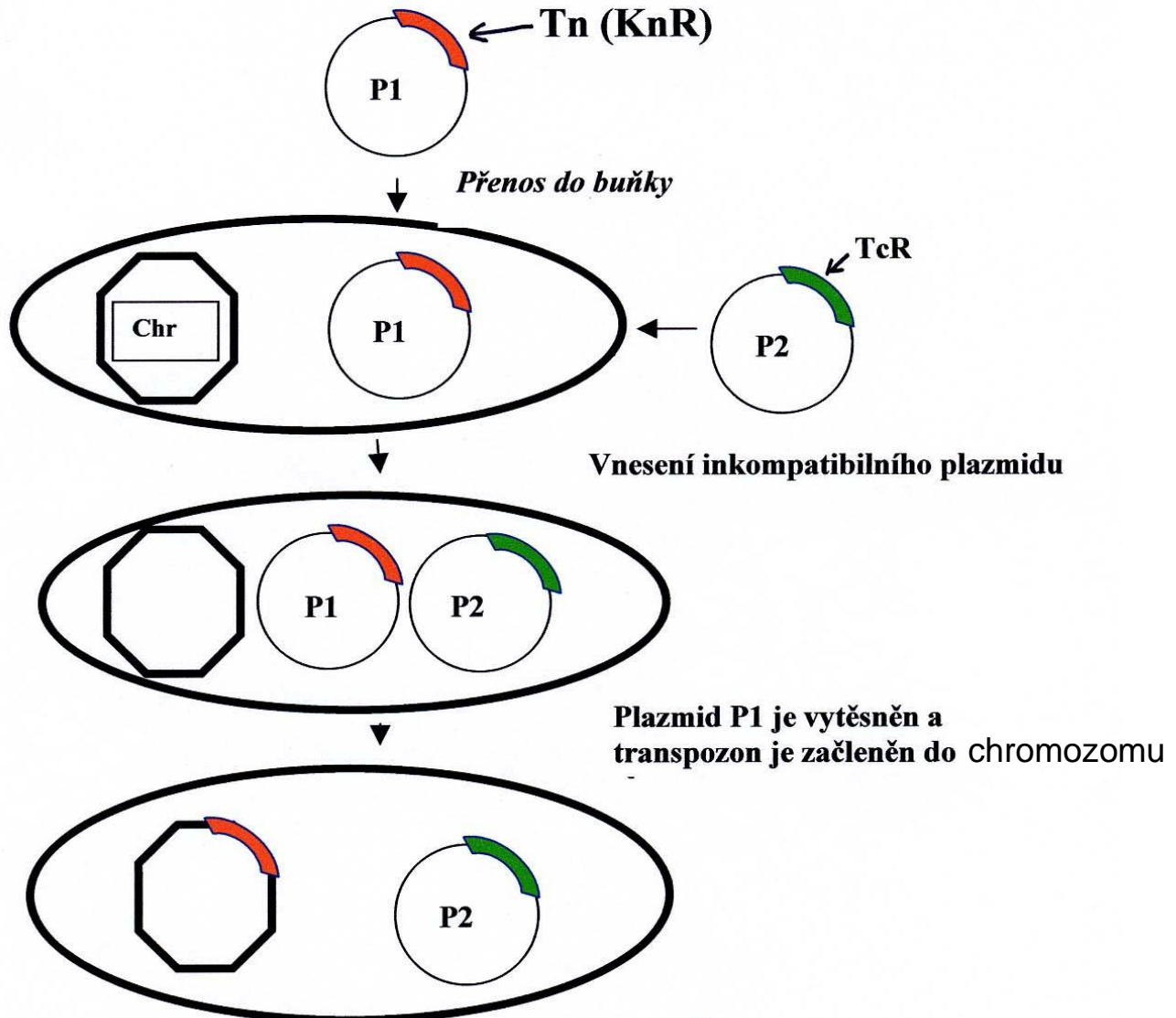
X = gen, který má být mutován

vektor se vyředil

Tn začleněný mimo gen X

Tn začleněný do genu X

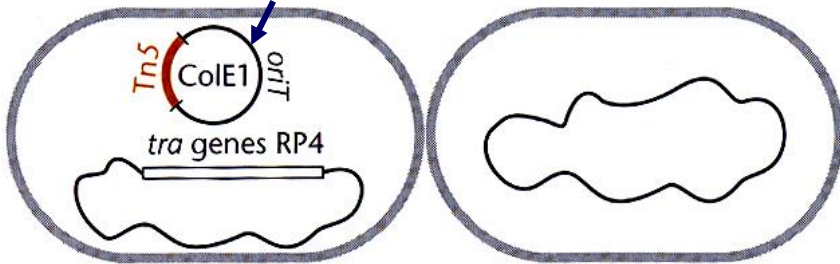
Využití inkompatibility pro vnášení transpozonů do chromozomu



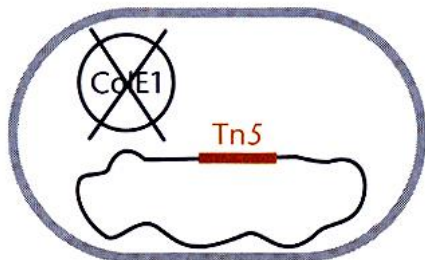
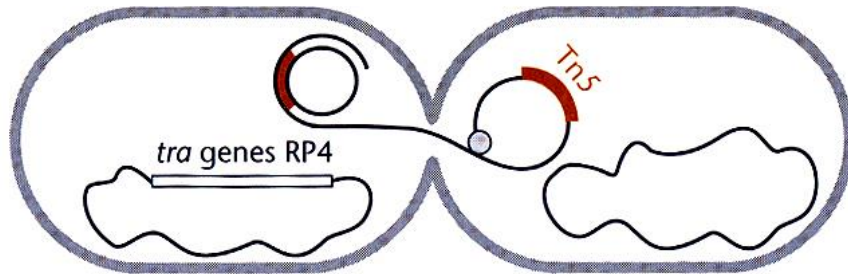
**selekcce s
využitím
markerů
antibiotikové
rezistence
nesených na
plazmidu a na
transpozonu**

MUTAGENEZE POMOCÍ TRANSPOZONU Tn5

A Sebevražedný mobilizovatelný vektor ColE1

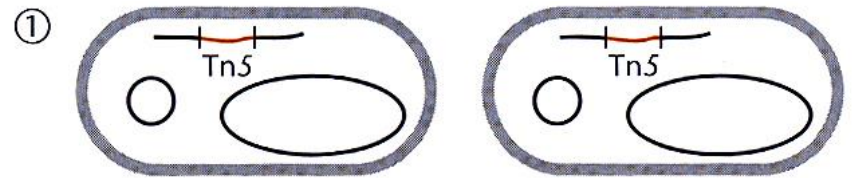


G- bakterie:
ColE1 se
nereplikuje

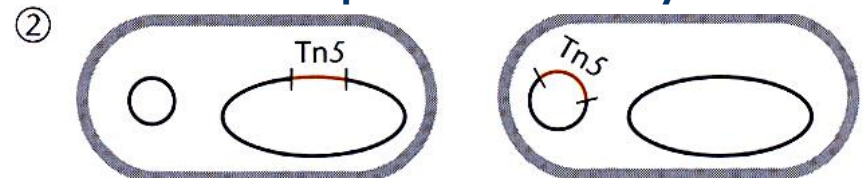


Inzerce Tn5 do chromozomu

Náhodná mutageneze plazmidů - Vnesení Tn5 do buňky na sebevražedném vektoru (fág lambda)

