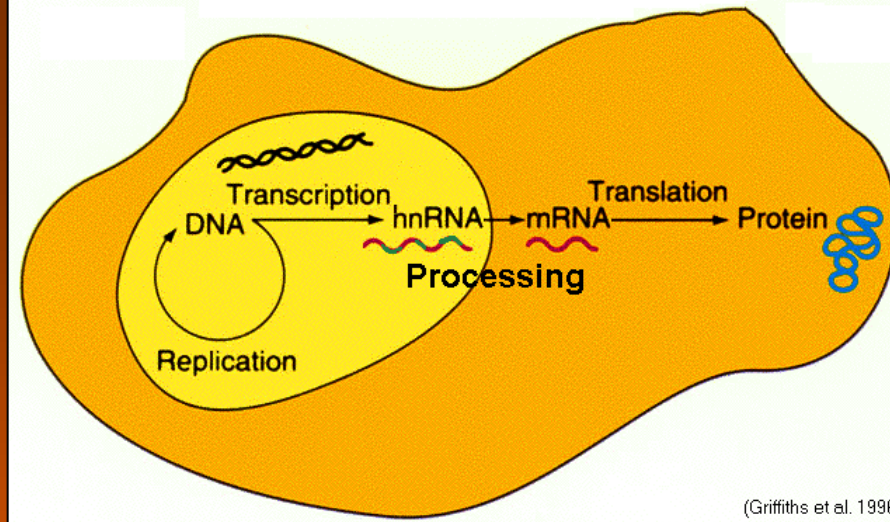


The Central Dogma in Eukaryotic Cells



Úvod do studia biologie

Základy molekulární genetiky

Molekulární genetik

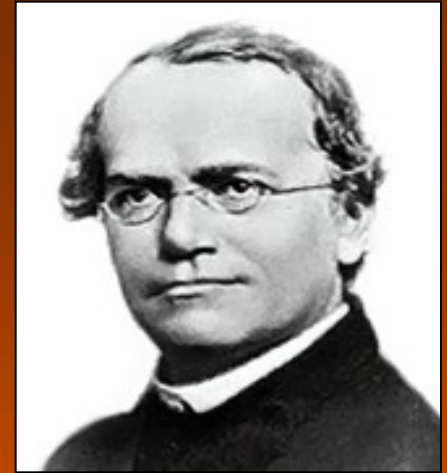
- podobor genetiky (genetika je obecnější)

Genetika:

- nauka o dědičnosti a proměnlivosti
- „věda 20. století“

Johann Gregor (Jan Řehoř) Mendel

- **zakladatel genetiky**
- své objevy uskutečnil v augustiniánském klášteře na Starém Brně
- **hypotéza**: Při křížení rostlin se znaky rodičů přenášejí na potomky prostřednictvím jednotek dědičnosti, které se při tvorbě pohlavních buněk rozdělují a při oplození opět spojují.
Spojování jednotek dědičnosti podléhá statistické zákonitosti.
- **experimentální organizmus**: hrách setý (*Pisum sativum*) - různé odrůdy, lišící se v sedmi párech znaků
- 1866 - tiskem jeho práce Versuche mit Pflanzenhybriden
(Pokusy s rostlinnými hybridy)



J. G. Mendel

Molekulární genetik

- vědní obor, zabývající se přenosem genetické informace do dalších generací buněk či organismů (dědičností) a vyjádřením této genetické informace (její expresí)
- genetická informace - představuje většinu vnitřní informace buněk (většinu buněčné paměti)



DNA

- je zapsána do struktury nukleových kyselin (zejména do **DNA** - deoxyribonukleová kyselina)
- stojí na počátku každého živého organismu
- určuje budoucí anatomickou stavbu organismu, je nepostradatelnou součástí pohlavního i nepohlavního rozmnožování atd.

Molekulární genetik

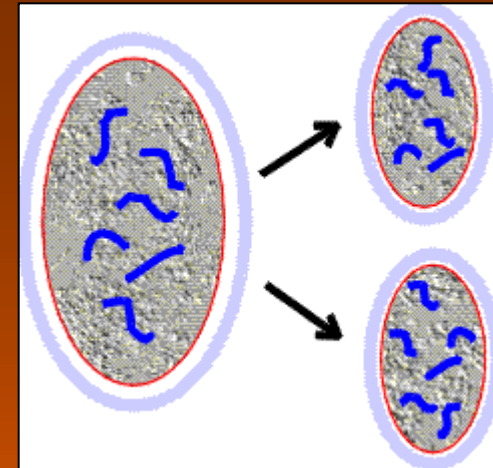
buněčná paměť:

paměť (obecně) - schopnost systému
informaci zaznamenat,
uchovávat a eventuálně ji předávat

→ buněčná paměť - schopnost buňky uchovávat
informaci pro svou reprodukci,
růst, zajištění základních
životních funkcí atd.

- při dělení se informace předává
buňkám dceřiným → dědičnost

dědičnost - schopnost předávat jistý soubor informací
(zde genetickou informaci) zaznamenaný
do paměti (zde buněčné) ve sledu
po sobě jdoucích generací jak na úrovni buňky,
tak i na úrovni mnohobuněčného organismu



dělení buněk



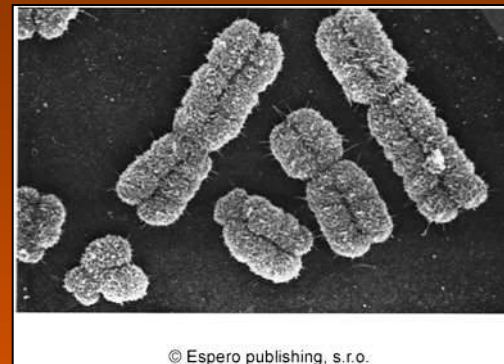
© Espero Publishing, s.r.o.

Molekulární genetik

paměťový princip (paměťový systém) buňky:

- zahrnuje vše co souvisí s buněčnou pamětí, tedy:

- způsob kódování informace
- vyzvedávání informace z paměti
- doplňování informace
- zdvojení či multiplikaci paměťového záznamu

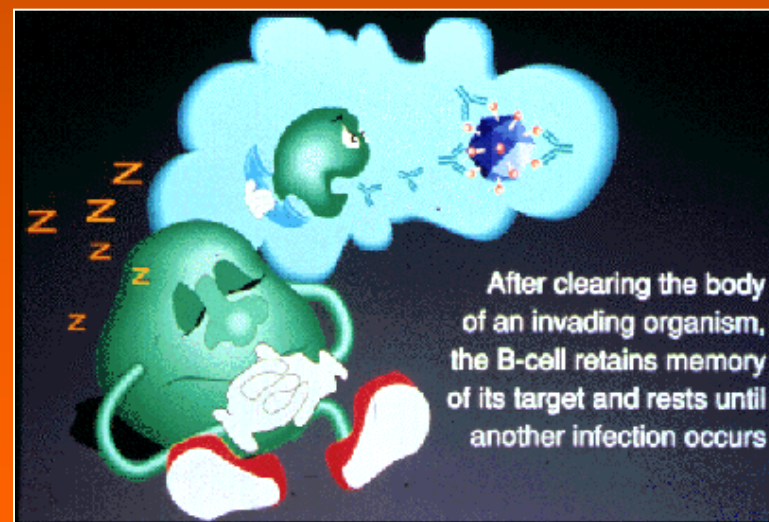


chromozomy

- jeden ze tří principů funkční organizace buňky

- obecné principy, podle kterých jsou molekuly buňky uspořádány do funkčně strukturálních celků (další jsou **membránový a cytoskeletální princip**)

- paměťový princip je znám **nejdéle**



buňka má paměť

Molekulární genetik

materiální základ buněčné paměti musí:

1) mít dostatečně velkou kapacitou

- zaznamenání všech informací pro základní funkce buňky

2) být dlouhodobý

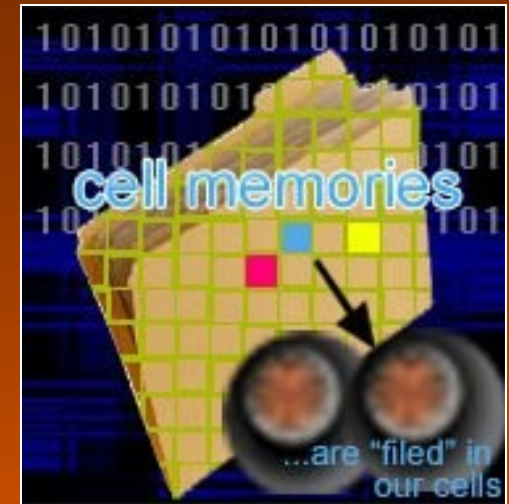
- pro uchovávání většiny informací po celou dobu existence buňky

3) být dostatečně stabilní - aby byly vlastnosti buňky relativně stálé

4) mít snadnou vybavitelnost - pro lehké vyzvednutí a převedení informací do konkrétních vlastností buňky

5) mít schopnost zdvojení - aby obě dceřiné buňky získaly při reprodukci od mateřské buňky stejnou genetickou informaci

6) mít možnost doplňování - pro doplňování vnitřních informací buňky v průběhu evoluce



buněčná paměť

Molekulární genetik

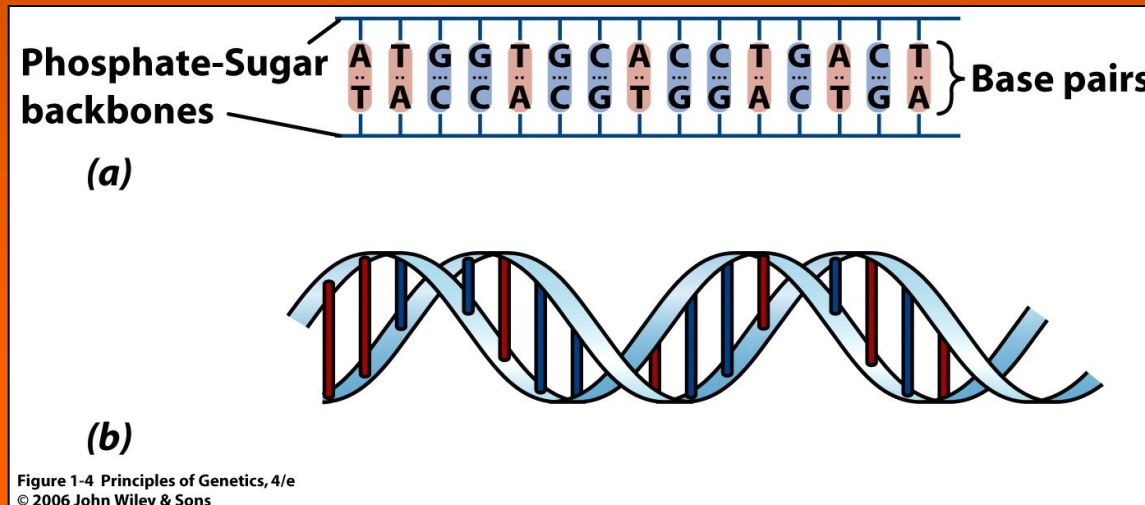
materiální základ (médium) buněčné paměti:

- tento materiální základ v buňce tvoří nukleové kyseliny

→ zejména DNA → nositelka genetické informace

(výjimka RNA viry - zde RNA)

- genetická informace - je uložena v sekvenci (pořadí) nukleotidů DNA, která je během buněčného cyklu duplikována a následně předávána do dceřiných buněk



DNA

Molekulární genetik

DNA (deoxyribonukleová kyselina):

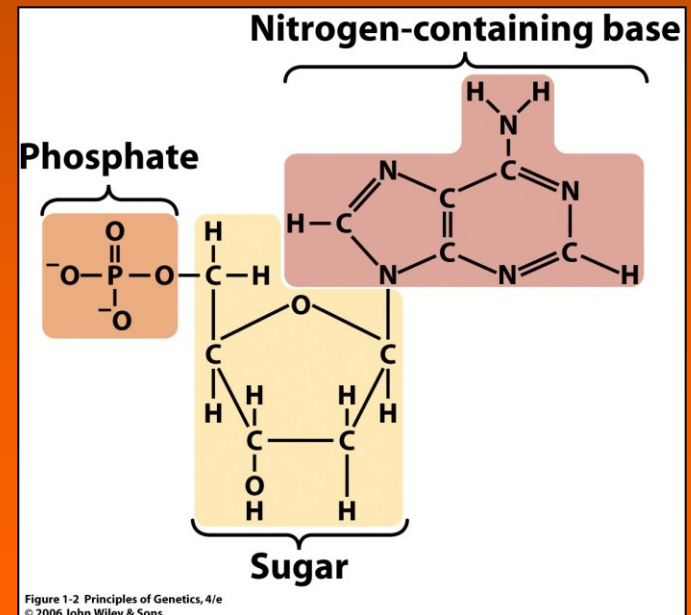
- makromolekula, náleží mezi tzv. nukleové kyseliny
- má charakter biopolymeru (spolu s **bílkoviny** a **polysacharidy**)
→ složena z velkého počtu monomerů

primární struktura DNA:

- základní stavební jednotka (monomer) - nukleotid

nukleotid:

- tvořen spojením
 - organické dusíkaté baze,**
 - pentózy (2-deoxy- β -D-ribózy)**
 - a kyseliny fosforečné**
- v DNA čtyři dusíkaté baze:
 - a) puriny - adenin, guanin
 - b) pyrimidiny - cytozin, tymin

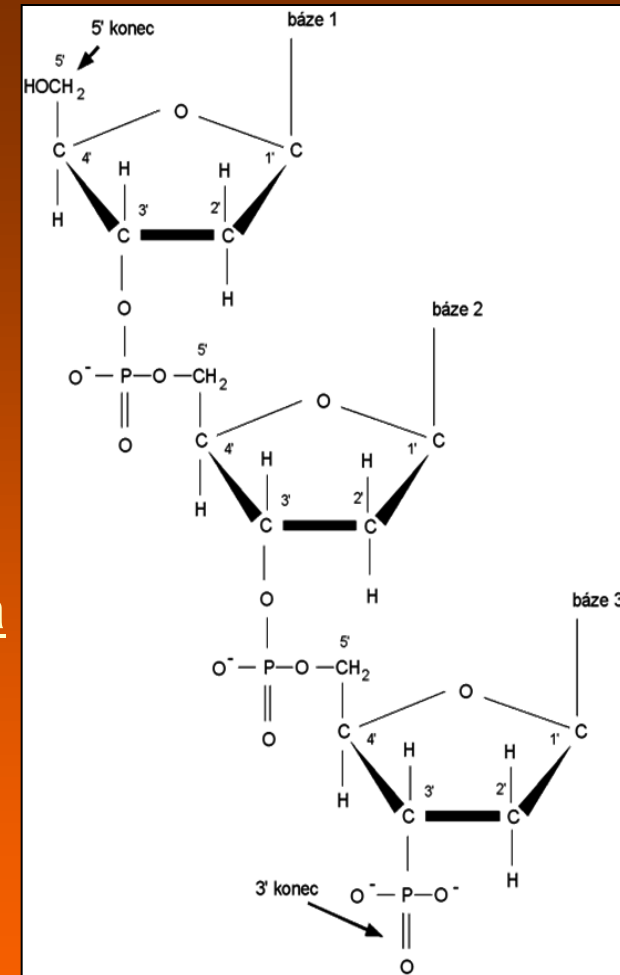


nukleotid

Molekulární genetik

primární struktura DNA:

- mezi jednotlivými nukleotidy v DNA esterická vazba → polynukleotid
- v ose polynukleotidového řetězce se střídá kyselina fosforečná a pentóza
→ cukr-fosfátová osa molekuly DNA
- dusíkaté baze od této osy odstupují



primární struktura DNA

Molekulární genetika

primární struktura DNA:

- DNA zpravidla tvořena dvěmi polynukleotidovými řetězci, které probíhají vedle sebe → dvouřetězcová DNA
(řetězce navzájem spojeny vodíkovými můstky mezi bazemi → vzájemné párování bazí)

- sekvence nukleotidů (bazí) v řetězcích na sobě navzájem závislé

- párování purinové s pyrimidinovou bazí

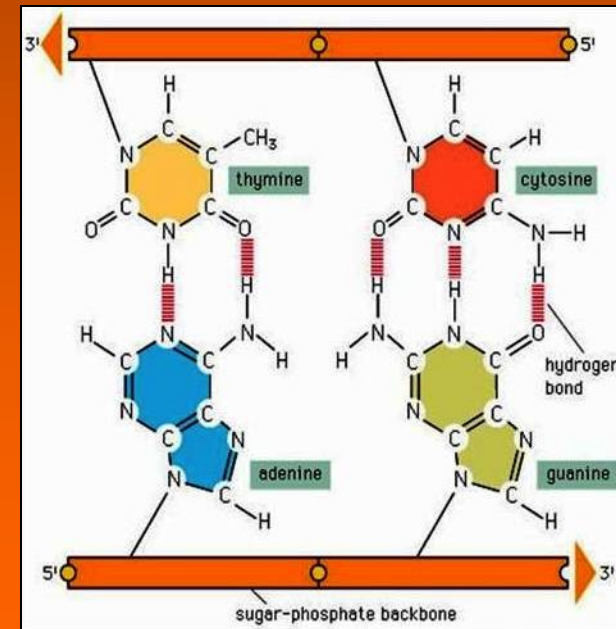
- adenin (A) se vždy páruje s thyminem (T)

- guanin (G) se vždy páruje s cytozinem (C)

→ v molekule DNA množství A = T
množství C = G

- sekvence (pořadí) nukleotidů

- představuje genetickou informaci



párování bazí
ve dvouřetězcové DNA

Molekulární genetik

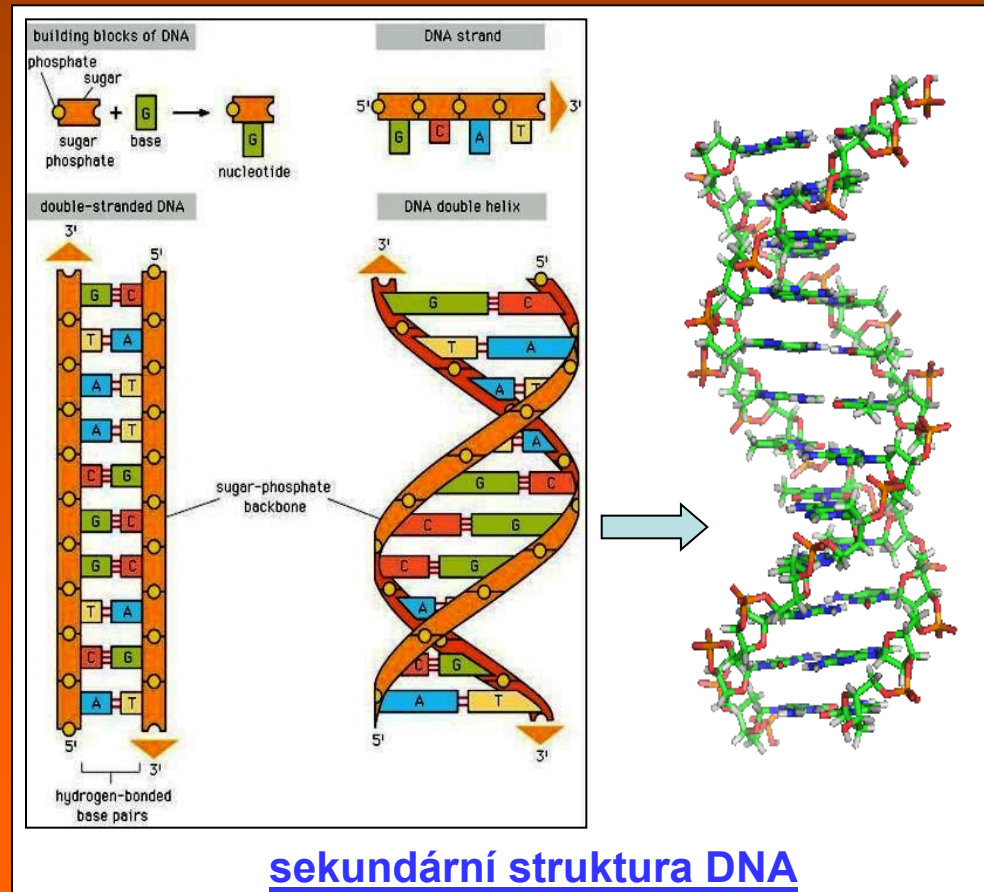
sekundární struktura DNA:

- dvoušroubovice obou řetězců, které jsou spojeny vodíkovými můstky mezi komplementárními (doplňujícími se) bazemi

