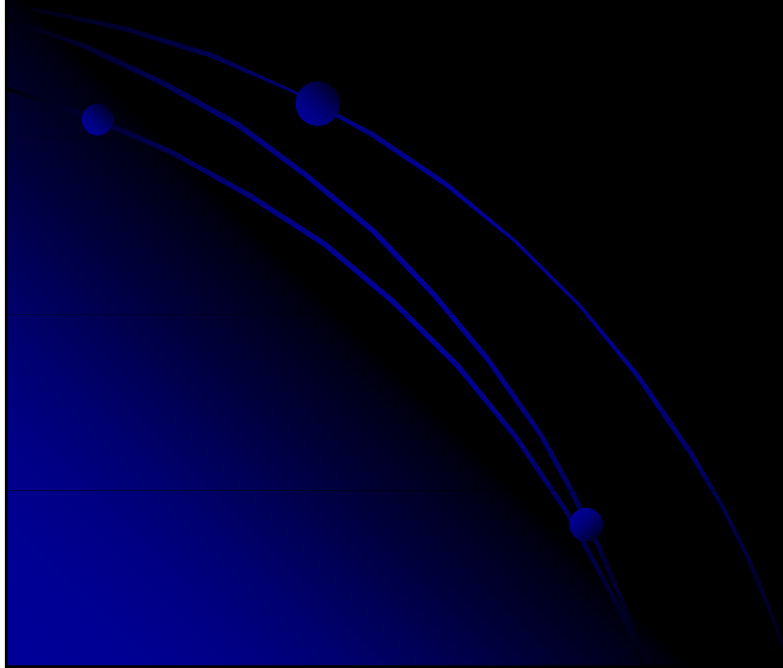


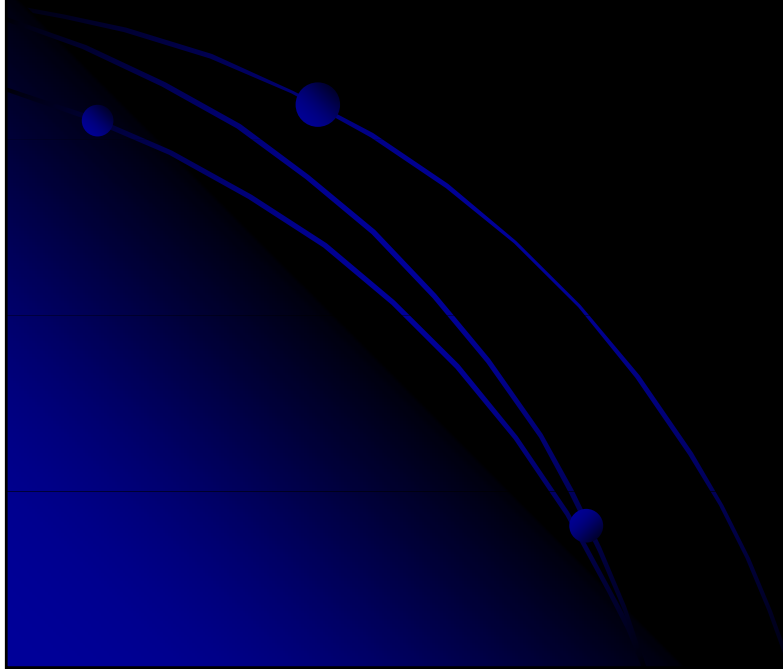
# **Nukleové kyseliny a nadmolekulové komplexy polynukleotidů buněčných struktur**



# Nukleové kyseliny (polynukleotidy)

- **Objevitelem je Friedrich Miescher (1887)**
- **NK stojí v hierarchii látek potřebných k existenci živé hmoty nejvýše**
- **V organismu se NK vyskytují ve formě komplexů s proteinem – NUKLEOPROTEINY**
- **Podle sacharidové složky mononukleotidů je dělíme na DNA (2-deoxiribosa), RNA (ribosa)**
- **NK vznikají dehydratační kondenzací mononukleotidů**
- **Účinkem polymerasových enzymů vznikají fosfodiesterové vazby mezi C3 jedné pentosy a C5 následující pentosy (DNA i RNA)**
- **Prostřednictvím - OH skupiny na prvním uhlíku každé pentosy se váží purinové a pyrimidinové base**

- Sekvence nukleotidů se vyjadřuje symboly pro nukleosidy, mezi kterými je písmeno p – označující fosfát
- Pokud je p vlevo od zkratky nukleosidu jedná se o 5' - vazbu pentosa - fosfát, pokud je vpravo, označuje 3' - vazbu
- **Příklad:**
  - dGp – deoxyguanosin – 3' - fosfát
  - dpA – deoxyadenosin – 5' - fosfát
  - Ap – adenosin 3' - fosfát

