

Plazmidy

Bi7120 Molekulární biologie prokaryot

podzim 2024

Přednášející: Ivana Mašlaňová

Ivana Mašlaňová a Jiří Doškař

iva.maslanova@gmail.com, doskar@sci.muni.cz

549 49 **7973**, bud. E25/212, <https://ogmb.sci.muni.cz/lmdm>

Co jsou to plazmidy?

Definice:

Plazmidy jsou extrachromozomální, autonomně se replikující genetické elementy, které se vyskytují v buňkách všech skupin mikroorganismů.

Význam:

1. Podstatně **ovlivňují základní biologické vlastnosti svých hostitelů**, podílejí se na jejich **diverzitě a evoluci**.
2. Jsou využívány **k poznání základních molekulárně-biologických procesů** v bakteriálních buňkách a **horizontálního přenosu genů**.
3. Jsou prakticky a široce využívány **v metodách MB a GI**, zejména jako **vektory**.

Charakteristika plazmidů:

- výskyt u bakterií, archeí; dsDNA – kružnicová nebo lineární topologie; velikost 1 – 1000 kbp, postradatelné pro hostitelskou buňku, ale význam pro přežití za specifických podmínek (ATB v prostředí apod.).

Objev:

1946 (Lederberg a Tatum) – objev konjugace u *E. coli*.

50. léta (Frederiq) – popis plazmidu ColE1, kódující **kolicin**¹ ; objev R-faktorů (rezistence k ATB)

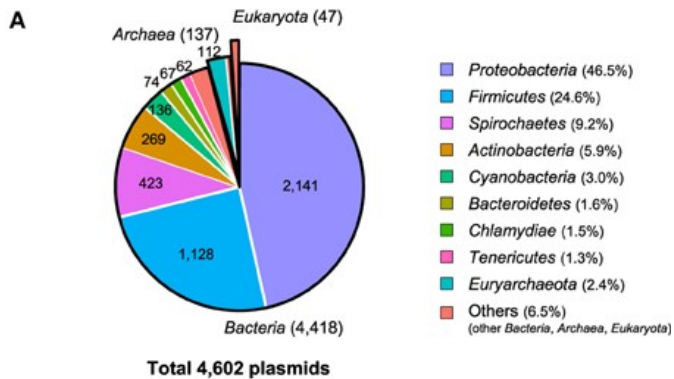
Ti-plazmidy – vznik nádorů u dvouděložných rostlin

Plazmidy **odbourávající sloučeniny těžkých kovů** a plazmidy podílející se **na fixaci vzdušného dusíku**.

60. léta – plazmidy jako modely molekulárně-biologických procesů (replikace, rekombinace)

70. léta–současnost – vektory v GI, klonování, sekvenování a mutageneze *in vitro*

¹ protein s antimikrobiálním účinkem působící na jiné kmeny *E. coli*



V databázi NCBI – přes 4600 kompletních plasmidových sekvencí (**Obr. A**)
 4400 – bakterie
 140 – archea
 50 - eukaryota

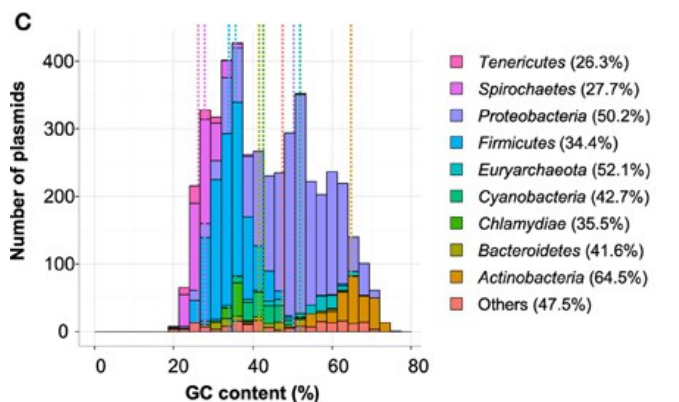
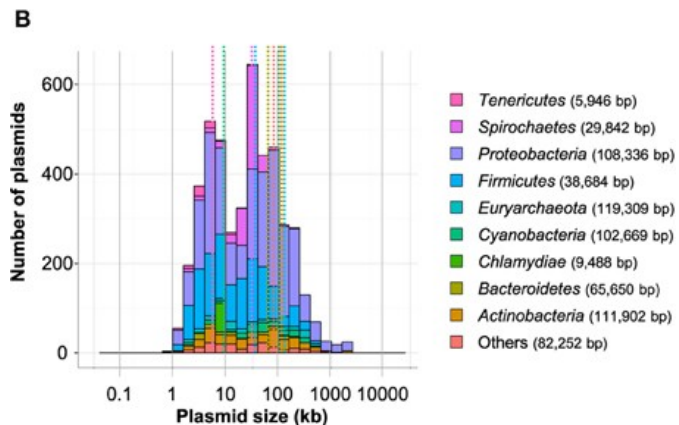
Největší zastoupení plasmidových sekvencí u zástupců patřících do:

Proteobacteria, Firmicutes, Spirochaetes, Actinobacteria, Cyanobacteria a Euryarchaeota.

14% sekvenovaných plasmidů → konjugativní plasmidy

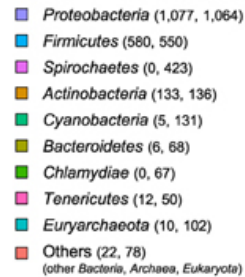
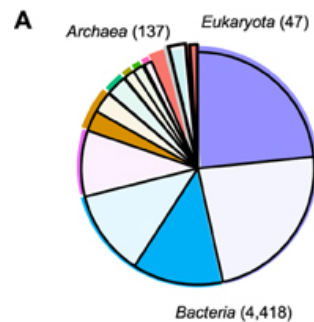
Konjugace a transdukce efektivní mechanismus šíření genetických elementů v populaci bakterií.

K zamyšlení: *Jaký je význam plasmidů?*

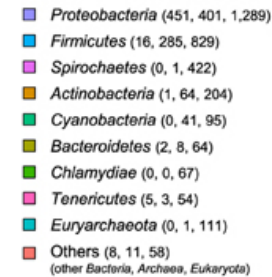
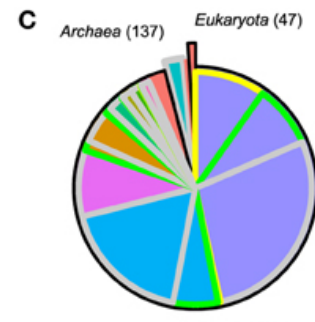


Rozdělení a klasifikace plazmidů

- variabilní velikost a obsah GC (průměrná velikost 80 kb, obsah GC 44,1 %)
- od 1970 – inkompatibilní skupiny (Inc) – replikace a partitioning
- 27 Inc u *Enterobacteriaceae*; 14 Inc u *Pseudomonas*, 18 Inc u *Staphylococcus*

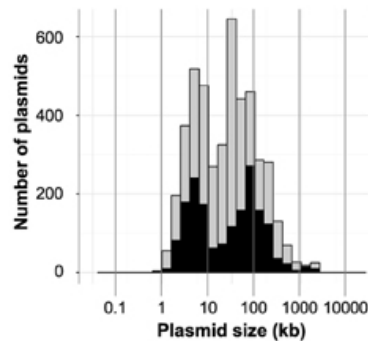


Total 4,602 plasmids

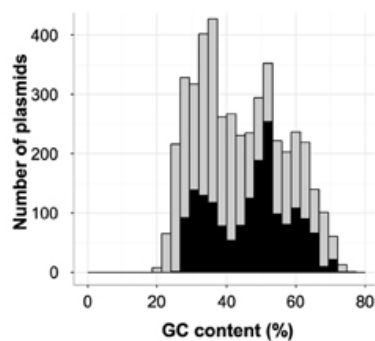


Total 4,602 plasmids

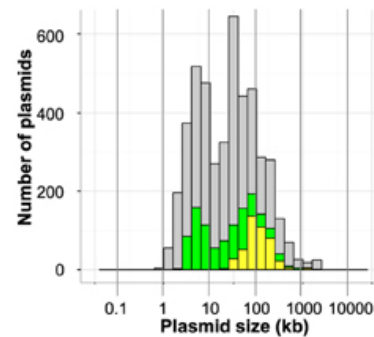
B



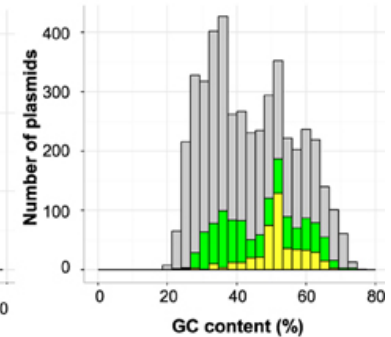
■ Unclassified ■ Classified



D



■ Unclassified ■ Mobilizable ■ Transmissible



Microbial Evolution: Towards Resolving the Plasmid Paradox

R. Craig MacLean* and Alvaro San Millan

Department of Zoology, University of Oxford, South Parks Road, Oxford OX1 3PS, UK

*Correspondence: craig.maclea@zoo.ox.ac.uk

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.006>

Plasmids play a key role in bacterial evolution by providing bacteria with new and important functions, such as antibiotic resistance. New research shows how bacterial regulatory evolution can stabilize bacteria-plasmid associations and catalyze evolutionary innovation.

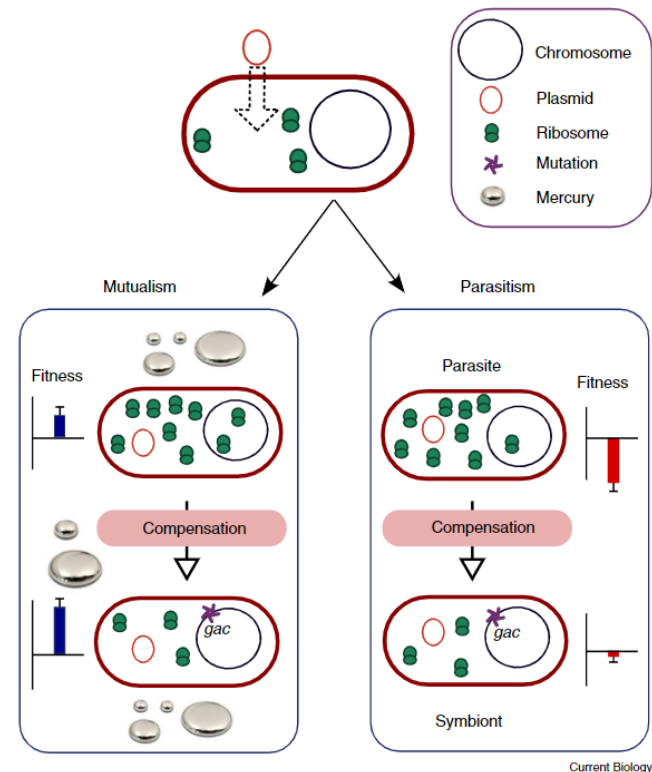


Figure 1. Compensatory evolution stabilizes a bacteria-plasmid association.

Rozdělení plazmidů:

Kryptické - funkce neznámá

Epizomální - reverzibilní integrace do chromozomu hostitele

Konjugativní - schopné přenosu konjugací

Mobilizovatelné - přenositelné za přítomnosti konjugativního plazmidu

Příklady plazmidů:

F-plazmidy (fertilní faktor, konjugativní)
zodpovědné za konjugaci, příp. mobilizaci jiných plazmidů

R-plazmidy (R-faktory)
zodpovědné za rezistenci k antibiotikům, řada z nich konjugativní

Kolicinogenní (Col-plazmidy) (bakteriocinogenní plazmidy)

Ti-plazmidy (tumory indukující)

Virulentní plazmidy

Plazmidy odbourávající **organické sloučeniny** (*Pseudomonas*)

Plazmidy podílející se na **fixaci vzdušného dusíku** (*Rhizobium*)

Plazmidy používané jako **vektory pro přenos DNA** (pBR322, pUC, Ti)

Podle počtu kopií plazmidy dělíme:

1. S nízkým počtem kopií (1-2/chr)
2. Se středním počtem kopií (asi 15)
3. S vysokým počtem kopií (více jak 15)
(dělení je umělé a hranice není pevná)

Klasifikace některých plazmidů u *E. coli*

Founding replicon	Common examples	Host range	Comments
pMB1/ColEI	pBR322, pUC vectors, pGEM vectors, pBluescript vectors	Narrow	pBR322 is a low-copy-number vector (~20 copies/cell) with derivatives that are very-high-copy-number vectors (>300 copies/cell).
p15A	pACYC177, pACYC184	Narrow	The pACYC vectors are low-copy-number vectors (~15/cell). p15A is similar to but compatible with the pMB1/ColEI replicon.
pSC101	pSC101	Narrow	Low-copy-number vector (~5 copies/cell) good for toxic genes; temperature-sensitive derivatives exist.
F plasmid	pBeloBAC11	Narrow	The original fertility (F) plasmid; the replication origin is utilized in BACs.
RK2 (RP4)	pSP329, pCM62, pCM66	Broad	IncP group
RSF1010	pJRD215, pSUP104, pSUP204	Broad	IncQ group
pSa	pUCD2	Broad	IncW group
R6K	R6K	Broad	IncX group
pBBR1MCS	pBBR1MCS-2, pBBR1MCS-3, etc.	Broad	Undefined Inc group

Plasmid	Trait	Original source
ColE1	Bacteriocin that kills <i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>
Tol	Degradation of toluene and benzoic acid	<i>Pseudomonas putida</i>
TI	Tumor Initiation in plants	<i>A. tumefaciens</i>
pJP4	2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) degradation	<i>Alcaligenes eutrophus</i>
pSym	Nodulation on roots of legume plants	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
SCP1	Antibiotic methylenomycin biosynthesis	<i>Streptomyces coelicolor</i>
RK2	Resistance to ampicillin, tetracycline, and kanamycin	<i>Klebsiella aerogenes</i>

K zamyšlení:

Proč lze jen těžko sjednotit klasifikaci plazmidů? Jaký ze způsobů klasifikace je v současné době nejlepší? Jak byste postupovali?

Klasifikace plazmidů:

- označování: pXY123

Univerzální vlastností plazmidů je jejich **inkompatibilita**, kterou se rozumí neschopnost dvou plazmidů koexistovat společně v téže buňce (navzájem se vytěsňují).

Kompatibilitou se rozumí schopnost dvou plazmidů koexistovat v jedné buňce **bez selekčního tlaku** a stabilně se dědit.

Rozlišuje se mezi **vektoriální** a **symetrickou** inkompatibilitou.

- *vektoriální: je ztracen vždy jeden konkrétní plazmid ze dvou.*
- *symetrická: každý z plazmidů je ztracen při stejné pravděpodobnosti.*

Využití inkompatibility při analýze genomu a genů.

Do stejné inkompatibilní skupiny náležejí **navzájem inkompatibilní** plazmidy.

Inkompatibilní plazmidy jsou vzájemně příbuzné (využívají tentýž mechanismus kontroly replikace).

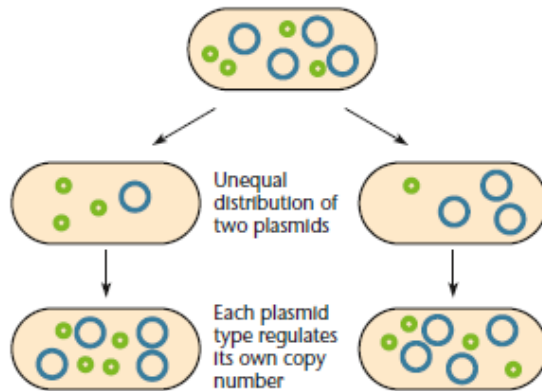
V současné době je známo asi 30 inkompatibilních skupin u enterobaktérií (IntF) , 9 u stafylokoků (Int1 – Int9) atd.

Klasifikace do Inc: závislá na aa sekvenci Rep proteinu

Klasifikace na základě mobility (MOB) – konjugace, 6 typů (MOBc, MOBf, MOBh, MOBp, MOBq a MOBv)

Klasifikace na základě MPF (mating pair formation) – MPFf, MPFg, MPFi a MPFt – závisí na sekvenční podobnosti IV sekrečního systému (T4SS).

A

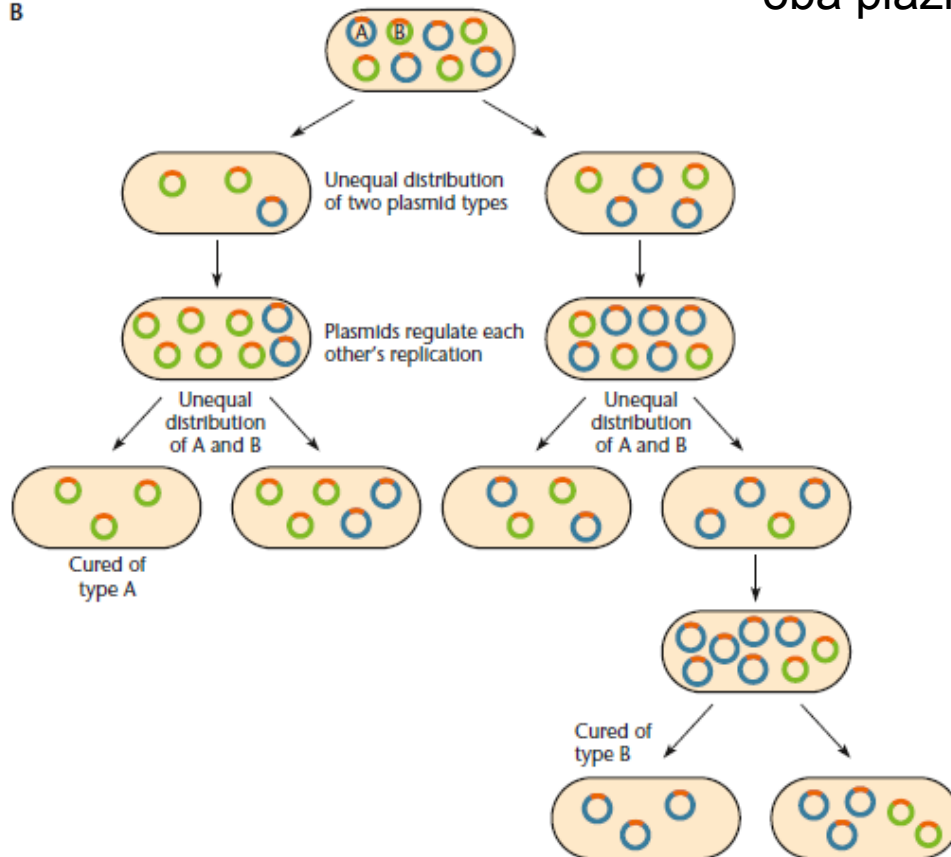


Koexistence dvou plazmidů z různých/stejných Inc. skupin:

(A) Po rozdělení, se oba plazmidy replikují aby dosáhly svého počtu kopií.

(B) Ztráta jednoho ze dvou plazmidů když patří oba plazmidy patří stejné Inc. skupiny.

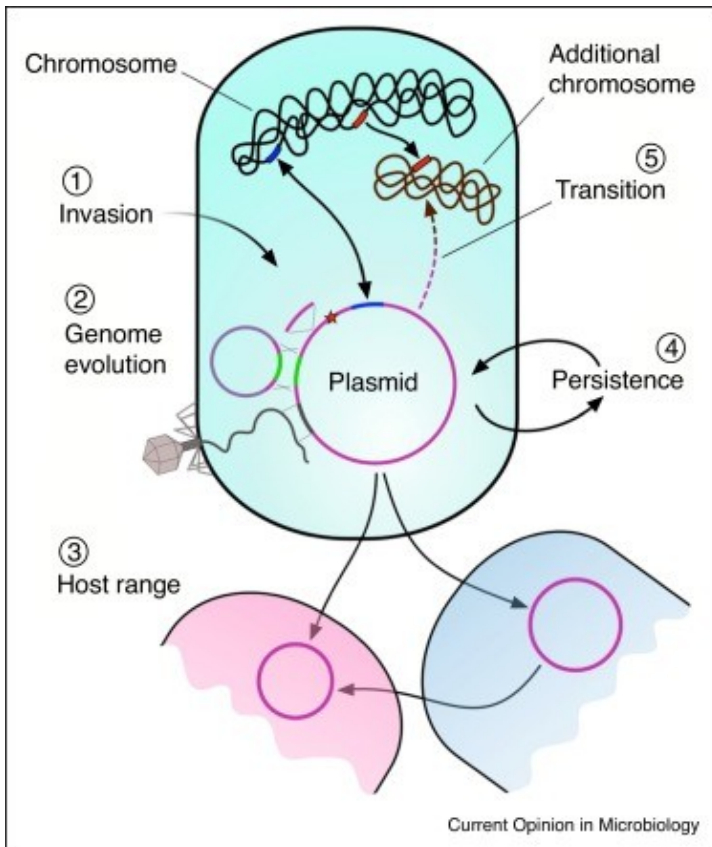
B



Evoluce a životní cyklus plazmidů

Mechanismy přenosu plazmidů (aktivní vs. pasivní):

- konjugace, přirozená transformace, fágem zprostředkovaný přenos (obecná transdukce), přenos prostřednictvím GTA, přenos pomocí membránových komponent (vezikuly, kanály).



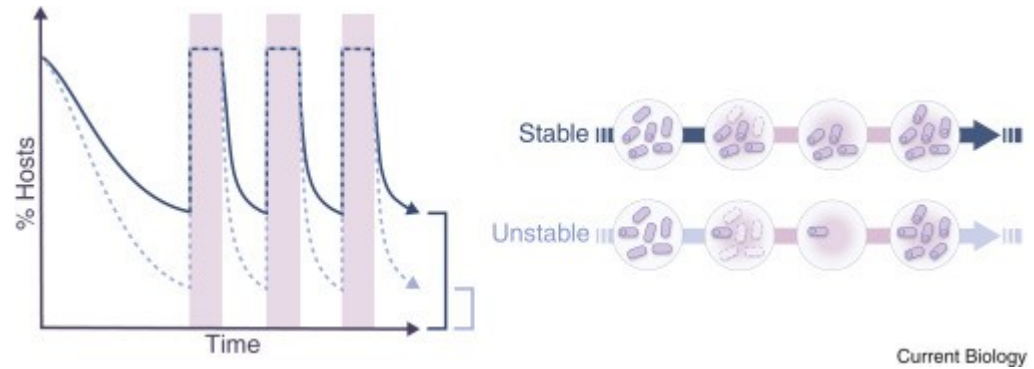
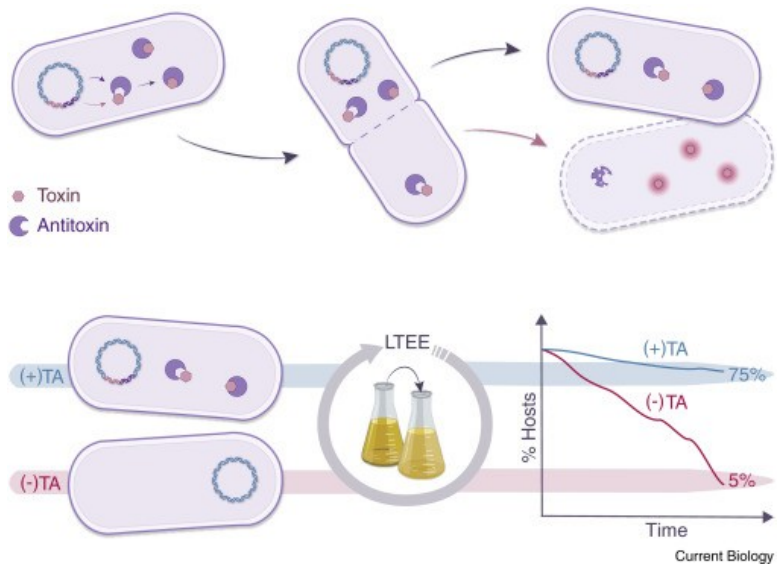
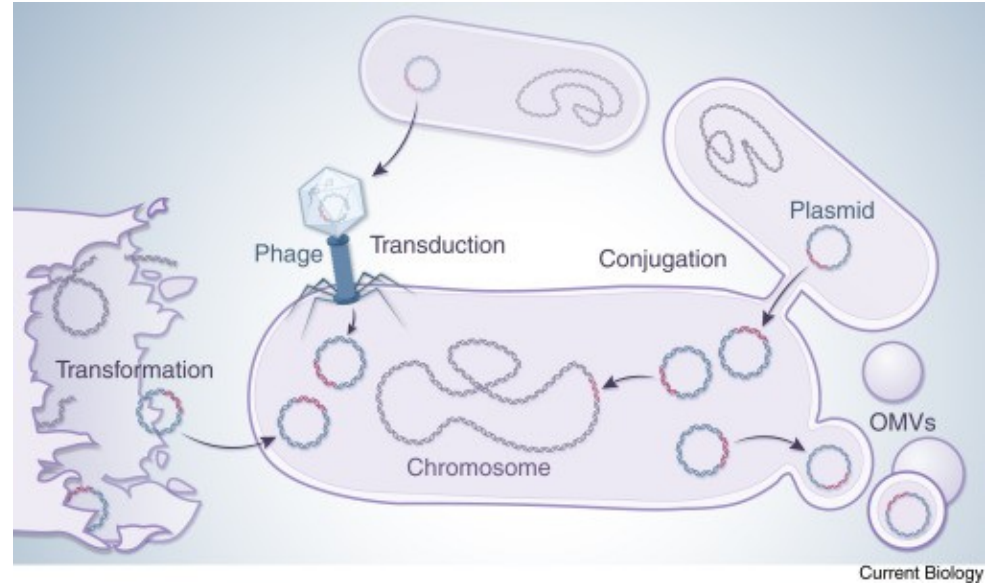
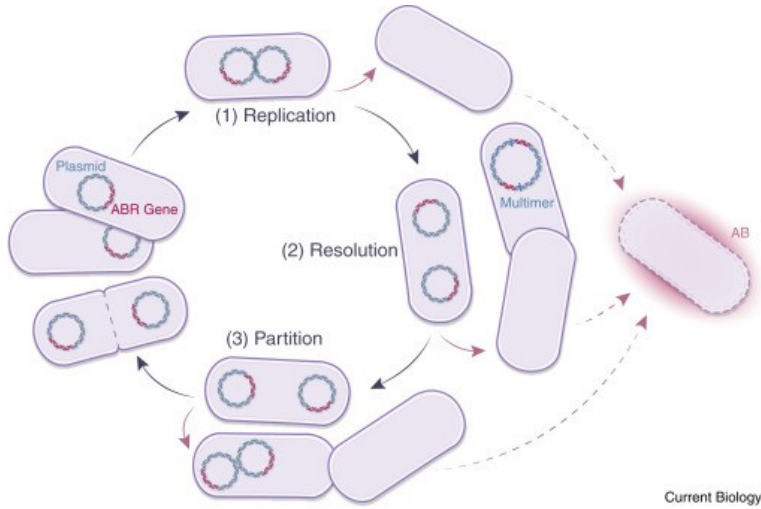
K zamyšlení: Jaké mechanismy brání vstupu plazmidů do buněk?