- může být pravotočivá (častější)
nebo levotočivá

- sekundární struktura
stabilizována hlavně
pomocí vodíkových můstků
mezi bazemi

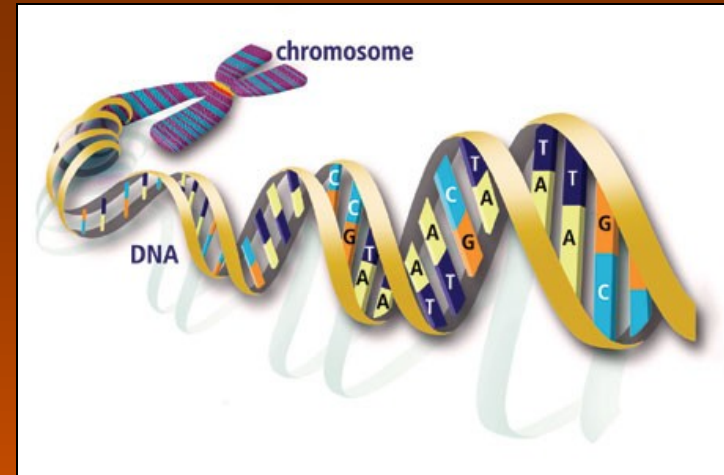
→ jsou ještě další vyšší
uspořádání molekuly DNA



Molekulární genetik

chromozomy:

- buněčné struktury, pomocí nichž je většina genetické informace obsažená v buňkách uchovávána a přenášena do dalších generací
- základem molekula DNA
- součástí chromozomů také bílkoviny
 - histonové bílkoviny
(bílkoviny bazického charakteru)
 - nehistonové bílkoviny
(bílkoviny kyselého charakteru)
- prokaryontní a eukaryontní
chromozomy se liší



DNA je základem chromozomů

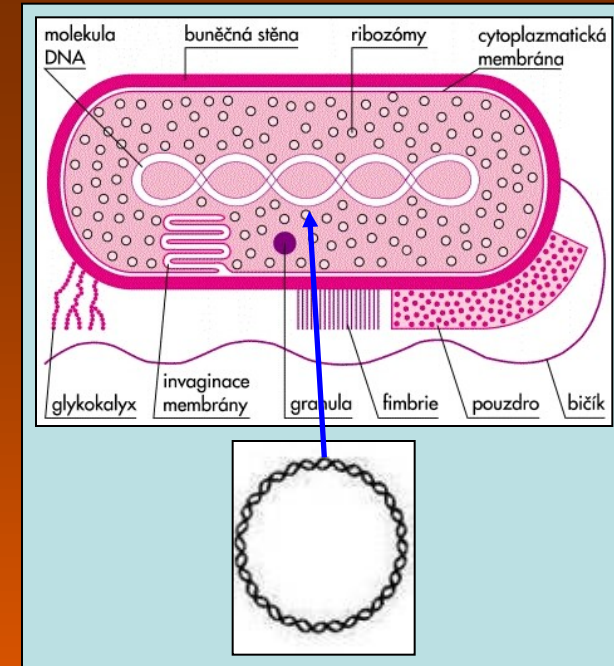


chromozom

Molekulární genetika

prokaryontní chromozom:

- tvořen jednou kružnicovou molekulou DNA a proteiny
- není proti cytoplazmě ohraňen jadernou membránou
- připojen k cytoplazmatické membráně
na jednom nebo více místech
- charakter prokaryontního chromozomu mají také chromozomy mitochondrií a chloroplastů eukaryontních buněk



prokaryontní chromozom

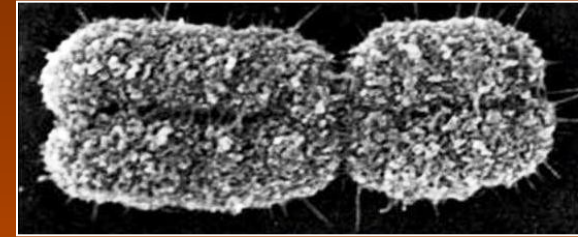


bakterie

Molekulární genetik

eukaryontní chromozomy:

- umístěny vždy v jádru eukaryontních buněk (tedy i lidských), které je od cytoplazmy oddělené membránou
- jejich morfologie pozorovaná v mikroskopu závisí na tom, v jakém stádiu buněčného cyklu se buňka nachází
- chemické složení je obdobné jako u prokaryontního chromozomu
- DNA
- bílkoviny bazického a kyselého charakteru
- každý eukaryontní chromozom
 - jediná lineární molekula DNA



eukaryontní chromozom



eukaryontní chromozomy

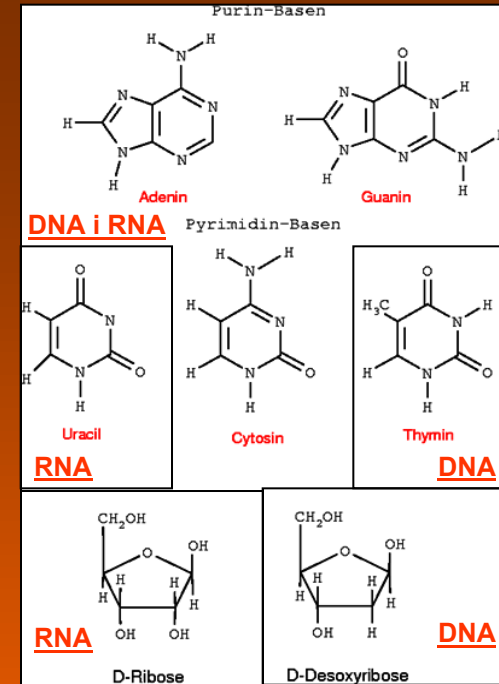
Molekulární genetika

molekula RNA:

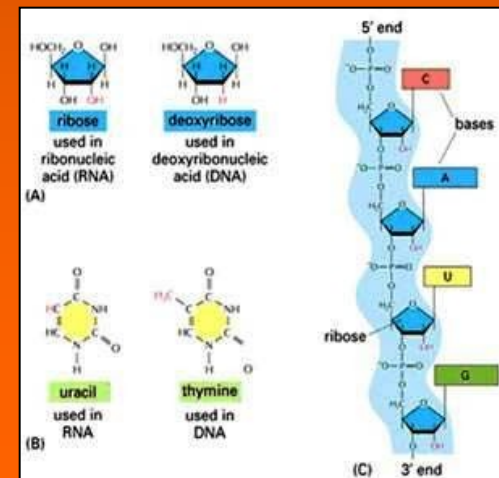
- také nukleová kyselina, která je většinou tvořena jedním polynukleotidovým řetězcem nukleotidů
- základní stavební jednotka (monomer) - nukleotid

nukleotid RNA:

- tvořen spojením **organické dusíkaté** **baze**, **pentózy (D-ribózy)** a **kyseliny fosforečné**
- dusíkaté baze v RNA:
 - a) **puriny** - guanin (G), adenin (A)
 - b) **pyrimidiny** - cytozin (C), uracil (U) (místo tyminu v DNA)
- **uracil se váže s adeninem (jako tymin v DNA)**
- tři základní typy RNA: **mRNA** (mediátorová), **rRNA** (ribosomální), **tRNA** (transferová)



rozdíly mezi DNA a RNA

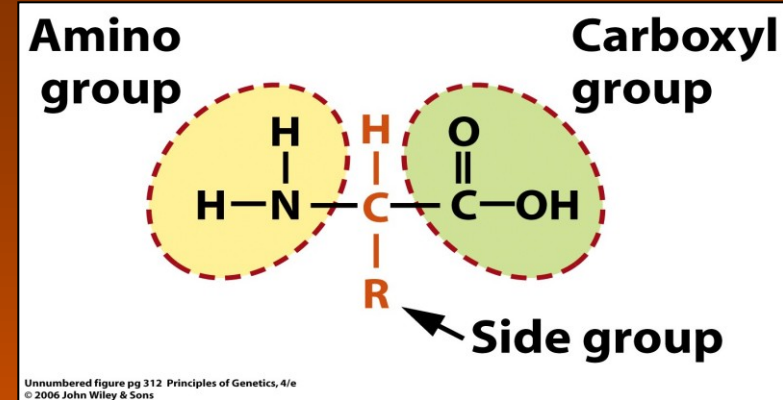


Molekulární genetika

bílkoviny (proteiny):

- podílejí se na všech základních životních procesech

- funkce:
- strukturní (stavební bílkoviny)
 - metabolická (enzymy)
 - informační (signální či transportní proteiny)



obecná struktura AMK

- obdobně jako nukleové kyseliny mají charakter biopolymeru
- jejich monomery - aminokyseliny (AMK)
- pořadí (sekvence, sled) AMK - určuje primární strukturu bílkoviny

Molekulární genetika

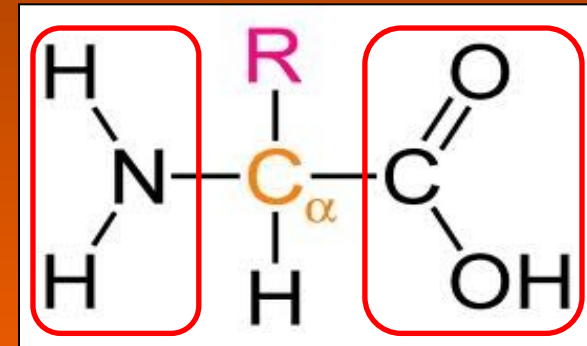
bílkoviny (proteiny):

- aminokyseliny (AMK):

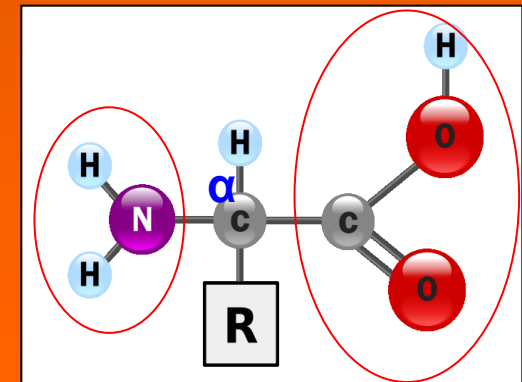
- odvozeny od organických karboxylových kyselin, přičemž na α -uhlík je kromě karboxylové skupiny (-COOH) vždy ještě navázána aminoskupina (-NH₂)

- symbol **R** označuje postranní řetězec, v němž se jednotlivé AMK od sebe navzájem liší
→ na základě charakteru postranních řetězců řadíme AMK do čtyřech skupin:

- a) **s nepolárním** postranním řetězcem
- b) **s polárním** postranním řetězcem
- c) **s kyselým** postranním řetězcem
- d) **s bazickým** postranním řetězcem



obecná stavba AMK



Molekulární genetika

bílkoviny (proteiny):

- aminokyseliny (AMK):