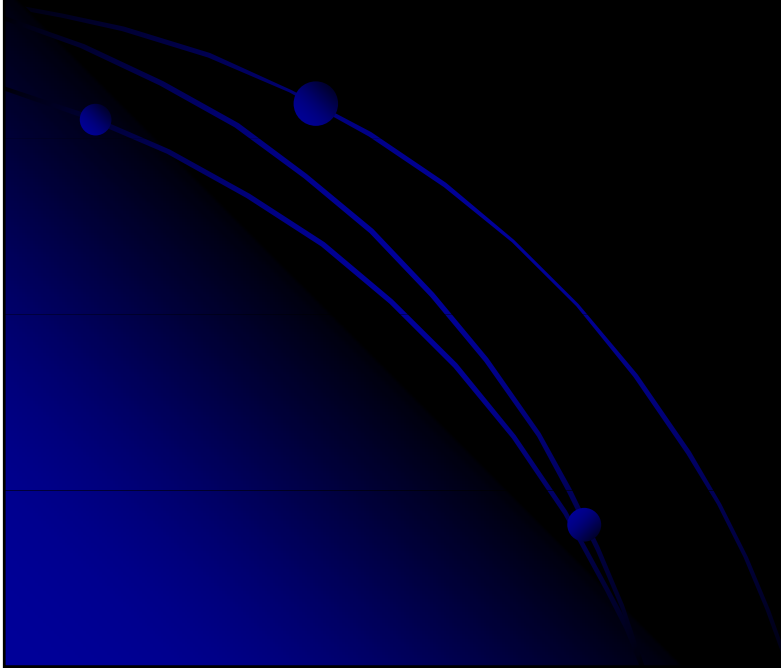


# Struktura deoxyribonukleové kyseliny

- DNA obsahuje pravidelně 4 base, 2-deoxyribosu ve formě furanosy a zbytek kys. fosforečné
- **Chargaffova pravidla:**
  1. Molární obsah adeninu se rovná molárnímu obsahu thyminu,  $A/T = 1$
  2. Molární obsah guaninu se rovná molárnímu obsahu cytosinu,  $G/C = 1$
- **Primární struktura** – pořadí nukleotidů
- **Sekundární struktura** – dvojité helix složený ze dvou antiparalelních polynukleotidových řetězců, spletených do pravotočivé dvoušroubovice (Watson, Crick, Wilkins)
- Jeden závit – 10 párů basí

- Mezi dusíkatými basemi protilehlých řetězců – vazby vodíkovými můstky
- **Komplementarita řetězců** – base jednoho řetězce může v dvoušroubovici zaujmout místo pouze proti takové basi protějšího řetězce, s kterou může vytvořit vodíkové vazby (*párování basí*)
- Komplementarita umožňuje REPLIKACI DNA
- **Stabilizační prvky sekundární struktury**
  - van der Waalsovy síly mezi sousedními basemi
  - atomy O na povrchu molekuly DNA
  - uspořádání dusíkatých basí
- **Levotočivá forma DNA** – pouze krátké úseky DNA
  - umožňuje ponoření kopírovacích enzymů do DNA a čtení sekvence basí při tvorbě kopie (replikace)

- **Terciární struktura DNA** – prostorový tvar dvoušroubovice
- Superhelix – šroubovicovou strukturu má nejen základní dvoušroubovice , ale rovněž osa této dvoušroubovice (superzřetězení)
- Topoisomerasy – katalyzují vznik superhelixu (DNA-gyrasa)



# Struktura ribonukleových kyselin

- **Primární struktura** – podobná jako u DNA
  - sacharidová složka D-ribosa
  - ve většině případů thymin nahrazen uracilem
- **Pro molekuly RNA neplatí Chargaffova pravidla**
- **Sekundární a terciární struktury** – nejsou pro molekuly RNA jednotné
- RNA není homogenní, ale je tvořena několika typy molekul
- RNA určitého typu nemá všude stejnou prostorovou strukturu
- Jednotlivé molekuly RNA se od sebe liší nejen Mr, ale i lokalizací a biologickou funkcí v buňce

## Messengerová RNA (*mRNA*)

- Zprostředkuje přenos genetické informace z DNA na proteiny
- Je matricí pro syntézu peptidových řetězců
- *mRNA* musí obsahovat minimálně trojnásobný počet nukleotidů než je počet aminokyselin v peptidovém řetězci
- Syntéza *mRNA* probíhá přímo na DNA a je negativem pořadí zásad DNA (A z DNA se do *mRNA* přepíše jako U, T jako A, G jako C a C jako G)
- Při syntéze *mRNA* se nejdříve syntetizuje prekursor *mRNA* (tzv. *hnRNA*), který musí projít „střihem“ (splicing), kdy se z *hnRNA* působením ribonukleáz vystříhají tzv. introny a zbylé exony se spojí do výsledné *mRNA*