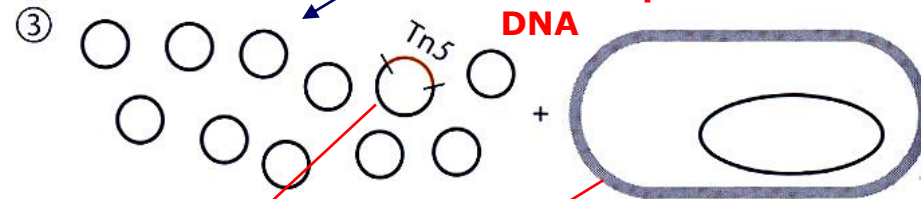


Selekce na plotnách s kanamycinem

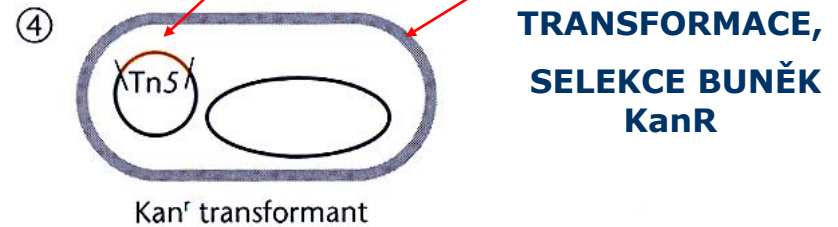


Tn5 hops into
chromosome

Tn5 hops into
plasmid



Izolace plazmidové
DNA

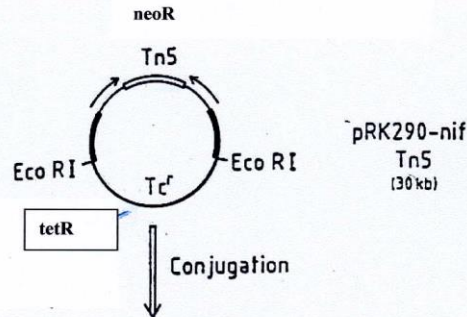


Kan^r transformant

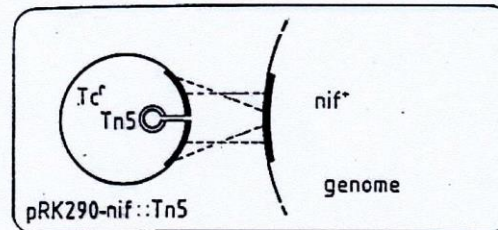
Vytváření mutací na plazmidu nebo v klonované DNA

Transpozonová mutagenéze genu *nif* u *Rhizobium meliloti*

1. Klonování genu *nif* v *E. coli*, provedení mutagenéze (gen je přerušen transpozonem)

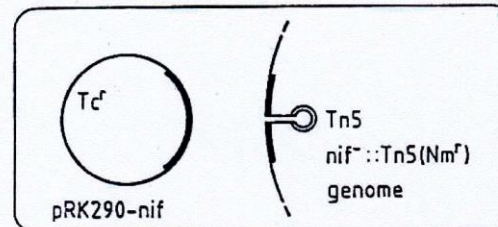


Gen *nif* se začleněným transpozonem Tn5 naklonovaný v pRK290 (konjugativní plazmid) v *E. coli*



Přenesení rekombinantního vektoru z *E. coli* do *R. meliloti*, kde dojde k rekombinaci mezi geny *nif* (Tn) a *nif*⁺

Homologous recombination between *R. meliloti*-DNA on plasmid with genome

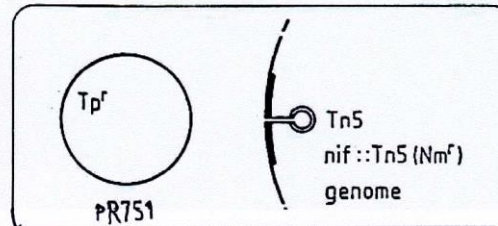


Chromozom *R. meliloti* nyní obsahuje inaktivovaný gen *nif*

- 1) pR751(Tp^r)
- 2) Selection for Tp^r-Nm^r
- 3) Test for Tc^S

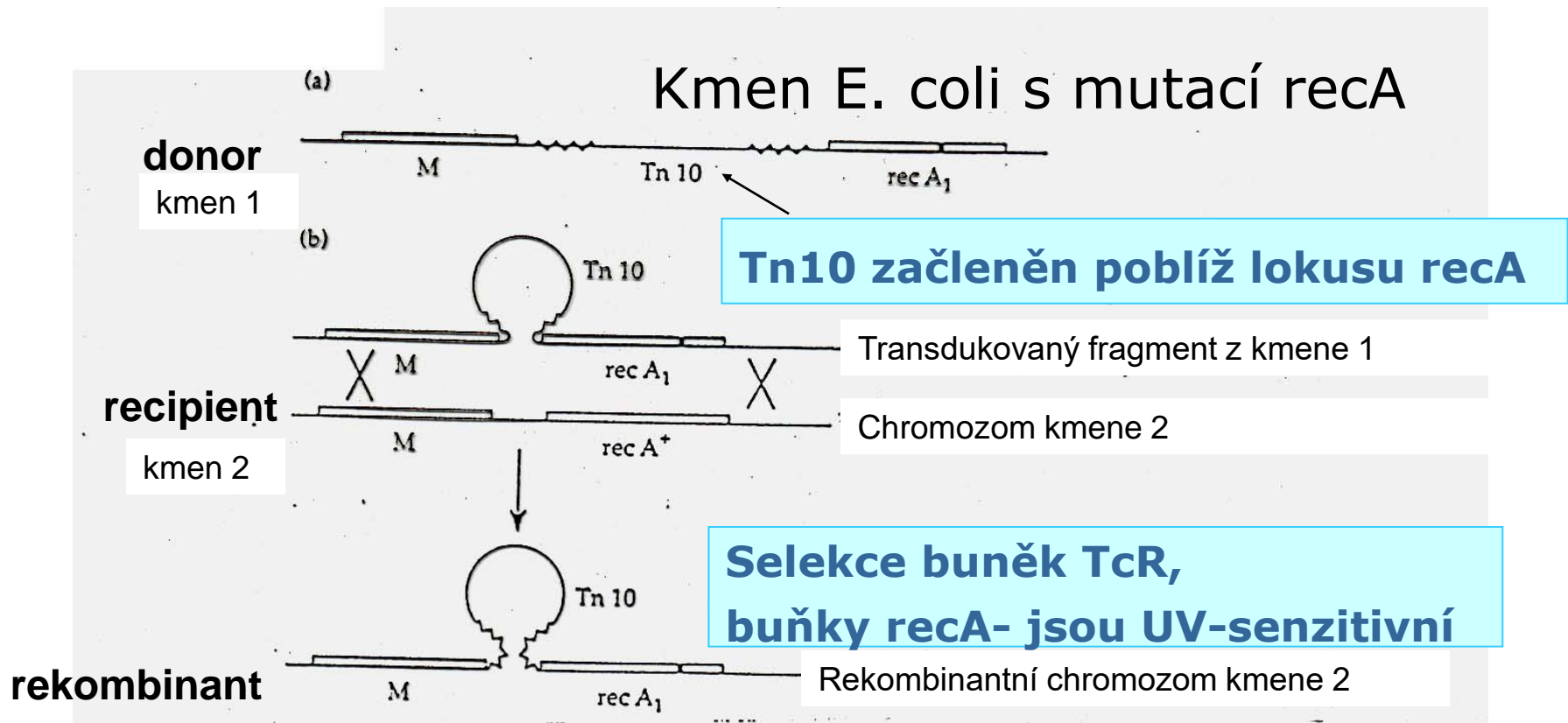
Vytěsnění plazmidu pRK290-nif+ plazmidem pR751 (TpR)

Analýza projevu inaktivního genu *nif*



Buňky rezistentní k trimetorpinu a neomycinu, senzitivní k tetracyklinu

PŘENOS ALELY *recA*- PO OZNAČENÍ TRANSPOZONEM



Obr. 13.3. Příprava kmene *recA*₁ (*E. coli*).

a) mapa transdukující DNA P1 z lyzátu kmene 1, nesoucího kopii Tn10 poblíž *recA*₁.

b) transdukce do kmene 2 (*recA*⁺), selekce na rezistenci k tetracyklinu. Mezi klony Tc^R lze vyhledat rekombinanty kmene 2, v nichž došlo k výměně alely *recA*₁.