- v bílkovinách zpravidla 20 AMK

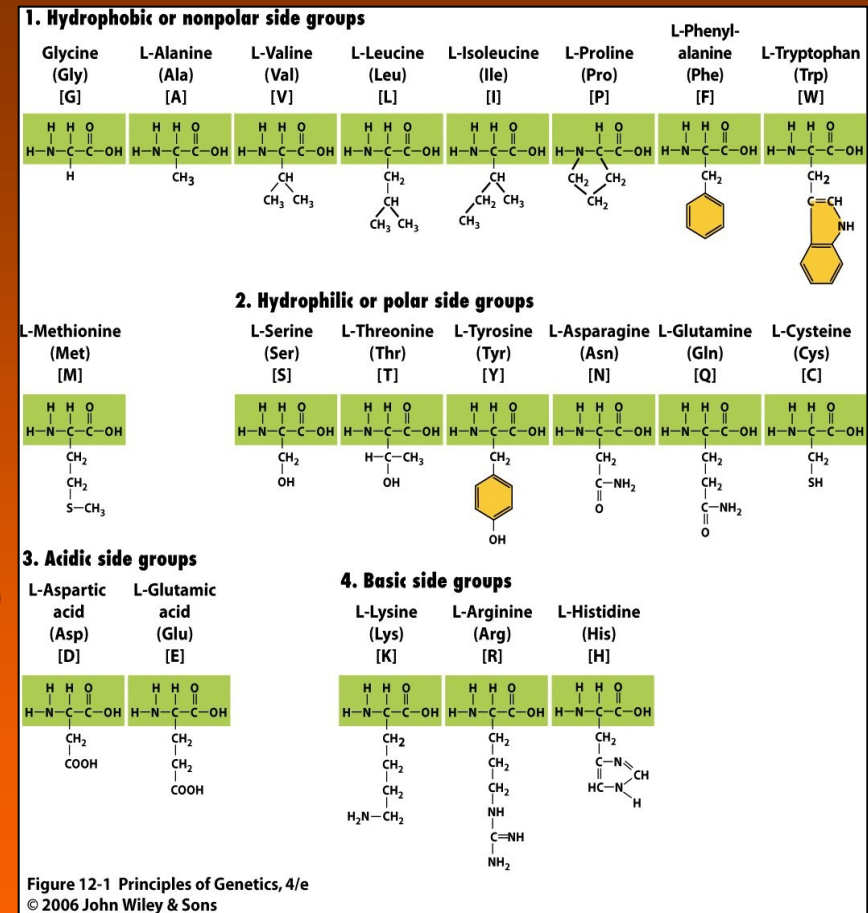
→ dělení na základě charakteru postranních řetězců

- označovány pro úspornost třípísmenným nebo jednopísmenným kódem (viz obr. vpravo)

- příklad:

alanin = Ala = A
arginin = Arg = R

atd.



rozdělení AMK do čtyřech skupin
na základě charakteru
postranních řetězců

Molekulární genetik

bílkoviny (proteiny):

- primární struktura bílkovin:

- je dána pořadím AMK v konkrétní molekule

(podobně jako primární struktura nukleových kyselin

je dána pořadím nukleotidů)

- AMK jsou navzájem pospojovány

v molekule bílkoviny tzv. peptidovou vazbou

(vazba mezi aminoskupinou na α -uhlíku jedné AMK a

karboxylovou skupinou sousední AMK)

- pospojování více AMK za sebou

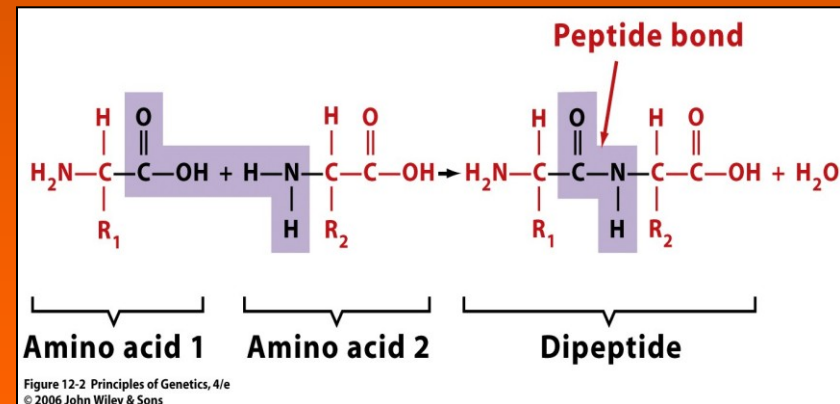
→ peptidový řetězec

- krátké řetězce tvořené několika či několika desítkami AMK

→ peptidy či oligopeptidy

- větší počet AMK (řádově stovky)

→ bílkoviny (polypeptidy)



peptidová vazba mezi dvěmi AMK -
- vznik dipeptidu

Molekulární genetika

bílkoviny (proteiny):

- konformace proteinu

- tvar, který protein zaujímá v prostoru

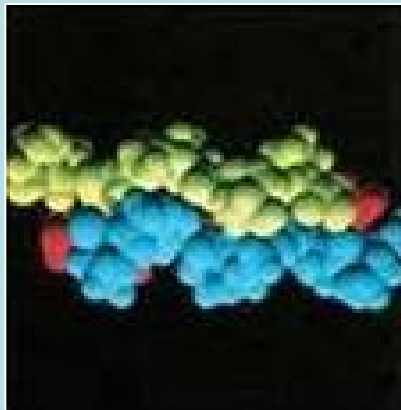
→ proteiny - fibrilární - jejich polypeptidový řetězec je v postatě natažen v prostoru

- globulární - jejich tvar v prostoru se blíží sférickým útvarům

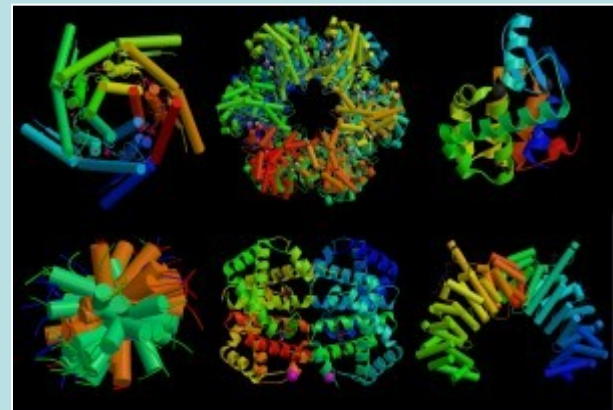
- většina enzymů



příklad globulárního proteinu



příklad fibrilárního proteinu

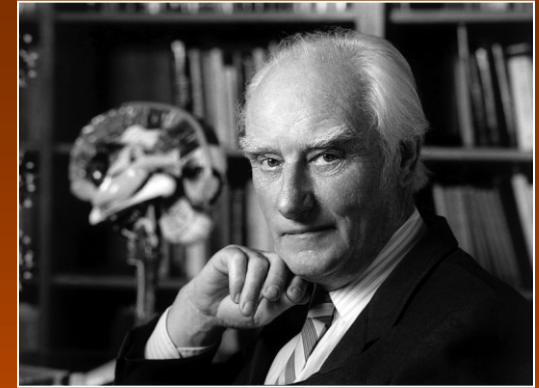


různé tvary a struktury proteinů

Molekulární genetik

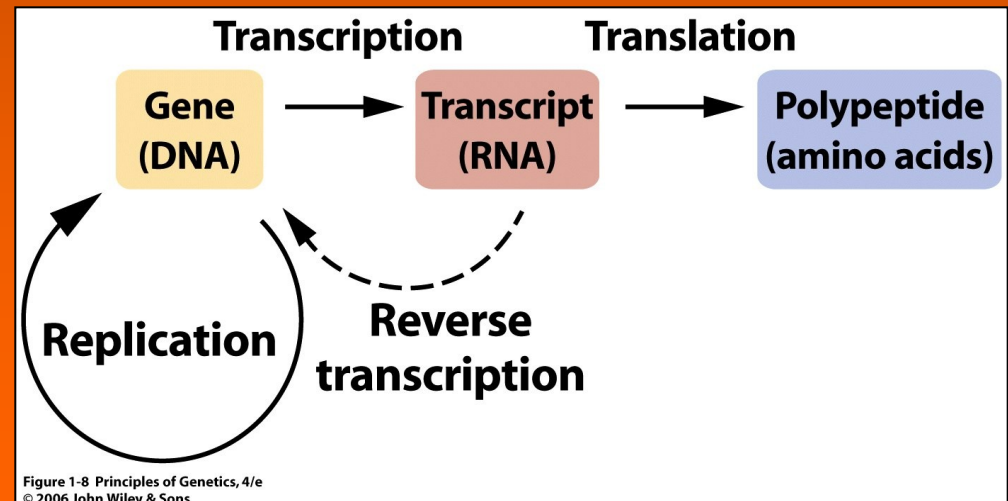
ústřední dogma molekulární biologie:

- shrnuje procesy, týkající se přenosu (toku) genetické informace
- přenos genetické informace je **možný** z nukleové kyseliny do nukleové kyseliny nebo z nukleové kyseliny do proteinu
- zpětný přenos z proteinu do nukleových kyselin ani přenos z proteinu do proteinu **není možný**



Francis Crick

- tok genetické informace mezi DNA a RNA (nukleovými kyselinami) je obousměrný (formulováno **Francisem H. C. Crickem** v letech 1957-1958)



ústřední dogma molekulární biologie

Molekulární genetik

ústřední dogma molekulární biologie:

- zahrnuje několik dílčích procesů - tři základní jsou:

a) replikace (zdvojení) genetické informace

- tvorba kopíí molekul DNA v jádru buněk
- přenos genetické informace z DNA do DNA

b) transkripce (přepis) genetické informace z DNA do RNA

- opačný proces (přepis z RNA do DNA)
→ zpětná transkripce
(u retrovirů - RNA viry - např. virus HIV)