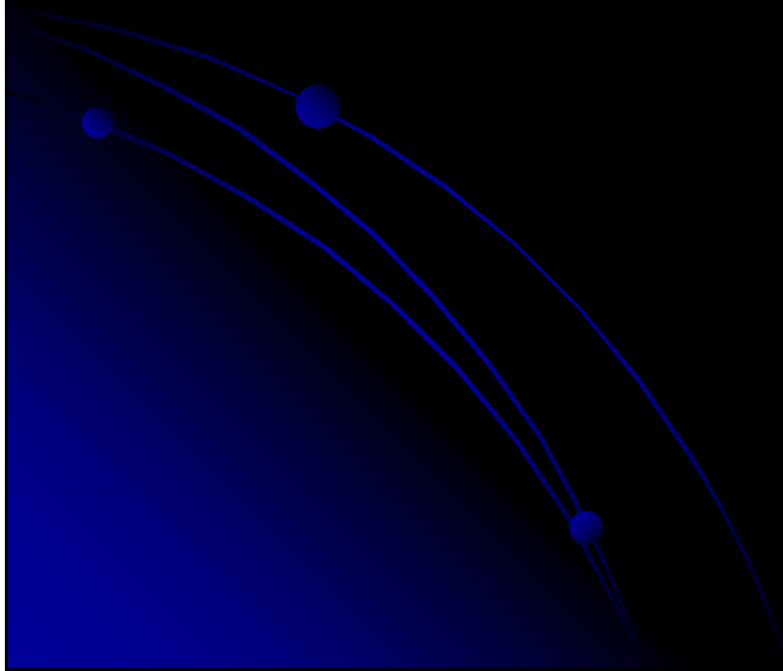
## Ribosomální RNA (*rRNA*)

- Je stavební složkou ribosomů a představuje až 90 % veškeré RNA vyskytující se v buňce
- Podobně jako *mRNA* i všechny *rRNA* se syntetizují nejdříve jako větší prekursorové molekuly

## Transferové RNA (*tRNA*)

- Obsahují asi  $75 \pm 5$  nukleotidů
- Biologickou funkcí *tRNA* je přenos aktivovaných aminokyselin při proteosyntéze
- V buňce se nachází rozpuštěné v cytoplasmě
- Každá *tRNA* může přenášet pouze jednu aminokyselinu
- Molekula je tvořena třemi konstantními smyčkami a jednou menší variabilní smyčkou (tvar **jetelového listu**)
- Na začátku „stopky“ je akceptorové místo pro jednu aminokyselinu

- Antikodonová smyčka se nachází vždy naproti aminokyselinovému akceptorovému místu a obsahuje antikodon tj. triplet, který se při proteosyntéze navazuje na příslušný kodon na molekule *mRNA*
- Rovněž *tRNA* se syntetizuje jako větší prekurzor
- **Všechny typy RNA se syntetizují na matici jaderné DNA**

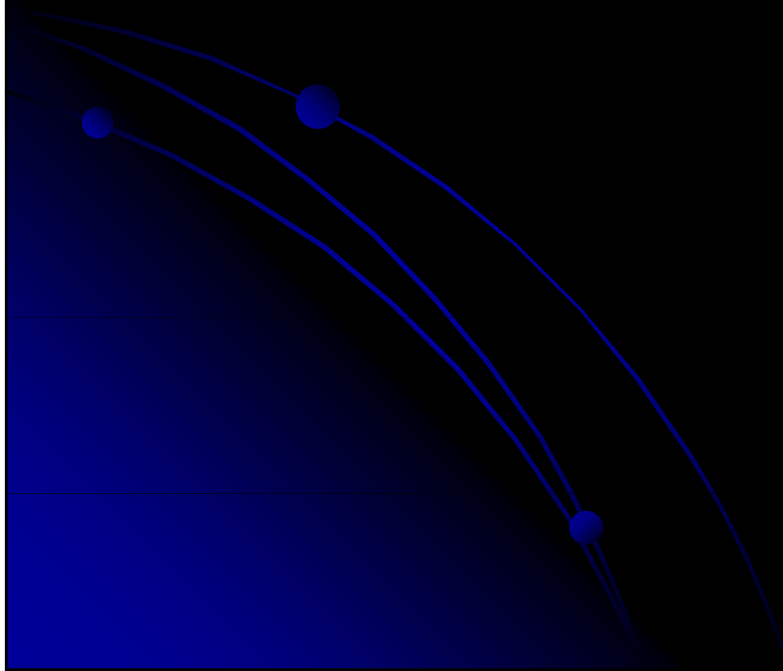


# Denaturace a hybridizace nukleových kyselin

- Výsledkem je separace vláken dvoušroubovice DNA nebo dvoušroubovicových úseků RNA
- Způsobují kyseliny, zásady, alkoholy, nebo odstranění stabilizačních iontů s opačným nábojem (např.  $Mg^{2+}$ )
- **Denaturace teplem** – úplná denaturace – oddělení komplementárních vláken
- Pokud se oddělená vlákna prudce ochladí, zůstanou oddělená
- Pokud se teplota udržuje těsně pod bodem tání, vzniká zpátky dvoušroubovice
- **Hybridizace** – vznik hybridních dvouvláken (duplexů) např. hybrid DNA-RNA
- **Stupeň homologie** – míra v jaké dochází k hybridizaci mezi úseky různých řetězců