STANOVENÍ FYZICKÉ LOKALIZACE GENŮ NA REPLIKONECH A MAPOVÁNÍ GENŮ

Zjištění, zda geny s určitou funkcí jsou umístěny na plazmidu nebo na chromozomu nebo zda jsou distribuovány na více replikonech není snadná úloha. „Transpozon targeting“ (cílené začlenění transpozonů) do genů napomáhá v řešení těchto úloh, jak dokresluje tento příklad:

- Předpokládalo se, že funkce (geny) týkající se onkogeneze u rostlin infikovaných *A. tumefaciens* se nacházejí na Ti plazmidu. Bylo izolováno 37 inzerčních mutant Tn5 v kmenech obsahujících Ti plazmid a vykazujících změněnou virulenci. V každém z mutantních kmenů byly transpozony fyzicky lokalizovány na replikonech.
- Plazmidová a chromozomová DNA z těchto mutant byla separována za užití standardních technik (rozdíl ve velikosti a nebo GC obsahu). Každá DNA byla hybridizována se značeným Tn5. Dvanáct mutací bylo chromozomálních a 25 nesených na plazmidu.

TRANSPOZONOVÁ MUTAGENEZE *IN VITRO*

□ **Nevýhody mutagenese *in vivo*:**

- částečná životaschopnost sebevražděných vektorů --- falešně pozitivní výsledky
- omezená velikost cílového genu --- nutný rozsáhlý skrínig nebo selekce mutant
- u některých bakteriálních druhů nejsou k dispozici vhodné transpozony

□ **Průběh mutagenese *in vitro*:**

□ **Výchozí předpoklad: transponáza je schopna provést většinu reakcí též *in vitro***

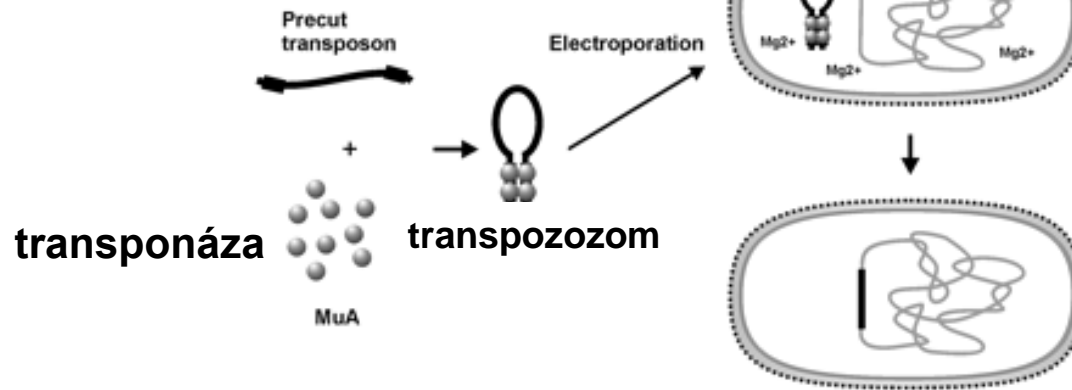
- k cílové DNA je přidána donorová DNA nesoucí transpozon a enzym transponáza – dojde k transpozici transpozonu do cílové DNA
- cílovou DNA mohou být replikony, např. plazmidy, které se v cílové buňce replikují, nebo lineární úseky DNA, které lze pak zavést do buněk, kde se rekombinací začlení do chromozomu (nahradí standardní gen genem se začleněným transpozonem)
- lze použít mutovanou transponázu se zvýšenou účinností transpozice (až 1000x)
- lze použít transpozony postrádající gen pro transponázu (stabilní inserce)

□ **Použití transpozozomů**

□ **Transpozozom (transposome): transpozon, na nějž byl *in vitro* navázán enzym transponáza**

- Transpozozom se připraví *in vitro* v prostředí bez Mg-iontů, čímž dojde k rozštěpení donorové DNA, ale transponáza zůstává přichycena na koncích. Tento meziprodukt - transpozozom - se do buněk přenesou elektroporací, v nichž transponáza katalyzuje transpozici transpozonu do cílového místa. Enzym je brzy rozložen, takže k další transpozici nemůže docházet. Následně proběhne selekce pro vyhledání žádaných klonů.

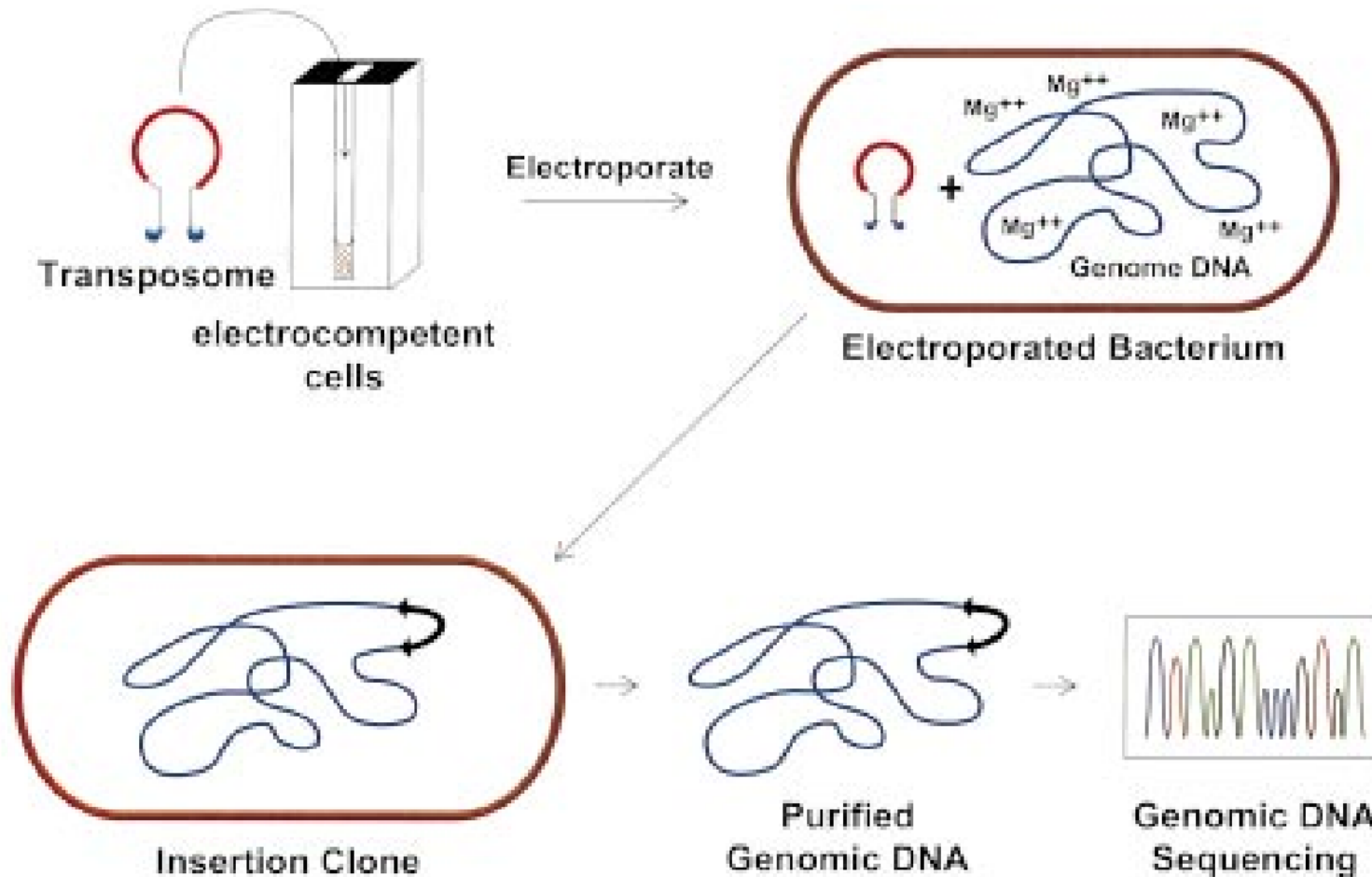
Transpozon vyštěpený
z donorové molekuly
pomocí vhodné RE