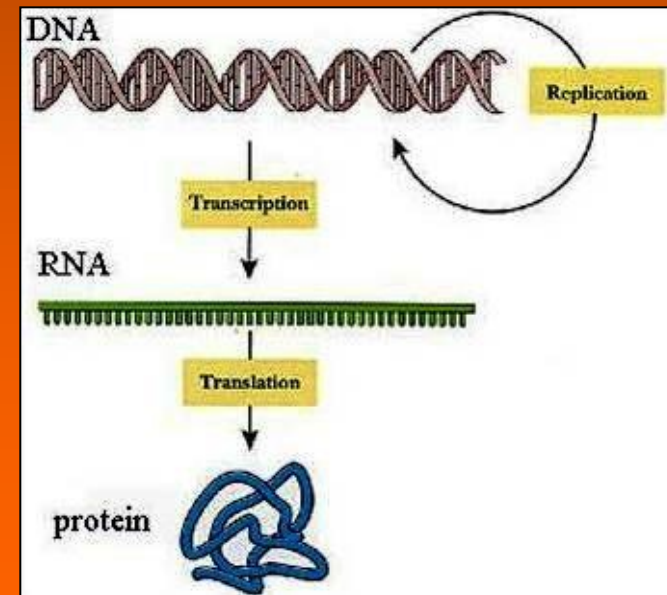
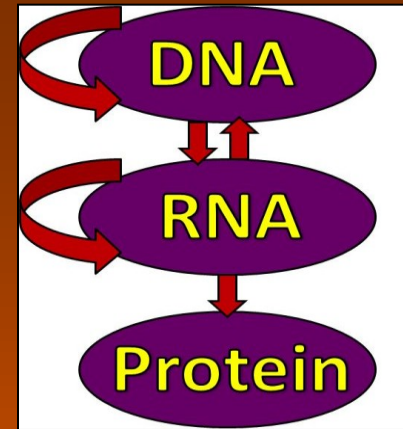
c) translace (překlad) genetické informace z RNA do primární struktury proteinu

(překlad z jednoho jazyka do druhého)

např. morseova abeceda (kód) →

→ jednotlivá písmena abecedy

... / - - - / ... → S / O / S



ústřední dogma
molekulární biologie

Molekulární genetik

buněčný cyklus: - cyklus, kterým prochází buňka mezi svými děleními

a) interfáze - období mezi dvěma následnými mitotickými děleními

zahrnuje: **G₁-fázi** - probíhá transkripce a translace

S-fázi - probíhá replikace jaderné DNA (pouze v této fázi)

G₂-fázi - probíhá transkripce a translace

proteosyntéza - proces vedoucí **ke vzniku proteinů**

- zahrnuje transkripci a translaci

b) M- fáze

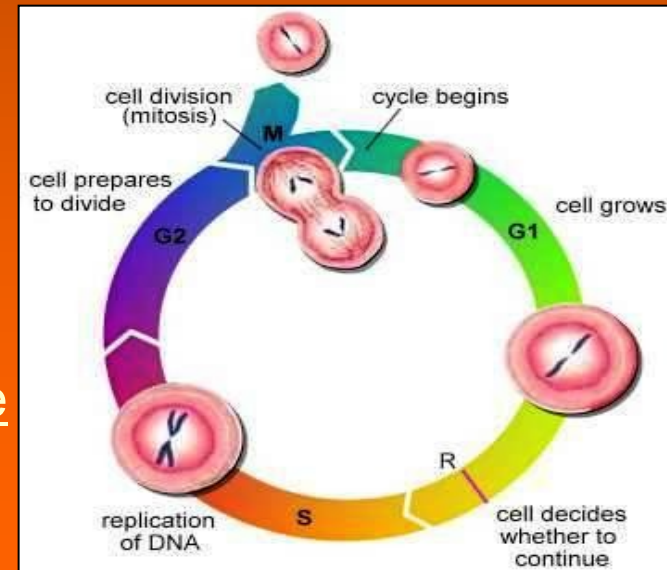
- zahrnuje **jaderné dělení (mitózu)** a **cytokinezi** (vlastní rozdělení buňky ve dvě dceřiné)

mitóza - nejčastější typ jaderného dělení

- neprobíhá transkripce ani translace

- konvenčně **dělena** na profázi, prometafázi, metafázi,

anafázi a telofázi



fáze buněčného cyklu

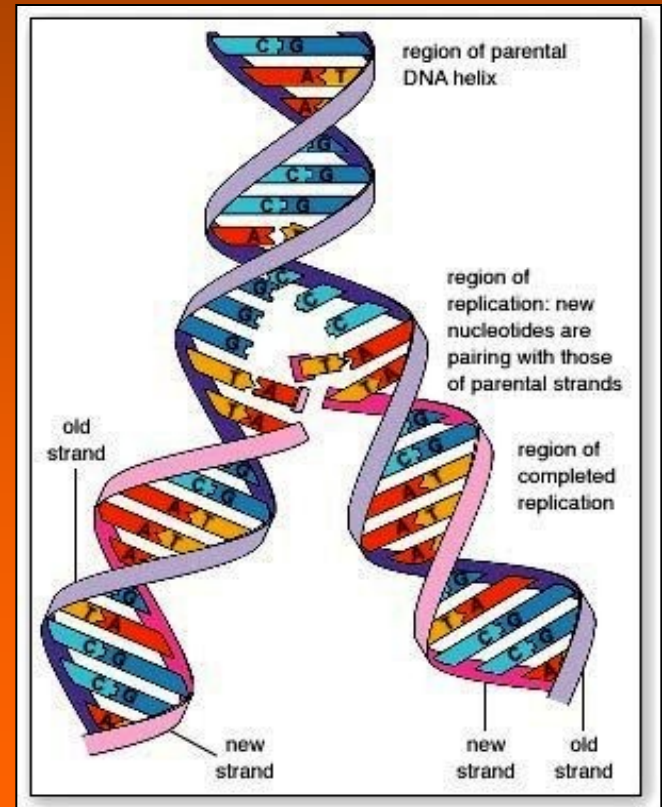
Molekulární genetik

replikace:

- zdvojení ~ tvorba kopií molekul DNA
- **zdvojení jaderné DNA** probíhá **v S-fázi** buněčného cyklu →
→ **vznik dceřiných molekul DNA**

- dceřiné molekuly DNA si zachovávají **stejnou genetickou informaci** jako původní molekula DNA (nemění se primární struktura DNA ~ ~ pořadí nukleotidů)

→ tyto **replikované molekuly DNA** (nacházející se v chromozomech) jsou následně **během M-fáze rozděleny do dceřiných buněk** tak, aby **obě buňky získaly kompletní a stejnou genetickou informaci (chromozomovou sadu)**

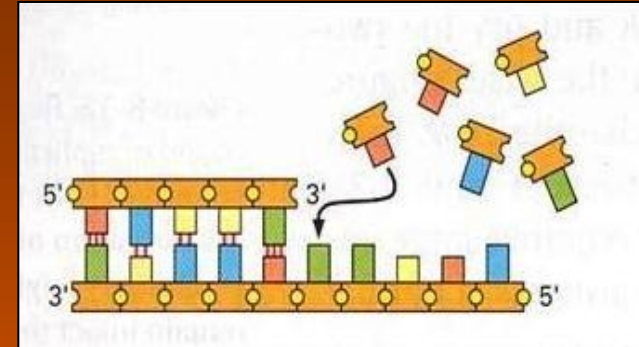


replikace

Molekulární genetik

replikace:

- principem je **komplementarita bazí**
- probíhá tzv. **semikonzervativním způsobem**
 - oba řetězce výchozí molekuly slouží jako **matrice** pro syntézu komplementárních řetězců
 - v obou **výsledných molekulách DNA** se zachovává **jeden řetězec z výchozí molekuly**



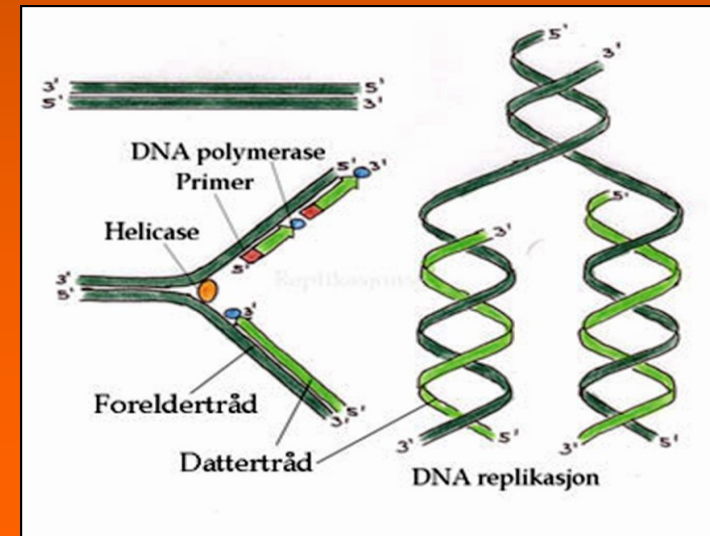
syntéza komplementárního řetězce DNA

Prokaryonta

- replikace kruhového chromozomu

Eukaryonta

- replikace lineárních chromozomů
- oproti Prokaryontům je u nich replikace složitější

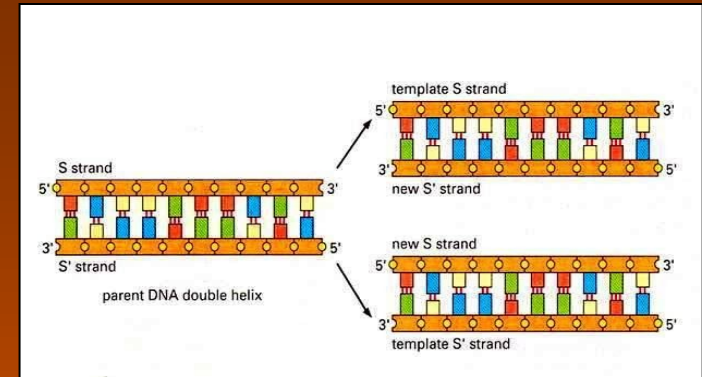


replikace

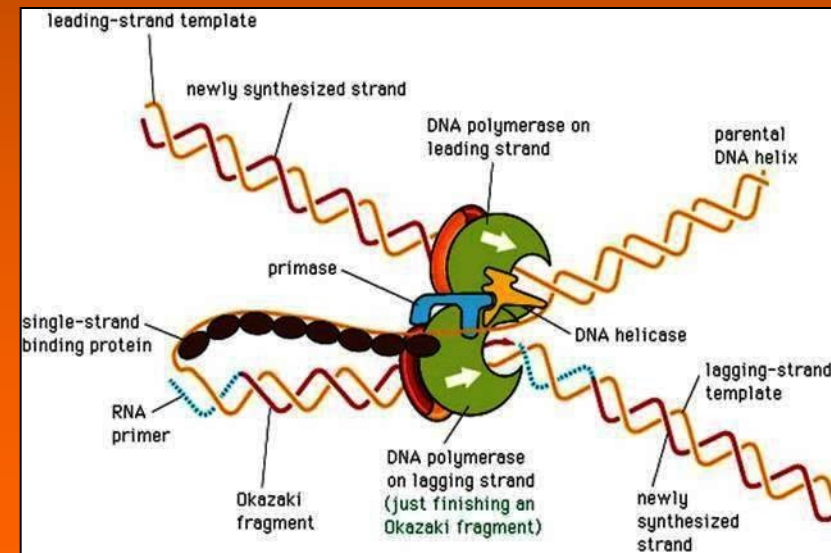
Molekulární genetika

replikace:

- složitý enzymatický proces (účastní se ho celá řada proteinů)
- na chromozomové DNA tzv. **replikační počátek** (ori sekvence, origin of replication)
 - určité konkrétní místo, na němž začíná replikace
- na něj se váže iniciační protein → → rozvinutí dvoušroubovice DNA v krátkém úseku → vazba dalších součástí replikačního aparátu včetně DNA-polymerázy
- DNA-polymerázy
 - **enzymy**, které katalyzují syntézu komplementárních řetězců DNA



replikace probíhá na základě komplementarity bází



replikace prostřednictvím DNA-polymerázy

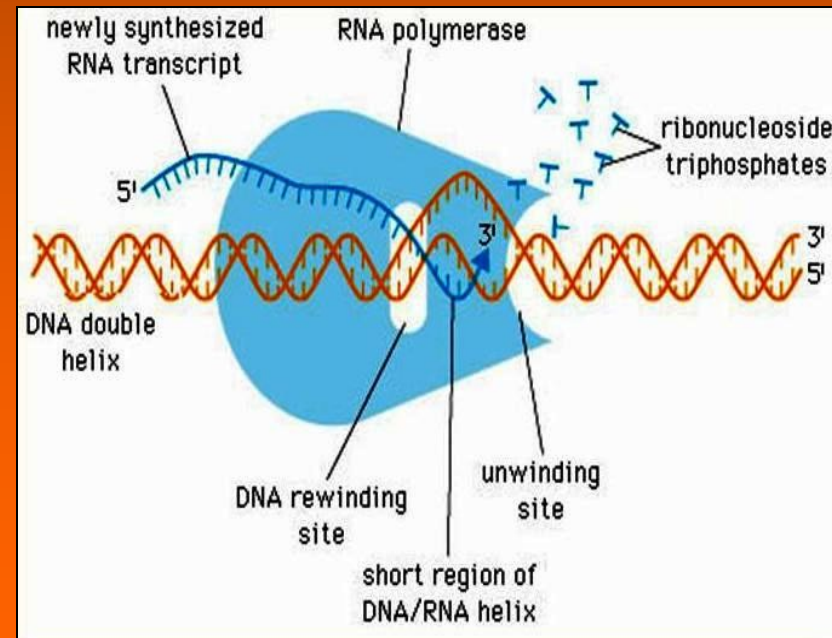
Molekulární genetik

transkripce:

- přepis genetické informace z DNA do RNA
- probíhá zejména v **G₁- a G₂-fázi** buněčného cyklu (růst buňky)
- proces, při kterém se genetická informace převádí z formy zápisu v nukleotidové sekvenci určitého typu do formy zápisu v nukleotidové sekvenci jiného typu (z DNA sekvence do RNA sekvence)

→ vzniklá RNA sekvence nukleotidů ~
~ RNA-transkript

- obdobně jako replikace založena na **komplementaritě bazí** (místo tyminu v DNA je v RNA uracil)
- opět složitý enzymatický proces
- RNA-polymerázy - enzymy, které katalyzují syntézu RNA podle matrice DNA



transkripce

Molekulární genetika

transkripce:

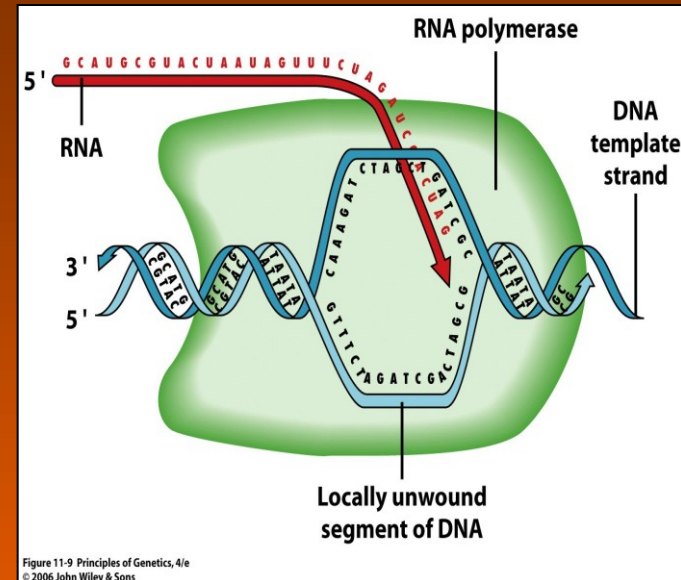
RNA-polymerázy - umožňují syntézu všech tří typů RNA (mRNA, rRNA i tRNA)

vznik RNA-transkriptu - zahrnuje tři fáze:

a) iniciace - navázání RNA-polymerázy na tzv. promotor a zahájení transkripce
(promotor ~ nukleotidová sekvence na DNA, která určuje počátek transkripce)

b) elongace - připojování RNA nukleotidů k vznikající molekule RNA (samotná syntéza molekuly RNA se děje díky polymeraci)

c) terminace - zastavení syntézy RNA molekuly na tzv. terminátoru
(terminátor ~ nukleotidová sekvence na DNA, která určuje konec transkripce)



transkripce

Molekulární genetik

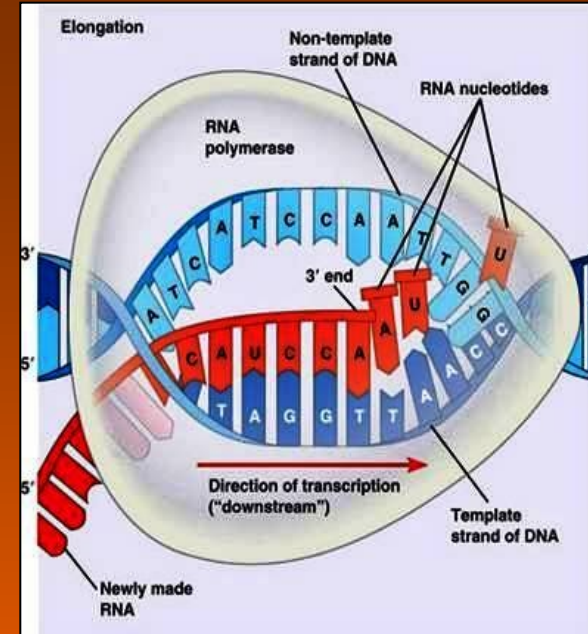
transkripce:

DNA - tvořena dvěma polynukleotidovými řetězci

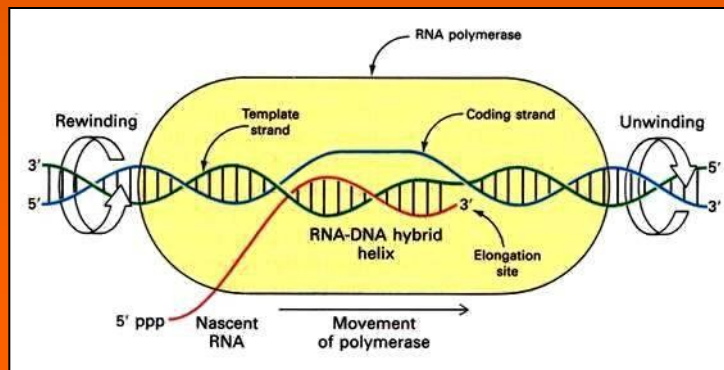
- jako matrice pro přepis do RNA slouží tzv. **nekódující (templátové) vlákno DNA**

→ vznikající molekula RNA má tedy stejnou nukleotidovou sekvenci jako druhé - **kódující vlákno DNA** (místo tyminu je v RNA nicméně uracil)

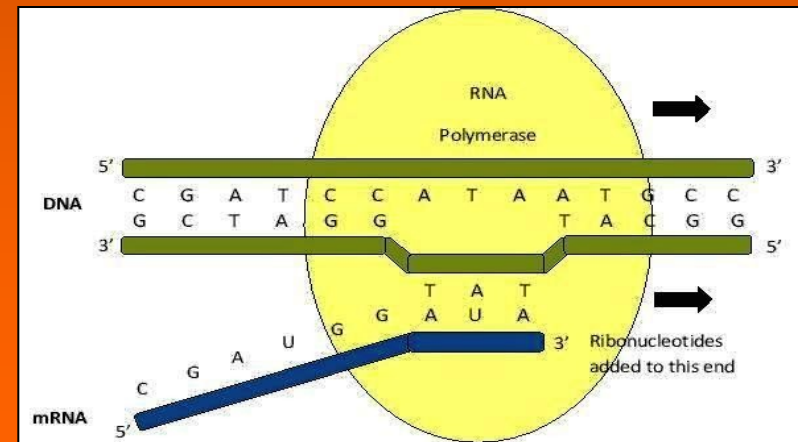
- ve srovnání s Prokaryonty je transkripce u Eukaryont složitější



transkripce



transkripce



transkripce

Molekulární genetik

transkripce:

→ vznik **tří základních typů molekul RNA:**

mRNA - její sekvence nukleotidů se překládá
do aminokyselinové sekvence proteinů

rRNA - tvoří **základní složku ribozomů**

tRNA - při syntéze proteinů
přenáší aminokyseliny do ribozomu

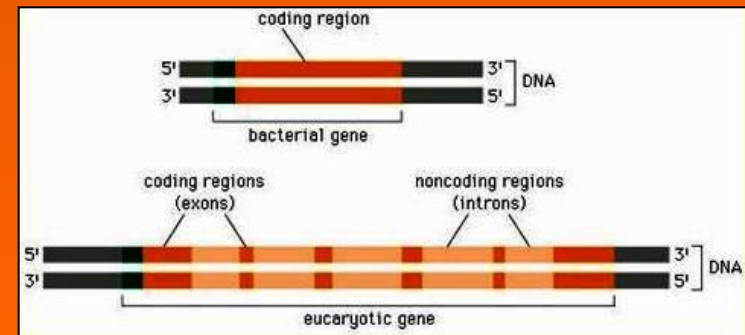
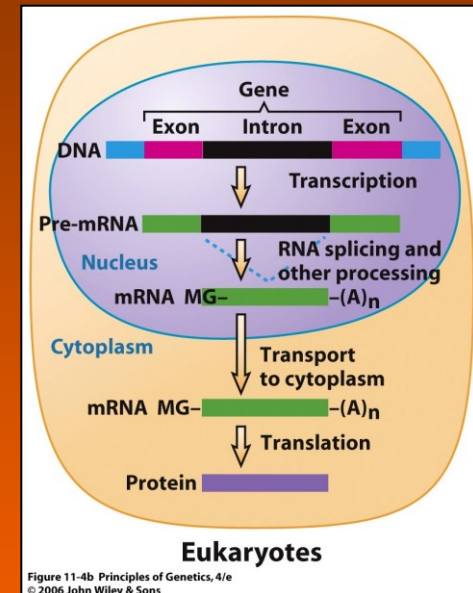
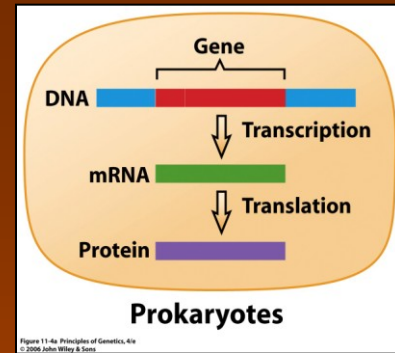
→ postranskripční úpravy

- například:

u Eukaryont se ze sekvence mRNA
vyštěpují tzv. introny (úseky, které se
nepřekládají do sekvence aminokyselin)

→ v transkriptu zůstanou pouze
kódující oblasti - tzv. exony

→ překlad do aminokyselinové
sekvence proteinu při translaci



kódující a nekódující oblasti v DNA

Molekulární genetik

translace:

- překlad genetické informace z mRNA do primární struktury proteinu (do AMK sekvence)
- probíhá v cytoplazmě buněk na ribozomech
- ribozomy - buněčné struktury, které jsou tvořeny molekulami rRNA a bílkovin (nejsou to orgány, neboť nemají membránu)
- mohou být v cytoplazmě loženy volně, nebo jsou navázány na membránu endoplazmatického retikula
- poměrně početné, v buňce řádově okolo 10 000 - 100 000 ribozomů

70S ribosome—crystal structure

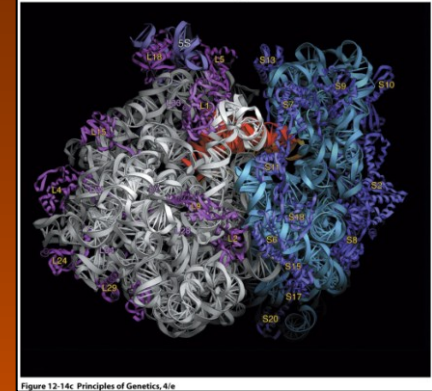
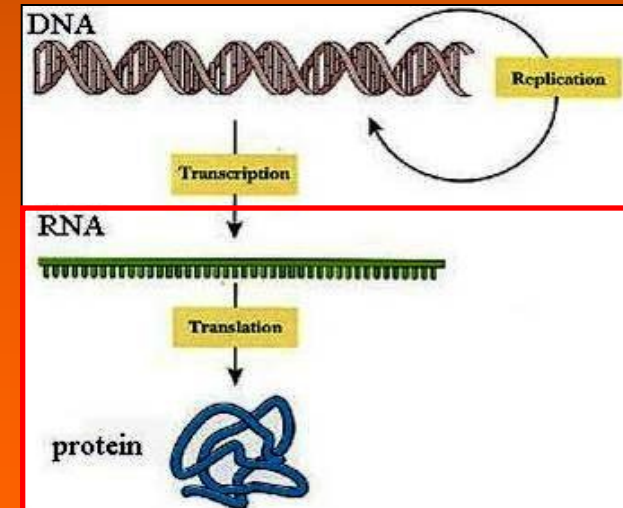


Figure 12-14c Principles of Genetics, 4/e

ribozom



ústřední dogma
molekulární biologie

Molekulární genetika

translace:

- probíhá podobně jako transkripce zejména v **G₁- a G₂-fázi** buněčného cyklu (růst buňky)
- částečně **odlišná** u Prokaryont a Eukaryont
- účastní se jí řada **enzymů** a dalších pomocných faktorů
- **přenos AMK na ribozom** při syntéze proteinů zajišťuje **tRNA** díky **párování bazí s mRNA** pomocí tzv. **antikodonu** (trojice nukleotidů, která je komplementární ke kodonu na mRNA)
 - viz dále
- **správné řazení AMK** do bílkovinného řetězce při syntéze proteinu umožňuje tzv. genetický kód

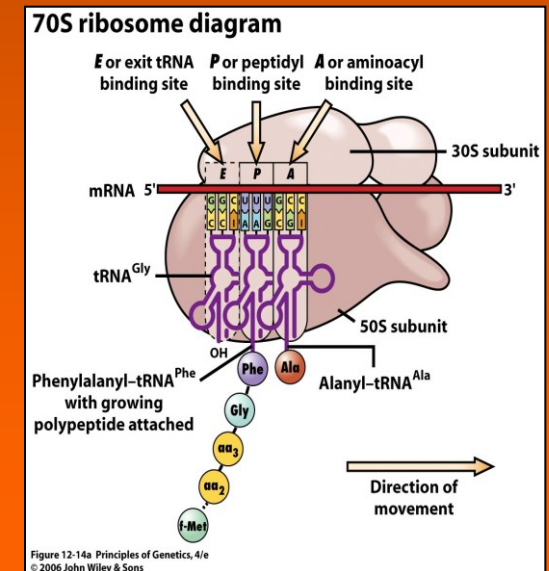
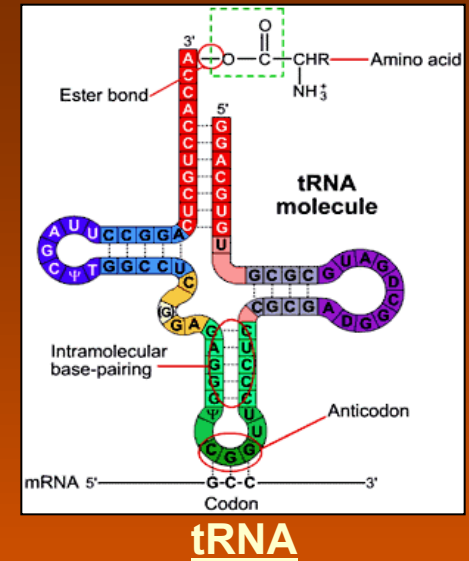


schéma translace

Molekulární genetika

translace:

- genetický kód:

- každá AMK je kódována jednou nebo více kombinacemi tří nukleotidů (tzv. **triplety ~ kodony**) na molekule mRNA → **pořadí nukleotidů na mRNA určuje pořadí AMK v budoucí molekule proteinu**

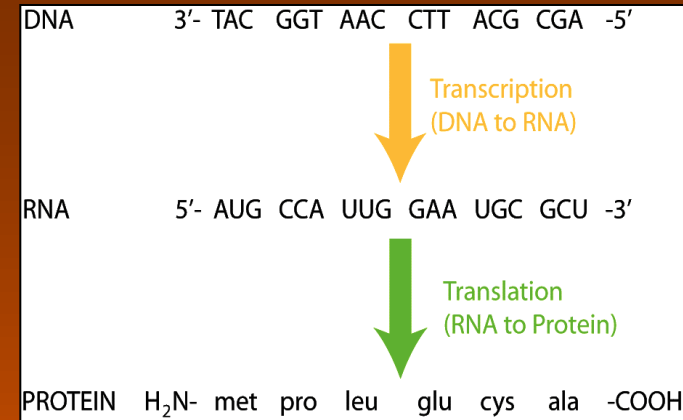
- v genetickém kódu se také vyskytují:

a) jeden iniciační kodon (AUG)

- pokud se vyskytne v sekvenci molekuly mRNA, značí zahájení translace

b) tři stop kodony (UAA, UAG, UGA)

- pokud se vyskytnou v sekvenci molekuly mRNA, značí ukončení translace



od DNA k proteinu

		Second Base				
		U	C	A	G	
U	UUU	Phe	UCU	UAU Tyr	UGU Cys	U
	UUC		UCC Ser	UAC	UGC	C
	UUA	Leu	UCA	UAA Stop	UGA Stop	A
	UUG		UCG	UAG Stop	UGG Trp	G
C	CUU		CCU	CAU His	CGU	U
	CUC	Leu	CCC Pro	CAC	CGC	C
	CUA		CCA	CAA Gln	CGA	A
	CUG		CCG	CAG	CGG	G
A	AUU		ACU	AAU Asn	AGU Ser	U
	AUC	Ile	ACC Thr	AAC	AGC	C
	AUA		ACA	AAA Lys	AGA Arg	A
	AUG	Met / Start	ACG	AAG	AGG	G
G	GUU		GCU	CAU Asp	GGU	U
	GUC	Val	GCC Ala	GAC	GGC	C
	GUA		GCA	GAA Glu	GGA	A
	GUG		GCG	GAG	GGG	G

genetický kód

Molekulární genetika

translace:

- genetický kód:

- také označován jako **univerzální**, neboť je v drtivé většině stejný pro všechny organizmy - jak Prokaryonta, tak i Eukaryonta

- je **degenerovaný** - jedna AMK kódována více triplety
(64 možných tripletů, aminokyselin pouze 20)

- polyribozom (polyzom):

- na jednu molekulu mRNA je současně připojeno více ribozomů, které vytvářejí jakýsi „řetízek“

→ jedna molekula mRNA →

→ několik molekul proteinu

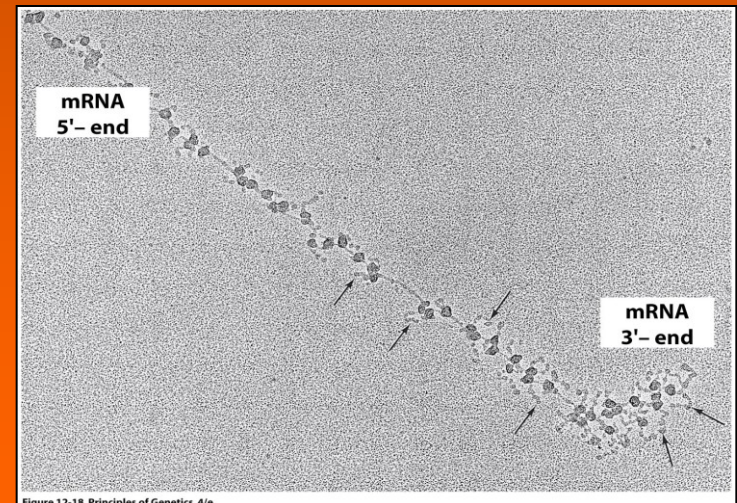


Figure 12-18. Principles of Genetics, 4/e

polyribozom

Molekulární genetik

translace:

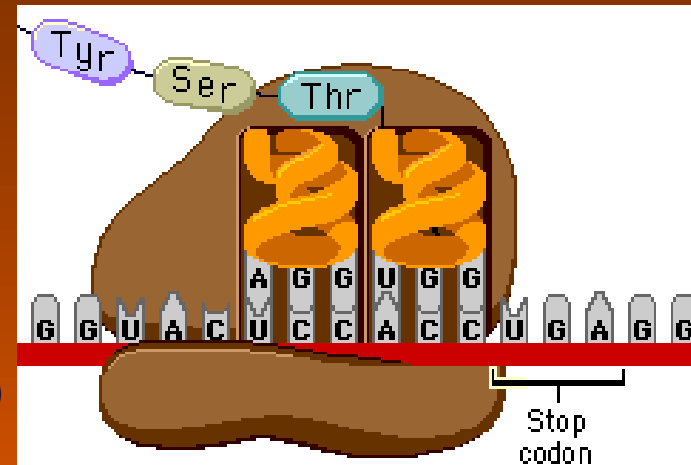
- jako u transkripce rozlišujeme tři fáze:

a) iniciace

- **zahájení translace,**

vznik tzv. **iniciačního komplexu**

(iniciační komplex - z ribozomu, mRNA a iniciační tRNA)



syntéza bílkoviny

b) elongace

- **prodlužování peptidového řetězce**

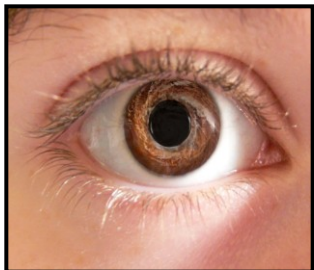
(vznik peptidových vazeb mezi příslušnými AMK)

c) terminace - **zakočení syntézy peptidového řetězce**, které je signalizováno některým ze stop kodonů

na mRNA

→ uvolnění bílkoviny z ribozomu → posttranslační úpravy bílkoviny →
→ funkční bílkovina (enzym...) →
→ projev do určitého znaku ~ vlastnosti organismu

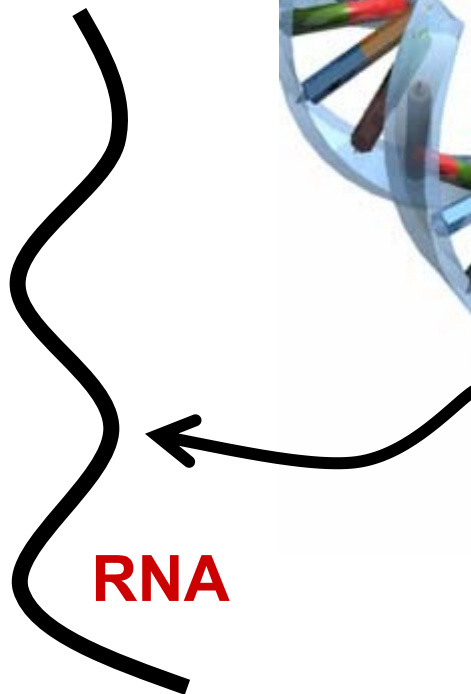
Molekulární genetika



znak



protein



gen

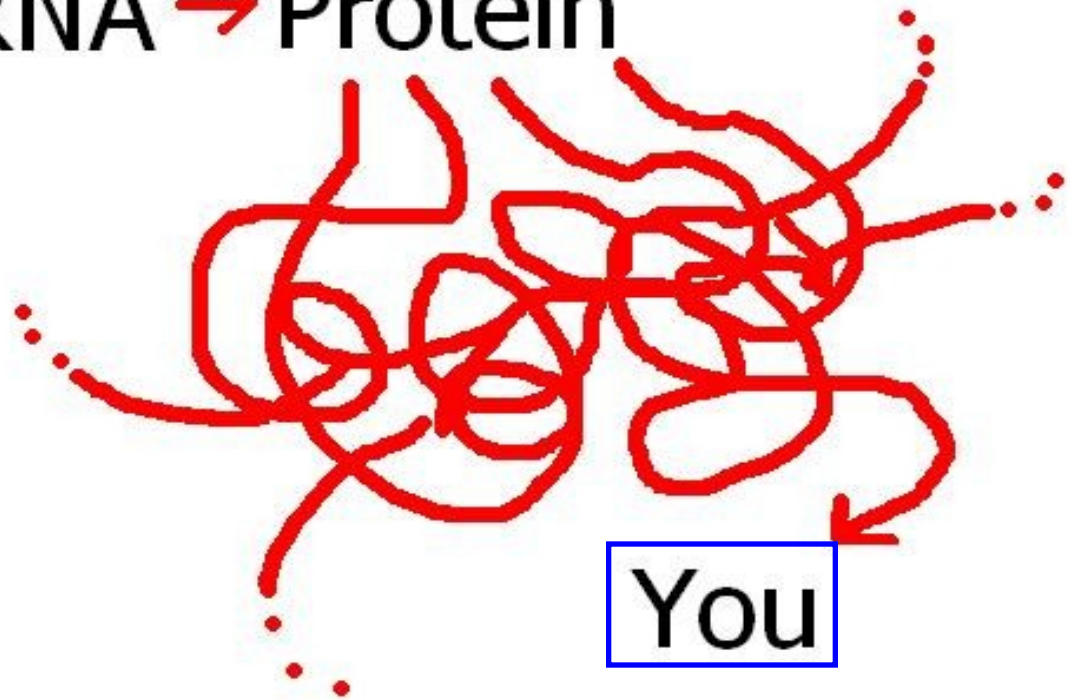
DNA

RNA

expresse genetické informace

Molekulární genetika

DNA → RNA → Protein



exprese genetické informace u proteinu nekončí

Molekulární genetik

literatura:

Rosypal S.:

Úvod do molekulární biologie.

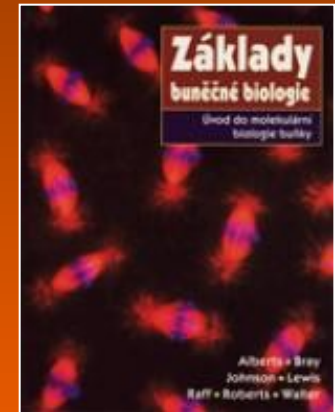
- 4 dílná skripta, čtvrté vydání

(pro Přírodovědeckou fakultu)



Alberts et al.:

Základy buněčné biologie: Úvod do molekulární biologie buňky. ESPERO Publishing, s.r.o. 2005.

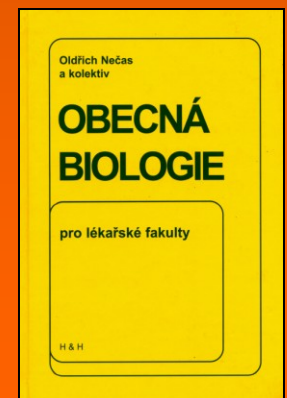
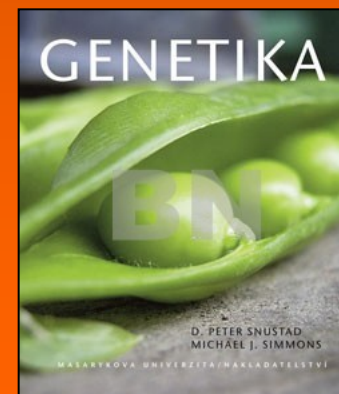


Nečas O. et al.: **Obecná biologie pro lékařské fakulty.**

3. přepracované vydání. Jinočany. H+H. 2000.

Snustad, D. P., Simmons M. J.:

Genetika. Masarykova univerzita. 2009.



Molekulární genetika - animace

<http://www.encyclopedia.com/video/zdDkiRw1PdU-dna-replication-animation-by-interact.aspx>

- replikace

http://www.aldebaran.cz/bulletin/2010_15/bio_orig.swf

- replikace

<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/meselson.html>

- důkaz semikonzervativního způsobu replikace

<http://www.encyclopedia.com/video/WgvnFYyJGZQ-dna-transcription-animation-by-interact.aspx>

- transkripce

<http://www.encyclopedia.com/video/ztPkv7wc3yU-transcription.aspx>

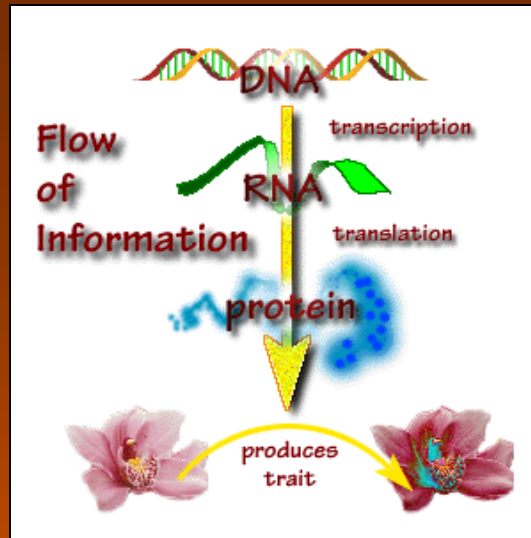
- transkripce

http://www.encyclopedia.com/video/_6Rrymt6Xwl-dna-translation-animation-by-interact.aspx

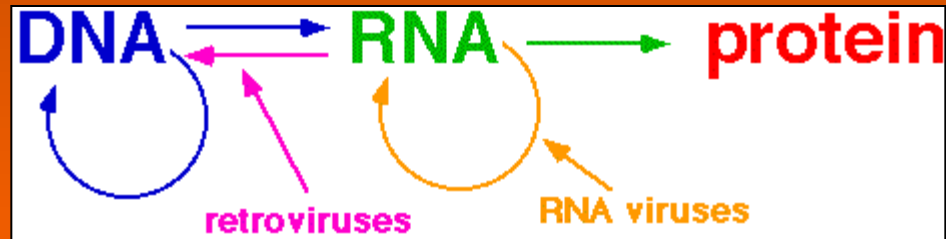
- translace

<http://www.encyclopedia.com/video/983lhh20rGY-dna-transcription-protein-assembly.aspx>

- translace



Děkuji za pozornost



Marek David
david@ped.muni.cz