# Rozklad nukleových kyselin v buňkách

- Rozklad polynukleotidů na mononukleotidy a jejich složky
- Deoxyribonukleasy degradují DNA
- Ribonukleasy degradují RNA
- Exonukleasy odštěpují koncové nukleotidy
- Endonukleasy hydrolyzují esterové vazby uvnitř řetězce



# Nadmolekulové komplexy polynukleotidů buněčných struktur

- Jsou to komplexy nukleových kyselin a proteinů
- Komplexy DNA s histony
- Heterogenní ribonukleoproteinové částice (prekurzory *mRNA*)
- Jiné částice s biologickými funkcemi (**ribosomy**, **chromatin**, **viry**)
- Tvoří složité nadmolekulové komplex (megamolekuly)
- Vzhledem ke své velikosti nejsou rozpustné
- Vznik takové nadmolekulové struktury umožňuje jednotlivým složkám působit v úzké návaznosti, kde výsledkem je vznik biologické aktivity , kterou izolované složky nejsou schopny uskutečnit

## Chromatin

- Je nukleoproteinový komplex vytvořený z DNA, RNA, histonových a nehistonových proteinů na regulaci přepisu genetické informace zakódované v řetězci DNA
- Tvoří tedy genetický materiál z kterého se skládají chromosomy eukaryot
- Chromatin se skládá z podjednotek (**nukleosomů**)
- Nukleosom se skládá z 8 molekul histonů, které obaluje dvouvlákno DNA (asi 140 nukleotidových párů)
- Celý nukleosom obsahuje asi 200 nukleotidových párů, které mohou kódovat peptid s asi 65 aminokyselinami
- Z toho vyplývá => jeden gen se musí skládat z několika nukleosomů

# Ribosomy

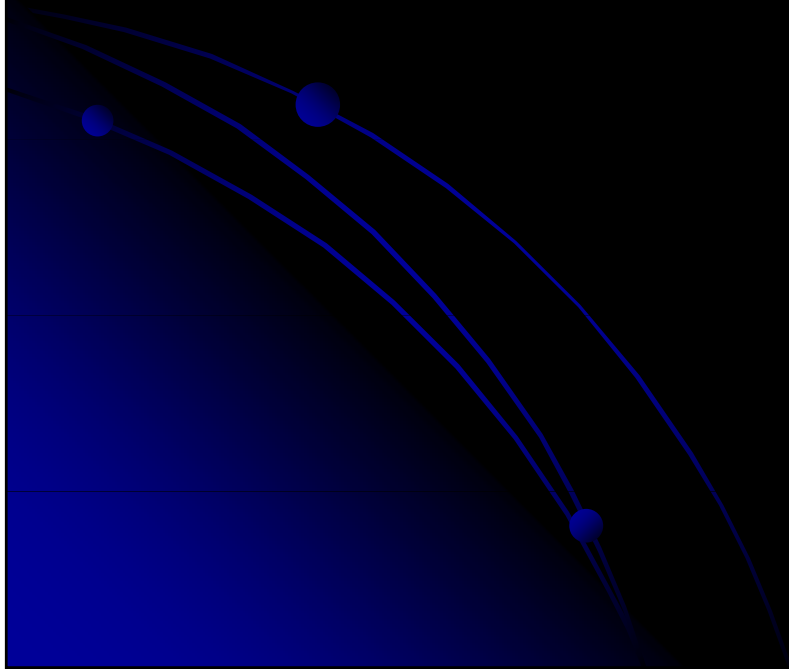
- Vyskytují se ve všech buňkách a patří mezi nejpočetnější orgány (v jádře, cytoplasmě, mitochondriích, chloroplastech)
- Ribosomy lze považovat za multienzymové komplexy, které katalysují vznik peptidové vazby
- Na rozdíl od běžných enzymů se však ribosomy musí nejdříve *naprogramovat* messengerovou RNA (*mRNA*)
- Jsou místem, kde se translatuje genetická informace z molekuly *mRNA* do molekuly proteinu
- Skládají se z proteinů + ribosomální RNA (*rRNA*)
- Jsou tvořeny dvěma subjednotkami, které po spojení do kompletního ribosomu vytvoří „kanálek“, kterým *mRNA* při proteosyntéze
- Ribosomové proteiny a *rRNA* jsou v ribosomových subjednotkách vzájemně vázány nekovalentními vazbami (elektrostatickými silami, vodíkovými můstky, hydrofobními interakcemi)