***In vivo* integrace Mu-transpozozomu sestaveného *in vitro*. Tetramer transponázy MuA a konce mini-Mu-transpozozonu vytvoří *in vitro* stabilní komplex protein–DNA. Po přenosu do buňky elektroporací se za přítomnosti Mg-iontů transpozon začlení do chromozomu bakterie.**

Přenos transpozozomu je možný i do eukaryotických buněk

Vnesení transpozomu do buňky elektroporací, selekce a sekvenční a fenotypová analýza mutovaných klonů

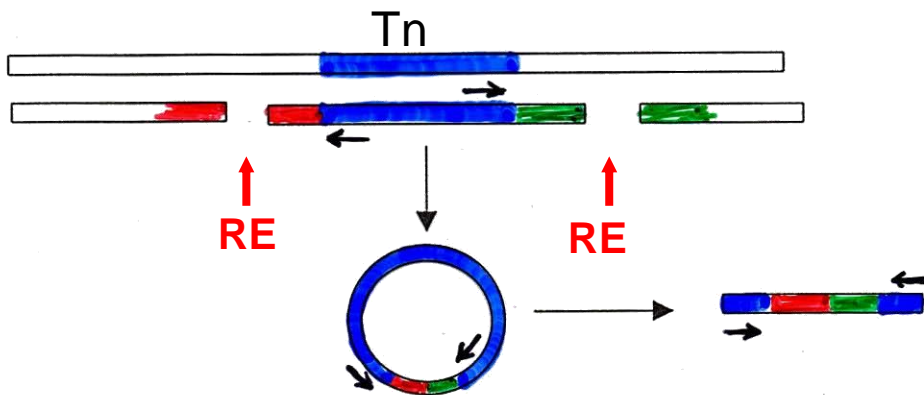


Klony s transpozonom začleněným do různých genů, selekce podle fenotypu

Analýza mutovaného genu

Využití Tn pro izolaci genů

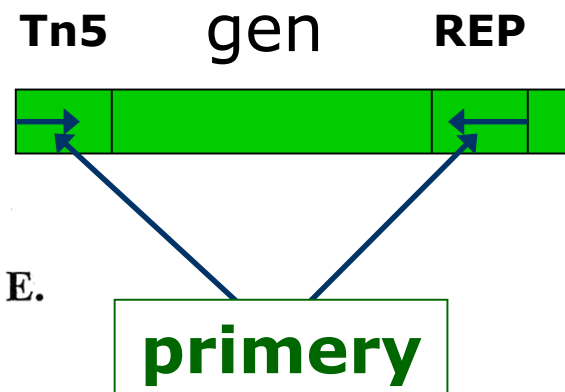
Inverzní PCR. Transpozon nese na svých koncích místa pro připojení PCR-primerů orientovaných do okolní sekvence. Štěpením chromozomové DNA RE (neštěpící Tn), ligací fragmentů vzniká „plazmid“, PCR amplifikuje sekvenci chromozomu obklopující transpozon.



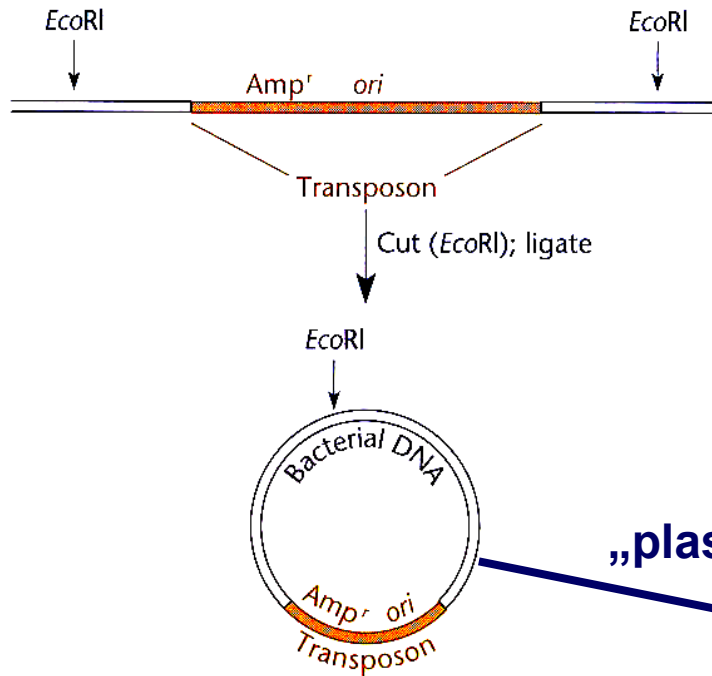
Varianta PCR bez klonování a ligace

- jeden primer je odvozen z Tn5, druhý je komplementární k REP (repetitivní extragenové palindromy), které se nacházejí v počtu 500 kopií mezi chromozomovými geny u *E. coli* a dalších bakteriích (~ 1% genomu).

Po amplifikaci je amplifikován jediný úsek genomové DNA, z něhož lze připravit sondy a vyhledat gen, který je poblíž transpozonu (nebo do něhož se Tn začlenil)



Klonování (vyprošťování) genů mutovaných transpozony



Využití

Klonování dosud neznámých genů, jejichž mutace vedou ke změně fenotypu, zvláště u bakterií, které se obtížně kultivují (analýza projevu genů se provádí po přenosu do *E. coli*)

Transpozon obsahuje plazmidový počátek replikace *ori*. Transpozon je vyčleněn z chromozomu pomocí vhodné restriktázy (zde *EcoRI*), je cirkularizován ligázou a přenesen transformací do *E. coli*. Následuje analýza úseků chromozomové DNA, která přiléhá k transpozonu.

Přenos do *E. coli*



Příprava sondy pro vyhledání wt genu v původním hostiteli

MODIFIKACE TRANSPOZONŮ ROZŠIŘUJE MOŽNOSTI JEJICH POUŽITÍ

- 1. Náhrada genů pro **rezistence k antibiotikům**: deriváty Tn5 nesoucí sadu různých rezistencí k antibiotikům. Jsou vhodné v kmenech, kde rezistence ke kanamycinu není účinně exprimována.
- 2. Přidání **oriV** z plazmidu Sel01 do Tn5 přeměnila tento transpozon na plazmid, který se může replikovat v *E. coli*.
- 3. Zavedení **oriT (mob)** sekvence z RK2 dovoluje mobilizaci chromozomu, do něhož je modifikovaný transpozon začleněn, za předpokladu, že v donorové buňce je přítomen pomocný konjugativní plazmid RK2. Možnost křížení kmenů konjugací.
- 4. Do blízkosti konců transpozonu lze zavést *in vitro* sekvence odpovídající **místům pro RE**. Jestliže je takto modifikovaný transpozon integrován do plazmidu (vektoru), který tato restrikční místa nemá, představují pak koncové sekvence transpozonu jedinečná místa pro klonování a restrikční mapování.
- 5. **Fyzikální separaci transponázového genu** od zbytku elementu (transpozonu) se vytváří **minitranspozon**. Když jsou tyto dvě části (tj. gen pro transponázu a minitranspozon) přítomny ve stejné buňce (na stejném nebo různých vektorech), exprese transponázy (obvykle pod kontrolou jiného, inducibilního promotoru) dovoluje transpozici minitranspozonu do cílového místa nebo míst - transponovaný element (minitranspozon) v místě začlenění se sám nemůže dále transponovat a tak představuje stabilní marker a irreverzibilní mutaci.