Evoluce plazmidů



SNPs vs. strukturní změny
(inzerce, delece, inverze a translokace)

Evoluce plazmidů



Jak se dá prokázat, že fenotyp buňky je kódován plazmidem?

Postup: 1. Důkaz přítomnosti plazmidu – 2. Důkaz proteinů kódovaných plazmidem – 3. Ověření (ztráta plazmidu = ztráta daného fenotypu)

Důkaz přítomnosti plazmidu:

1. Elektroforéza po izolaci plazmidové DNA
2. Průkaz CCC DNA v elektronovém mikroskopu.
3. Centrifugační metody:

Důkaz satelitního pruhu v sacharozovém gradientu; důkaz v CsCl-EB podle konformace CCC, LIN a OC.

Charakterizace plazmidů

stanovení velikosti: elektronmikroskopicky nebo v agarozovém gelu, kde se nejdříve linearizuje.

Konstrukce restrikční mapy, sekvenování DNA

Zařazení plazmidu do inkompatibilní skupiny. Za tímto účelem je plazmid přenesen do vhodných recipientních testovacích kmenů, které již obsahují známé plazmidy příslušných kompatibilních skupin.

Předpokladem je to, aby oba plazmidy měly různé genetické markery, např. dva různé geny pro rezistence. Při **Inc-testu** se kmen pomnožuje nejdříve bez selekčního tlaku 10-50 generací a pak se vzniklé kolonie testují na přítomnost obou plazmidů.

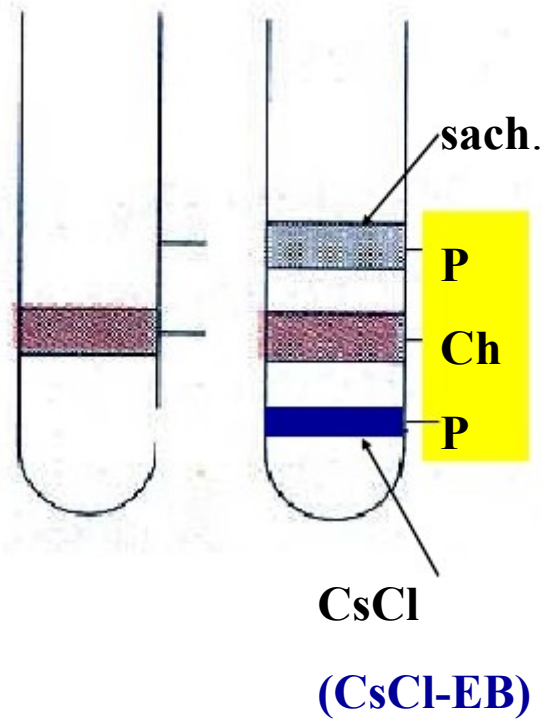
Pro stanovení příbuznosti dvou plazmidů lze použít i srovnání jejich restrikčních map. Přesnější analýza určitých oblastí se pak může provést hybridizací. Poslední krok je sekvenování DNA.

Postup: 1. **Důkaz přítomnosti plazmidu** – 2. **Důkaz proteinů kódovaných plazmidem** – 3. **Ověření (ztráta plazmidu = ztráta daného fenotypu)**

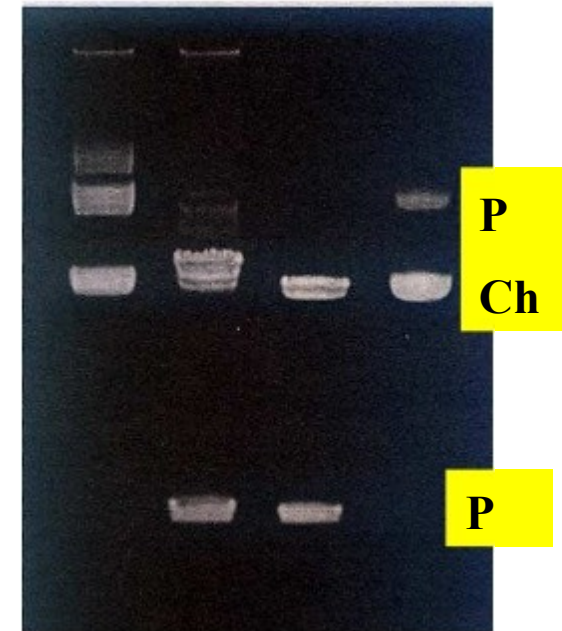
1. Průkaz DNA v elektronovém mikroskopu



2. Centrifugační metody: důkaz satelitního pruhu po centrifugaci



3. Elektroforéza DNA v agarózovém gelu



Postup: 1. Důkaz přítomnosti plazmidu – 2. **Důkaz proteinů kódovaných plazmidem** – 3. Ověření (ztráta plazmidu = ztráta daného fenotypu)

A. Systém využívající minibuňky:

Není přítomen chromozom, ale plazmidy (inkubovány v minimálním mediu za přítomnosti značených aminokyselin (35S-metionin). Proteiny jsou detekovány na SDS-PAGE a prokázány autoradiograficky.

Minibuňky = kmeny s mutacemi, vytvářející buňky bez chromozomu s vysokou frekvencí (mutace tvorby septa).

B. Systém využívající maxibuňky:

Po ozáření **UV-světlem** se **chromozomové geny** v důsledku poškození **neexprimují**, většina plazmidů za těchto podmínek zůstává díky své malé velikosti intaktní a může geny exprimovat. Důkaz tvorby proteinů probíhá analogicky jako u minibuněk.

C. Systém translace *in vitro* (Zubayův systém):

Skládá se z testované plazmidové DNA, ze supernatantu po centrifugaci lyzátu buněk *E. coli*, obsahujícího proteinové komponenty nutné pro transkripci a translaci (RNA- polymeráza, ribozomy, translační faktory, 19 aminokyselin a jedné aminokyseliny značené, rNTP, systému regenerujícího energii a další). Důkaz tvorby proteinů probíhá analogicky jako u minibuněk.

Postup: 1. Důkaz přítomnosti plazmidu – 2. Důkaz proteinů kódovaných plazmidem – 3. **Ověření (ztráta plazmidu = ztráta daného fenotypu)**

Odstraňování plazmidů („plasmid CURING“, LÉČENÍ)

- odstranění plazmidu - ztráta určité vlastnosti buňky – vnesení plazmidu do nového kmene – projev sledovaného fenotypu

Použití látek zabraňujících replikaci plazmidů. Univerzální metodou jsou změny teploty – zvýšení teploty, skladování kultur v mrazících médiích, vytvoření protoplastů vedoucí k chybné distribuci replikonů do dceřinných buněk.

A. Interkalační barviva:

Akriflavin, akridinoranž, etidiumbromid a quinarcin patří mezi interkalační barviva, které se začleňují mezi sousední báze a **zabraňují replikaci** plazmidů.

B. Coumermycin a novobiocin:

Interference s účinkem **DNA-gyrázy**, který zavádí **negativní superhelikální** otáčky do kruhové dsDNA.

C. Rifampicin a mitomycin C:

Rifampicin se **váže na RNA polymerázu** a **zabraňuje tak transkripci**. Mitomycin C je metabolicky aktivován na intermediát, který **kroslinkuje DNA řetězce** a **blokuje tak transkripci**.

D. Natriumdodecylsulfát (SDS):

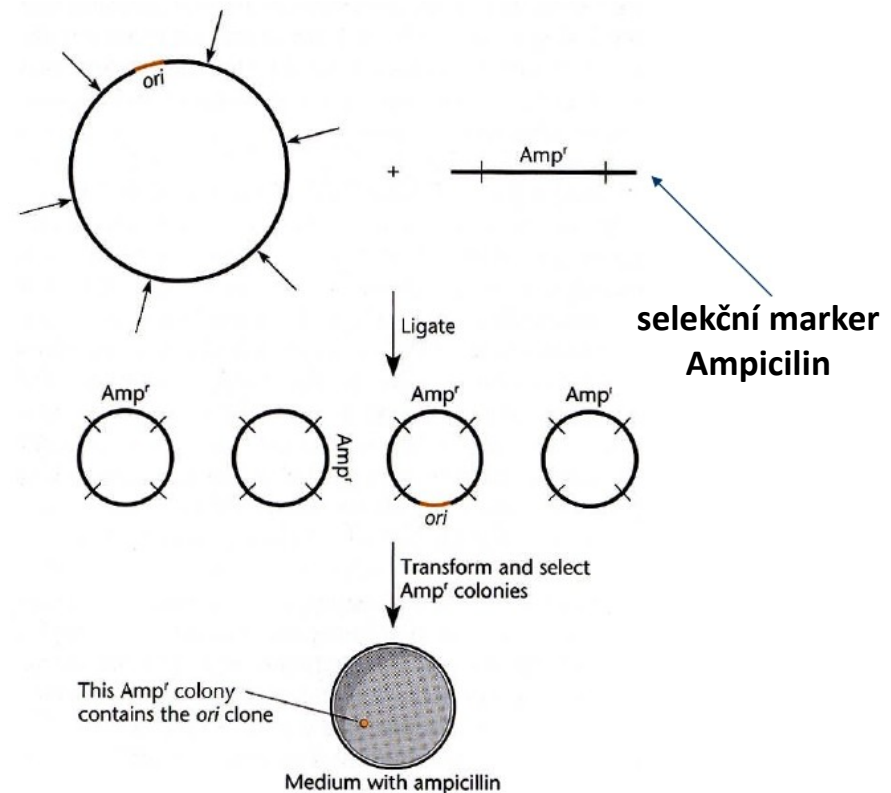
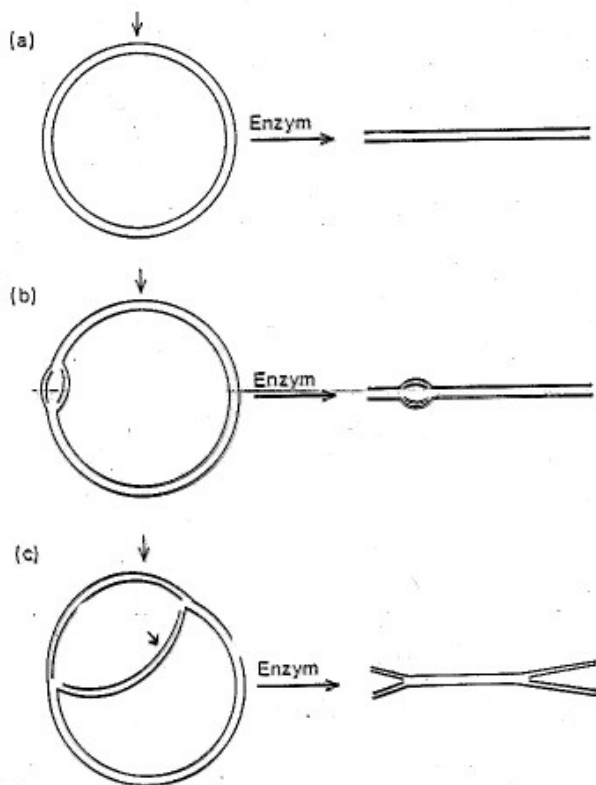
Narušuje **vazbu** plazmidu k **buněčné membráně**.

Jak se stanovuje počátek replikace (ori) plazmidů?

1. Štěpení plazmidu v jednom místě a pozorování v elektronovém mikroskopu.
2. Tvorba minireplikonů – štěpení plazmidu vhodným enzymem na větší počet fragmentů, přidání selekčního markeru – selekce - pouze fragment s funkčním *ori* a selekčním markerem bude životaschopný.

1. Štěpení plazmidů v různých stadiích replikace restriktivním enzymem, sledování struktury v EM.

2. Tvorba minireplikonů.



Jak se stanovuje počet kopií plazmidu na buňku?

A: Ultracentrifugace s radioaktivně značenou DNA

$$\text{POČET KOPIÍ} = \frac{\text{velikost chromozomu (kb)}}{\text{velikost plazmidu (kb)}} \times \frac{\text{radioaktivita plazmidu (cpm)}}{\text{radioaktivita chromozomu (cpm)}}$$

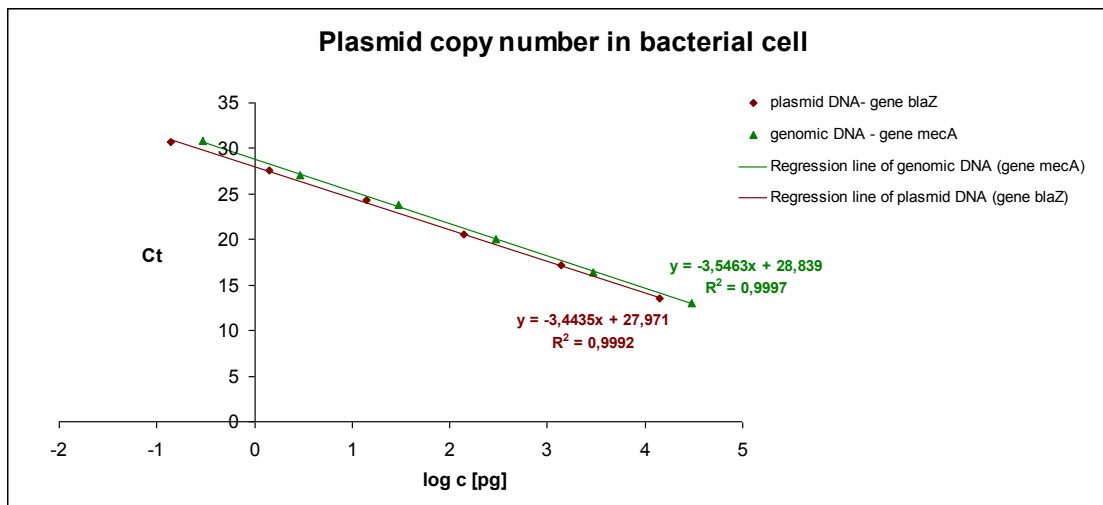
Ultracentrifugace v CsCl-EB s radioaktivně značenou DNA, stanovení radioaktivity v jednotlivých frakcích (pruzích).

Elektroforéza v gelu, stanovení množství DNA (densitometricky).

cpm = počet rozpadů za minutu

B: Kvantitativní PCR (qPCR)

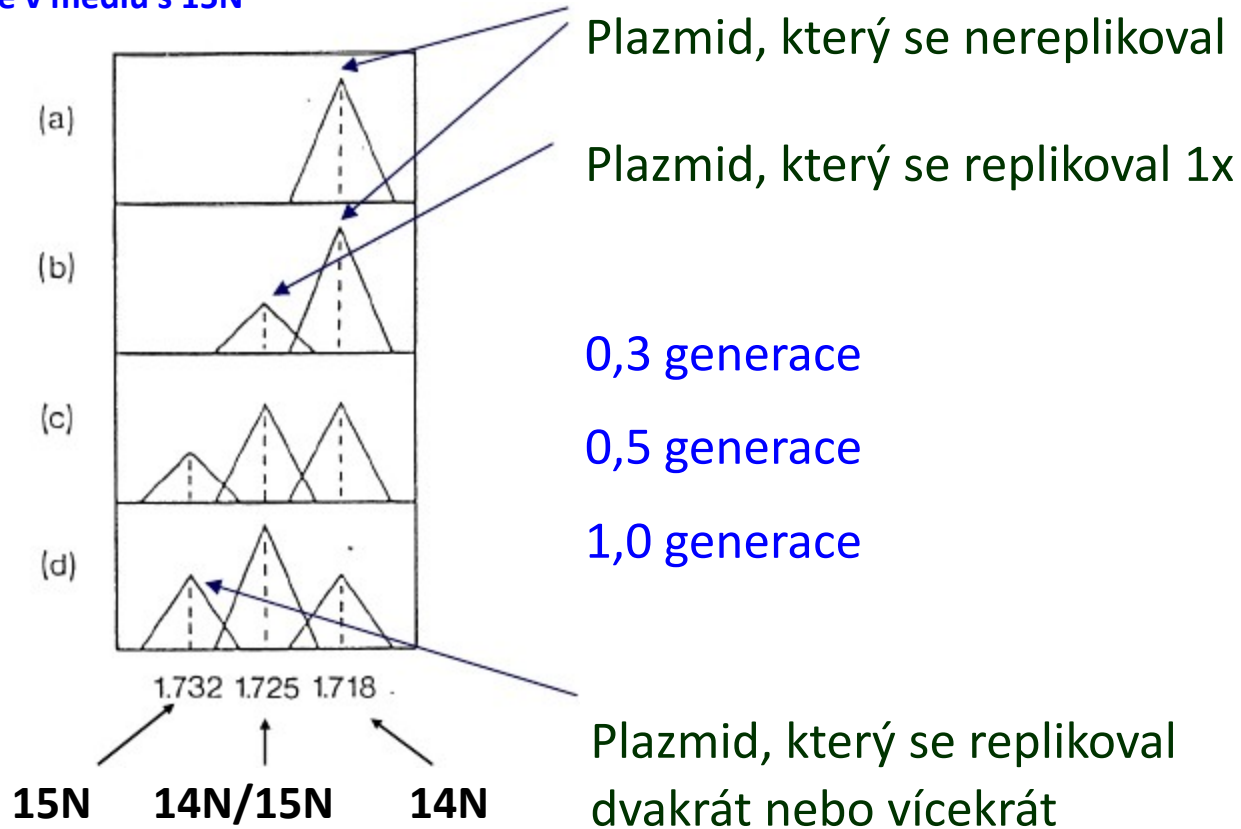
$$\text{POČET KOPIÍ} = \frac{\text{velikost chromozomální DNA [bp]} \times \text{množství plazmidové DNA [pg]}}{\text{velikost plazmidové DNA [bp]} \times \text{množství chromozomální DNA [pg]}}$$



Quantitative real-time polymerase chain reaction for determination of plasmid copy number in bacteria (Chai Lian Lee et al,2006)

Stanovení četnosti replikace plazmidů v gradientu CsCl

Růst buněk v mediu s ^{14}N a následně v mediu s ^{15}N



Jak se plazmidy replikují?

Replikace plazmidů souvisí s inkompatibilitou – soutěžení o replikační aparát (využití replikačního aparátu hostitelské buňky)-vyředění některého plazmidu ze stejné inkompatibilní skupiny.

Začíná ve specifickém místě ($oriV$)(n. $oriT$) vytvořením volné 3'OH skupiny (buď RNA primer, nebo zlom DNA).

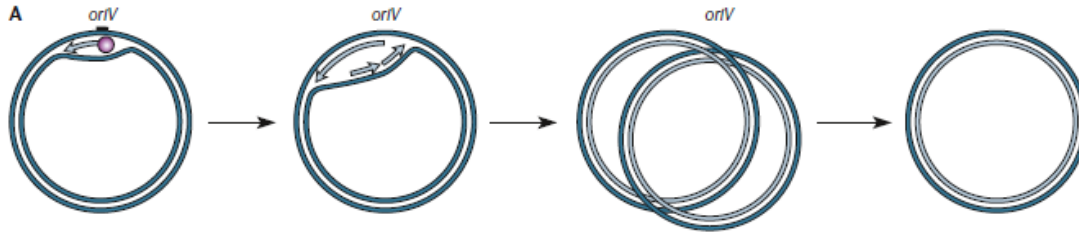
malé plazmidy – mechanismus otáčivé kružnice (RC – plazmidy)

velké plazmidy – theta mechanismus – obousměrná replikace, podoba s replikací chromozomu

Rep protein a další proteiny hostitele (DnaA, B, G aj.), v místě ori je po vazbě iniciačních faktorů syntetizována primerová-RNA (plazmidy typu ColE1 nevyžadují pro tvorbu primerové-RNA žádný protein kódovaný plazmidem).

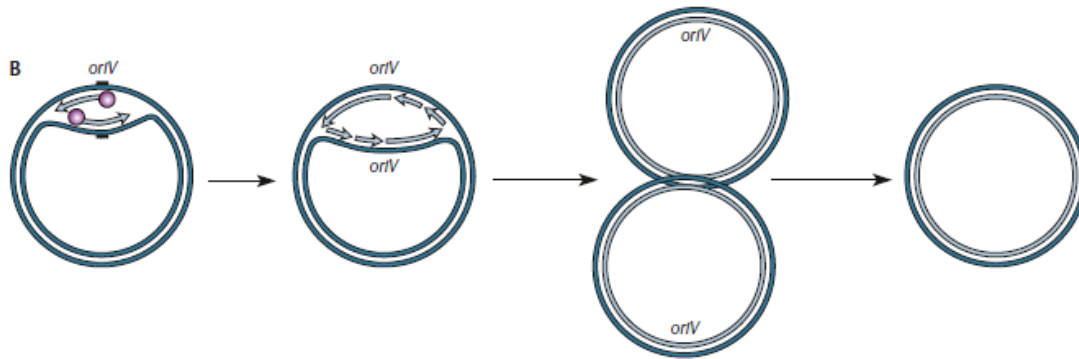
Theta replikace

ColE1, RK2, F



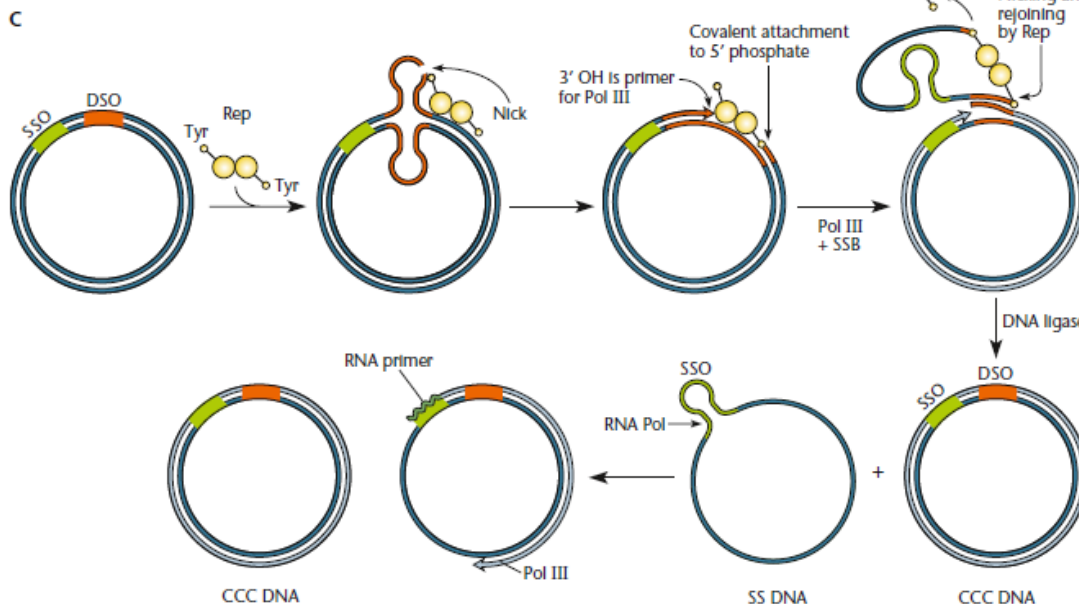
Jednosměrná replikace

- replikace je ukončena po dosažení replikační vidlice *oriV*



Obousměrná replikace

Replikace otáčivou kružnicí (RC)



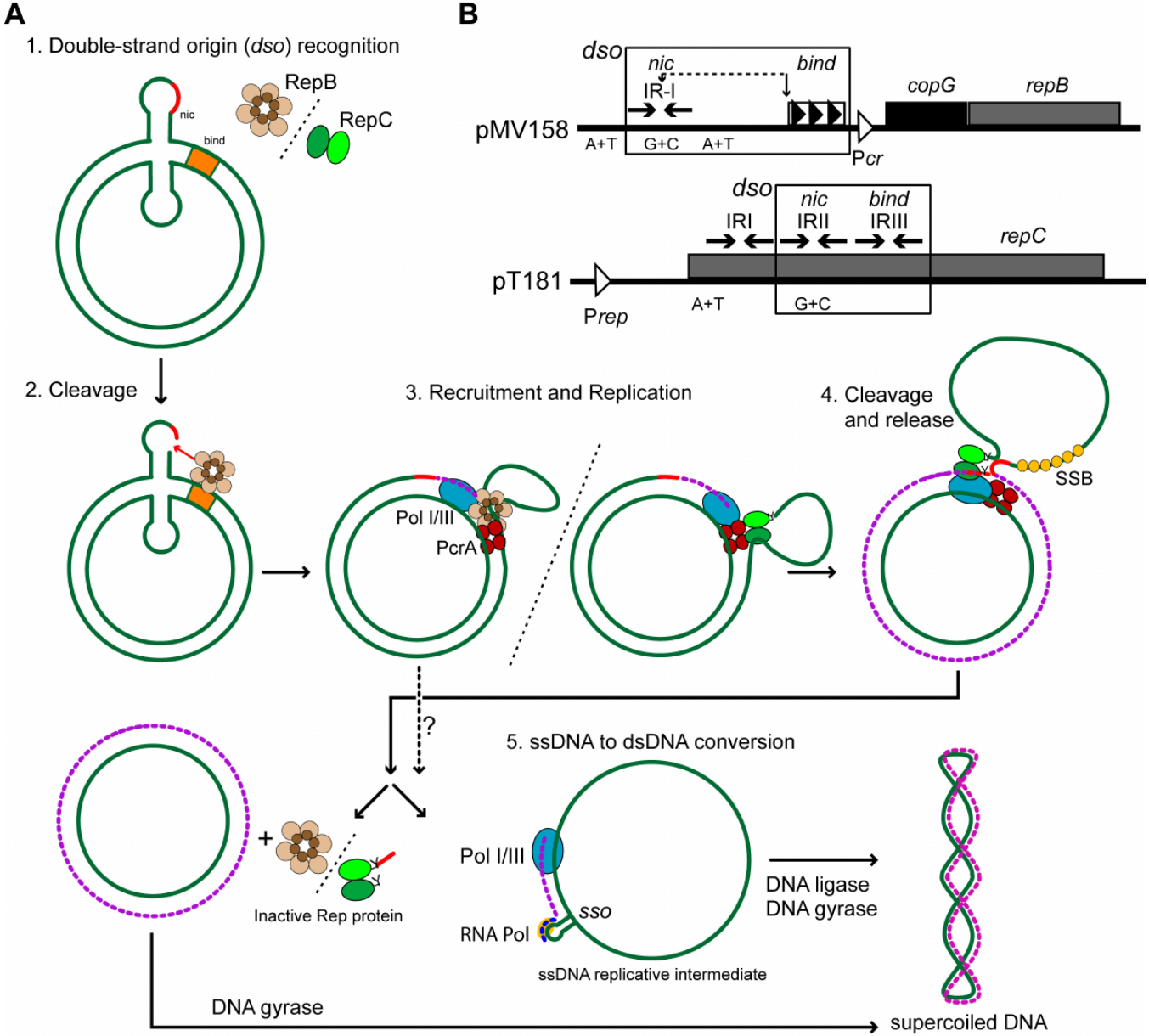
Zlom je vytvořen v místě **DSO** plazmidem kódovaným **proteinem Rep**, který zůstává navázán na 5'-fosfátovém konci v místě zlomu.

Volný 3' OH konec slouží jako primer pro **DNA polymerázu III** (Pol III), která replikuje DNA řetězec cirkulárně a vytěšňuje staré vlákno jako ssDNA. Potom Rep protein vytvoří další zlom, uvolňuje ssDNA a spojuje konce fosfotransferázovou reakcí.

DNA ligáza pak spojuje konce nové DNA tak, aby vytvořila dsDNA. Hostitelská RNA polymeráza

vytvoří primer na původní ssDNA (v místě SSO) a Pol III replikuje ssDNA, tvorba dsDNA. DNA Pol I degraduje primer a ligáza spojuje konce tak, aby vznikla další kružnicová dsDNA molekula.

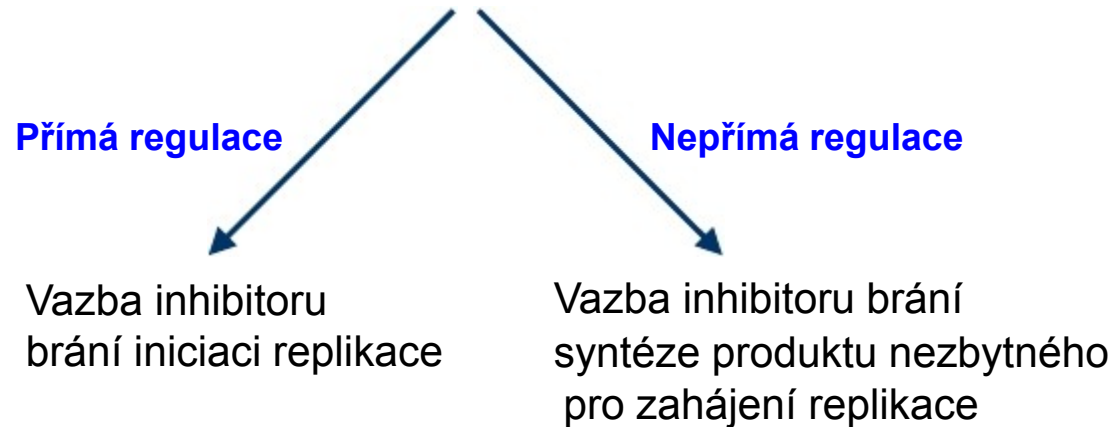
Replikace otáčivou kružnicí – RC model



STRATEGIE KONTROLY POČTU PLAZMIDOVÝCH KOPIÍ

Inhibitor – cíl

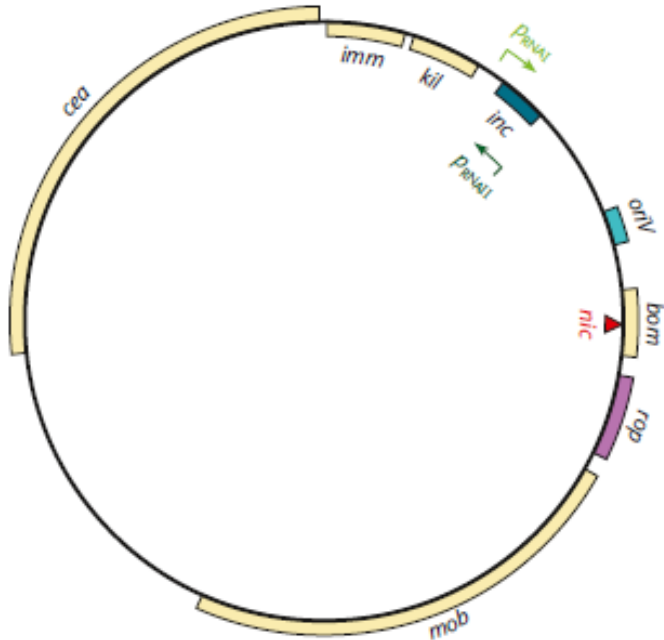
Plazmid kóduje difuzibilní inhibitor replikace, který se váže na cílovou sekvenci



Iteronová strategie

Regulační protein (Rep) nezbytný k zahájení replikace je vázán (titrován) opakujícími se sekvencemi (iterony) poblíž ori. Replikace nastává po nasyntetizování dostatečného množství volného regulačního proteinu.

Plazmid ColE1



Struktura plazmidu:

- P_{RNAII} – promotor pro primer RNAII
- *oriV* – počátek replikace
- *inc* – kóduje RNAI
- *bom*
- *cea* – oblast kódující kolicin
- *mob* – oblast pro mobilizaci
- *rop* – protein pro regulaci počtu kopií

6646 bp velký plasmid, kódující **koliciny** – **bakteriocinogenní plasmid**

Koliciny – proteiny s antibiotickým účinkem, působí na jiné kmeny *E. coli*, detekce podobná jako citlivost k fágům – tvoří **lakuny** podobně jako **plaky** u fágů

- Koliciny se váží na povrchové receptory na buněčných stěnách, produkce kolicinů indukovaná faktory poškozujícími DNA
- Koliciny jsou inaktivní vzhledem k buňkám, kt. obsahují kolicin = **imunita**

Regulace replikace ColE1 plazmidu a jeho derivátů

oriV – denaturace DNA, syntéza řetězců od primerů

Primer – vznik z pre-primeru-prekurzorová RNA (RNAII, 500-550 bp) – syntetizovaná RNA polymerázou.

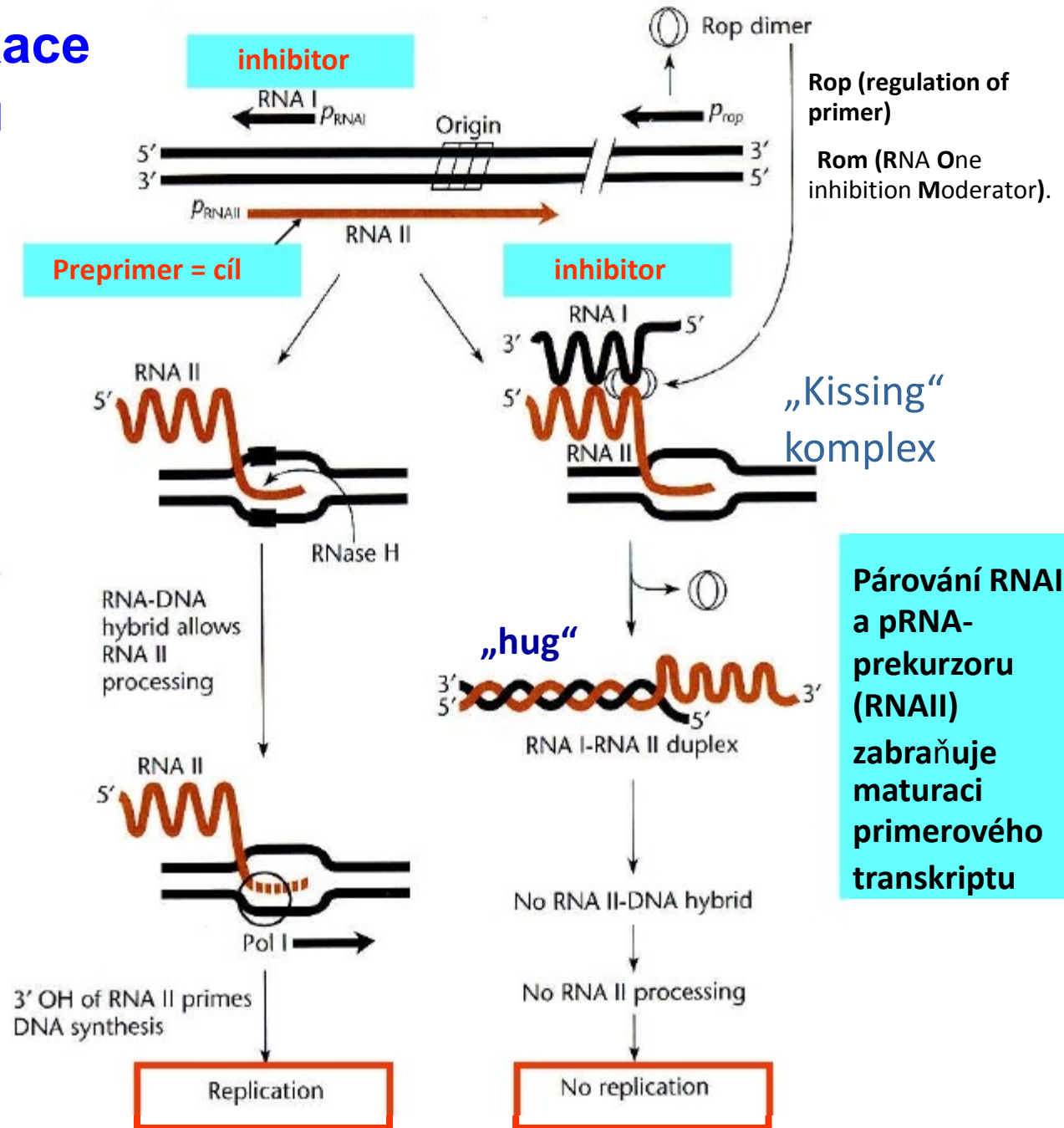
3OH' přesahuje ori – úprava na primer RNázou H (enzym kódovaný hostitelem) – 3'OH konec do počátku replikace – vytváření komplementárního řetězce.

Regulace – RNAI vs. RNAII – antisense – vazba RNAI na preprimer RNAII – brání úpravě 3'OH konce RNázouH – replikace neprobíhá.

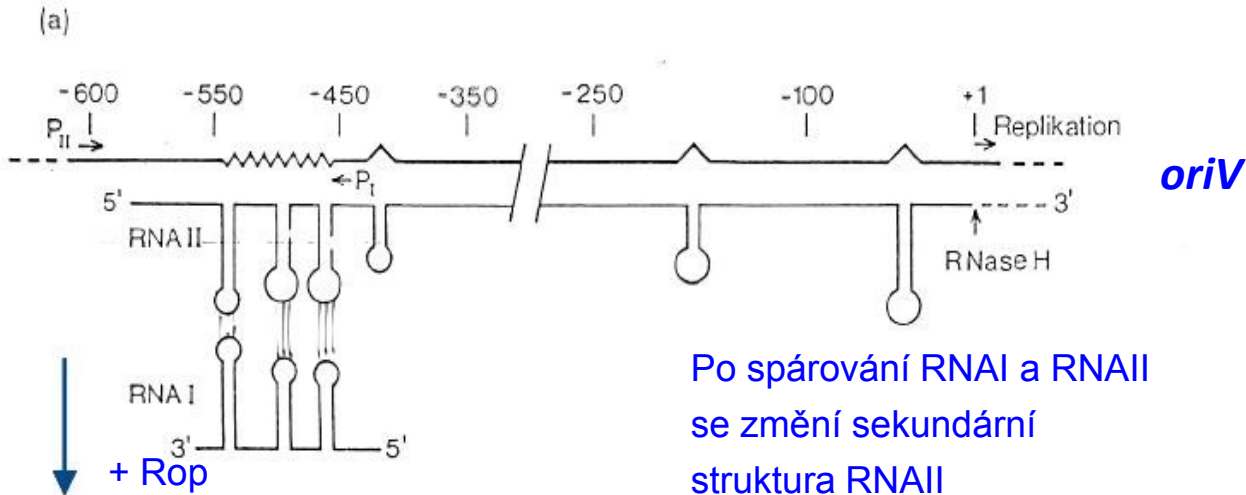
Rop dimer – negativní regulátor – Kissing komplex.

Kontrola počtu plazmidů:

1. Počet ori na buňku.
2. Hladina regulačních proteinů.



Interakce RNAI s RNAII při iniciaci replikace ColE1



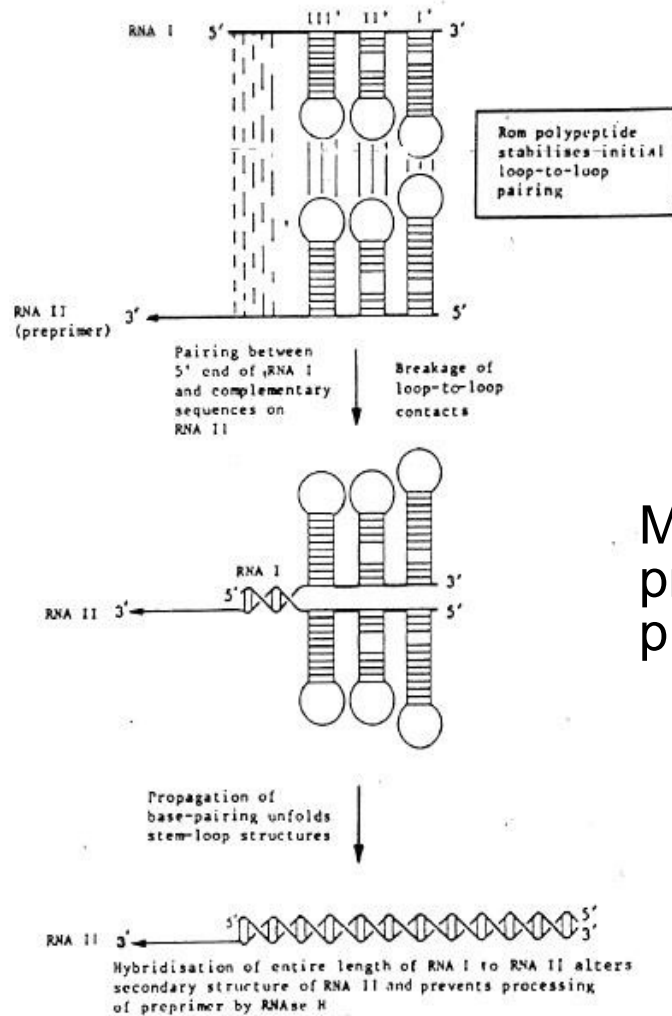
Mutace v genu *rop* vedou ke zvýšení počtu kopií plazmidu



Párování mezi RNA a antisense RNA.

(A) Antisense RNA je tvořena z opačného DNA řetězce ve stejné oblasti.

(B) Obě RNA jsou komplementární a mohou se navzájem párovat, čímž vytvoří dvouvláknovou RNA.



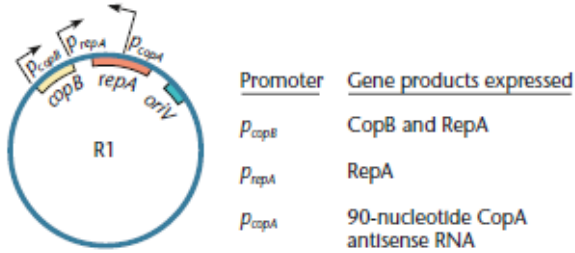
Interakce RNA I, RNA II a proteinu Rom (~Rop) při iniciaci replikace ColE1 plazmidu.



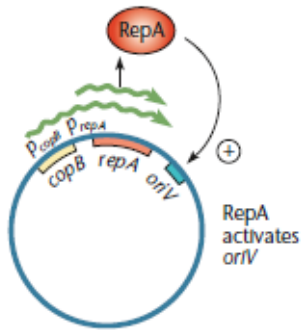
Mutace v genu pro protein Rop vedou ke změně počtu plazmidových kopií.

Regulace replikace R1 plazmidu a jeho derivátů

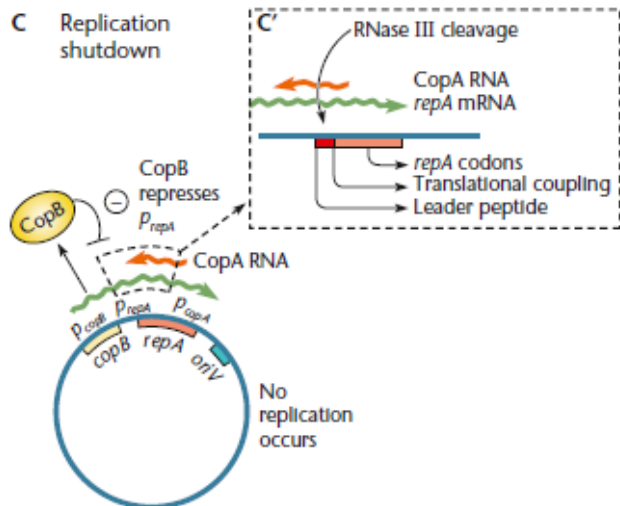
A Plasmid genetic organization



B Replication occurs after plasmid enters cells



C Replication shutdown



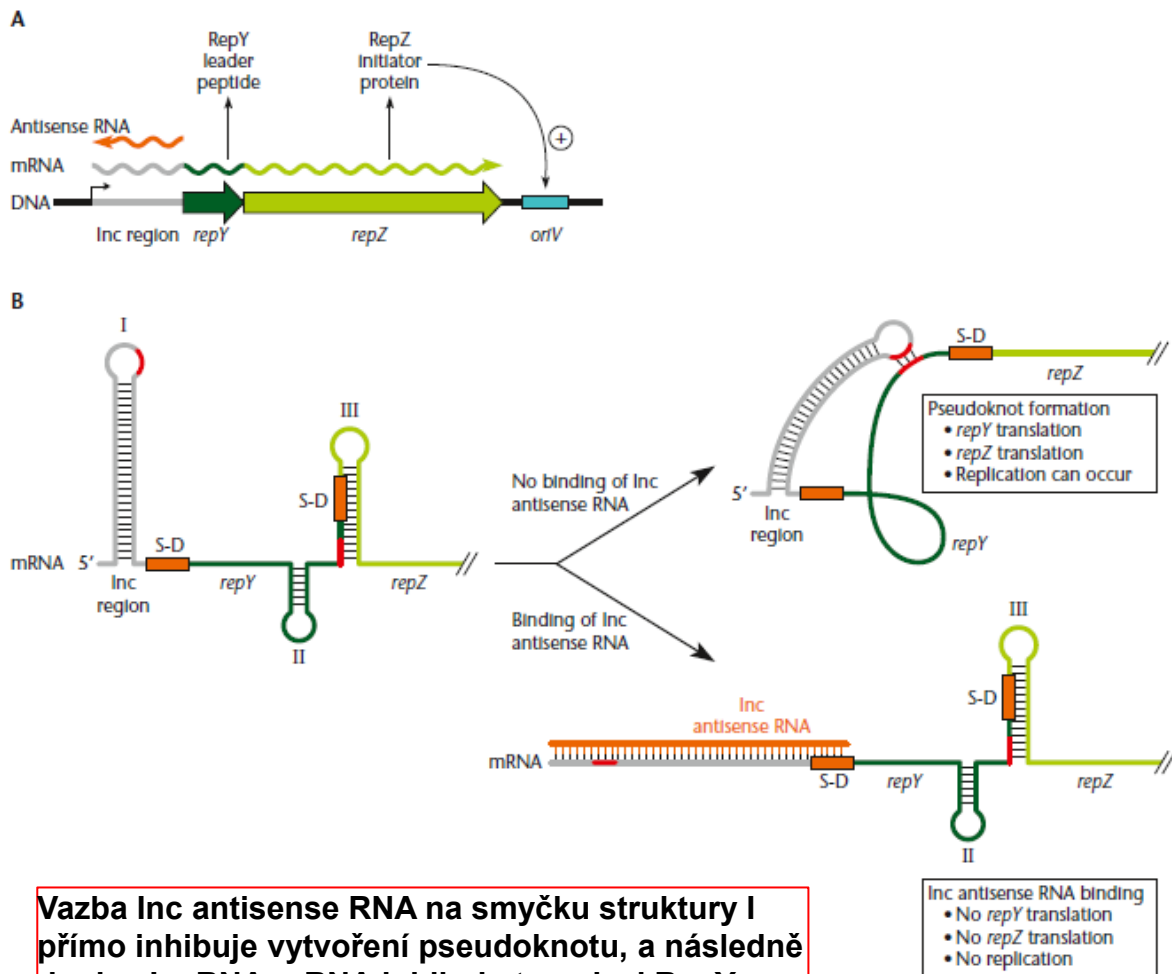
- Regulace počtu kopií plazmidu pomocí množství Rep proteinu.
- Jako u ColE1 plazmid využívá malé komplementární RNA, stejně tak tvoří tzv. kissing komplex.
- Rozdíl od ColE1:
 - Komplementární RNA molekuly inhibují tvorbu Rep proteinu nikoli primeru (ColE1) – mRNA kódující Rep se nepřekládá.

Jakmile plazmid vstoupí do buňky, je většina RepA mRNA vytvářena z promotoru P_{repA} . Protein RepA se tvoří tak dlouho, dokud není dosaženo standardního počtu kopií.

Jakmile plazmid dosáhne žádaného počtu kopií, protein CopB reprimuje transkripci z promotorou P_{repA} . Nyní je *repA* transkribován jen z P_{copB} .

Antisense RNA CopA hybridizuje k oblasti mRNA kódující vedoucí peptid a dsRNA je štěpena RNázou III. To zabrání translaci *repA*, která je translačně spojena s vedoucím peptidem.

Regulace replikace Collb-P9 plazmidu a jeho derivátů



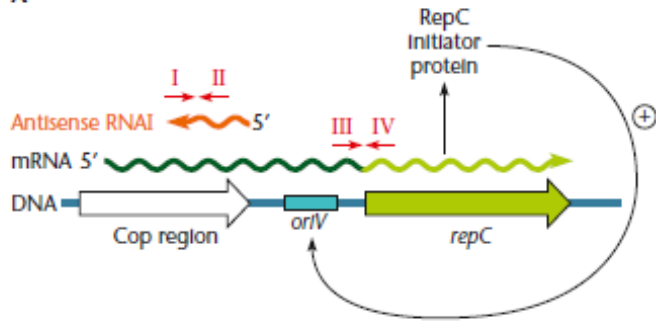
Vazba Inc antisense RNA na smyčku struktury I přímo inhibuje vytvoření pseudoknotu, a následně duplex IncRNA-mRNA inhibuje translaci RepY, a následně i translaci RepZ, jelikož jsou translačně spojeny.

Podobně jako u R1 plazmidu je gen kodující protein Rep (zde je to **repZ**) translatován po směru transkripce od ORF vedoucího peptidu zvaného **repY** a tyto dva jsou rovněž translačně napojeny.

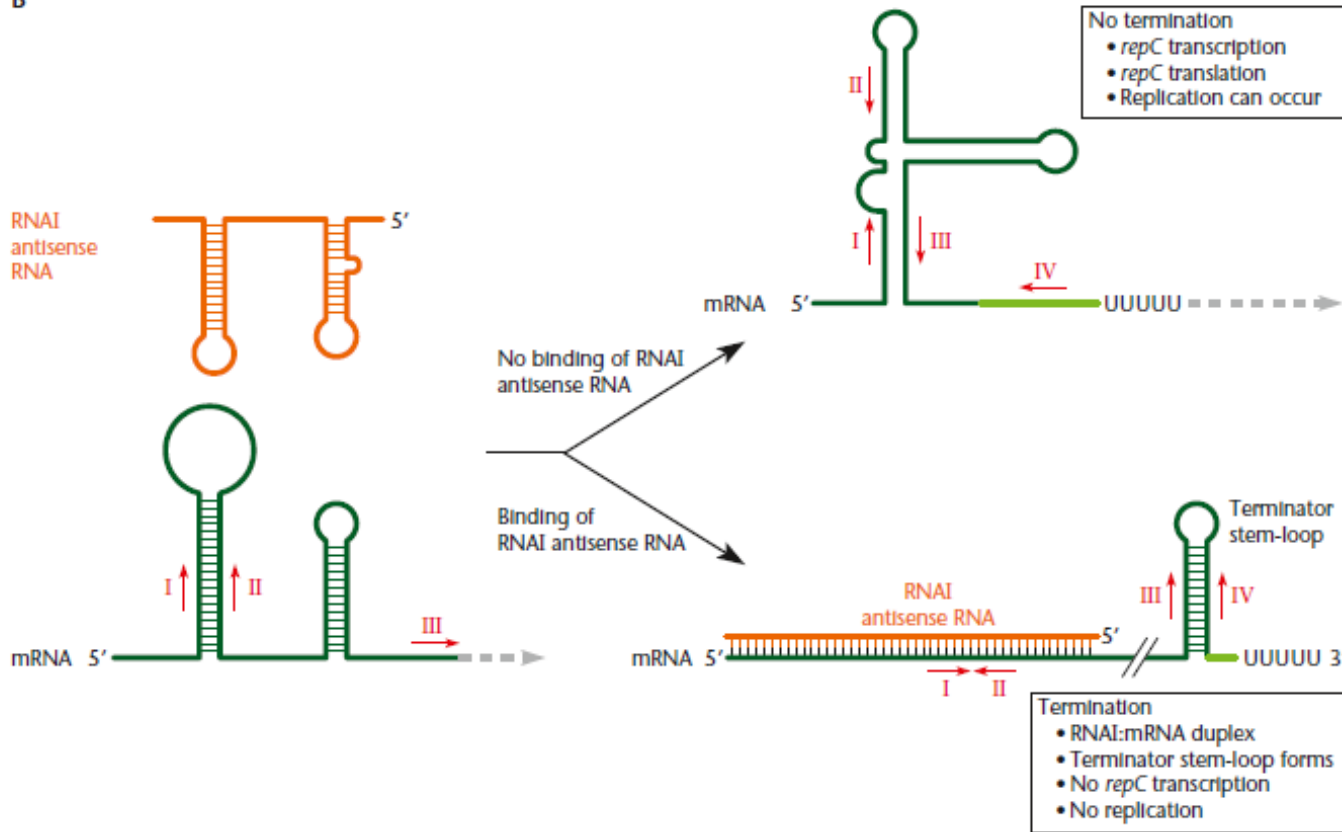
Translace **repY** otevírá sekundární strukturu na RNA, která uzavírá SD sekvenci TIR (translační iniciační oblast genu **repZ**). Sekvence v sekundární struktuře se pak může párovat se smyčkou upstreamové vlásenky od genu **repY** vytvářející pseudoknot (smyčku), čímž permanentně ruší sekundární strukturu a **ponechává SD genu **repZ** přístupnou**. Pak se **na TIR** genu **repZ** může navázat ribozom a překládat iniciátorový protein. Malá komplementární Inc RNA se páruje se smyčkou upstreamové vlásenky a zabraňuje vytvoření vlásenky, ponechávajíc SD sekvenci kodující oblasti **repZ** blokovanou a zabraňující translaci **repY**.

Regulate replikace pT181 plazmidu

A



B



KONTROLA REPLIKACE ITERONOVÝCH PLAZMIDŮ

Plazmid kóduje difuzibilní iniciační protein Rep, který se váže na řadu **17-22 bp** dlouhých přímých opakování (3-7 kopií) - **iteronů** - v oblasti *oriV* (různý počet u různých plazmidů).

RepA protein kódovaný v oblasti *ori* má následující vlastnosti:

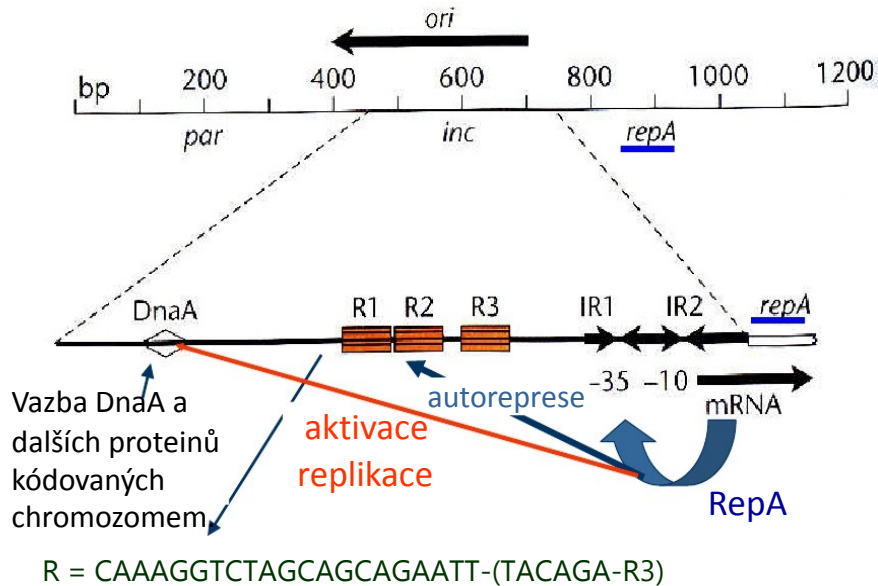
- iniciuje nové cykly replikace
- může zabraňovat replikaci
- autorepresor na úrovni transkripce

Působení Rep je závislé na jeho koncentraci, která je ovlivňována počtem plazmidových kopií (a tím i počtem iteronů) a rozdílnou afinitou Rep k iteronům (L a R) v oblasti *ori*.

Iteronové plazmidy příklady:

pSC101, F, R6K, P1 a RK2 příbuzné plazmidy

Jak to funguje?



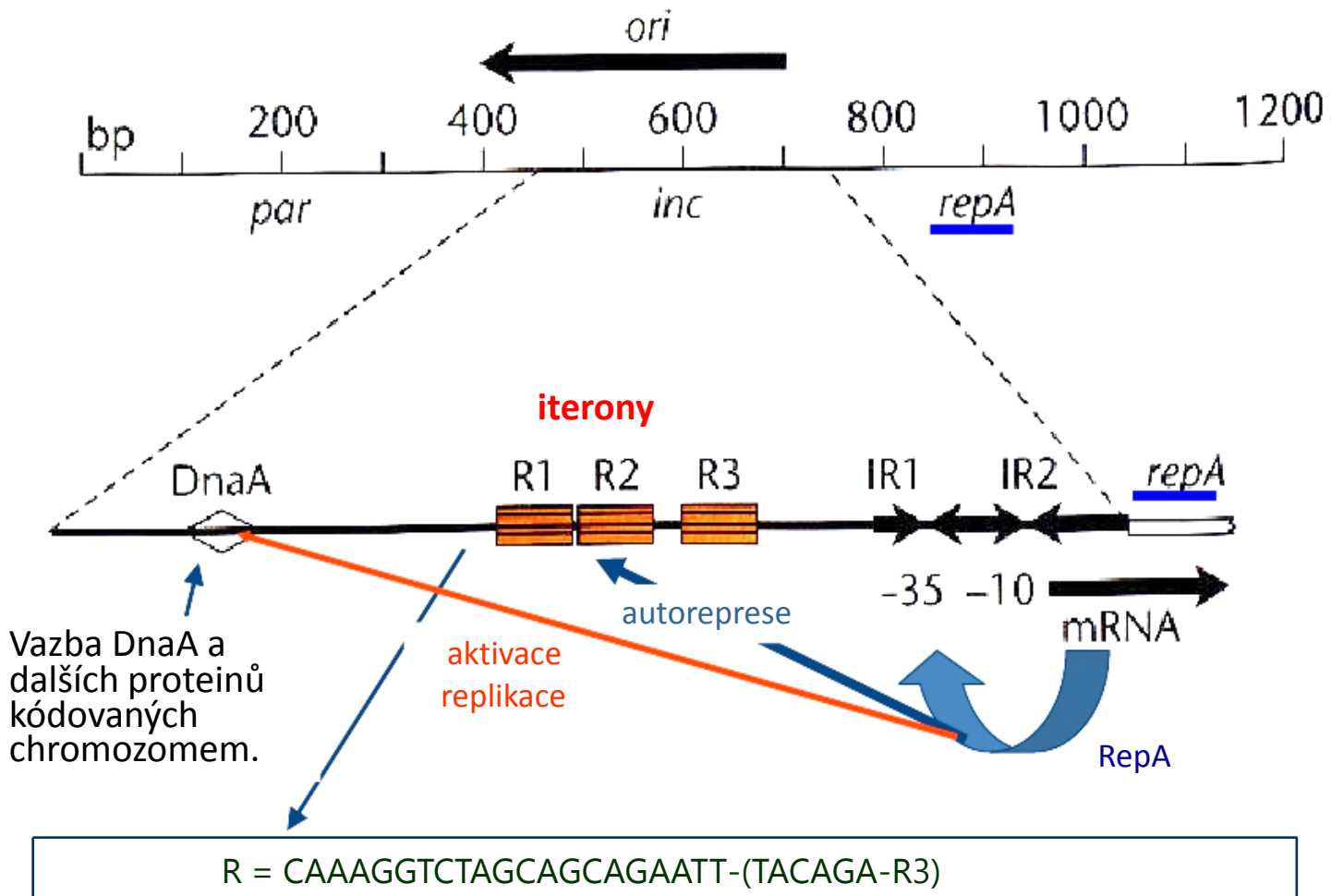
RepA – pozitivní aktivátor replikace

- Vazba na R1, R2, R3 = regulace počtu kopií.
- Hostitelský chromozom kóduje další proteiny vázající se na tuto oblast a iniciující replikaci: DnaA-G.
- Dva mechanismy regulace:
 1. Kontrola syntézy RepA
 2. Represe transkripce genu *repA*

Vyšší koncentrace RepA = represe syntézy proteinu = **autoregulace transkripce.**

Tento mechanismus ale sám nestačí pro kontrolu počtu plazmidových kopií v buňce =
„Coupling“ hypotéza

PŮSOBENÍ PROTEINU RepA NA INICIACI REPLIKACE U ITERONOVÉHO PLAZMIDU pSC101

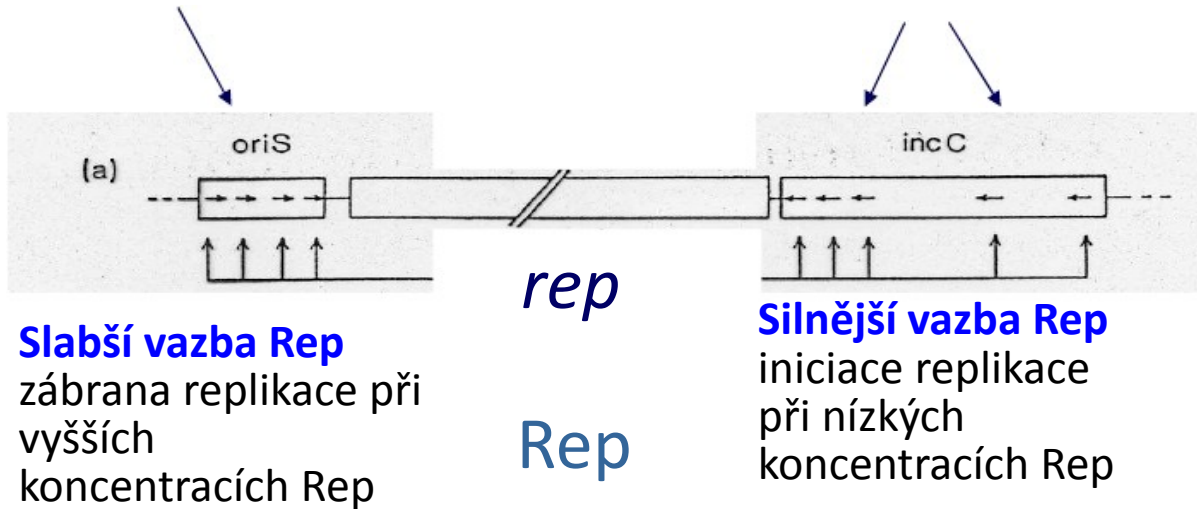


nízká koncentrace RepA → replikace; vysoká koncentrace RepA → autoreprese

KONTROLA REGULACE INICIACE REPLIKACE PLAZMIDU F

čtyři L-iterony

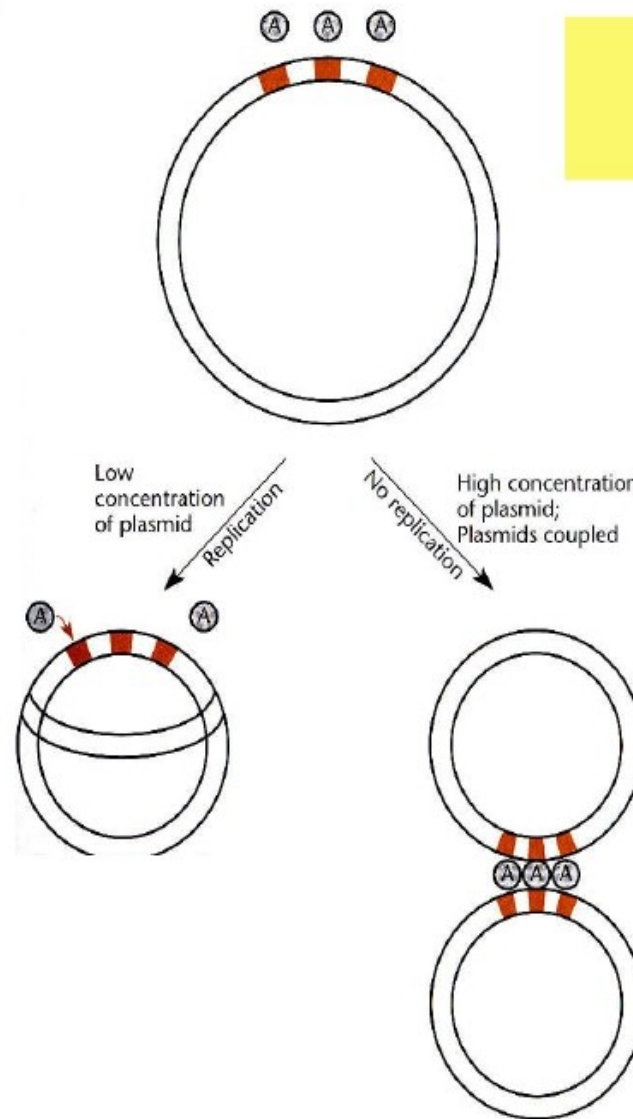
pět R-iteronů



Experimentální pozorování: delece R-iteronů vede ke zvýšení a adice dodatečných R-iteronů ke snížení počtu kopií.

DVOJÍ PŮSOBENÍ RepA PROTEINU ITERONOVÝCH PLAZMIDŮ

„coupling“ model
(spojení plazmidů)



Nízký počet
plazmidových kopií
v buňce

RepA se váže jen na
jeden plazmid a iniciuje
replikaci.

Vysoký počet
plazmidových kopií v buňce

RepA se váže na dva
plazmidy současně a
spojuje je, čímž brání
replikaci.

↓
Důkaz EM

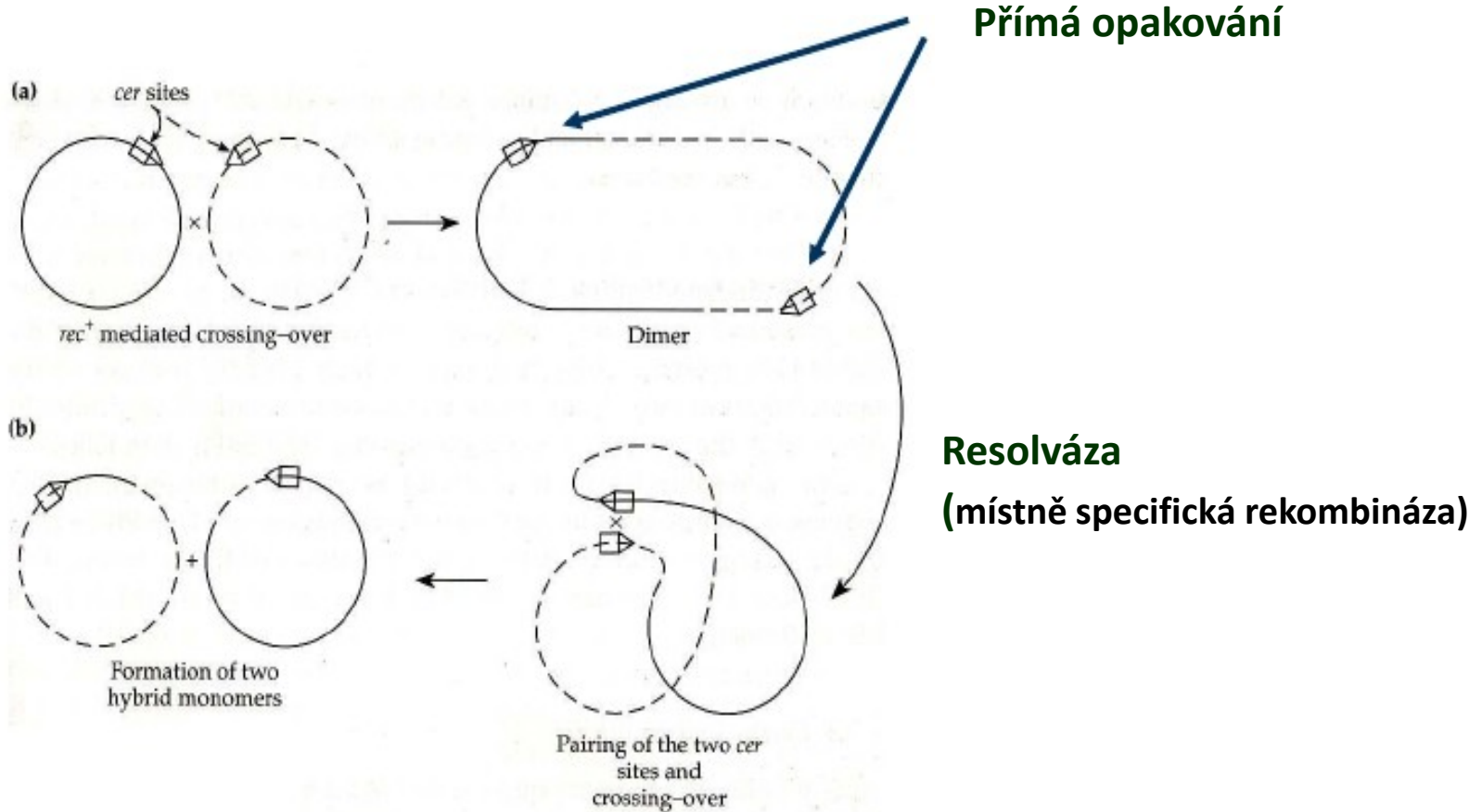
MECHANISMY ZAJIŠŤUJÍCÍ STABILNÍ UDRŽENÍ PLAZMIDŮ V BUŇKÁCH (SEGREGAČNÍ STABILITA PLAZMIDŮ)

1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

U vícekopiových plazmidů (>20) typu ColE1 je přítomen nekódující úsek (cer, 380 bp), který je cílem působení místně specifické rekombinázy (kódovaná geny *xerC* a *xerD* na chromozomu) – „Multimer resolution systems“

- u větších plazmidů jsou rekombinázy kódovány plazmidovými geny
- u nízkokopiových plazmidů jsou přítomny aktivní mechanismy rozdělování:
 - **aktivní segregace:** partitioning (lokus *inc* + proteiny Par(Sop))
 - **postsegregační usmrcování buněk**, které ztratily plazmid (interakce stabilního toxinu s nestabilním antitoxinem)

SYSTÉM PRO ROZDĚLOVÁNÍ MULTIMERNÍCH PLAZMIDOVÝCH FOREM



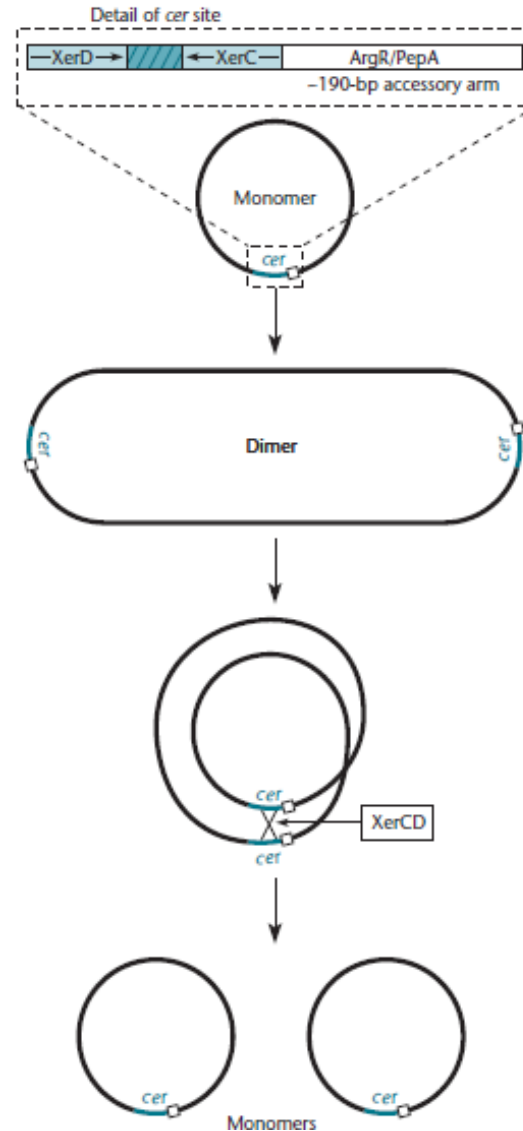
Xer FUNKCE *E. coli* KATALYZUJE MÍSTNĚ-SPECIFICKOU REKOMBINACI V MÍSTECH CER PRO ROZKLAD PLAZMIDŮ

Plazmidové dimery –
výsledkem chybného
ukončení replikace nebo
rekombinace monomerů

systém *cer*-XerCD (ColE1)
systém *psi*-XerCD (pSC101)

XerC a XerD – účastní se ukončení
replikace chromozomu, rozdělují
chromozomové dimery vzniklé v
průběhu replikace

- využíváno plazmidem, místa
rozpoznávána rekombinázou na
plazmidu – *cer* (ColE1) a *psi*
(pSC101)
- U ColE1 další proteiny hostitele
ArgR/PepA, vazba na XerCD



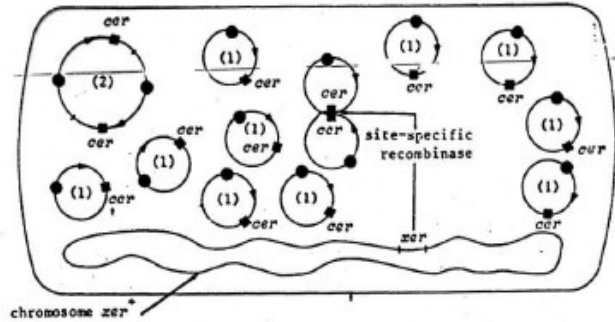
ColE1

Proteiny XerC
a XerD *E. coli*

Působí na místo
Dif poblíž ter na
chromozomu u
E. coli

1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

ZAJIŠTĚNÍ POČTU KOPIÍ SYSTÉMEM CER A XER

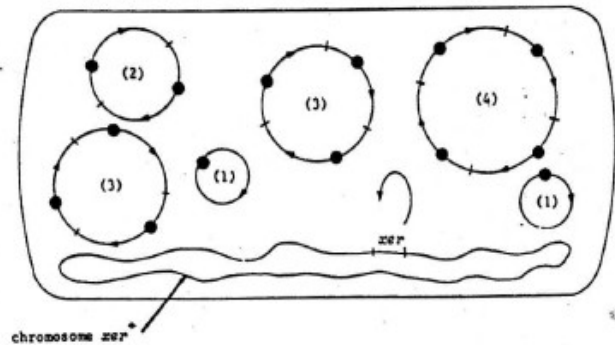


Plazmid obsahuje *cer*

a. host (xer^+), ColE1 plasmids (cer^+) 14 origins \sim 13 plasmid molecules

Cell division

nízká pravděpodobnost vzniku bezplazmidových buněk



Plazmid neobsahuje *cer*

b. host (xer^+), ColE1 plasmids (cer^-) 14 origins \sim 6 plasmid molecules

Cell division

vysoká pravděpodobnost vzniku bezplazmidových buněk

MODEL AKTIVNÍ SEGREGACE (nízkokopiové plazmidy)

- **Plazmid** – geny kódující speciální proteiny, nekódující sekvence pro přichycení na membránu = proteiny kódujících oblastí interagují s nekódujícími sekvencemi; kódují spec. ATPázy pro rozdělení kopií
- **Buňka** – místo *par* na membráně sloužící k přichycení plazmidů

Protein (Par) na plazmidu se váže na místo par na membráně.

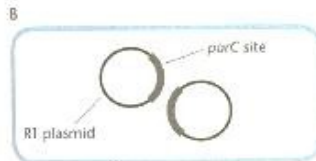
Dva různé Par systémy:

1. *R1 plazmid*
2. *F, P1 a RK2 plazmid s širokým spektrem hostitelů*

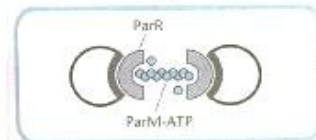
MODEL ROZDĚLOVÁNÍ PLAZMIDU R1



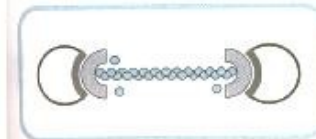
A. Struktura lokusu *par*: lokalizace genů *parM* a *parR* a cis-působícího místa *parC* (podobné centromeře).



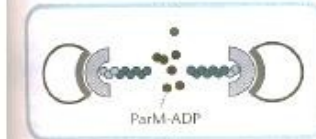
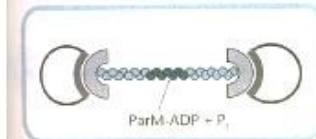
B. ParR se váže na místo *parC*, což umožňuje navázání ParM-ATP.



Filamentum se prodlužuje nasedáním dalších podjednotek ParM-ATP, což vede k pohybu plazmidových kopií k pólům buňky.



Filamentum je destabilizováno, jakmile dojde k hydrolýze ParM-ATP na ParM-ADP.



Model rozdělování u R1 plazmidu - příklad formování filamentární struktury podobné aktinovým vláknům u eukaryot.

ParM (actin-like) – zajišťuje pohyb plazmidů k pólům buňky.

1. místně specifická rekombináza – **2. partitioning** – 3. systém toxin-antitoxin

INTRACELULÁRNÍ LOKALIZACE PLAZMIDŮ

Metoda: využití fluorescenčního značení proteinů vázajících se na sekvence plazmidů

Shrnutí:

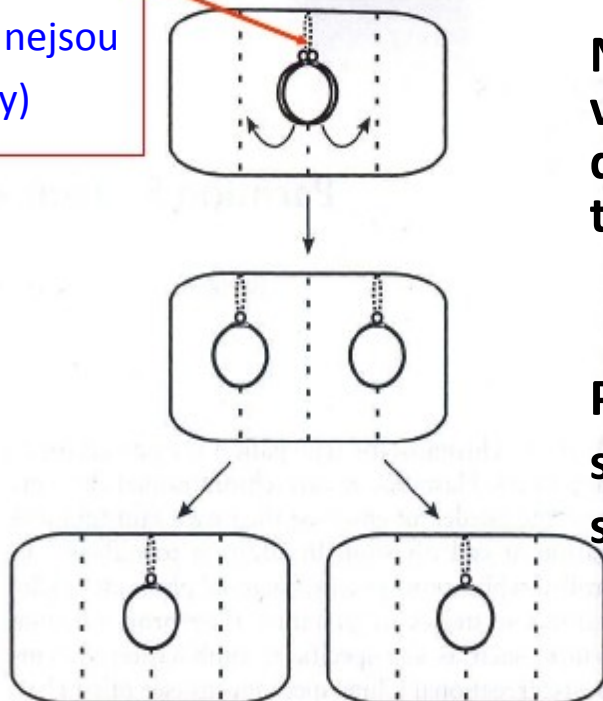
1. Plazmidy mají v buňkách **specifickou** nebo **preferovanou lokalizaci**: obvykle poblíž první a třetí čtvrtiny buňky.
2. Lokalizace plazmidu v buňce závisí na jeho **rozdělovacím systému**.
3. U rychle rostoucích buněk jsou plazmidy ve dvojicích nebo skupinách, které využívají **společné připojovací místo na membráně** (počet fluorescenčních signálů je nižší než počet plazmidových kopií).
4. Různé typy (druhy) plazmidů **využívají různá místa pro přichycení při jejich dělení a v buňce se nacházejí na různých místech**.

Celkový závěr:

Platí obecný model, podle kterého je signál pro rozdělení plazmidu u dělících se buněk uprostřed a po rozdělení buňky se přesunuje do první a třetí čtvrtiny buňky.

OBEČNÉ SCHÉMA ZNÁZORŇUJÍCÍ ROZDĚLOVÁNÍ PLAZMIDŮ

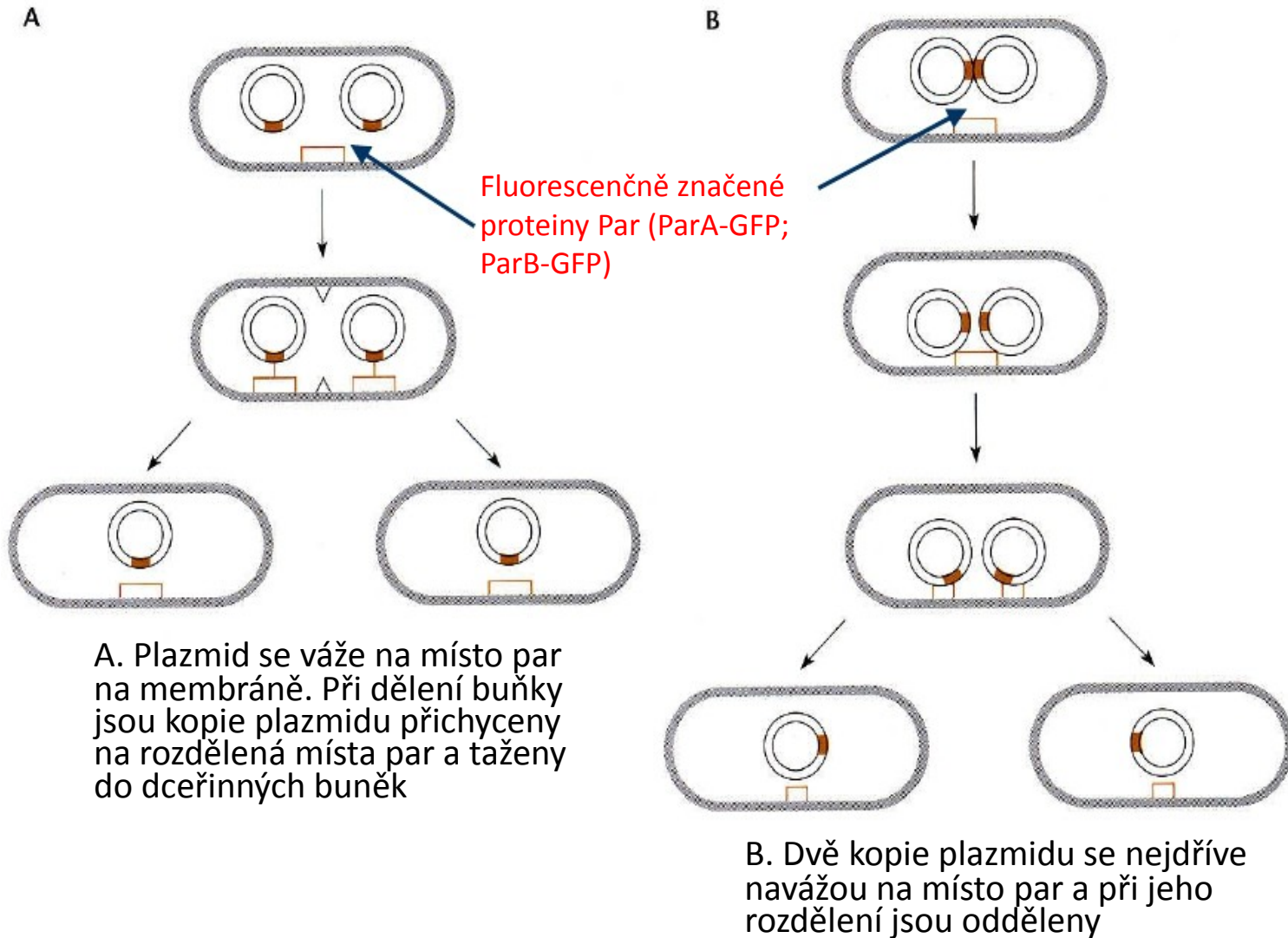
Rozdělovací aparát
(jeho složky nejsou
dosud známy)



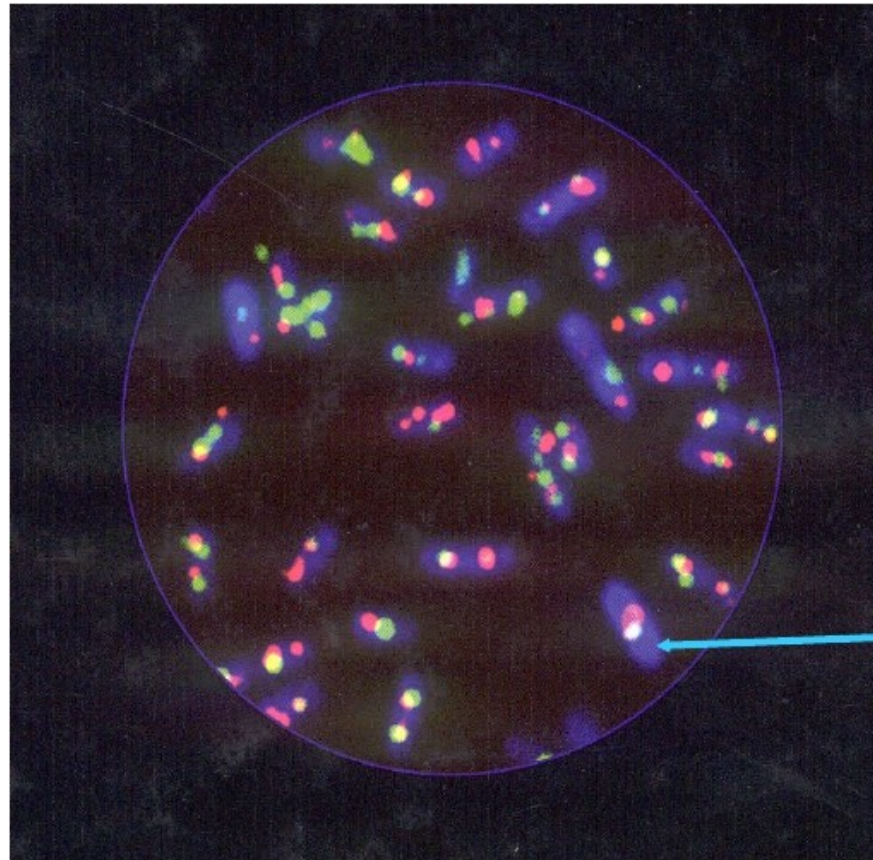
Nově zreplikované plazmidy umístěné ve středu buňky se oddělí a přesunou do první a třetí čtvrtiny ještě před tvorbou septa.

Po rozdělení buňky se tyto polohy stávají v dceřiných buňkách opět středovými.

MODELY ZNÁZORŇUJÍCÍ FUNKCI MÍST PAR U PLAZMIDŮ F A RP1



Vizualizace polohy plazmidů F a P1 uvnitř buněk *E. coli* pomocí fluorescenčního barvení – různé plazmidy se nacházejí v různých místech



F - červená

P1 - zelená

Membrána
- modrá

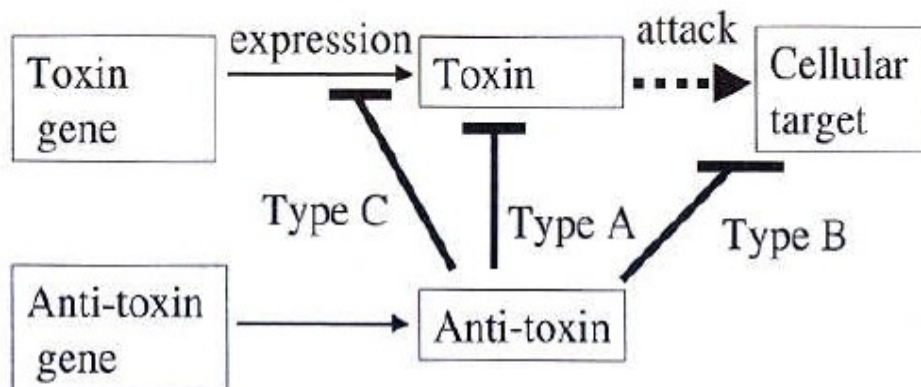
1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

OBECNÝ MECHANISMUS „GENETICKÉHO DONUCOVÁNÍ“ (závislosti, addiction systems) – udržování plazmidu v populaci buněk

Na plazmidu jsou přítomny dva geny, kódující dva produkty:

1. toxin (killer) - stabilnější
2. antitoxin (antidot, antikiller) - nestabilní

A. In the presence of toxin/anti-toxin gene complex



Plazmid je přítomen, antitoxin inhibuje toxin, buňka přežívá

B. After loss or disturbance of toxin/anti-toxin gene complex



Plazmid není přítomen, toxin usmrtí buňku

1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

Table 1. Classification of genetic addiction systems based on the action of the antitoxin

Type	Action of antitoxin ^a	Known subtype	Example of gene complexes	Reference
A	Interaction with toxin	Classical proteic killer systems	<i>ccd</i>	99
B	Protection of toxin's target	Restriction-modification systems	<i>ecoRI</i>	164
C	Inhibition of toxin's expression	Antisense-RNA-regulated systems	<i>hok/sok</i>	69

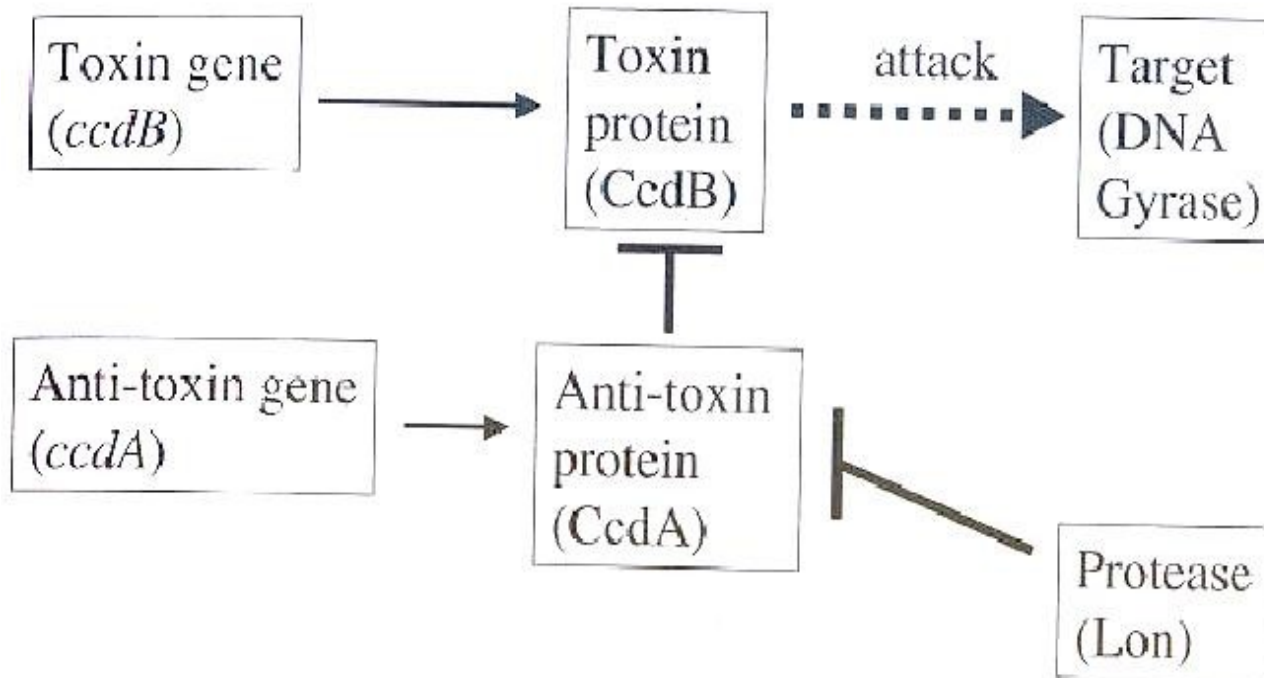
^aClassification based on that of Michael Yarmolinsky (267, 268).

Toxin: napadá životně důležité molekuly v buňce
Antitoxin: eliminuje působení toxinu

1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

A. Classical proteic system

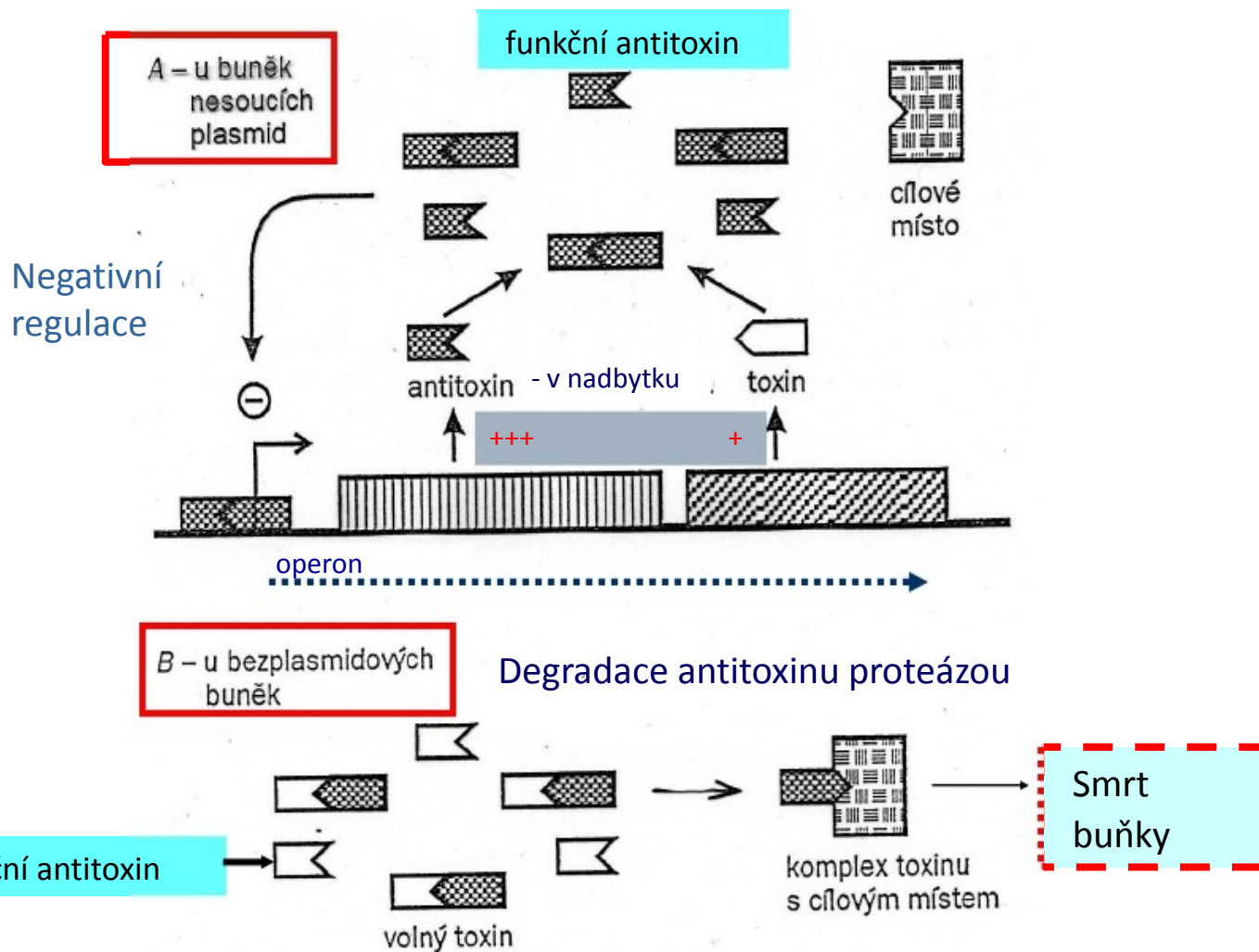
F plazmid



Odbourá **antitoxin** po ztrátě plazmidu

Ccd = couples cell division (geny týkající se buněčného dělení - replikace DNA)


POSTSEGREGAČNÍ USMRČOVÁNÍ BEZPLAZMIDOVÝCH BUNĚK PŮSOBENÍM PROTEINOVÝCH SYSTÉMŮ



1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

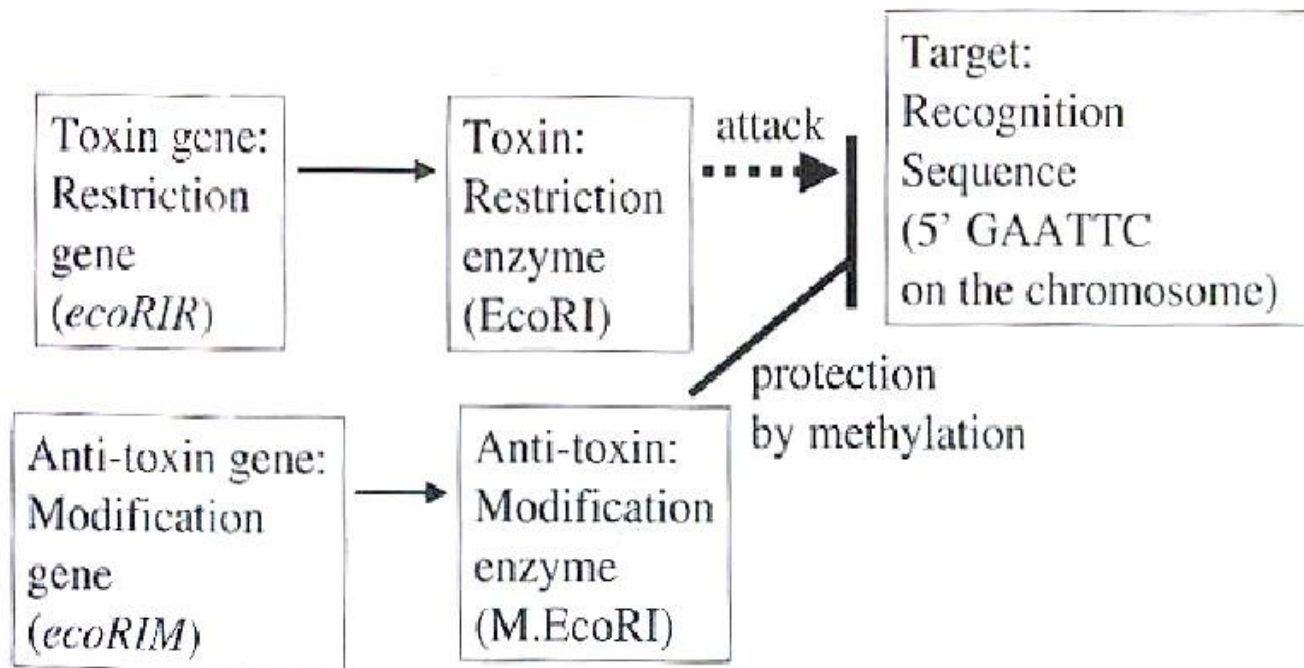
SLOŽKY PROTEINOVÝCH SYSTÉMŮ PRO UDRŽENÍ PLAZMIDU V BUŇCE

Plasmid	Systém	Toxin	Antitoxin	Místo působení toxinu	Proteinasa degradující antitoxin
F	<i>ccd</i>	CcdB (101 AK)	CcdA (72 AK)	gyrasa	Lon
R1	<i>parD</i>	Kid (110 AK)	Kis (84 AK)	DnaB	Lon
RK2	<i>parDE</i>	ParE (103 AK)	ParD (83 AK)	?	?
P1	<i>phd/doc</i>	Doc (126 AK)	Phd (73 AK)	?	CipXP



Proteiny pro replikaci chromozomu buňky

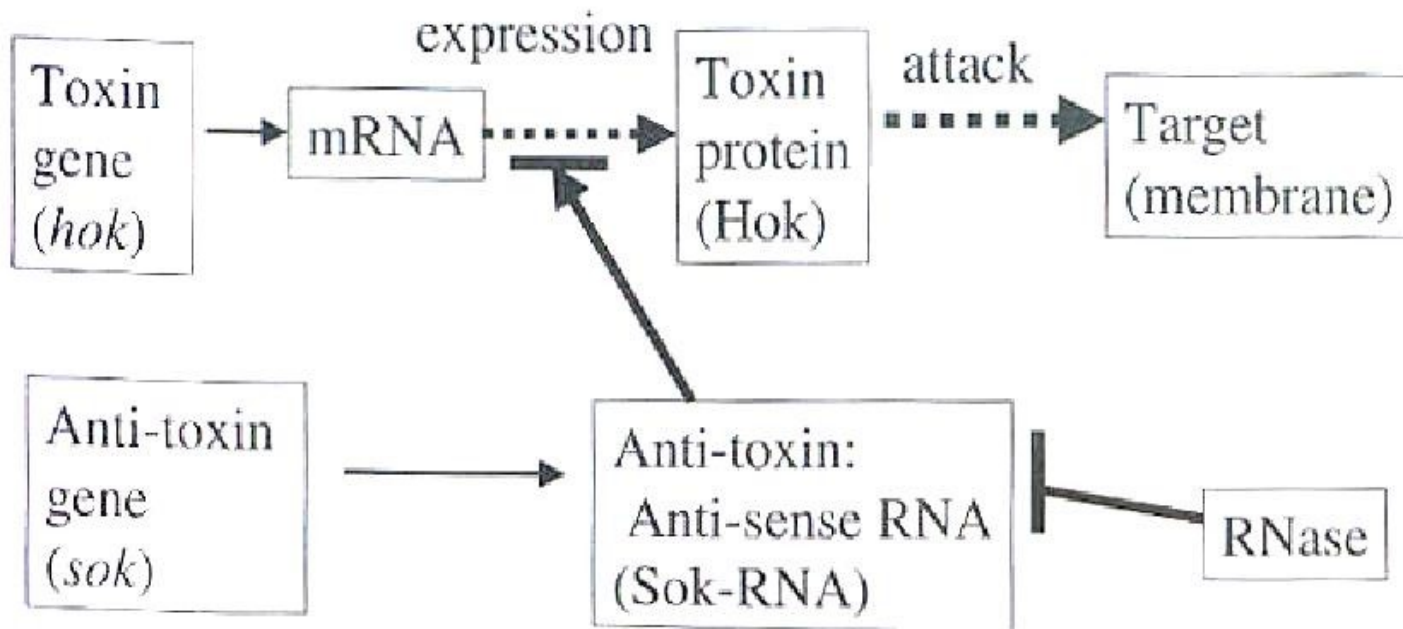
B. Restriction-modification system



RM-systémy typu II nesené na plazmidu (např. *EcoRI*)

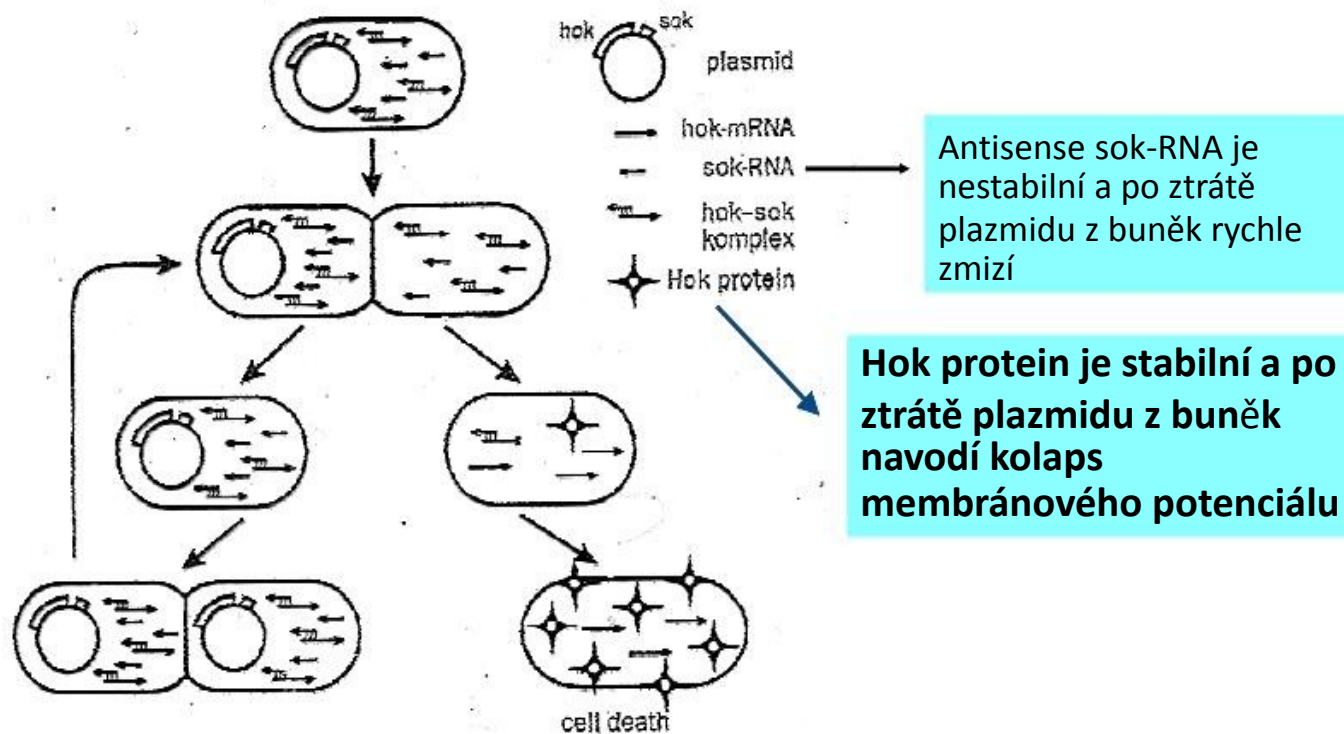
1. místně specifická rekombináza – 2. partitioning – 3. systém toxin-antitoxin

C. Anti-sense-RNA-regulated systems



POSTSEGREGAČNÍ ZABÍJENÍ BEZPLAZMIDOVÝCH BUNĚK PŮSOBENÍM SYSTÉMU HOK/SOK U PLAZMIDU R1

hok = host killing (**toxin**); sok = suppression of killing (**antitoxin**)



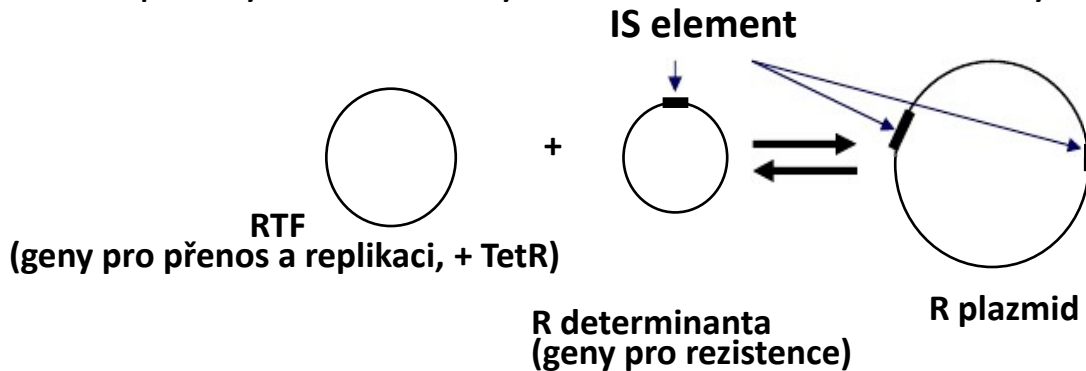
R-plazmidy – objev u *Shigella dysenteriae*

(1897 - japonský bakteriolog Kioshi Shiga)



SLOŽKY R-PLAZMIDŮ

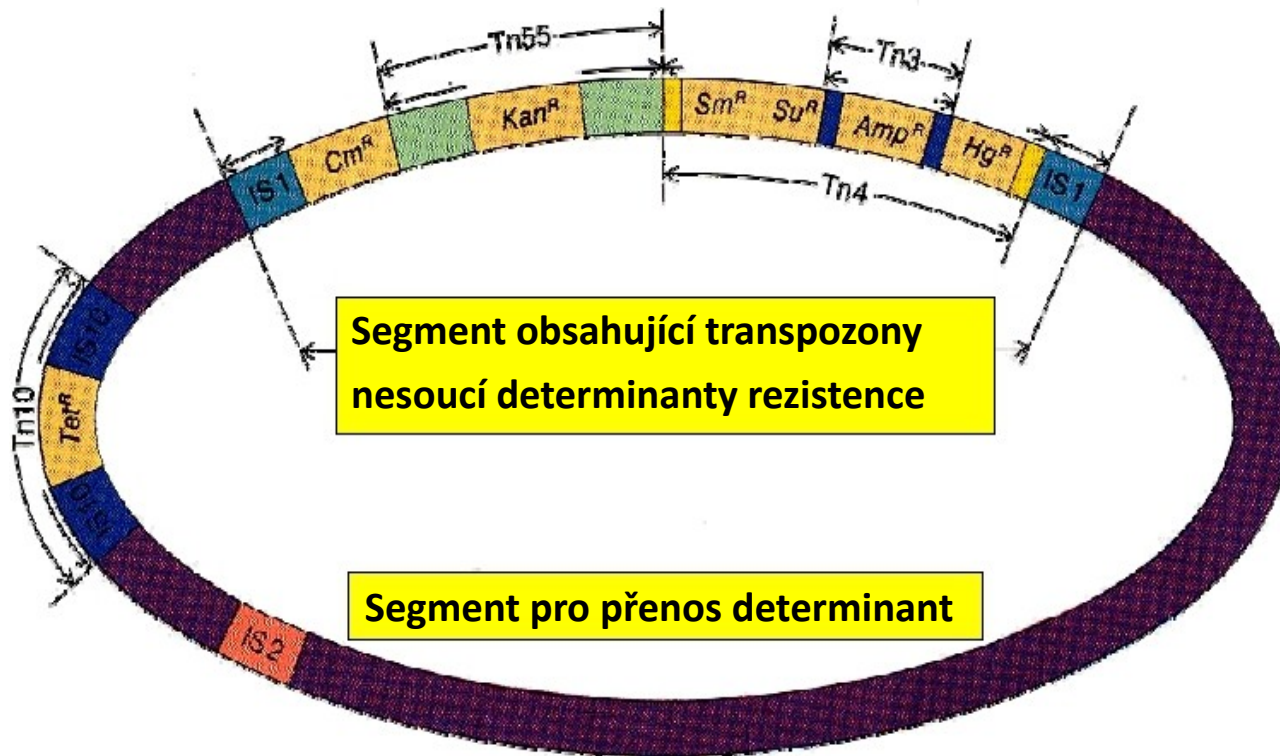
1. **Resistance transfer factor (RTF)** – nese geny regulující DNA replikaci a počet kopií, geny pro přenos a někdy geny pro rezistenci k tetracyklinu.
2. **R determinanta** – má různou velikost a nese další geny pro rezistenci k antibiotikům – obvykle ampicilinu, chloramfenikolu, streptomycinu, kanamycinu, sulfonamidu – v různých kombinacích.



Vystavením buněk antibiotiku dochází k amplifikaci R-složky a zvětšuje se velikost celého plazmidu.

ÚLOHA TRANSPOZONŮ PŘI EVOLUCI R-PLAZMIDŮ

každý transpozon může být přenášen nezávisle



Genetické studie R plazmidů nesoucí markery rezistence k antibiotikům Cam, Str a Tet ukázaly:

1. V populaci buněk často vznikají kmeny, které jsou **Tet^R-Cm^S-Str^S**, **Tet^S-Cm^R-Str^R**, a nebo jsou citlivé ke všem antibiotikům.
2. Markery Cam^R a Str^R jsou vždy vzájemně vázány (jsou přítomny oba dva nebo žádný)
3. V kulturách **Tet^R-Cm^S-Str^S** dochází k přenosu Tet^R, avšak kmeny **Tet^S-Cm^R-Str^R** nemohou přenášet žádný marker.
4. **Tet^R-Cm^R-Str^R** mohou přenášet buď všechny markery, nebo jen Tet^R.

F-like R plasmidy:

V buňkách obsahujících jak F faktor, tak tyto plasmidy způsobují inhibici fertility F plazmidu.

Komplementační analýza ukázala, že F-like plasmidy obsahují většinu *tra* genů plazmidu F.

R plasmidy mají značný význam v lékařství, mohou být přenášeny mezi bakteriemi, které způsobují epidemie (*S. typhimurium*, *S. dysenteriae*) a mezi kmeny v nemocničním prostředí (*Pseudomonas*, *Staphylococcus*).

Po zavedení antibiotik se proporce kmenů rezistentních k antibiotikům zvýšila z 15% na současných téměř 100% (pro určitá antibiotika). Dochází též k přenosu kmenů ze zvířat (domácích) na člověka.

KOLICINOGENNÍ PLAZMIDY

– PRODUKUJÍ LÁTKY S ANTIBIOTICKÝCH CHARAKTEREM

PŘÍKLADY BAKTERIÁLNÍCH DRUHŮ PRODUKUJÍCÍCH BAKTERIOCINY

Bakteriální druh	Název bakteriocinu	Chemická podstata
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Streptocin A	Protein 8 kD
<i>Streptococcus sanguis</i>	Sanquicin	Protein 280 kD
<i>Bacteriodes fragilis</i>	Bf-1	Protein 15 kD
<i>Propionibacterium acne</i>	Aknecin	Glykoprotein 60 kD
<i>Bacillus megaterium</i>	Megacin	Protein
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Stafylokocin	Lipoglykoprotein 150-400 kD
<i>Enterobacter cloacea</i>	Kloacin	Protein 56 kD

Bakteriociny inhibují jednu nebo více základních funkcí (replikace, transkripce nebo translace, nebo energetický metabolismus).

Na nárůstu citlivých buněk vytvářejí sterilní zóny – **lakuny**.

Pravé koliciny x defektní fágové částice

(fágové bičíky, lytické enzymy)

Dva primární mechanismy letální aktivity:

- a. tvorba póru v plasmatické membráně
- b. nukleázová aktivitu

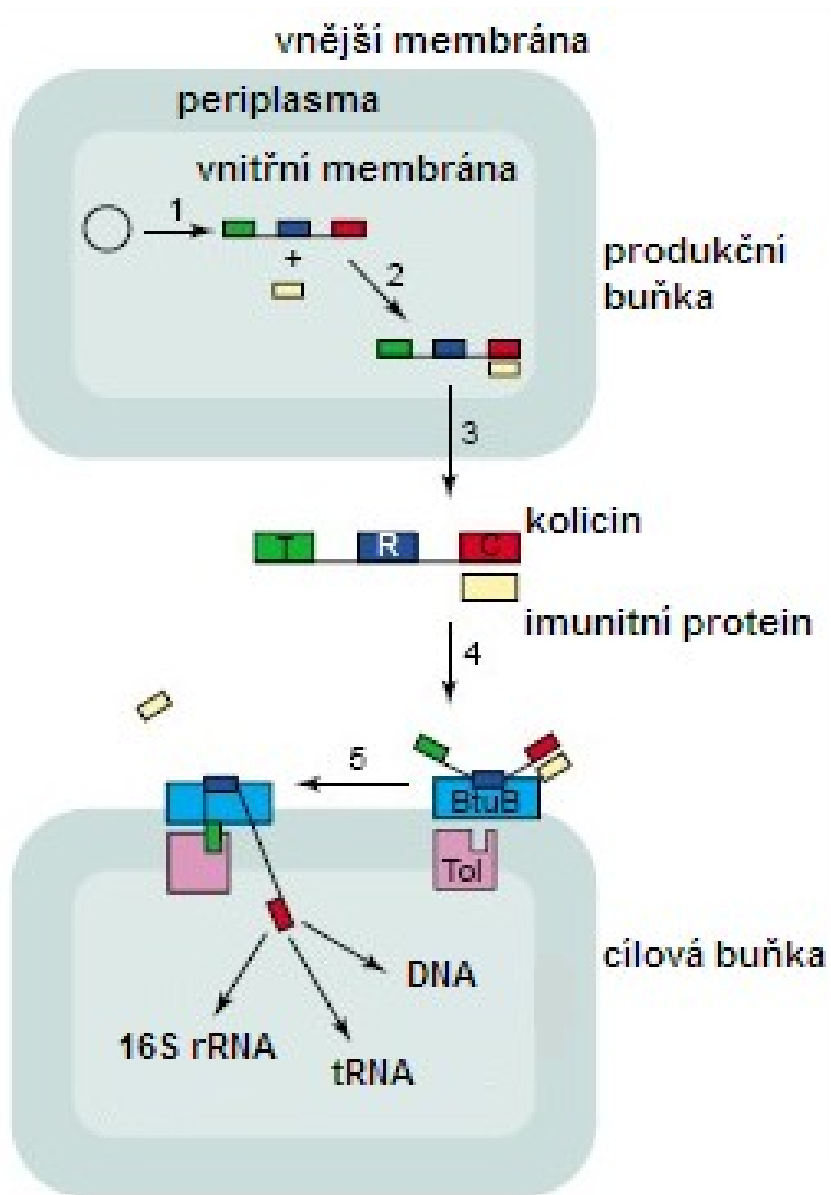
Dva typy kolicinů:

- **Pravé koliciny a defektní fágové částice**

Jednoduché proteiny, jiné se **podobají fágovým bičíkům**. Podobně jako fágy **se koliciny vážou na specifické receptory** na buněčné stěně. Produkce některých kolicinů může být indukována faktory poškozujícími DNA, jako je UV záření.

- inaktivní vzhledem k buňkám, které je obsahují nebo obsahují příbuzné koliciny - **imunita**.
- imunita zprostředkována exkrecí malých proteinů, které se vážou na větší kolicinové proteiny. Imunitní protein poskytuje imunitu Col+ buňkám, je nezbytný pro zabíjení Col- buněk. Např. kolicin kloacin DF13 je složen ze tří oblastí:
 - **oblasti vázající se na receptor (hydrofóbní, interakce s membránou buňky)**
 - **RNAázy**
 - **Segmentu, na který se váže imunitní protein.**
- **Col plazmidy** mají různou velikost. Samonepřenositelné (malé např. ColEI), samopřenositelné (velké) hybridy mezi Col a F plazmidem)

Mechanismus účinku kolicinů



1. col plasmid nesoucí geny pro koliciny
2. syntetizovaný kolicin v interakci s imunitním proteinem
3. kolicin spolu s imunitním proteinem je vypuštěn do okolního média
4. BtuB použit jako primární receptor
5. translokační doména se naváže na Tol proteiny a kolicin vstupuje do cílové buňky

Model vazby kolocinu E3 na receptor:

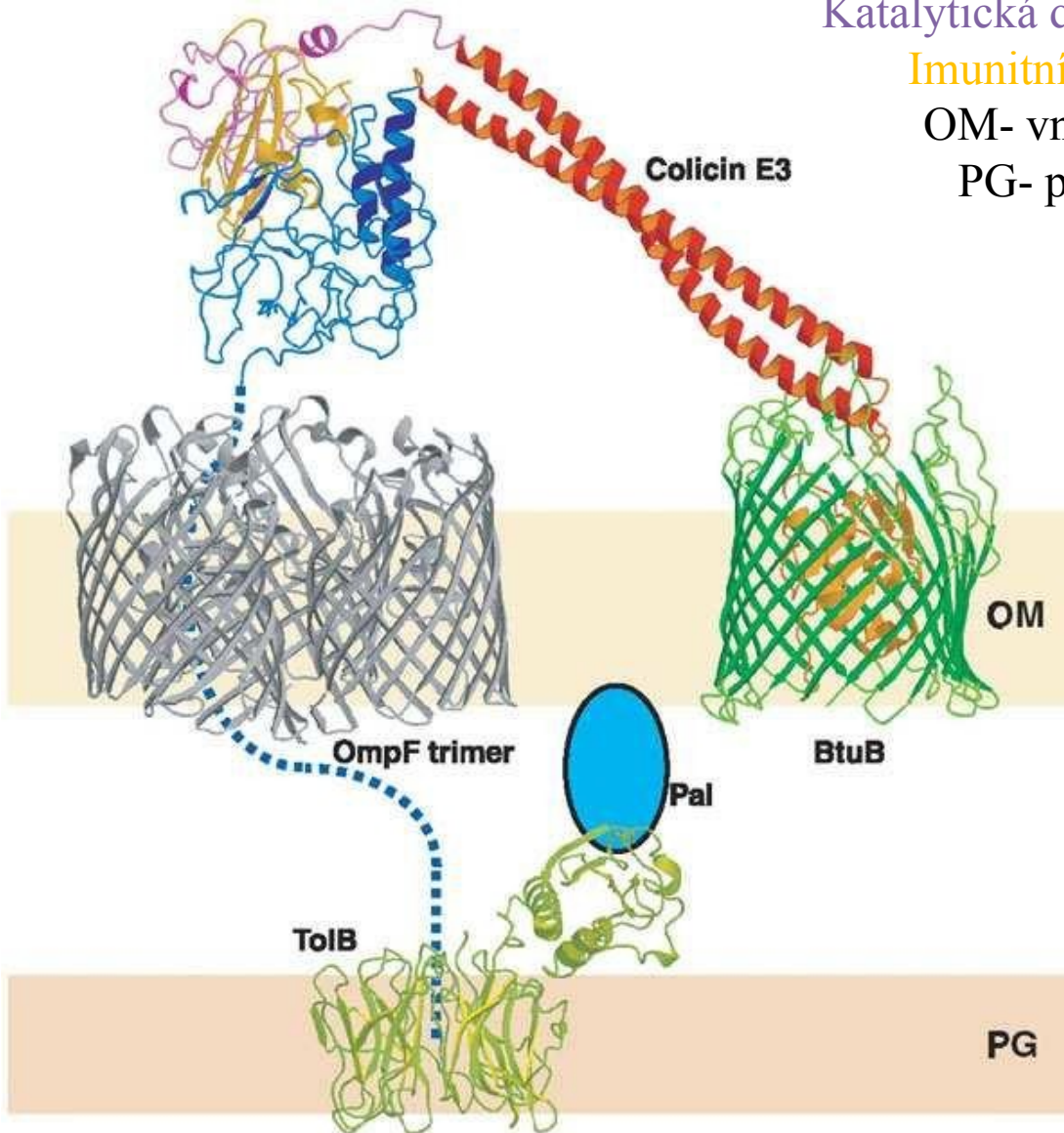
Translokační doména (modře)

Katalytická doména- (purpurově)

Imunitní doména (žlutě)

OM- vnější membrána

PG- peptidoglykan



STRUKTURA F PLAZMIDU (100 kb, 49% GC)

60 genů rozdělených podle funkce do 5 oblastí

1. Tranferová oblast

33 kb, 31 genů všechny funkce nezbytné pro přenos.

Biosyntéza a sestavování F pilu (traA,B,C,E,F,G,H,L,K,Q,U,V,W)

Stabilizace párujících se buněk (traG,N)

Konjugativní metabolismus DNA (traD,I,M,Y,Z)

Regulace přenosu (traJ,finO,finP)

Povrchová exkluze (traS,T)

2. Vedoucí oblast

Oblast, která je při přenosu DNA přenášena jako první. 13 kb.

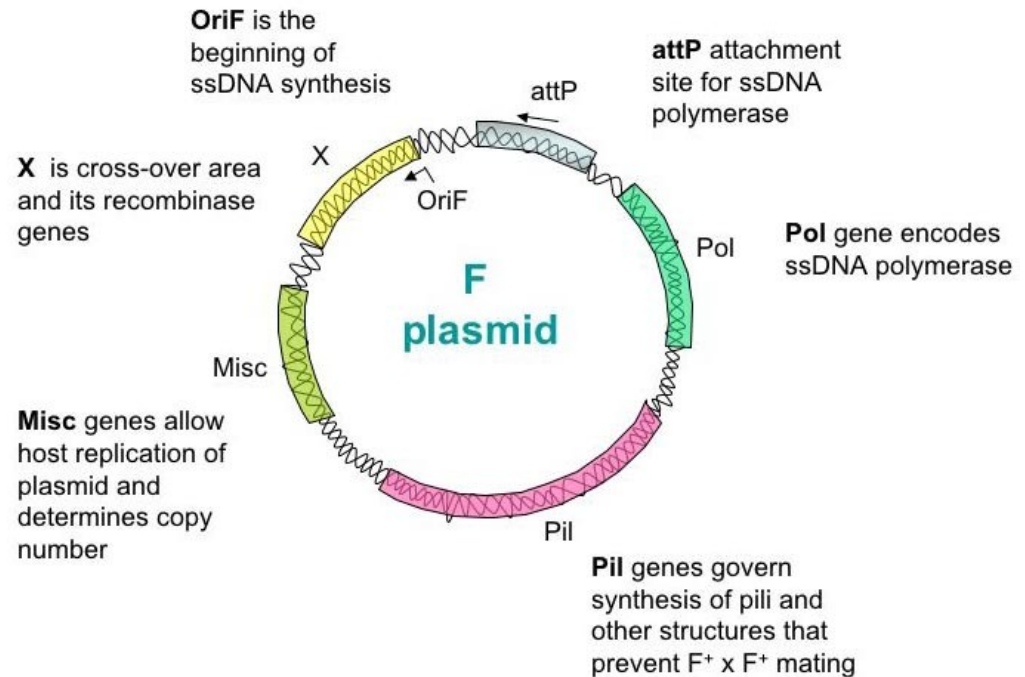
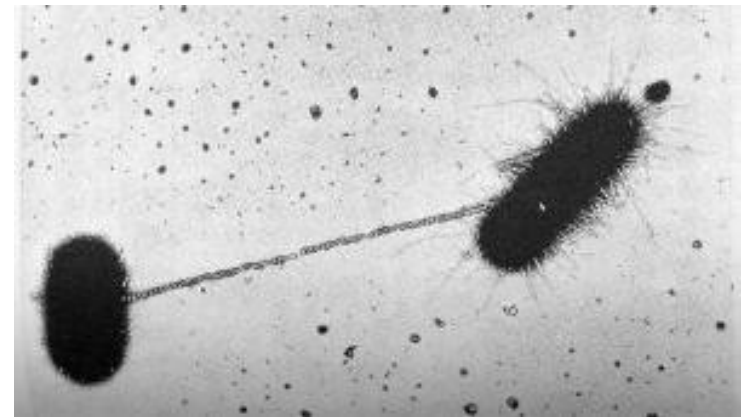
3. Oblast replikace

Tři oblasti s geny a sekvencemi podílejícími se na replikaci.

4. Oblast s inzerčními sekvencemi (IS3a,b, IS2, Tn1000)

5. Pif oblast

Pif (phage inhibition by F). Tři geny pifC.



HLAVNÍ FUNKČNÍ OBLASTI F-PLAZMIDU

1. Transferová oblast
2. Vedoucí oblast
3. Oblast replikace
4. Oblast s IS sekvencemi
5. Pif oblast

F-factor Plasmid

- Genes for conjugation

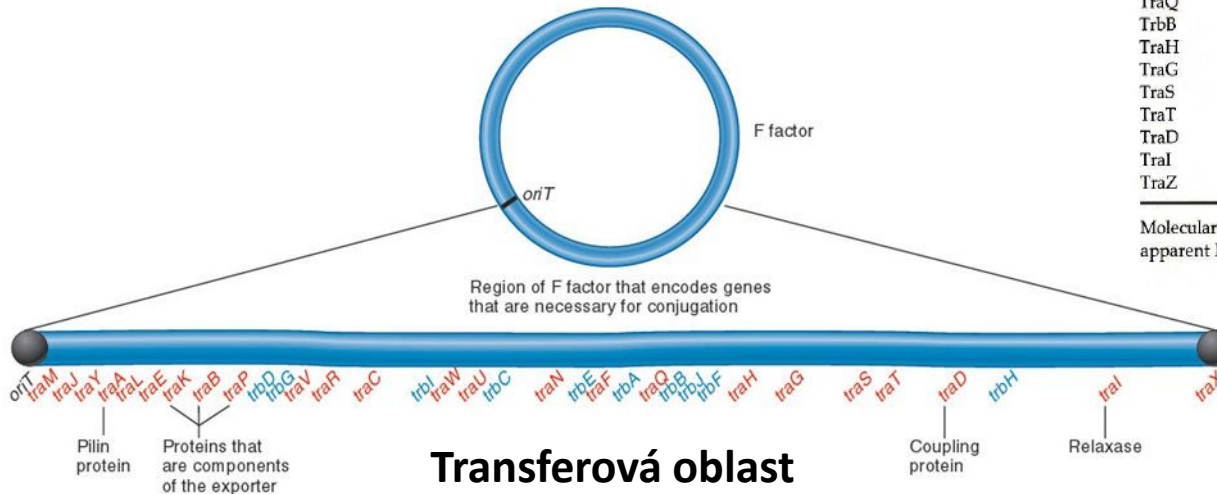


Table 3.2 Products of the transfer region of the F plasmid, as ordered on the DNA molecule.

Product	MW (KD)	Function
TraM	14.491	DNA transfer
FinP		Fertility inhibition; TraI repressor if FinO is present
FinO		Fertility inhibition; mutated by IS3 insertion in F ₂ present in F-like plasmids
TraJ	27.031	Positive regulator for the transcription of all other <i>tra</i> and <i>trb</i> genes
TraY	13.846	DNA transfer, <i>OriT</i> nicking exonuclease
TraA	13.200	F pili
TraL	10.350	F pili
TraE	21.200	F pili
TraK	(24)	F pili
TraB	(55–64)	F pili
TraP	(21.5–23.5)	Unknown
TraV	(21)	F pili
TraR	(9)	Unknown
TraC	(48–85)	F pili
TraW	(23)	F pili
TraU	(20)	F pili
TraN	(66)	Stabilization of mating pairs
TrbC	(21.5)	Unknown
TrbD	(23.5)	Unknown
TrbE	(10)	Unknown
TraF	(25–26)	F pili
TrbA	12.947	Unknown
TraQ	10.867	F pili (pilin maturation)
TrbB	(18.4)	Unknown
TraH	(39–45)	F pili
TraG	(100–116)	F pili + stabilization of mating pairs
TraS	16.861	Surface exclusion protein
TraT	26.017	Surface exclusion protein
TraD	(77–90)	DNA transfer
TraI		Helicase
TraZ		<i>OriT</i> exonuclease

Molecular weights were either deduced from DNA sequencing data or determined as the apparent MW from SDS-PAGE analysis (SDS-PAGE figures in parentheses).

CHARAKTERISTIKA Ti-PLAZMIDŮ (tumory indukující; 150-200 kb)

Hostitel:

Agrobacterium tumefaciens

Agrobacterium rubi

Agrobacterium rhizogenes (Ri-plazmidy)

Geny na plazmidu:

T-DNA (15-45 kb) – syntéza opinů a fytohormonů

Geny pro virulenci

Geny pro katabolismus opinů

Ori

Geny pro konjugaci

Typy Ti-plazmidů (podle typu opinu)

nopalinový

oktopinový

agropinový

sukcinamopionový

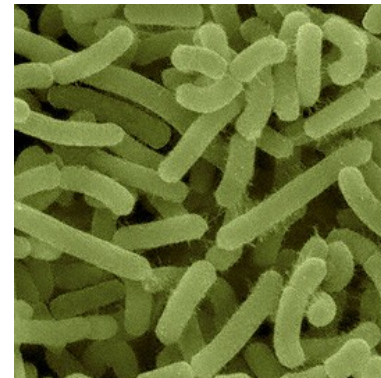
Typy Ri-plazmidů

manopinový

agropinový

Ti – způsobuje krčkové nádory (crown galls)

Ri – způsobuje vlasaté kořeny (hairy roots)



Agrobacterium tumefaciens G-



Agrobacterium rhizogenes

Struktura opinů

1. Rodina oktopinů

Vznik kondenzací pyruvátu s některou aminokyselinou:

- Pyruvát + arginin: **oktopin**
- Pyruvát + lyzin: lyzopin
- Pyruvát + histidin: histopin
- Pyruvát + ornitin: kys. oktopinová

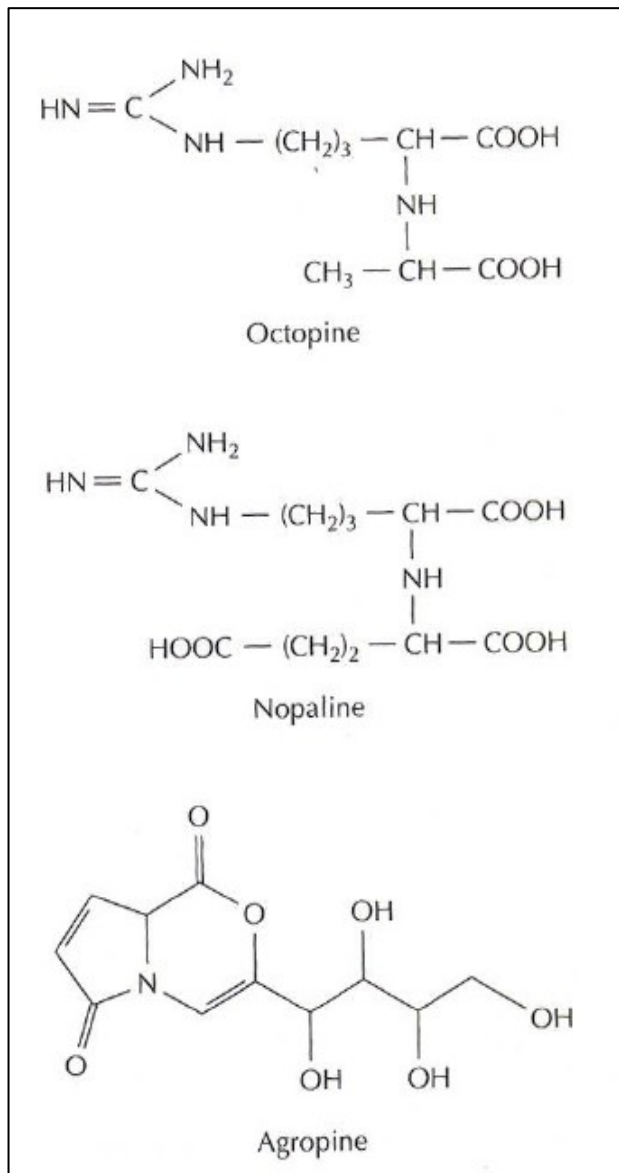
2. Rodina nopalínů

Vznik kondenzací a-ketoglutarátu s aminokyselinami

3. Rodina agropinů

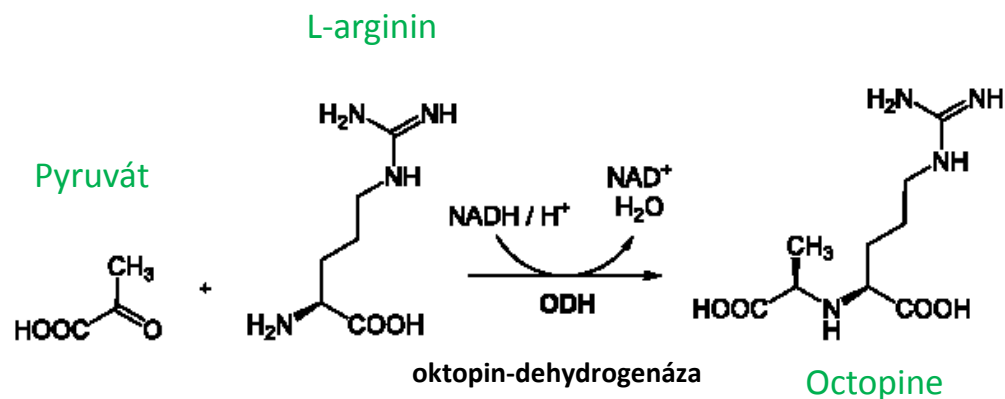
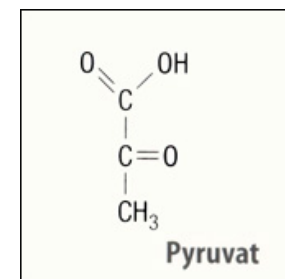
Vznik kondenzací kys. glutamové s aminokyselinami

CHEMICKÁ STRUKTURA OPINŮ (zdroj C, příp. N)

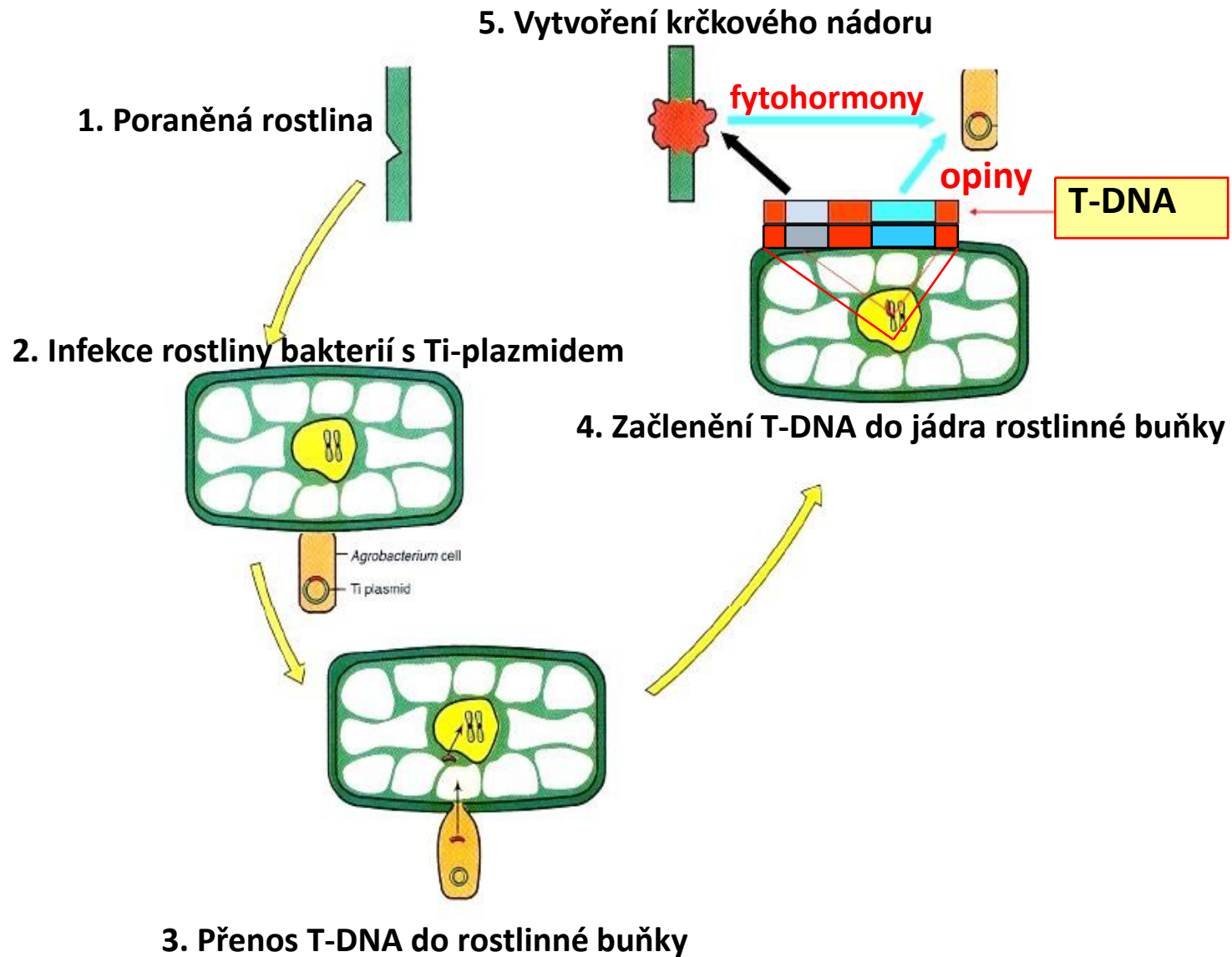


Pyruvát

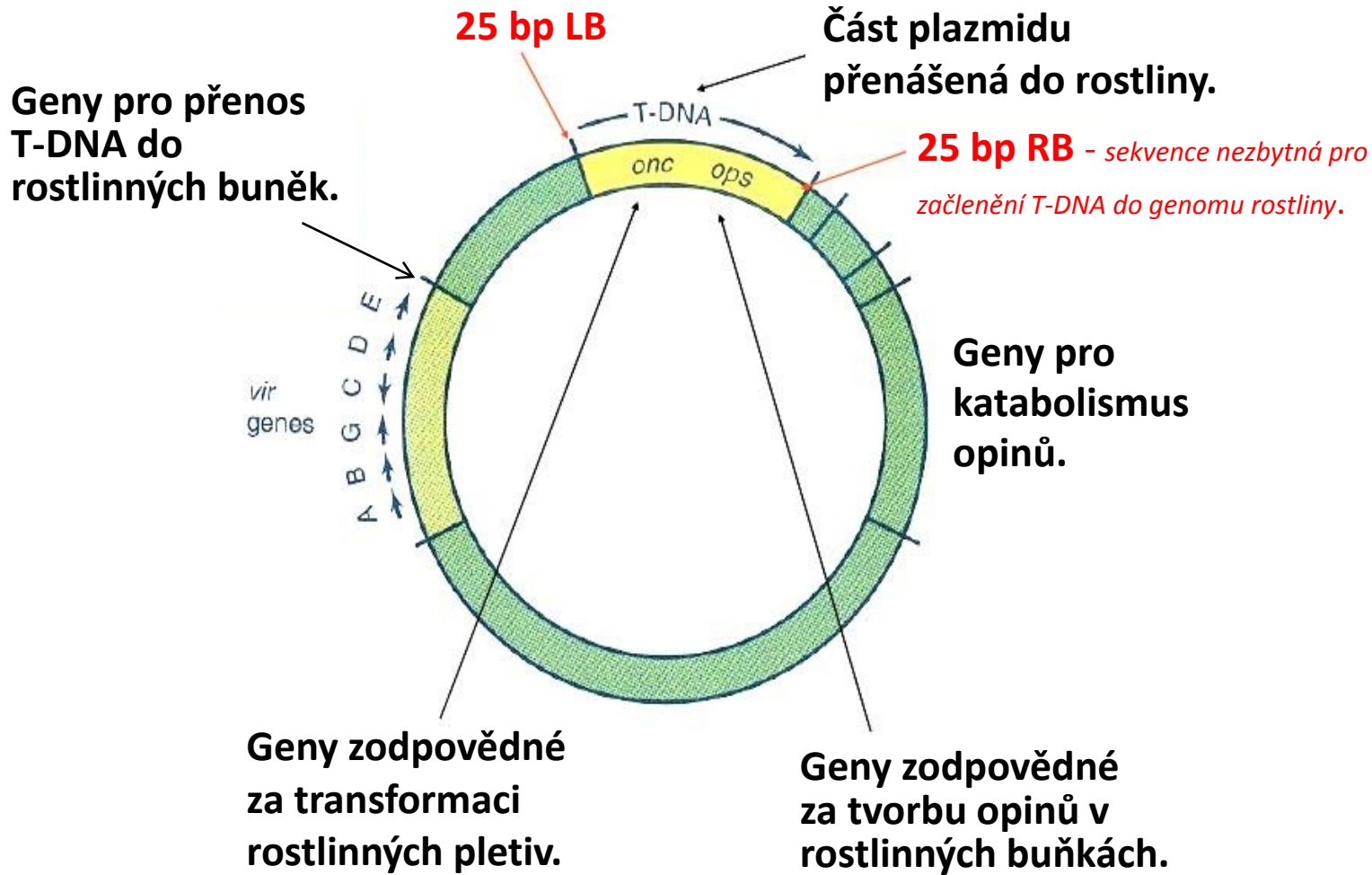
- jeden z nejvýznamnějších metabolitů, vznik v závěrečné fázi glykolýzy, z jedné molekuly glukózy vznikají 2 molekuly pyruvátu.
- je metabolitem alkoholového i mléčného kvašení, transaminací přechází na alanin, je konečným produktem katabolismu uhlíkového řetězce cysteinu, serinu, glycinu, treoninu a hydroxyprolinu.
- enzymatickou reakcí je metabolizován na kyselinu oxaloctovou nebo na acetyl-CoA (substráty Krebsova cyklu, který tvoří „palivo“ buňky).



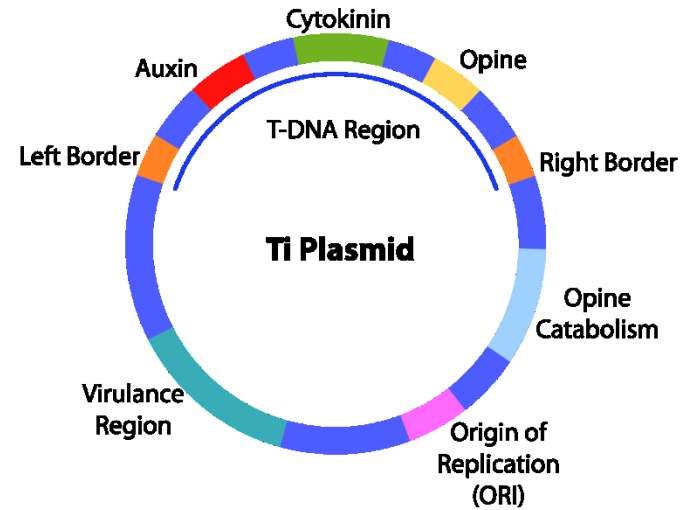
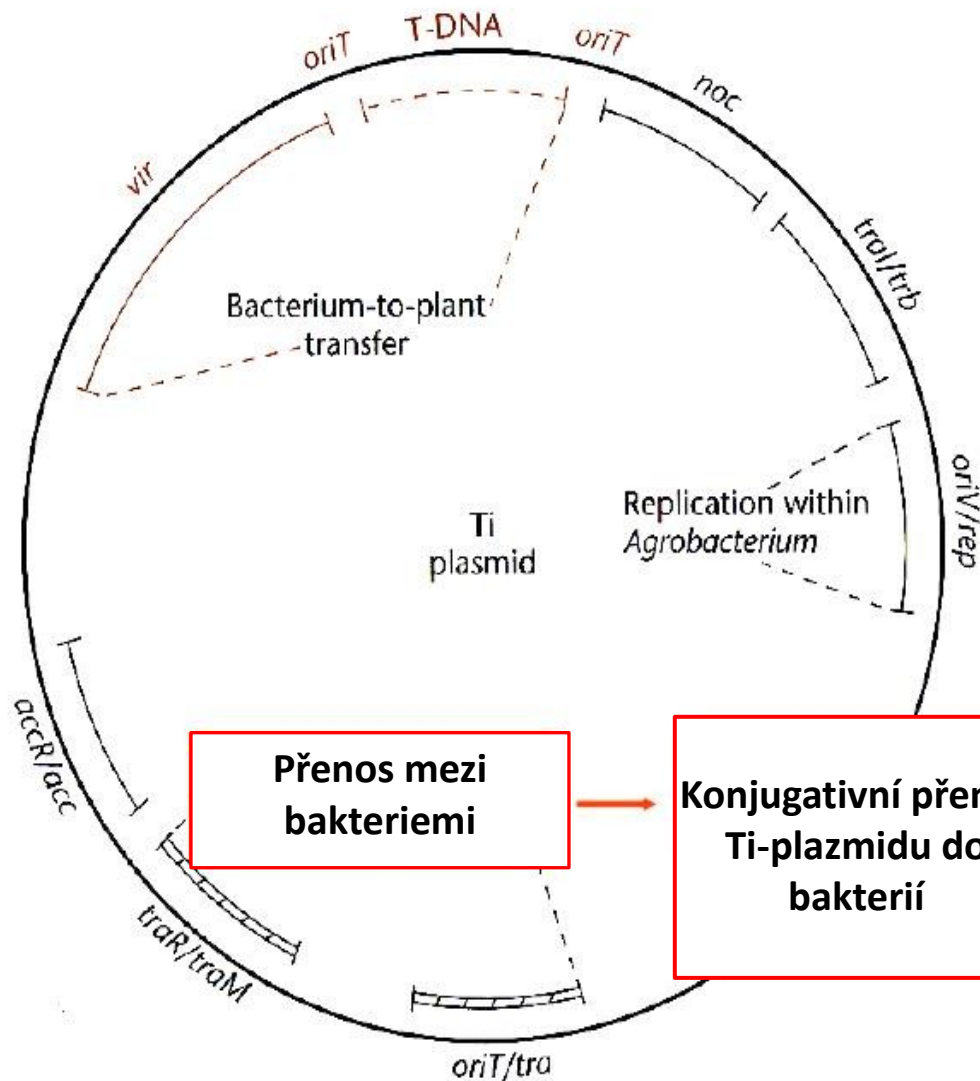
Transformace rostlin navozená Ti-plazmidem *Agr. tumefaciens*



Struktura Ti-plazmidu *A. tumefaciens*



MOZAIKOVITÁ STRUKTURA TI-PLAZMIDU

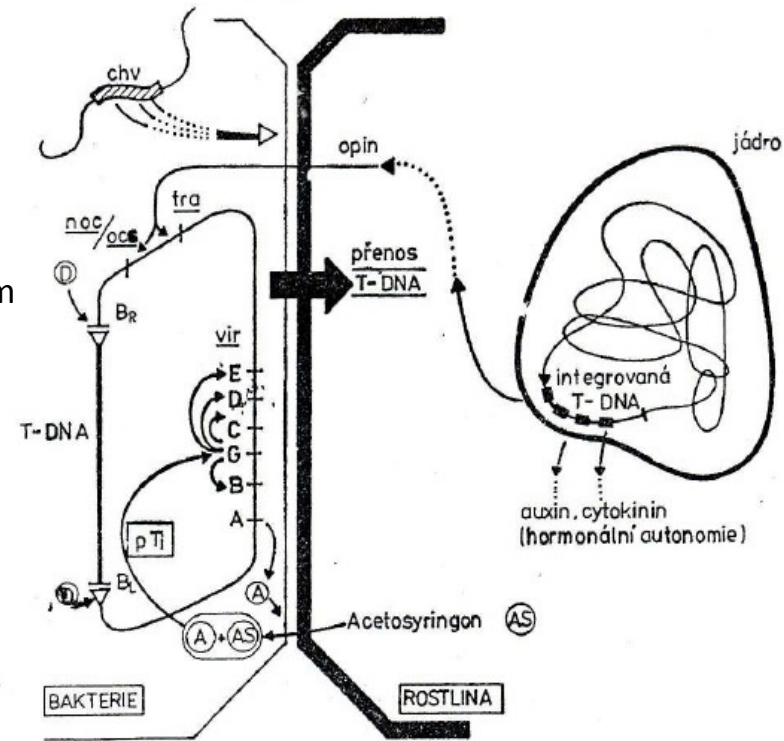


Přenos mezi bakteriemi

Konjugativní přenos Ti-plazmidu do bakterií

PRŮBĚH PŘENOSU TI-PLAZMIDU DO ROSTLINNÉ BUŇKY

1. **Poranění rostliny, sekrece fenolických látek do prostředí** (typu *acetosyringonu*: acetovanilon, hydroxyacetofenon aj.)
2. **Reakce bakterií *A. tumefaciens* na fenolické látky** (pozitivní chemotaxe)
 - Aktivace genů *vir* na Ti-plazmidu; připojení bakterií k rostlinným buňkám (spolupůsobení chr. genů *chvA*, *chvB*, *pscA*)
3. **Aktivace transkripce genů *virB*, *C*, *D* a *E*** prostřednictvím proteinu kódovaného genem *virG*.
4. **Působení produktů genů *vir*:**
 - vznik jednovláknových zlomů na Ti-plazmidu (produkt genu *virD*) + tvorba jednovláknových kopií T-DNA
5. **Vytvoření přenosového komplexu T-DNA a polypeptidů *virD* a *virE***
6. **Přenos komplexu T-DNA do rostlinné buňky**
7. **Přenos T-DNA do jádra rostlinné buňky**
8. **Integrace T-DNA do chromozomu** (různá místa, částečná homologie sekvencí RB a LB s místy začlenění)



Ti-plazmid - shrnutí

FUNKCE PLAZMIDOVÝCH GENŮ VIRULENCE

Geny *vir* = skupina genů v úseku asi 35 kb, velmi podobném u různých Ti-plazmidů. Celkem asi **25 *vir* genů (7 operonů)**: *virA,B,C,D,E* a *G*, vytvářejících 20 polypeptidů.

Funkce genů *vir*:

- a) tvorba jednovláknových zlomů na T-DNA: *virD1*, *virD2*
- b) odkrucování jednovláknové T-DNA: *virD1*, *virD2* a *virE2*
- c) vytvoření přenosového komplexu T-DNA/proteiny: *virD1*, *virD2* (*virB*)
- d) rozmezí hostitelů: *virC*

HLAVNÍ RYSY PŘENOSU T-DNA DO ROSTLINNÉ BUŇKY

1. Do rostlinné buňky je z Ti-plazmidu přenášena **pouze T-DNA**, ve formě **ssDNA**.
2. Při **integraci T-DNA** do rostlinného genomu dojde k **definovanému začlenění** 5' konce (1-2 bp BR), začlenění 3' konce je variabilní (vznik delecí 3-100 bp).
3. Do rostlinného genomu se **může začlenit více kopií T-DNA**, i tandemově (vznik tandemů není jasný).
4. Pro přenos je **nutná pouze 25 bp RB**.
5. Místo **integrace je náhodné**, nejsou vyžadovány úseky homologie – preferenčně probíhá do **transkripčně aktivních oblastí** (často místa bohatá na AT páry).
6. Vlastní **proces integrace T-DNA** do genomu rostliny **není jasný** – účast reparačních enzymů rostliny? Nebo produkty genů na T-DNA.
7. V **místě integrace** dochází k **přeskupením** (delece, přeskupení apod.).

Lineární plazmidy

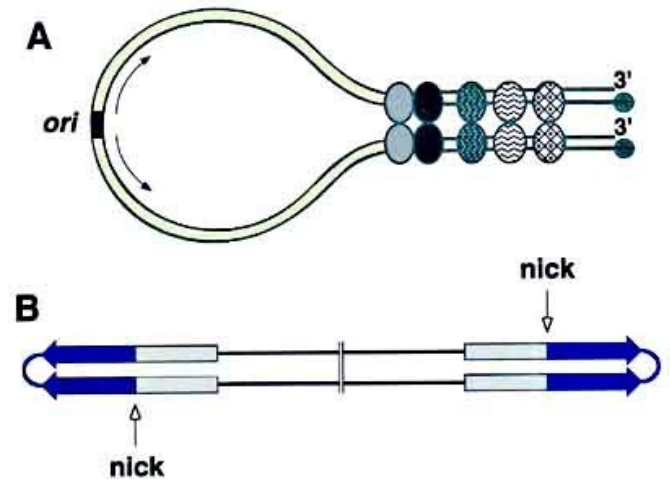
Streptomyces rochei – v r. 1979 objev lineární struktury plazmidu

Další zástupci s lineárními plazmidy:

Borrelia burgdorferi (Lymeská nemoc), *Nocardia*,
Rhodococcus, *Thiobacillus*

Specifická replikace – chybí primer pro DNA-polymerázu na 5'konci

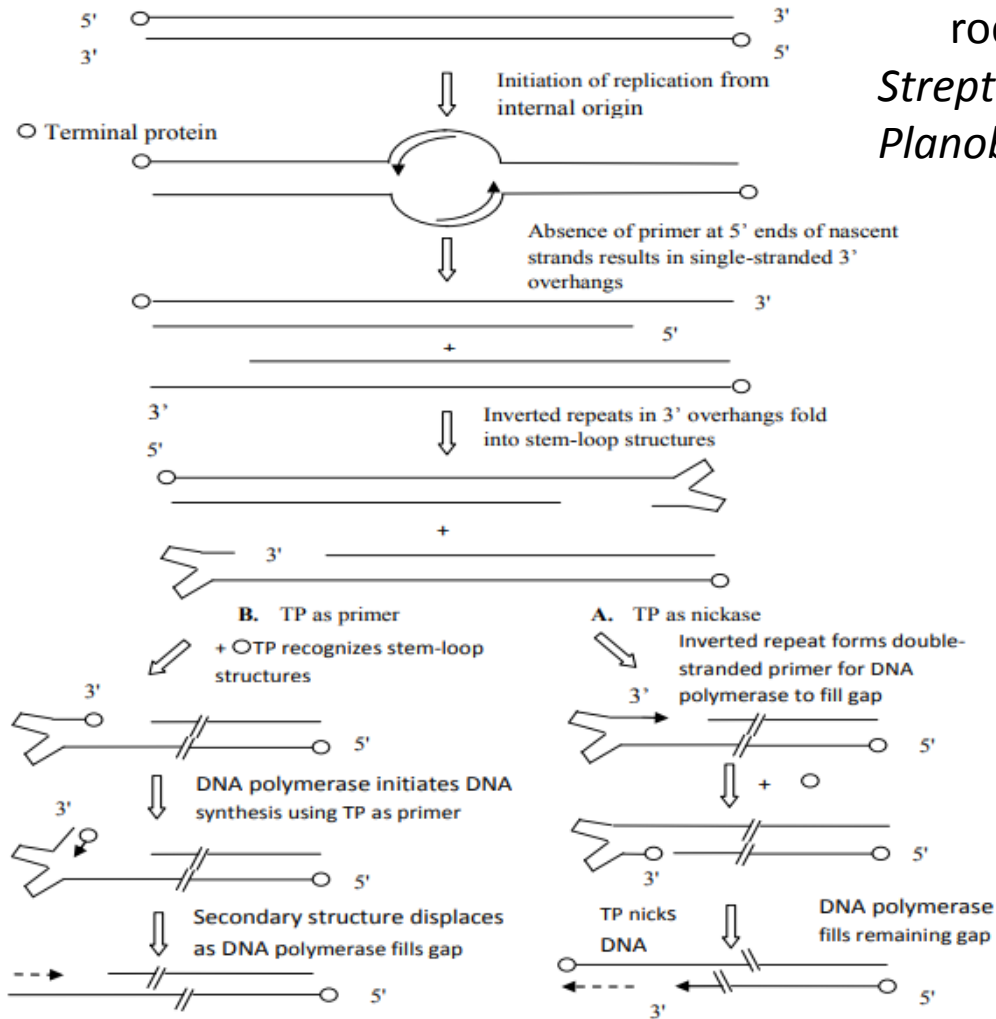
- na koncích lineárních plazmidů telomery – kovalentně spojené konce DNA – podobné strukturám u eukaryotických virů (*Poxviry*, *Adenoviry*)
- plazmid pSLA2 u *Streptomyces* – proteiny kovalentně spojené s konci plazmidu – obsah tandemových obrácených repetitivních nebo palindromických sekvencí



(A) Racket frame structure proposed for linear *Streptomyces* plasmids. The black circles represent the terminal protein attached to the 5' ends, which is required to protect the ends and complete the replication of both plasmid termini. The ovals represent juxtaposition proteins that bring together the plasmid termini by binding to specific regions of palindromic symmetry. The ori located near the center of the plasmid is depicted by the box and the arrows indicate the bidirectional DNA replication from this ori.

(B) Typical structure of linear plasmids isolated from *Borrelia* containing terminal hairpin telomeric structures composed of inverted repeats (thick arrows) harboring the nick sites (vertical arrows) involved in DNA replication.

Replikace lineárních plazmidů



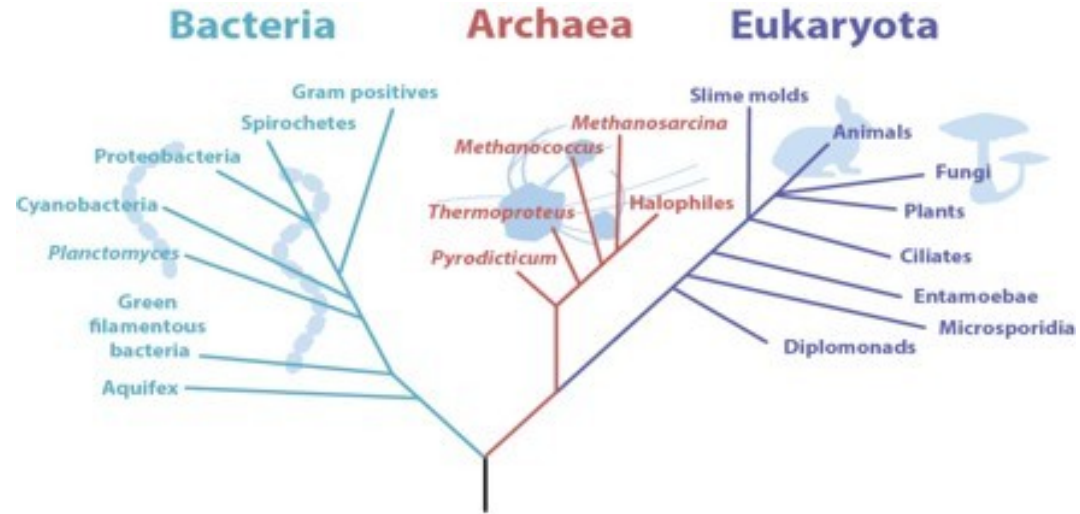
Lineární plazmidy:

A. Kovalentně uzavřené konce – rod: *Borrelia*

B. Kovalentně navázaný protein na 5' konci – rody:

Streptomyces, Rhodococcus, Mycobacterium, Planobispora

ARCHEA



Carl Woese a George E. Fox v roce 1977 na základě sekvenace genů kódujících rRNA zavedl novou skupinu organismů – archebakterie – později archea



Extrachromozomální genetické elementy archeí

- v NCBI přes 60 virů a 60 plazmidových sekvencí

Bakteriofágy:

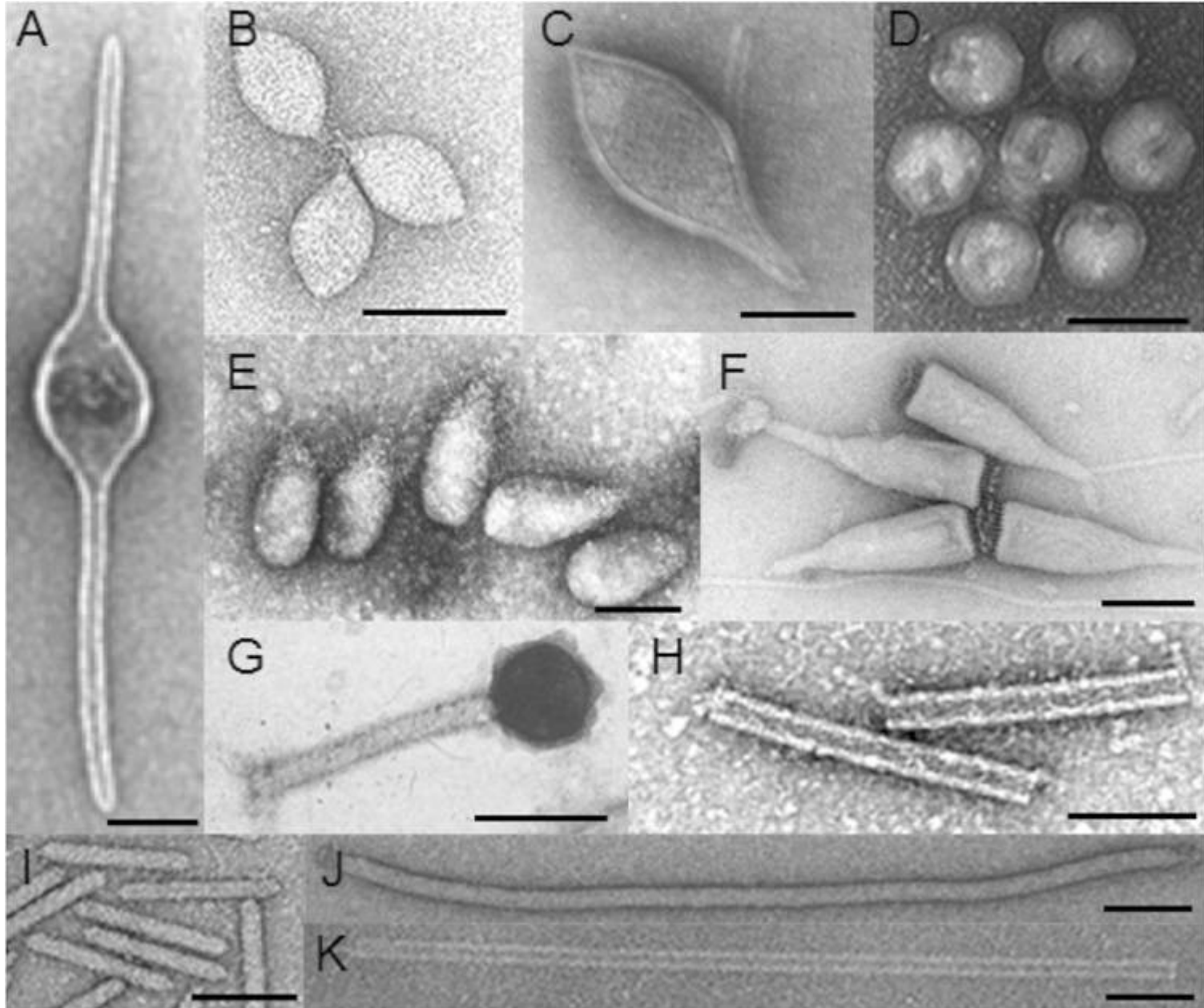
viry (bakteriofágy) – 1 řád, 10 čeledí, cca 1% všech popsanych virů

1980- **Wolfram Zillig** – studium bakteriofágů u Archaeí, popis viru *Sulfolobus* spindle-shaped virus 1 (SSV1)

Plazmidy:

1970- plazmid u *Halobacterium salinarium*, *Methanobacterium thermoautotrophicum a thermoformicum*, *Acidanus ambivalens* (hypertermofilní zástupci).

Bakteriofágy archeí

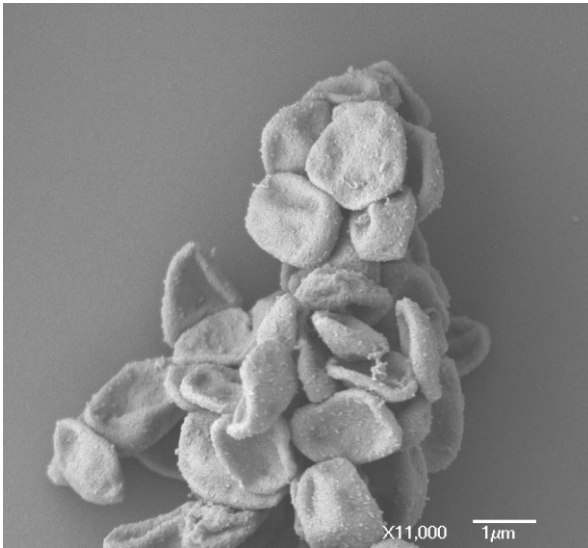


Charakteristika plazmidů u archeí:

- málo prostudované, nejlépe u metanogenních archeí
- většinou kryptické
- některé mají charakter megaplazmidů (např. u *Haloferax volcanii*) – velikost 690, 442 a 86 kb.

Identifikované geny:

- geny pro tvorbu plynových měchýřků
- geny kódující restriční endonukleázy a metylázy
- konjugativní plazmidy (r. *Sulfolobus*) – schopnost integrace do chromozomu, jednosměrný přenos, **patrně i do bakterií**
- **některé plazmidy mají geny podobné provirům archeí**

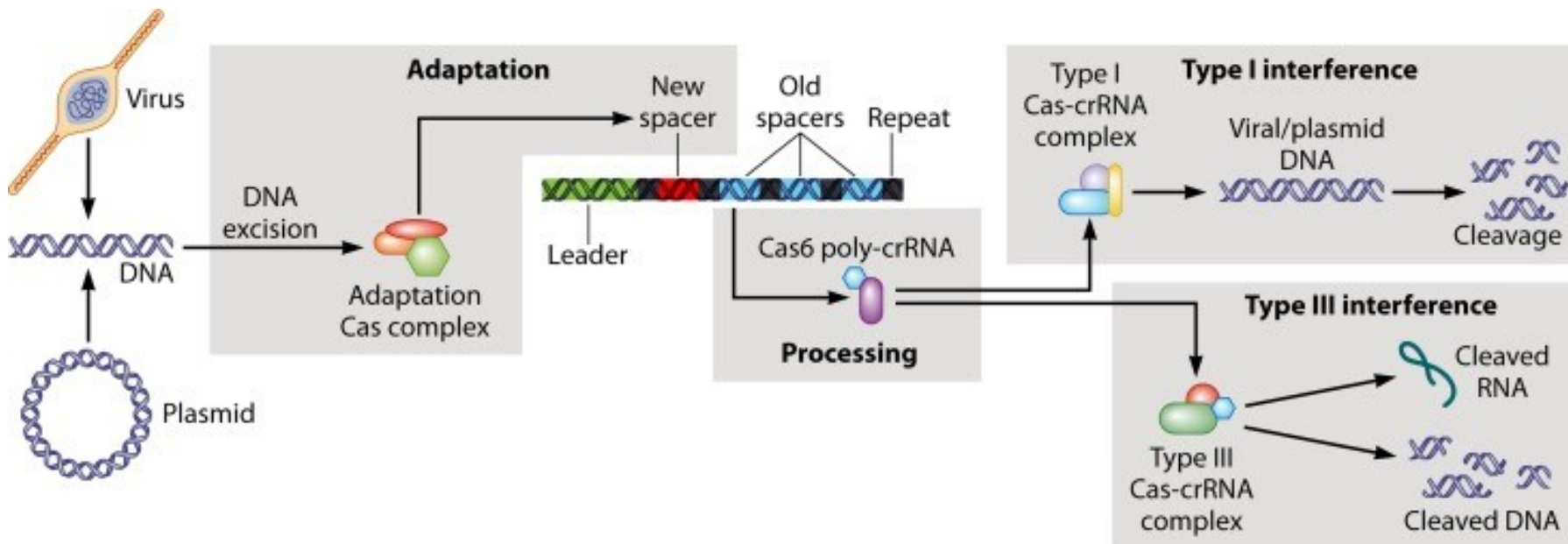


Haloferax volcanii

Obranné mechanismy – interakce virus/hostitel a plazmid/hostitel

Tři funkční fáze v působení systému CRISPR-Cas:

- Adaptace** - získání nového mezerníku (červeně) v CRISPR lokusu
- Expres** - klastry CRISPR jsou přepisovány, vznik prekurzorových CRISPR RNA (pre-crRNA) a úprava pre-crRNA na crRNA
- Interference** - crRNA tvoří komplex s Cas-proteiny a cílí na virové/plazmidové sekvence, což vede k jejich.



Symbiotické plazmidy *Rhizobiaceae* (*pSyn*)

Diazotrofie: klíčový proces v biosféře – přeměna N_2 na redukované formy (amonium)

- volně žijící bakterie uskutečňují tento proces pro svou potřebu při omezeném množství amoniaku nebo nitrátů
- symbiotické mohou fixovat dusík jen po vytvoření mutualistických interakcí s leguminózami

Předpoklady pro ustavení účinné symbiozy mezi bakteriemi a rostlinou:

- chemotaktická invaze bakterií do kořenových buněk, kde se vytvoří specializovaný rostlinný orgán: **nodula**
- bakterie mají 20 různých nodulačních (nod) genů – ty se podílejí na syntéze nebo sekreci nodulačních faktorů (= silné mitogeny, přetvářející rostlinné buňky)
- uvnitř rostlinných buněk vytvářejí bakterie **bakteroidy**, což jsou specializované buňky určené k fixaci dusíku. **Bakteroidy dodávají rostlině fixovaný dusík a od rostliny odebírají fotosyntézou vytvářený uhlík.**

Lokalizace symbiotických genů u rhizobií

- Symbiotická fixace dusíku vyžaduje asi 60 genů
- Geny pro symbiozu jsou na 150 kb až 1683 kb plazmidech (megaplazmidy), které představují 25-50% velikosti genomu
- většina genů pro nodulaci a fixaci dusíku je na jediném symbiotickém plazmidu pSyn, v některých případech na konjugativním transpozonu (502 kb) – symbiotický ostrov
- ztráta plazmidu vede k neschopnosti fixovat dusík

Bakterie příbuzné rhizobiím byly zjištěny i u mravenců ve specializovaném orgánu pro recyklování dusíku.

- Evoluce: přenos plazmidů nebo ostrovů vede k novým druhům

Degradativní plazmidy

Nesou geny propůjčující bakteriím schopnost biologicky degradovat organické sloučeniny, které se běžně v přírodě nevyskytují. Ve většině případů kódují část degradační dráhy včetně regulačních elementů.

Pseudomonas:

salicylát, naftalen, kafr, octan, toluen, fenoly, xylen, dichlorfenoxyaceton, chlorbenzen.

TOL plazmidy (prototyp degradativních plazmidů)

Plazmidy nesou geny pro degradaci **toluenu, xylenu, benzylalkoholů, benzylaldehydů**

Příbuzné plazmidy: schopnost růst na salicylátu nebo naftalenu jako jediném zdroji C a E.

2,4-D-plazmid = model pro studium degradace chlorovaných aromatických látek (např. (2,4-D = dichlorfenoxyoctové kyseliny používané jako herbicid)

Virulenční plazmidy

- nesou geny zodpovědné za patogenitu a virulenci bakteriálních kmenů

Obecné rysy virulenčních plazmidů enterobakterií

- velikost 60-200 kb, nízkokopiové (1-2 kopie)
- podobné buď F plazmidu nebo R100
- v jedné buňce může být i více různých virulenčních plazmidů

- např. *Yersinia* má tři různé plazmidy, z nichž každý přispívá výrazně k virulenci

Geny virulence na plazmidech

Faktory virulence pro kolonizaci buněk a tkání

- **toxiny pro adhezi na epitel a invazi,**
- **tvorba biofilmu**
- **průnik bakterií buněčnou membránou hostitele,**
- **systemické šíření do dalších tkání**
- **intracelulární přežívání v mikrofágách.**

Mikrofág, též neutrofilní granulocyt, druh bílé krvinky, leukocyt – fagocytující buňka schopná pohlcovat drobné cizorodé částice, např. bakterie.

Virulenční geny obecně zvyšují přežívání v hostiteli, adherenci a invazivitu do buněk a někdy interferují s imunitními funkcemi hostitele

Virulenční plazmidy gramnegativních bakterií

Výskyt: Čeled' *Enterobacteriace*

A. Normální mikroflóra gastrintestinálního traktu člověka *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Escherichia*

B. Patogeny: *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*

Patogenní kmeny *Escherichia coli*:

Enterotoxigenní (ETEC)

Enteroinvazivní (EIEC)

Enterohemorhagické (EHEC)

Enteropatogenní (EPEC)

Enteroagregativní (EaggEC)

Spektrum chorob odráží obsah genů virulence lokalizovaných na plazmidech, bakteriofágách, ostrovech patogenity (PAI), které nejsou u komensálů.

Virulenční plazmidy nesporelujících G+ patogenů

G+ bakterie: nejzávažnější nosokomiální patogeny jsou stafylokoky a enterokoky

Řada z nich je multirezistentní k antibiotikům.

Virulenční plazmidy *Staphylococcus aureus*

Extracelulární proteiny: toxiny vázané k určitým typům chorob

Enterotoxiny - ETB: potravinové otravy, TSST – syndrom toxického šoku, exfoliatin – syndrom opařené kůže

Virulenční plazmidy *Enterococcus faecalis*

Identifikováno 18 různých plazmidů (prototyp: pAD1, 60 kb plasmid)

Faktory virulence: adhesin, matrix binding proteiny, kapsulární polysacharidy, cytolyziny (lyze erytrocytů), želatinázy a proteázy schopné poškodit tkáň a buňky.

Shrnutí

- **Plazmidy** – definice, rozdělení plazmidů, inkompatibilita, klasifikace
- **Identifikace plazmidů** – genotyp, fenotyp, metodické přístupy
- **Počátek replikace** – identifikace ori, replikace plazmidů, mechanismy regulace ori (ColE1, F, R1, iterony), kontrola počtu kopií na buňku
- **Segreganiční stabilita plazmidů** – aktivní segregace (místně specifická rekombinace, partitioning), postsegregační usmrcování buněk (mechanismy)
- R plazmidy, F plazmidy, Ti-plazmidy, kolicinogenní plazmidy