# Viry

- Jsou to nukleoproteinové částice na rozhraní živé a neživé hmoty
- Nemají vlastní metabolismus a „živými“ se stávají teprve po vniknutí do vhodné hostitelské buňky
- Většina virů má jako genom dvouvláknovou DNA nebo jednovláknovou RNA (vždy pouze jeden typ)
- Genom virů obsahuje 3 – 200 genů, ojediněle více
- Plášť (kapsid) a subjednotky (kapsomery) se skládají z proteinů (u větších virů i polysacharidy, glykoproteiny a lipidy)
- Žádný virus ale nemá enzymy potřebné na vlastní reprodukci
- Enzymy a proteosyntetický aparát si viry „půjčují“ od buněk, ve kterých působí paraziticky
- Rostlinné viry mají RNA, živočišné DNA nebo RNA, většina bakteriofágů DNA, několik málo bakteriofágů RNA



# Genetická informace a základy molekulární genetiky



# Základní pojmy

- **Dědičnost** – schopnost předávat genetickou informaci z rodičovských organismů na potomstvo
- **Genetická informace** – soubor instrukcí pro všechny strukturní znaky, životní procesy a projevy organismu
- **Gen** – množství genetické informace, které je potřebné na určení jednoho znaku (vlastnosti, vlohy)
  - úsek DNA, který kóduje biosyntézu specifického proteinu
- **Genom** – soubor všech genů buňky
- **V eukaryotických buňkách se ne celá genetická informace vyskytuje v chromosomové DNA**
- **Některé znaky mitochondrií kóduje mitochondriální *mtDNA*, jež má v mitochondriích i proteosyntetický aparát**
- **Rovněž chloroplasty obsahují DNA**

- **Genetický kód** – genetické informace zapsané v DNA formou pořadí jednotlivých nukleotidů (purinových a pyrimidinových basí)
- Na přenosu genetické informace jsou zúčastněny dva typy biopolymerů: **polynukleotidy** a **proteiny**
- Mechanismus přenosu genetické informace probíhá po ose: **DNA → RNA → PROTEIN**
- Přenos genetické informace probíhá při syntéze příslušné látky
- Syntézu řídí aktivní úseky molekuly DNA – **strukturní geny** (cistrony)
- Cistrony jsou pak pod kontrolou **regulačních genů**

# Replikace DNA

- Biosyntéza DNA – jsou zapotřebí: mateřská molekula DNA (**templát**), trifosfáty příslušných nukleotidů (**dATP, dGTP, dCTP, dTTP**), **DNA-polymerasy, DNA-ligasa, RNA-polymerasa, rozplétací enzymy**, a některé **další proteiny**
- **DNA-polymerasy** katalyzují připojování příslušných nukleotidů do nově vznikajícího řetězce
- Nové vlákno DNA se replikuje ve směru **5' → 3'**, což znamená, že nový nukleotid se připojuje na 3'-konec **primeru** a má protisměrné uspořádání nukleotidů vzhledem k templátu DNA
- **DNA-ligasa** spojuje jednotlivé replikační fragmenty do jednoho řetězce
- Okazakiho fragmenty – repl. fragmenty, které se tvoří na krátkém **RNA-primeru** ( $9 \pm 1$  nukleotid)
- Syntéza primeru se uskutečňuje pomocí **RNA-primasy**

# Mechanismus replikace

- **DNA-rozplétací enzymy** otevřou v určitém místě (levotočivé úseky DNA) dvoušroubovici DNA
- Na rozpletené vlákno se ve specifické primerové oblasti naváže **RNA-polymerasa** (RNA-primasa) která zde z trifosfátů ribonukleosidů syntetizuje krátkou primerovou RNA
- Primerová RNA se pak prodlužuje působením **DNA-polymerasy** (využívá trifosfáty deoxyribonukleosidů)
- Vznikají Okazakiho replikační fragmenty DNA, ze kterých se **endonukleasou** odštěpí úsek primerové RNA
- Mezery mezi jednotlivými Okazakiho fragmenty se vyplní dalším působením **DNA-polymerasy** (podle DNA-templátu)
- Hotové úseky DNA se spojí do jednoho řetězce účinkem **DNA-ligasy**