TABLE 4. Examples of Genetically Engineered Transposons

Element	Marker(s)	Size (kb)	Special feature(s)	Use
Tn3- <i>ApKm</i>	ApKm	11.7	Carries replication region of R1	Mobile origin of replication
Tn1725	Cm	8.9	Tn1722 with Cm ^r determinant of plasmid Sa; <i>EcoRI</i> sites in both IR sequences	Tn-mutagenesis; Tn can be excised to leave 35 bp insert with <i>EcoRI</i> site
Tn1732	Km	6.7	Tn1722 with Km ^r determinant of Tn2680	As for Tn1725
Tn1737Km	Km (<i>lac</i>)	9.8	Tn1722 with Km ^r determinant and promoterless <i>lacZ</i> gene at one end	Promoter probe; β-galactosidase production requires external promoter; type I operon fusions formed
Tn1737Cm	Cm (<i>lac</i>)	11.1	Tn1722 with Cm ^r determinant and promoterless <i>lacZ</i> gene at one end	Promoter probe; alternative to Tn1737Cm.
Tn5- <i>lac</i>	Km (<i>lac</i>)	12	Tn5 with promoterless <i>lacZ</i> gene replacing most of IS50L	Promoter probe; type I operon fusions formed
Tn50R <i>Flac</i>	Km (<i>lac</i>)		Tn5 with <i>lacZ</i> gene lacking transcription and translation signals replacing most of IS50L	Generates protein fusions; can be used to investigate translation control of gene expression
Tn <i>phoA</i>	Km (<i>phoA</i>)	7.7	Tn5 with alkaline phosphatase gene (<i>phoA</i>) lacking transcription and translation signals replacing most of IS50L	Generates protein fusions; used to study structure of membrane proteins and mechanisms of secretion of exported proteins
Tn5 <i>oriT</i>	Km (<i>oriT</i>)	6.5	Tn5 with conjugal transfer origin from RK2	Mobile transfer origin; chromosome insertions generate conditional Hfr strains (require IncP plasmid for transfer)
Tn5 <i>luxAB</i>	Km (<i>lux</i>)		Tn5 with <i>luxAB</i> genes lacking transcription signal replacing most of IS50L	Promoter probe; alternative to Tn5/ <i>lac</i> ; operon fusions detected by bioluminescence
Tn10 <i>kan</i>	Tc	8.2	Carries Km ^r determinant of Tn5	Alternative to Tn10
MupApl	Ap	37.5	Mu derivative formed by acquisition of Tn3 followed by deletion of nonessential Mu and Tn3 sequences	Plaque forming, marked alternative to Mu
Mud11	Ap (<i>lac</i>)	37	Derivative of Mu with promoterless <i>lacZ</i> gene near S end of phage	Forms type I operon fusions to express β-galactosidase activity
Mud1770-1	ApKm (<i>lac</i>)		Derivative of Mud11 with Km ^r gene	As Mud11 with alternative selection
Mud11678	Ap (<i>lac</i>)		Mini Mu, i.e., deleted derivative of Mud1770-1	As Mud11, but insertion smaller
Tn917 <i>cam</i>	EryCm	6.5	Contains promoterless <i>cat</i> gene as a promoter probe	Forms type I operon fusions to express Cm resistance

Data from Berg et al. (1989).

Table 3. Tn5 derivatives carrying portable promoters, alternative marker genes, and useful sites

použití	Designation in original reference	Antibiotic resistance and novel sequences	Length (kb)
Outward reading promoters	Tn5-tac1	Km ^r , <i>ptac</i>	4.6
	Tn5-B50	Tc ^r , <i>pnpII</i>	5.0
	Tn5-B60	Km ^r , <i>ptac</i>	5.0
	Tn5-B61	Gm ^r , <i>ptac</i>	5.5
Replication/mobilization origins	TnV	Km ^r , <i>ori</i> pSC101	~6
	Tn5- <i>oriT</i>	Km ^r , <i>oriT</i> (RK2)	6.5
	Tn5-Mob	Km ^r , <i>oriT</i> (RP4)	7.8
	Tn5-B11	Gm ^r , <i>oriT</i> (RP4)	8.4
	Tn5-B12	Gm ^r , Sp ^r , <i>oriT</i> (RP4)	10.2
	Tn5-B13	Tc ^r , <i>oriT</i> (RP4)	9.4
Sequencing primer sites	Tn5seq1	Km ^r , pT7, pSP6	3.2
	Tn5 <i>supF</i>	<i>supF</i>	0.3
Novel antibiotic resistance genes	Tn5-Tc2	Tc ^r	5.1
	Tn5-Cm	Cm ^r	3.9
	Tn5-Gm	Gm ^r	7.5
	Tn5-Tp	Tp ^r	5.2
	Tn5-Sm	Sm ^r	5.2
	Tn5-Ap	Ap ^r	5.0
	Tn5.7	Tp ^r , Sm ^r , Sp ^r	7.6
	Tn5-233	Gm ^r /Km ^r , Sm ^r /Sp ^r	6.6
	Tn5-235	Km ^r , <i>'lacZY</i>	10.0
	Tn5-GmSpSm	Gm ^r , Sp ^r , Sm ^r	6.8
	Tn5-751	Km ^r , Tp ^r	9.0
	Mini-Tn5 Sm/Sp	Sm ^r , Sp ^r	2.1
	Mini-Tn5 Tc	Tc ^r	2.2
	Mini-Tn5 Cm	Cm ^r	3.5
	Mini-Tn5 Km	Km ^r	2.3
Other marker genes	Tn5 <i>Bgl</i> ⁺ ^a	Km ^r , <i>bgl</i>	11.3
	Tn5 <i>Amy</i> ⁺ ^b	Km ^r , <i>amy</i>	8.7
	Tn5- <i>tox</i> ^c	Km ^r , <i>tox</i>	10.5
	Tn5-Lux ^d	Km ^r , <i>luxAB</i>	6.6
	Mini-Tn5 <i>bar</i> ^e	<i>bar</i>	2.5
	Mini-Tn5 <i>mer</i> ^f	<i>mer</i>	4.5
	Mini-Tn5 <i>ars</i> ^g	<i>ars</i>	5.0
Restriction mapping	Tn5 <i>cos</i>	Km ^r , Nm ^r	6.2
Plasmid curing	Tn5- <i>rpsL</i>	Km ^r , Nm ^r	7.6
	Tn5-B12S	Km ^r , Nm ^r , <i>sacBR</i>	9.9
	Tn5-B13S	Km ^r , Nm ^r , Tc ^r , <i>sacBR</i>	13.2
Multiple unique restriction sites	Tn5-K20	Km ^r , Nm ^r , Tc ^r	9.5
	Tn5-K28	Sm ^r , Tc ^r	7.4

^a*Bgl*⁺, ability to ferment cellobiose.

^b*Amy*⁺, ability to degrade starch.

^c*tox*, delta endotoxin gene from *Bacillus thuringiensis*.