# Biosyntéza RNA

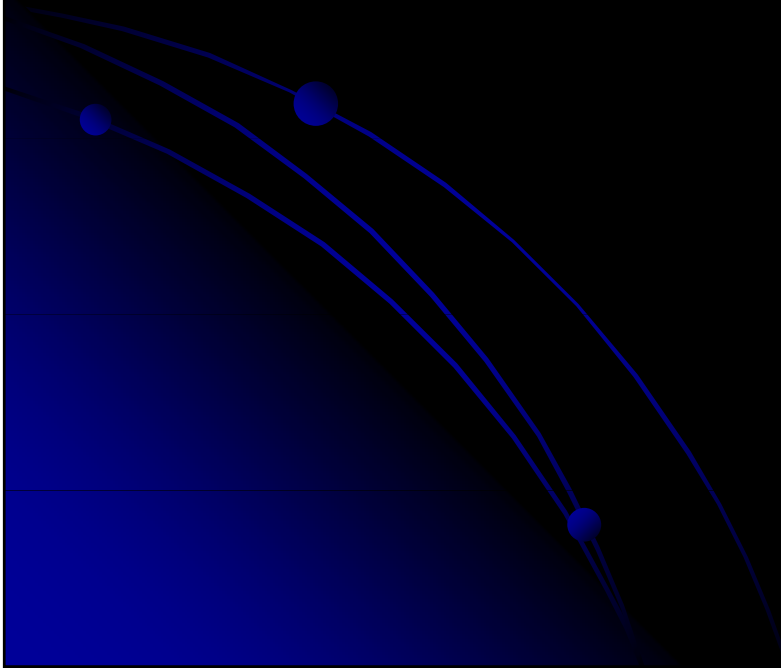
- Biosyntéza všech typů RNA se uskutečňuje na templátu DNA pomocí RNA-polymerasy trifosfátů ribonukleosidů
- Rovněž syntéza polynukleotidového řetězce RNA probíhá ve směru **5' → 3'**
- Přepis informace z DNA do RNA => **transkripce**
- Při transkripci vznikají nejdříve prekurzory RNA a jejich úpravou (dozráváním) pak funkční RNA
- Transkripční jednotky jsou od sebe navzájem odděleny nepřepisujícími se mezeríky (**spacers**), které jsou i mezi jednotlivými geny uvnitř transkripční jednotky

# Genetický kód

- Je to způsob zápisu paměťového záznamu struktury proteinů v molekule DNA
- Využívá pořadí deoxyribonukleotidů v molekule DNA, přičemž 3 deoxyribonukleotidy jsou záznamem pro jednu aminokyselinu (**triplet, kodon**)
- Přepis tohoto záznamu se realizuje při proteosyntéze
- Uspořádání trojic jednotlivých deoxyribonukleotidů DNA vytváří soustavu „slov“, které se nejdříve otisknou do sekvence nukleotidů *mRNA* (transkripce) a z ní pomocí transferových RNA a ribosomů se přeloží do pořadí aminokyselin v peptidovém řetězci (translace)
- Genetický kód se nepřekrývá → každý nukleotid je součástí pouze jednoho slova (kodonu)
- Kódování všech 20 aminokyselin se uskutečňuje na principu tripletů

- U tripletového kódu existuje 64 kombinací → některé aminokyseliny se mohou kódovat několika triplety
- Tripletty **UAA, UAG, UGA** nekódují žádnou aminokyselinu, ale mají funkci tečky (**terminační kodony**)
- Kodon pro methionin (AUG) může sloužit i jako **iniciační kodon**

# TABULKA str 400





# Proteosyntéza (biosyntéza proteinů)

- Proteosyntéza se dělí na 2 etapy → **transkripce** (přepis), probíhá v jádře + **translace** (překlad), probíhá v cytoplasmě
- Podstatou proteosyntézy je vznik komplexu **mRNA-30 S subjednotka ribosomu**
- Na vzniklý komplex se připojují **tRNA s aminokyselinami**
- Každý ribosom musí obsahovat 2 místa pro vazbu tRNA:
  - **A-místo** (aminoacyl-tRNA-vazné místo) – zde se kodónově specificky váže **aminoacyl-tRNA**
  - **P-místo** (peptidylové místo) zde se váže tRNA, která nese nově syntetizovaný zbytek peptidového řetězce
- Translace sestává ze 3 fází: **iniciace, elongace, terminace**

**INICIACE** – 30 S subjednotka se váže na oblast *mRNA*, která obsahuje iniciační signál (obsahuje triplet AUG pro vazbu iniciátorové *tRNA*)

- v dalším stupni se váže iniciátorová *tRNA* na **P-místo 30 S subjednotky**
- komplex 30 S - *mRNA* – iniciátorová *tRNA* se nazývá **30 S iniciační komplex**
- k němu se připojí 50 S subjednotka, čímž vznikne **70 S iniciační komplex**

**ELONGACE** – kodon z *mRNA*, který se vyskytuje v **A-místě** určuje výběr vhodné aminoacyl-*tRNA*, která se na toto místo naváže

- **peptidyltransferasa** (součást 50 S subjednotky) odštěpí formylmethioninový (**peptidylový**) zbytek z *tRNA* v **P-místě** a naváže jej na aminoacyl-*tRNA*, která se nachází v **A-místě**
- peptidyl-*tRNA* v A-místě se tak prodlouží o jeden aminoacylový zbytek, zatímco P-místo se uvolní

- poslední stupeň elongačního cyklu se nazývá **translokace** a spočívá v pohybu ribosomu podél *mRNA* o vzdálenost jednoho kodonu směrem **k 3' - konci**
- peptidyl-*tRNA*, se přemístí z A-místa do P-místa
- do A-místa může vstoupit nový kodon (počáteční bod elongačního cyklu)