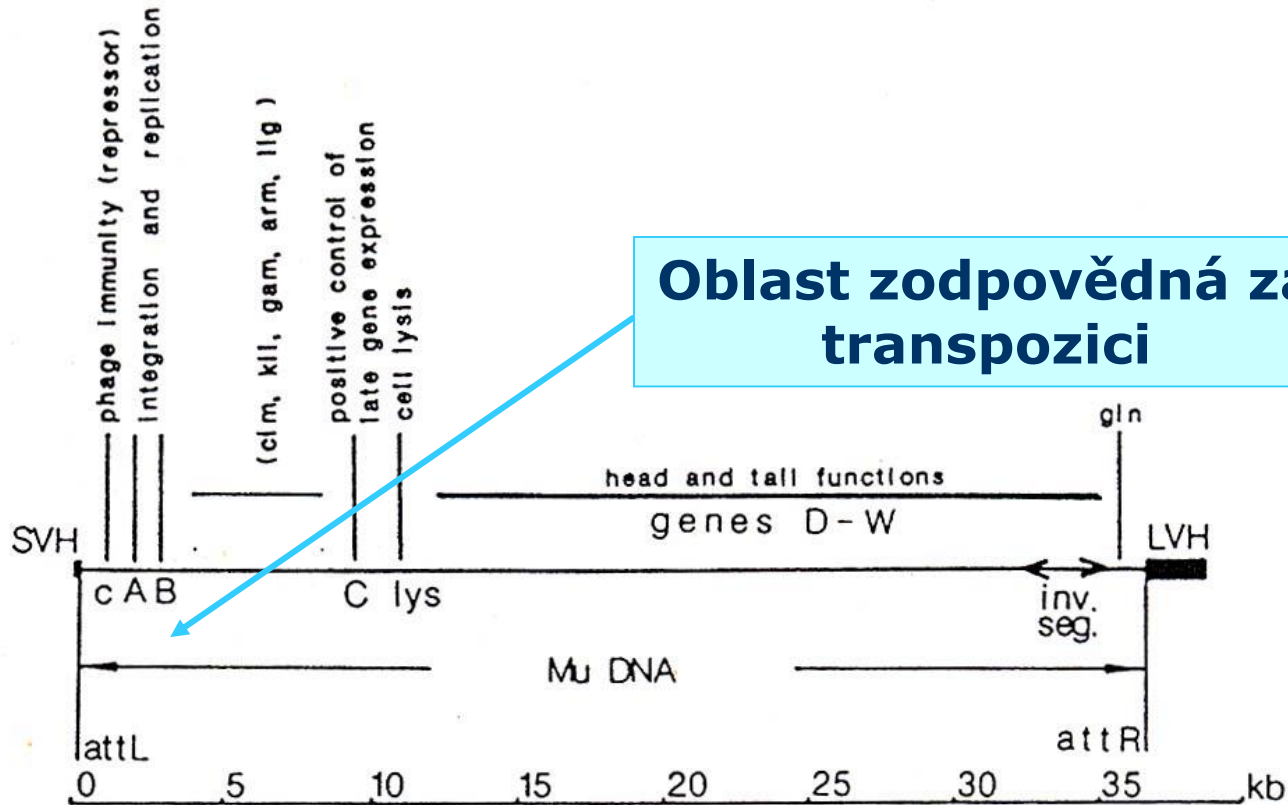
^dLux, bioluminescence.

^e*bar*, resistance to the herbicide bialaphos; vector designated as pUT/PTT by Herrero et al. (48).

^f*mer*, resistance to mercuric salts and organomercurial compounds; vector designated as pUT/Hg by Herrero et al. (48).

^g*sars*, resistance to arsenite; vector designated as pUT/Ars by Herrero et al. (48).

BAKTERIOFÁG Mu - GENETICKÁ MAPA



SVH – krátká (150 bp) variabilní sekvence z chromozomu hostitele

LVH – dlouhá (asi 1,5 kb) variabilní sekvence z chromozomu hostitele

attL, attR – konce transpozonu nutné pro transpozici

gln - gen kódující invertázu, která invertuje 3kb invertovatelný segment (inv.seg)

Fág Mu infikuje široké spektrum G- bakterií

Mud = INZERČNĚ-DELEČNÍ DERIVÁTY FÁGA Mu a MINITRANSPOZONY

Table 5.1 Properties of Commonly Used Mud Derivatives

Element ^a	AKA ^b	Fusion ^c	kb ^d	Marker ^e	Genes ^f	Reference
Mud1(Ap ^r , lac)	Mud1	O	37.2	Ap	cts A ⁺ B ⁺	1
Mud301(Ap ^r , lac)	Mud2	G	35.6	Ap	cts A ⁺ B ⁺	2
Mud1-8	MudA	O	37.2	Ap	cts A(Am) B(Am)	3
Mud2-8	MudB	G	35.6	Ap	cts A(Am) B(Am)	3
MudI1734	MudJ	O	11.3	Km	cts Δ(AB)	4
MudII1734	MudK	G	9.7	Km	cts Δ(AB)	4

^aOriginal designation.

^b"Also known as"; alternate designation.

^cO, operon (transcriptional) fusion; G, gene (translational; protein) fusion.

^dLength of element DNA in kilobases.

^eSelectable antibiotic resistance marker

^fGenotype of repressor (*c*) and transposase (AB) genes.

Využití Mud a Tn k analýze regulace genů

Využití modifikovaných transpozonů Mud pro přípravu genových fúzí

- Mud(ApR, *lacZ*) je modifikovaný fág Mu, u něhož byly deletovány geny pro lytické funkce a nahrazeny genem *bla* (ApR)(selekce) z Tn3 a *lacZ* (reportér) z *E. coli* K12. Byly připraveny dvě serie Mud (Ap, *lacZ*):

GENOVÉ FÚZE *IN VIVO*

1. U první serie byly zachovány translační signály (rbs) genu *lacZ*, ale byl deletován promotor tohoto genu. Gen *lacZ* může být exprimován, když se Mud inzertuje distálně od jiného promotoru ve správné orientaci. Pozorování změn hladiny exprese β -galaktozidázy po změnách podmínek prostředí umožňuje studovat způsob regulace daného genu (nebo operonu). Tento způsob, zvaný **transkripční (operonové) fúze**, byl intenzívně využíván při studiu exprese genů, jejichž fenotyp se obtížně monitoruje*.

2. U druhé serie Mud je gen *lacZ* zbaven místa rbs a též prvních nukleotidů kódující sekvence. Gen může být exprimován jen tehdy, když je transpozon Mud inzertován ve správném čtecím rámci ve směru transkripce od kompletních expresních signálů jak pro transkripci, tak pro translaci (promotor a rbs). Transpozon v tomto případě navozuje **translační (genové) fúze**.

*tvorba β -galaktozidázy se detekuje snadno po přidání X-gal – podle modrého zbarvení kolonií.

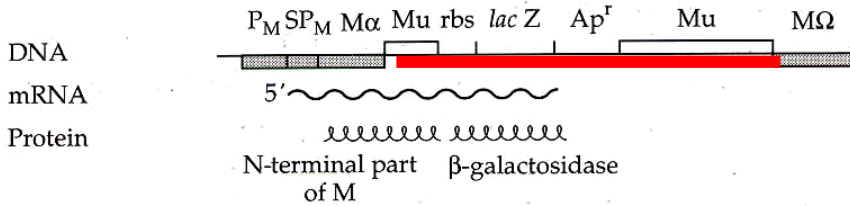
Vlastnosti konstruktů pro fúze:

A. Operonové fúze. U tohoto typu Mud-vektoru mají geny *lac* svůj vlastní start translace (RBS, AUG) a proto je exprese *lacZ* přímo úměrná transkripci z promotoru mutovaného genu, avšak translace *lacZ* je nezávislá na mutovaném genu. Jsou vytvářeny dva samostatné proteiny: N-terminální část produktu mutovaného genu a produkt genu *lacZ* (B-galaktozidáza).

B. Translační fúze. U tohoto typu Mud vektorů nemají geny *lac* své vlastní místo startu translace (rbs), takže exprese genu *lacZ* je určena jak transkripcí tak translací mutovaného genu. Při genové fúzi se tvoří hybridní protein s N-terminální částí mutovaného genu kovalentně navázanou na C-konec B-galaktozidázy.

M = gen, do něhož se Mu začlenil

(a) (i)

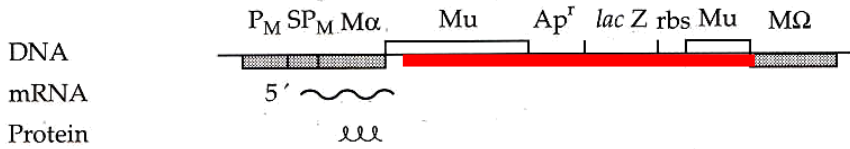


operonová fúze pomocí Mud

Transkripční (operonová) fúze

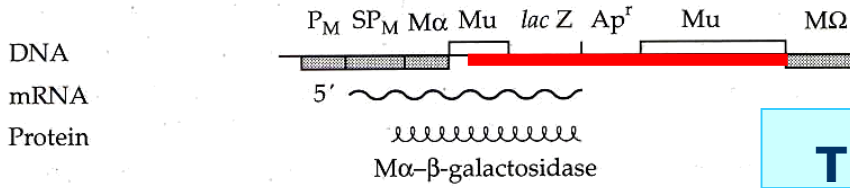
jeden transkript, dva produkty

(ii)



operonová fúze pomocí Mud (v obrácené orientaci)

(b)

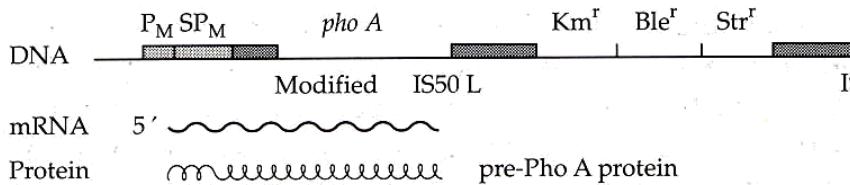


genová fúze (vznik fúzního proteinu)

Translační (proteinová) fúze

jeden transkript, jeden produkt

(c)



TnPhoA
M = sekretovaný protein

MudI = operonové fúze, MudII = genové fúze

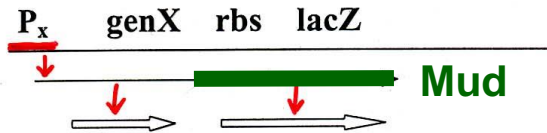
Reportérové transkripční (operonové) a translační (genové) fúze mají řadu využití, např. mohou být použity ke stanovení, zda regulace genové exprese sledovaného genu probíhá na transkripční nebo translační úrovni.

- **Když je gen regulován na transkripční úrovni,** bude β -galaktozidáza exprimována jak v případě operonových tak i genových fúzí a indukována nebo reprimována v podobném rozsahu jako gen, do něhož je transpozon začleněn.
- **Jestliže je gen regulován na úrovni translace,** nebude v případě operonové fúze β -galaktozidáza ani indukována ani reprimována, ale v případě genové fúze bude exprese β -galaktozidázy regulována.

Využití transpozonových fúzí ke sledování způsobu regulace genů

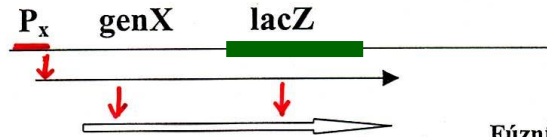
Expres lacZ je řízena signály pro transkripci genu X

A. Regulace genu X na úrovni transkripce



Transkripční fúze

MudI



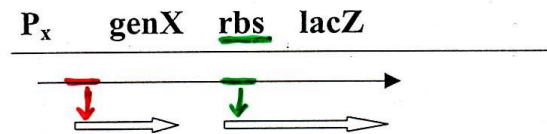
Translační fúze

Fúzní protein

MudII

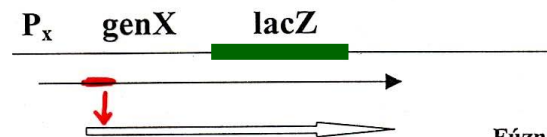
= indukce a represe genu lacZ bude v obou případech probíhat stejně

B. Regulace genu X na úrovni translace



Transkripční fúze

= tvorba B-galaktosidázy nebude indukována ani reprimována



Translační fúze

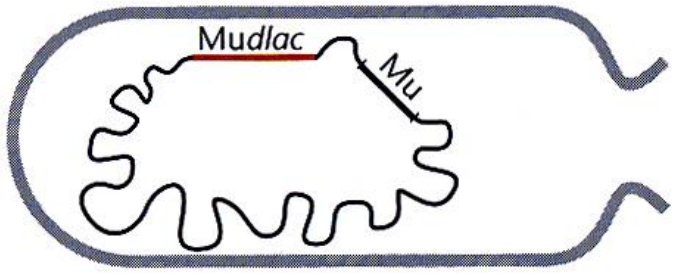
Fúzní protein

= tvorba fúzního proteinu a tedy i aktivita B-galaktosidázy budou ovlivněny translačními signály působícími na gen X

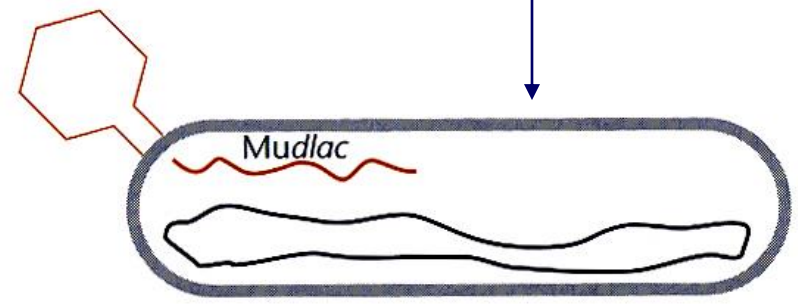
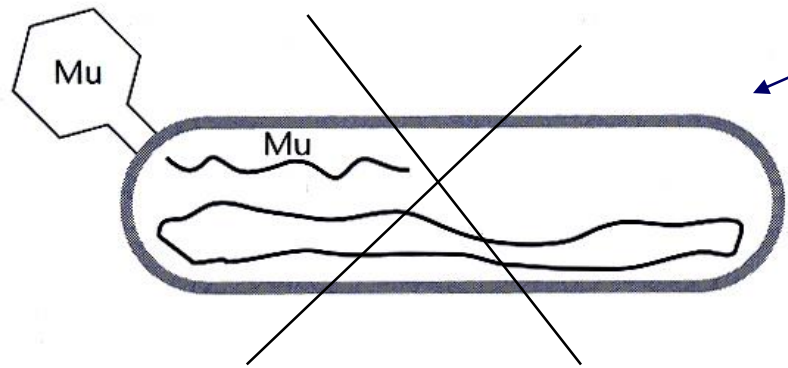
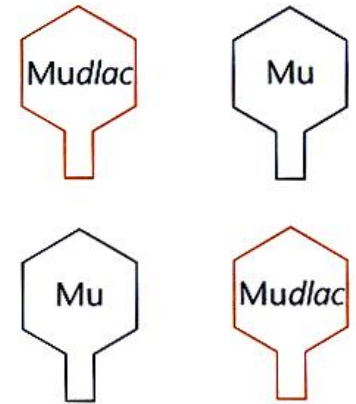
Tvorba galaktosidázy je ovlivněna translačními signály genu X

IZOLACE (příprava) GENOVÝCH FÚZÍ PO NÁHODNÉM ZAČLENĚNÍ Mud(Amp^R; lac)

Buňka kmene obsahující Mud/lac a Mu (pomocný fág)

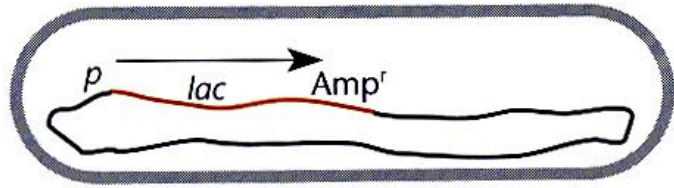


Indukce profágů, vznik smíšeného fágového potomstva



Select Amp^r transductants

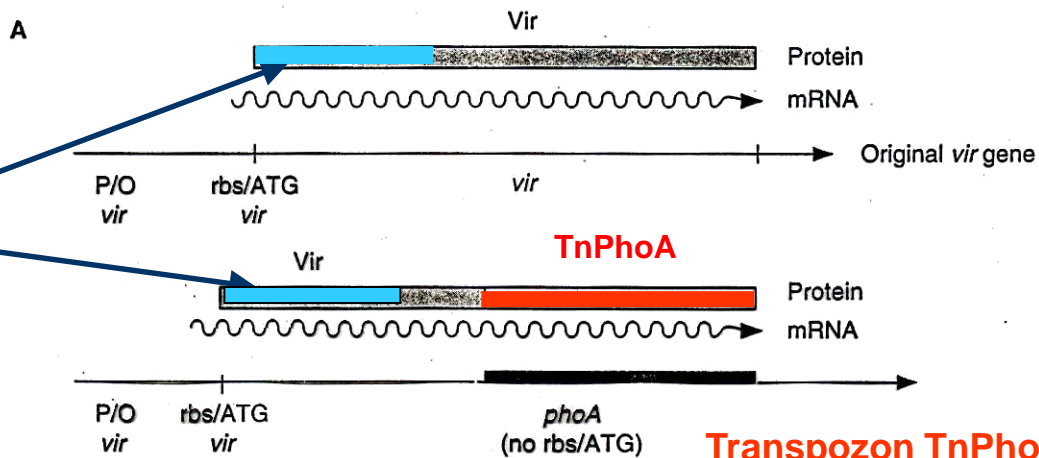
Buňky rostou na Amp a mohou exprimovat β -galaktozidázu



Na plotnách s X-gal se selektují klony s Mud začleněným za promotor specificky regulovaného genu

Pro vyhledávání genů, jejichž produkty jsou **exportovány do periplazmy nebo do prostředí**, byl zkonstruován **TnPho**. Tento transpozon nese gen **pho, který kóduje alkalickou fosfatázu** (protein *E. coli* exportovaný do periplazmatického prostoru). Je aktivní jen jako dimer. Translací vzniká dlouhý prekurzor se signálním peptidem, který je při transportu do periplazmatického prostoru odštěpen. **Selekce pomocí XP (5-bromo-4-chloro-3-indolylfosfát)**

Signální sekvence genu *vir*



Sekretovaný fúzní protein

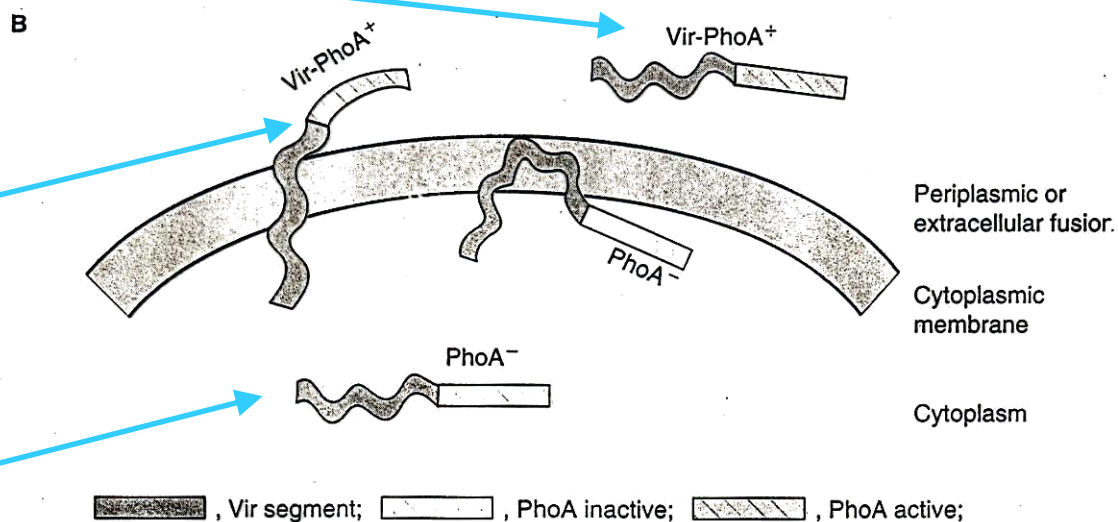
- *pho* je aktivní

periplazmatický fúzní protein

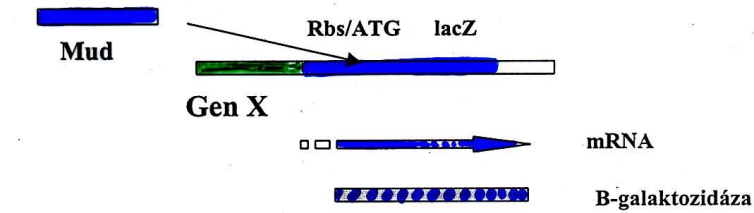
- *pho* je aktivní

cytoplazmatický fúzní protein

- *pho* je inaktivní



Vyhledání neznámého genu, jehož regulace je specificky řízena



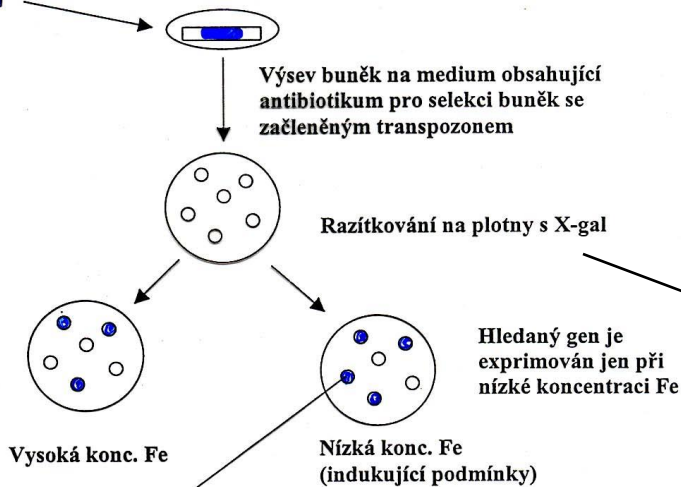
Tvorba B-galaktosidázy je regulována signály řídicími normálně tvorbu produktu genu X

Vnesení Mud do buňky a jeho náhodné začlenění do genu X

LacZ AntR

Zavedení transpononu do buněk

Růst buněk za přítomnosti různých indukčních agens



vyběr klonů, které vykazují změnu v regulaci a expresi lacZ za různých podmínek (např. různá konc. Fe, různá teplota)

Kolonie vybraná pro další analýzu

Mud je začleněn do genu, který je aktivován jen při nízké koncentraci Fe

Mutagenese (Che n. Tn)

Možná ztráta aktivátoru

Sledování pozměněného způsobu regulace na plotnách s X-gal

Objasnění způsobu regulace

Nízká konc. Fe

Možná ztráta represoru

Klonování neporušeného genu, jehož exprese je ovlivněna změnou podmínek

KLONO VÁN Í

Vysoká konc. Fe

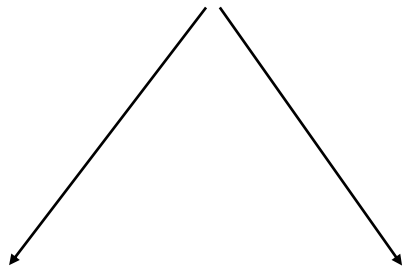
Identifikace genů *din* aktivovaných po poškození DNA

din = *damage inducible*

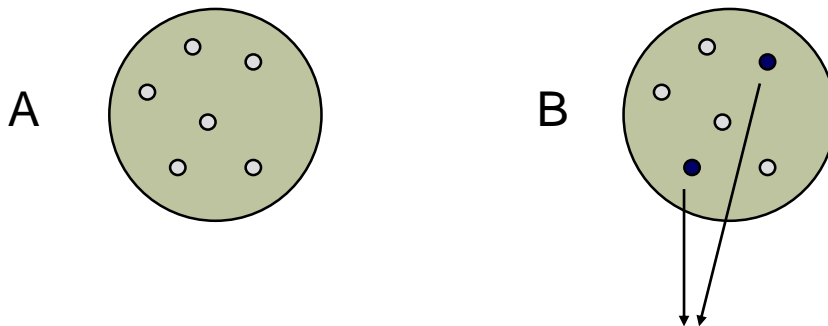
1. Přenos Mud (AmpR, *lacZ*) do *E. coli* (na fágovém vektoru)



2. Izolace transduktantů AmpR



Razítkování jednotlivých transduktantů na plotny s X-gal (A) a na plotny s X-gal + činidlem poškozujícím DNA (B)



Modré kolonie = transpozon se začlenil do genu aktivovaného po poškození DNA