## **OBRÁZEK str 405**

**TERMINACE** – signálem k ukončení syntézy polypeptidového řetězce je připojení jednoho z terminačních kodonů (**UAG, UAA, UGA**) do A-místa v průběhu translokace

- peptidyltransferasa odštěpí peptidylový zbytek z *tRNA*, opustí ribosom a zaujme konformaci aktivního proteinu
- nakonec 70 S ribosom disociuje na 30 S a 50 S subjednotky, čímž může začít iniciace nového cyklu

# Regulace proteosyntézy na úrovni transkripce

- Komplex genů, které řídí syntézu jednoho typu proteinu, anebo enzymů jedné metabolické dráhy se nazývá **OPERON**
- Každý operon se skládá ze dvou oblastí: regulačního úseku a úseku strukturních genů
- Regulační úsek obsahuje 3 podoblasti: **iniciátor, promotor a operátor**
- Zde se navazuje **RNA-polymeráza** a uskutečňuje se **regulace biosyntézy mRNA**
- Oblast strukturních genů se pomocí **RNA-polymerasy** přepisuje do *mRNA* a odtud se na polysomech (ribosomech) překládá do polypeptidových řetězců funkčních proteinů

**OBRÁZEK str. 413**

- Při pozitivní regulaci se na iniciátor váže stimulační regulační protein, čímž se změní konformace sousedního promotoru a tím se ulehčí jeho interakce s **RNA-polymerázou**, která se potom pohybuje po vlákně DNA a jeho nukleotidovou sekvencí přepisuje do *mRNA*
- Promotor je obvykle pouze 1 a nachází se na začátku operonu
- Některé operony mají však i sekundární promotor, který bývá součástí jednoho ze strukturních genů
- V některých případech samotný regulační protein nestačí na stimulaci promotoru → musí se navíc spojit s **nízkomolekulární složkou** → **EFEKTOREM**
- Efektorem může být např. **katabolitový aktivační protein (CAP)**, který stimuluje nasednutí **RNA-polymerázy** na operony kontrolované katabolitovou represí
- **CAP** stimuluje transkripci DNA na *mRNA* pouze tehdy, když je v komplexu s **cAMP**

- **RNA-polymeráza** se kupředu pohybuje po operátoru, ze kterého přepisuje pouze vedoucí sekvenci
- Pokud je na operátoru navázán jiný regulační protein, **RNA-polymeráza** nemůže pokračovat ve svém pohybu → transkripce strukturních genů se zablokuje
- Regulační proteiny, které tímto způsobem inhibují tvorbu *mRNA* se nazývají **REPRESORY**
- Represory mohou s DNA reagovat buď přímo, nebo až po spojení s nízkomolekulárním efektoem (**korepresorem**)
- Další nízkomolekulární efektoery – **INDUKTORY** → blokují vazbu represoru na operátor → RNA-polymeráza může pokračovat v pohybu po operátoru a transkribovat strukturní geny
- Induktorem bývá obvykle substrát nebo derivát substrátu některého z enzymů, jejichž geny jsou součástí regulovaného operonu

- Např.: induktor  **$\beta$ -galaktozidázy** – laktóza / galaktóza, induktorem **fosfatázy** – fosfát
- **Represe i indukce** tvorby enzymů = **interakce nízkomolekulárního efektoru s represorem**
- Jestliže efektor stimuluje vazbu represoru na operátor → **represe**
- Jestliže efektor vazbu represoru znemožní → **indukce**
- Kromě operátoru se při negativní kontrole genové exprese uplatňuje i **ATENUÁTOR** na kterém se může transkripce rovněž přerušit
- Protože atenuátor následuje až za operátorem funguje jako jakási bezpečnostní pojistka → zabrání dalšímu pohybu RNA-polymerázy, která už přešla přes operátor

## Regulace genové aktivity jednoduchých eukaryotických organismů

- Je založena na stejných principech jako u bakterií (indukce, represe)
- Rozdíl pouze ve větším počtu reg. proteinů u jednoduchých eukaryotů (kvasinky, řasy, prvoci, houby...)

## Regulace proteosyntézy mnohobuněčných eukaryotů

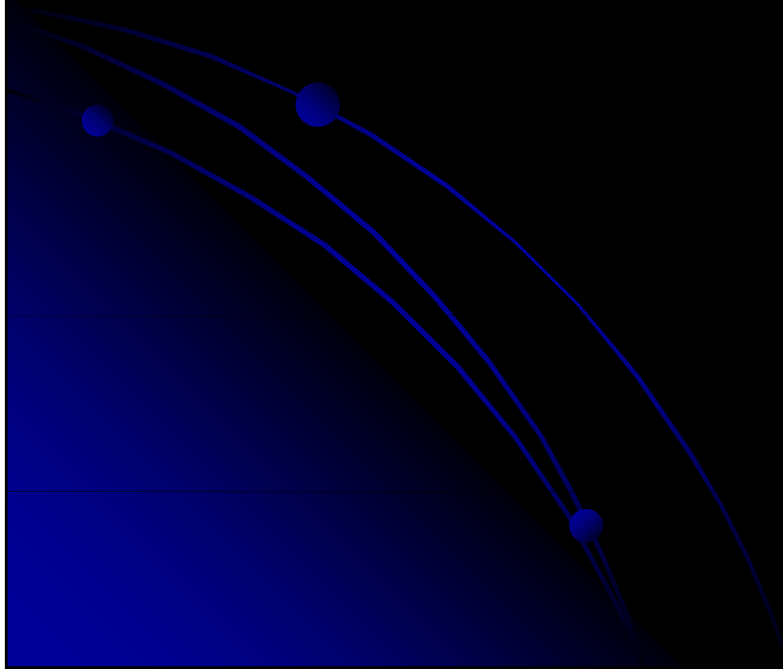
- Zásadní odlišnost od jednoduchých eukaryot – možnosti indukce/represe jednotlivých enzymů velmi omezené
- Změna proteosyntetického programu → během vývoje a diferenciaci
- Tyto změny se týkají vždy celého souboru enzymů → řízeny hormonálně



- **Hormony** - ovlivňují syntézu proteinů dvojitým způsobem
  - **Steroidní hormony** přecházejí přes cyt. membránu do buňky, kde se spojí se svým specifickým receptorem
  - Komplex receptor-hormon pak ovlivní transkripci příslušných strukturních genů
  - **Ostatní hormony** aktivují membránovou adenylátcyklázu
  - Regulační signál se dále přenáší pomocí cAMP, který vystupuje jako efektor společný většině organismů
- **Buňky diferencované tkáně mají možnost realizovat pouze omezený počet proteosyntetických programů**
- Klíčovou fci při určité specifické transkripci mají pravděpodobně regulační proteiny nehistonového typu, které jsou typické pro každou tkáň

# Funkce RNA-polymeráz při transkripci

- V organismech se vyskytuje několik RNA-polymeráz, které se odlišují svou afinitou k různým promotorům
- Vzhledem k tomu mohou některé promotory transkribovat přednostně, což představuje další možnost regulace genové aktivity na úrovni transkripce



# Regulace proteosyntézy na úrovni translace

- Při transkripci prokaryotického operonu vzniká jako jeho přímý prepis **polycistronová mRNA**, která obsahuje pouze transkript vlastních strukturních genů (příp. krátký úsek regulační oblasti → vedoucí sekvenci)
- Translací této **mRNA** vznikne tolik proteinů, kolik strukturních genů obsahoval operon
- Prokaryotická **mRNA** je ihned po své syntéze plně funkční a nevyžaduje žádné další úpravy
- **Proteosyntéza se u prokaryotů reguluje pravděpodobně pouze na úrovni transkripce**
- U eukaryotů se primární transkript genů musí nejdříve podrobit vícero modifikacím a teprve pak se z něj stává funkční **mRNA**

- Prvním přepisem eukaryotické DNA je **hnRNA**, která je podstatně delší než transkript samotného strukturního genu
- Na obou koncích i uvnitř obsahuje přídavné sekvence, které vznikly přepisem **regulační oblasti** a některých **intronů** z DNA
- **hnRNA** se postupně zkracuje **ribonukleázami** a na obou koncích se modifikuje (tzv. PROCESOVÁNÍ)
- Při **procesování** se vyřezou introny a spojí se dohromady exony, které se překládají do molekuly proteinu
- Na začátek funkční *mRNA* (5'-konec) se naváže kyselina guanylová, ta se následně methyluje v poloze 7
- Toto uspořádání na 5'-konci se nazývá „**čepička**“
- Čepička umožňuje ribozomům rozpoznat *mRNA*
- Kromě procesování *hnRNA* stříhem spočívá další možnost v selektivním transportu *mRNA* do cytoplazmy

- Většina modifikací *hnRNA* se uskutečňuje v jádře → v cytoplazmě se vyskytuje pouze plně fční *mRNA*
- Bylo zjištěno, že v některých případech může být určitý prekurzor *mRNA* procesován různými způsoby → vzniká vícero typů zralé *mRNA*
- **U prokaryotů** se regulace proteosyntézy uskutečňuje téměř výhradně na úrovni transkripce genů na příslušnou *mRNA*
- **U eukaryotů** má velký význam kromě regulace na úrovni transkripce, rovněž regulace na úrovni translace → složitý mechanismus přeměny *hnRNA* na fční *mRNA*
- Důležitá je dále posttranslační regulace eukaryotů, která spočívá v přeměně prekurzorů proteinů na aktivní proteiny limitovanou proteolýzou (např. proteohormony)

# Organizace genů u prokaryotů a eukaryotů

- U bakterií platí **princip kolineárnosti** → nukleotidy, které v molekule DNA kódují určitý protein, následují za sebou lineárně **bez přerušení**
- U eukaryotů princip kolineárnosti neplatí:

