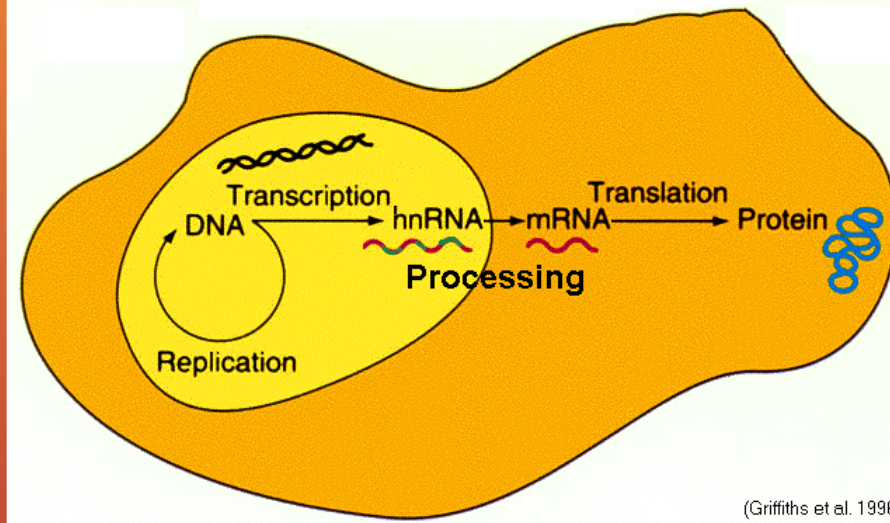


The Central Dogma in Eukaryotic Cells



Úvod do studia biologie

Základy molekulární genetiky

Molekulární genetik

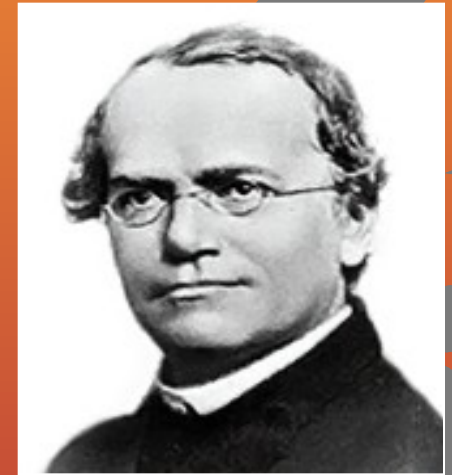
- podobor genetiky (**genetika je obecnější**)

Genetika:

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

Johann Gregor (Jan Řehoř) Mendel

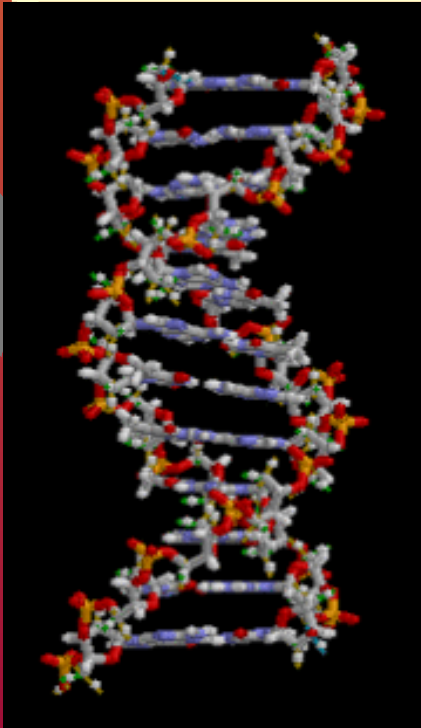
- **zakladatel genetiky**
- své objevy uskutečnil v augustiniánském klášteře na Starém Brně
- **hypotéza:** Při křížení rostlin se znaky rodičů přenášejí na potomky prostřednictvím jednotek dědičnosti, které se při tvorbě pohlavních buněk rozdělují a při oplození opět spojují.
Spojování jednotek dědičnosti 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 (většinu buněčné paměti)



DNA

je zapsána do struktury nukleových kyselin
do DNA - deoxyribonukleová kyselina)

stojí na počátku každého živého organismu

určuje budoucí anatomickou stavbu
organismu, je nepostradatelnou součástí
pohlavního rozmnožování atd.

Molekulární genetik

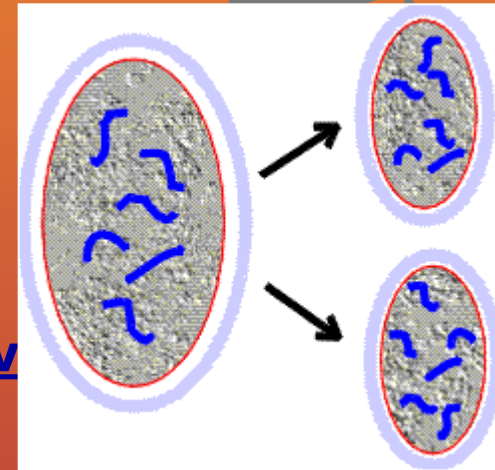
buněčná paměť:

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

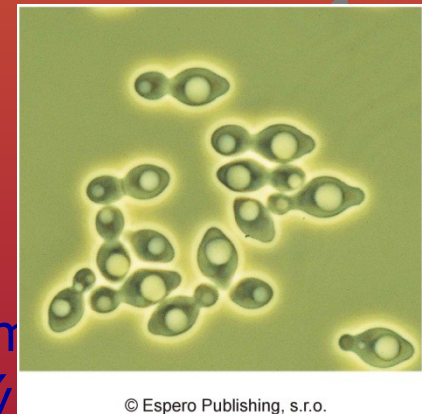
→ buněčná paměť - schopnost buňky uchovávat informaci pro svou reprodukci, růst, zajištění základních životních funkcí atd.

- 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:

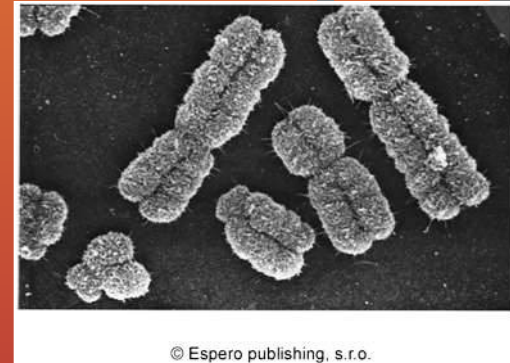
- způsob kódování informace
- vyzvedávání informace z paměti
- doplňování informace
- zdvojení či multiplikaci paměťového záznamu

- jeden ze tří principů funkční organizace buňky

- obecné principy, podle kterých jsou molekuly buňky uspořádány do funkčně strukturálních celků

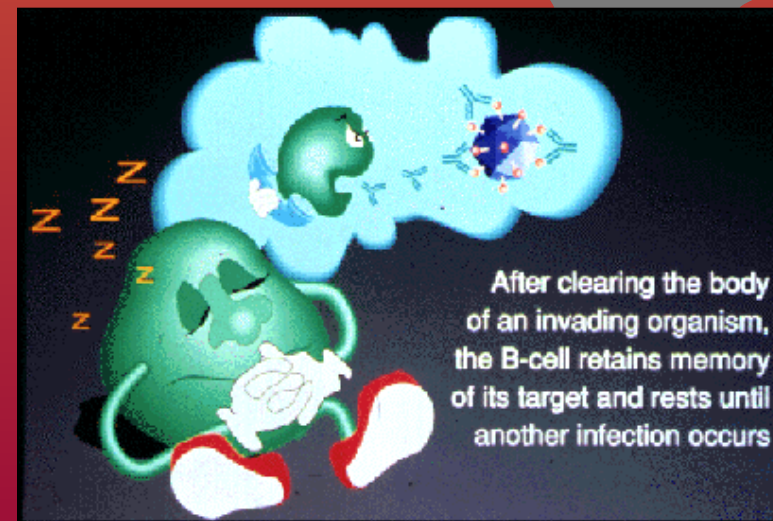
(další jsou **membránový a cytoskeletální princip**)

- paměťový princip je znám **nejdéle**



© Espero publishing, s.r.o.

chromozomy



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)

nukleo

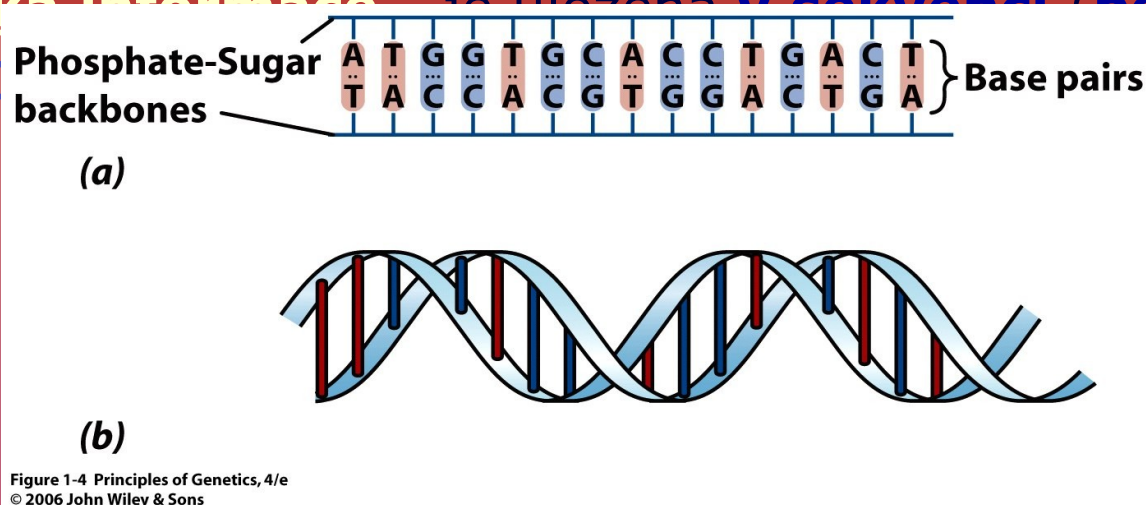


Figure 1-4 Principles of Genetics, 4/e
© 2006 John Wiley & Sons

DNA

Molekulární genetik

DNA (deoxyribonukleová kyselina):

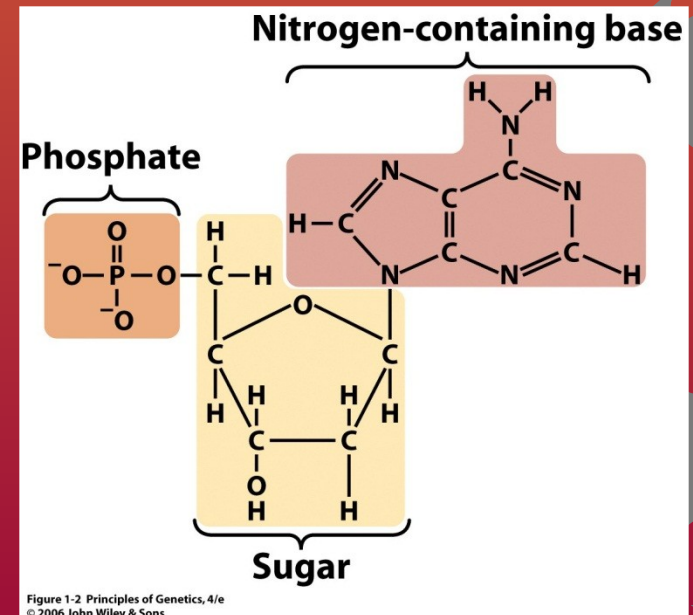
- makromolekula, náleží mezi tzv. nukleové kyseliny
- má charakter biopolymeru (spolu s bílkovinami a polysacharidy)
→ složena z velkého počtu monomerů

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

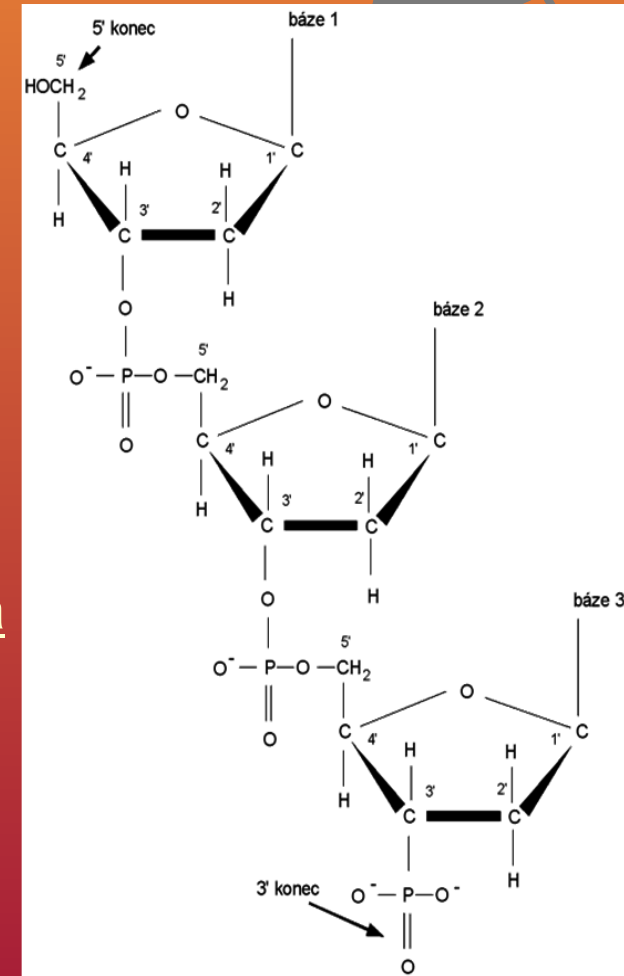


nukleotid

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 genetik

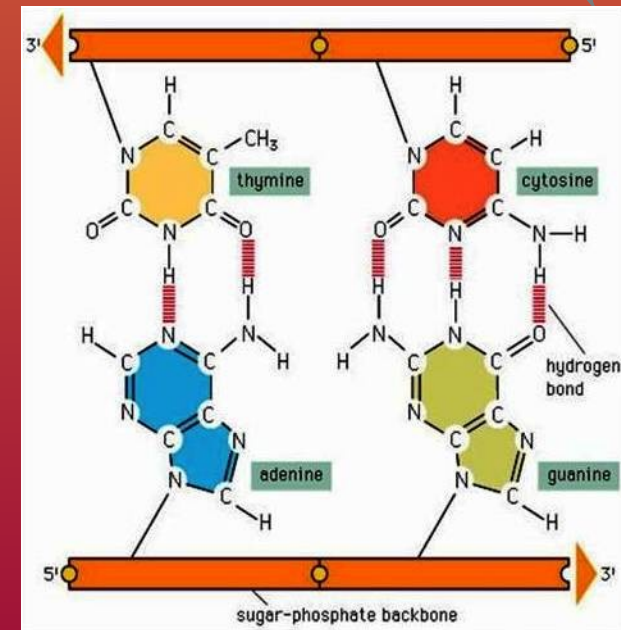
primární struktura DNA:

- 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

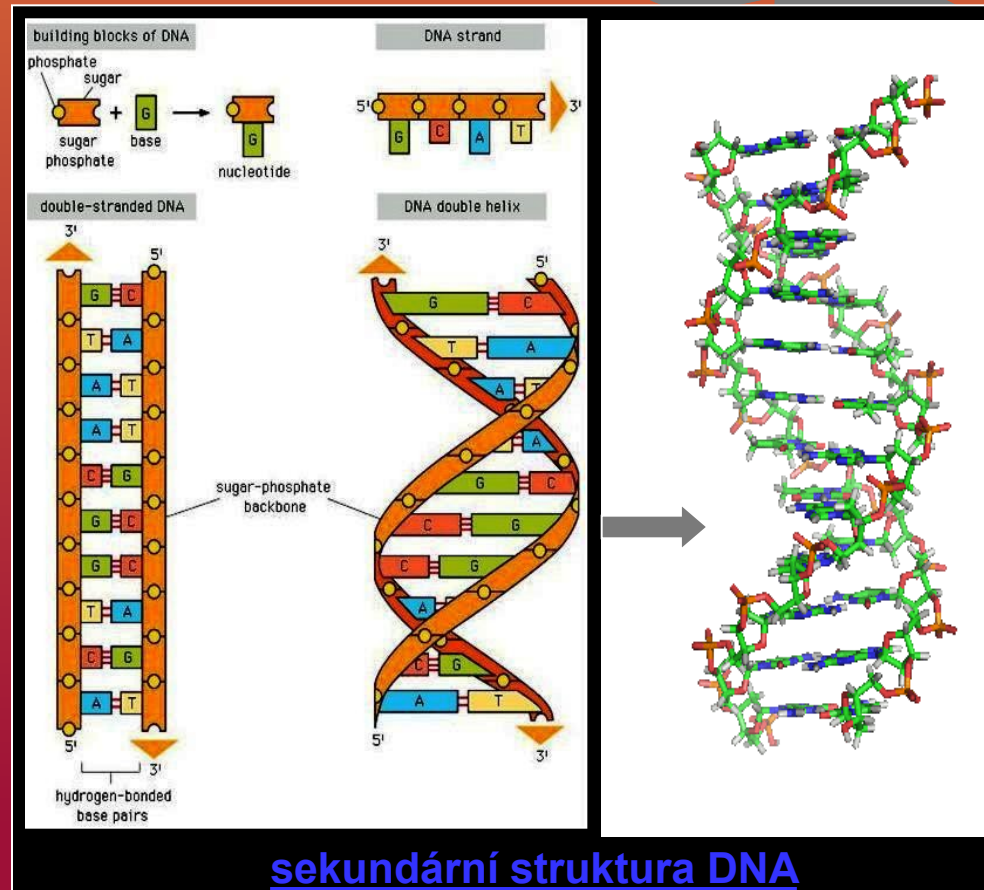
sekundární struktura DNA:

- 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

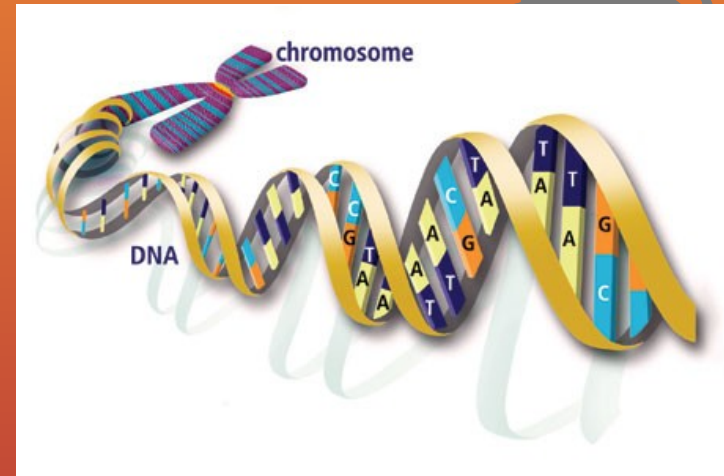
→ jsou ještě další vyšší
uspořádání molekuly DNA



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

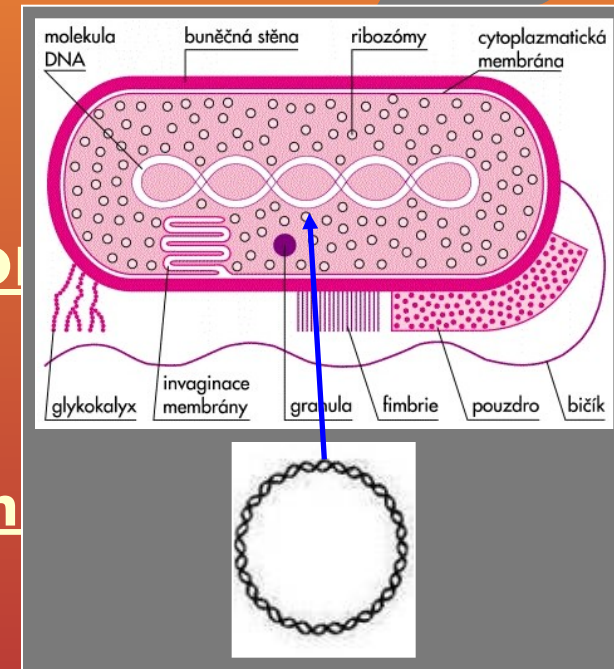


chromozom

Molekulární genetik

prokaryontní chromozom:

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



prokaryontní chromozom

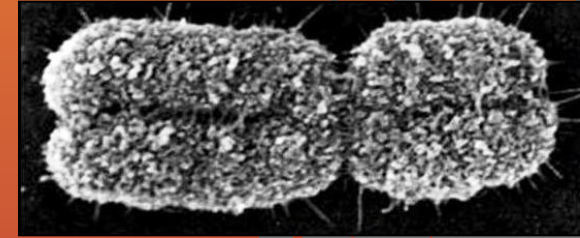


bakterie

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 genetik

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**

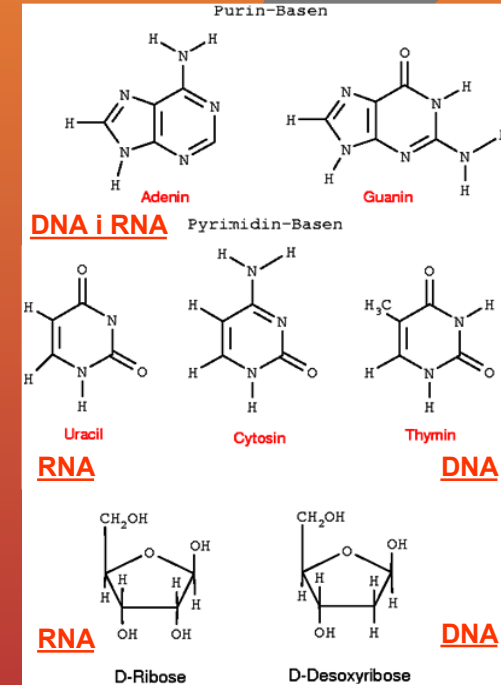
- dusíkaté baze v RNA:

a) **puriny** - guanin (G), adenin (A)

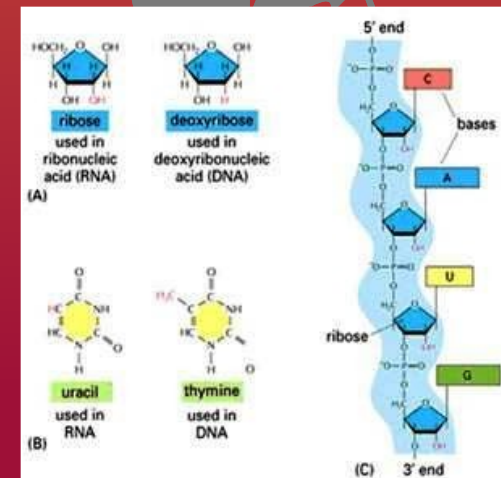
b) **pyrimidiny** - cytozin (C), uracil (U)
(místo tyminu v DNA)

- **uracil se váže s adeninem** (jako tymin v DNA)

- tři základní typy RNA: **mRNA** (mediátorová),
rRNA (ribosomální)
tRNA (transferová)



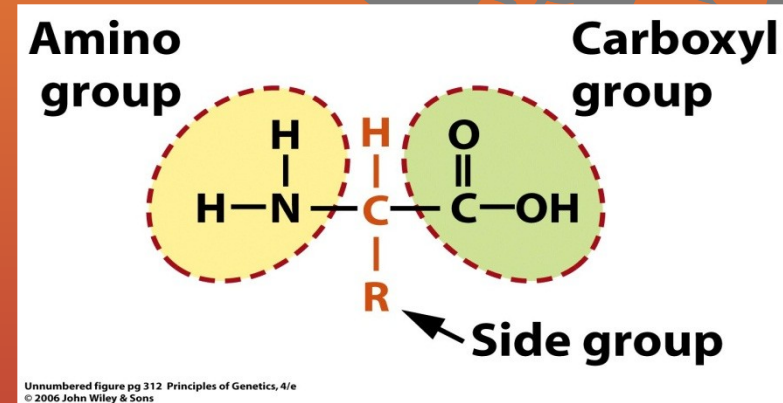
rozdíly mezi DNA a RNA



Molekulární genetik

bílkoviny (proteiny):

- podílejí se na všech základních životních procesech
- funkce: - strukturní (stavební bílkoviny)
 - metabolická (enzymy)
 - informační (signální či transportní proteiny)
- obdobně jako nukleové kyseliny mají charakter biopolymeru
- jejich monomery - aminokyseliny (AMK)
- pořadí (sekvence, sled) AMK - určuje primární strukturu bílkoviny



obecná struktura AMK

Molekulární genetik

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

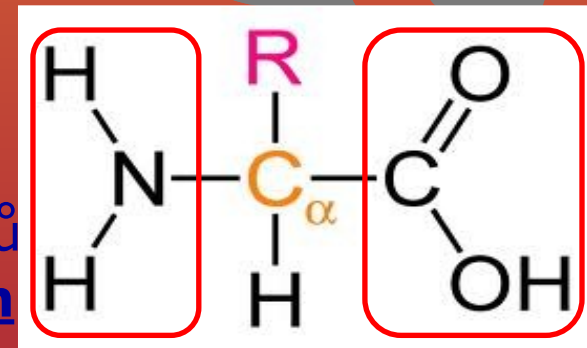
→ na základě charakteru postranních řetězců řadíme AMK **do čtyřech skupin**

a) **s nepolárním** postranním řetězcem

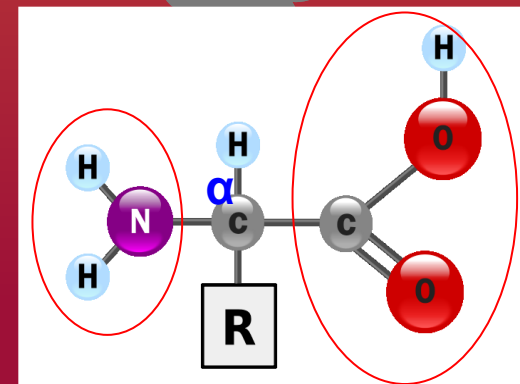
b) **s polárním** postranním řetězcem

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.

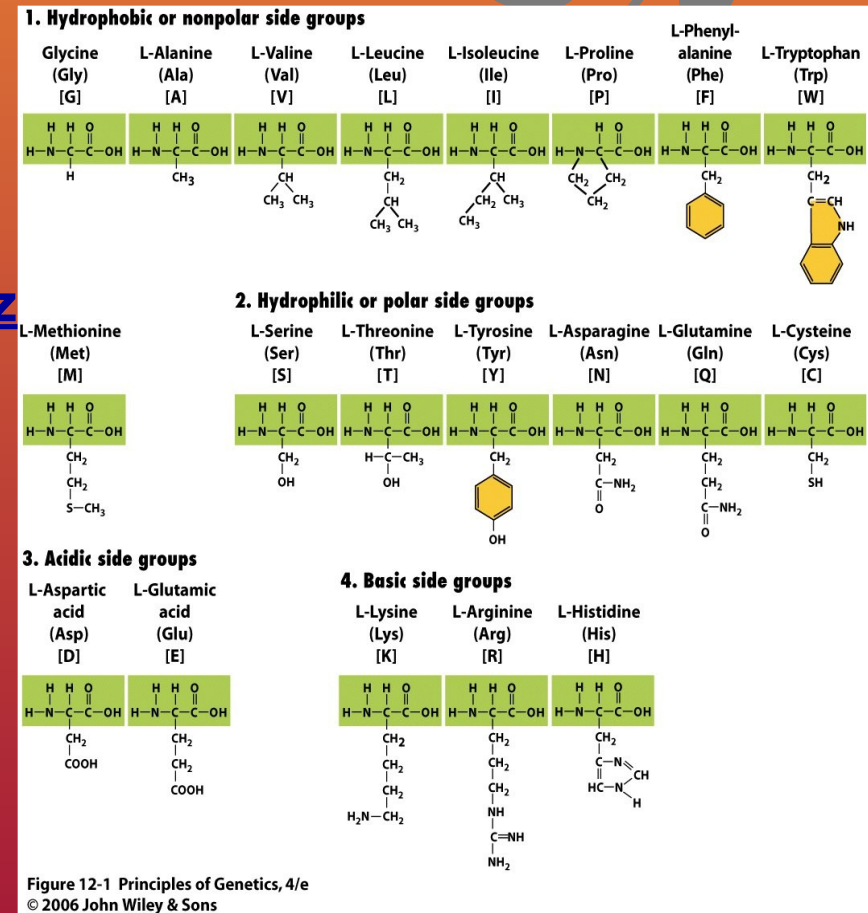


Figure 12-1 Principles of Genetics, 4/e
© 2006 John Wiley & Sons

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)

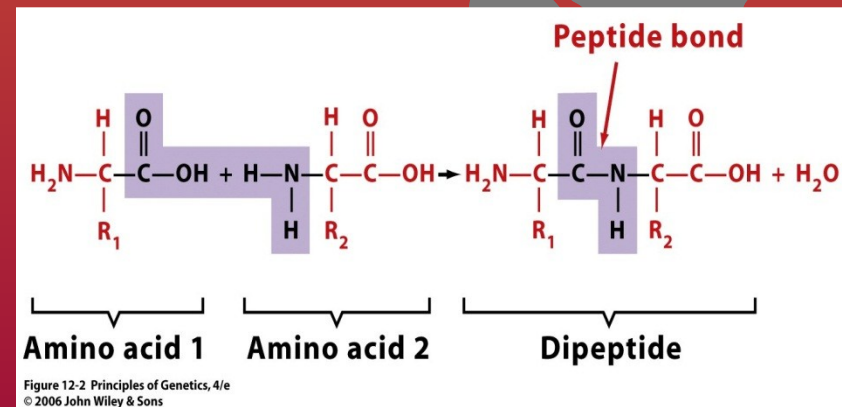


Figure 12-2 Principles of Genetics, 4/e
© 2006 John Wiley & Sons

peptidová vazba mezi dvěma AMK -
- vznik dipeptidu

Molekulární genetik

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

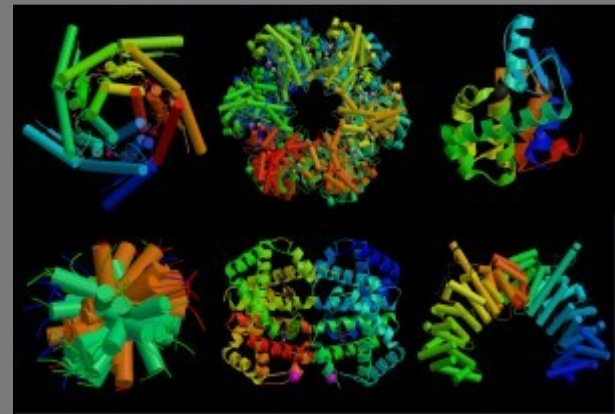
- většina enzymů



příklad globulárního proteinu



příklad fibrilárního proteinu

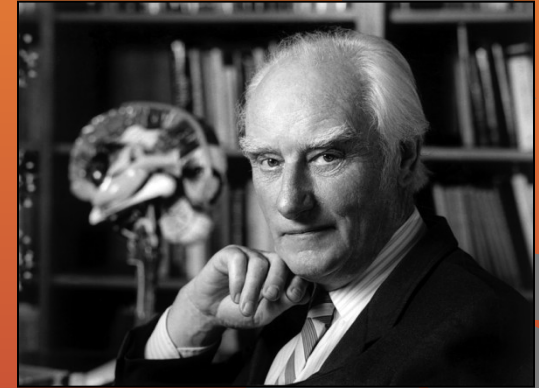


různé tvary a struktury proteinů

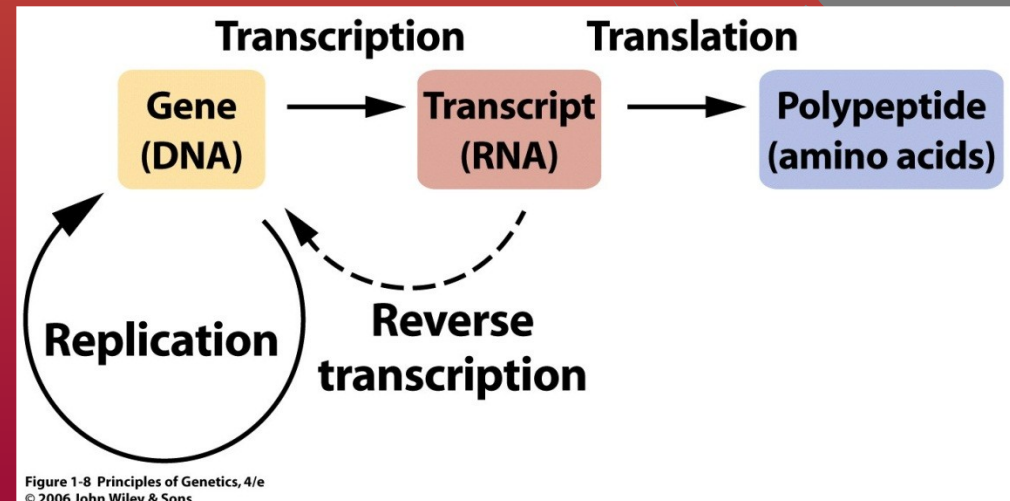
Molekulární genetik

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



Francis Crick



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)

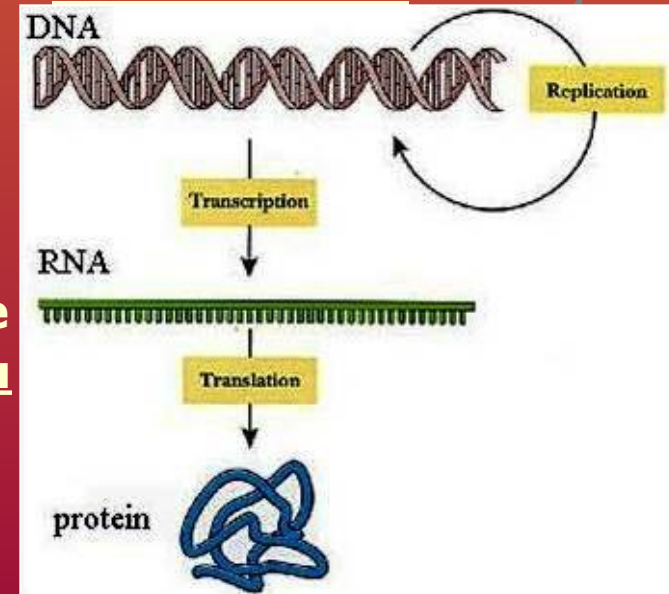
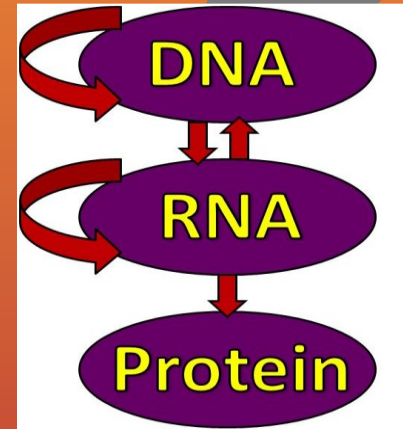
c) translace (překlad) genetické informace z RNA do primární struktury proteinu

(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

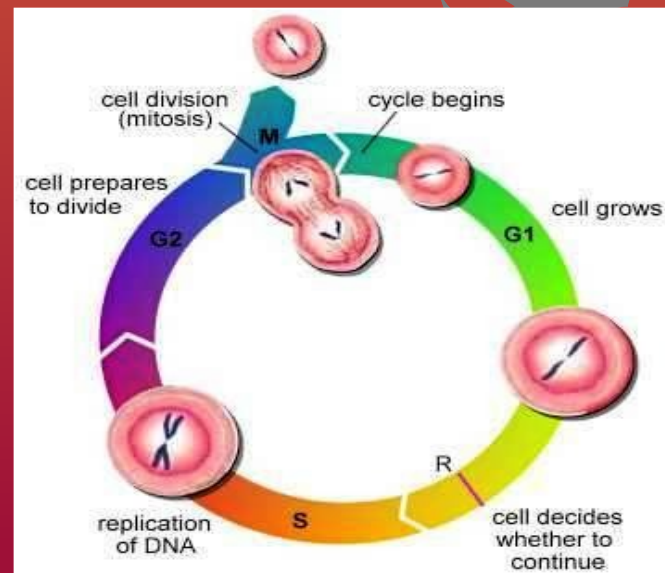
b) **M- fáze**

- 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:

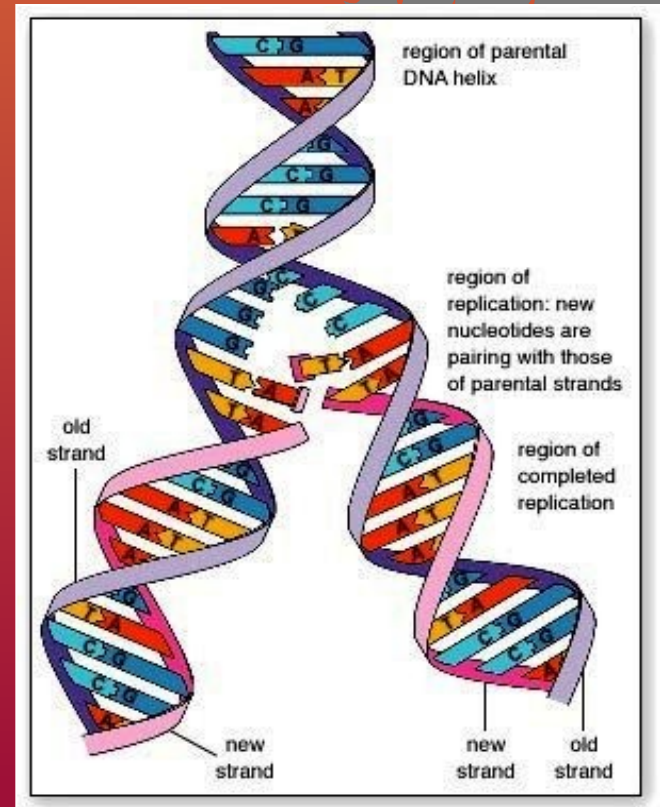
- **zdvojení** ~ **tvorba kopií** molekul DNA
- **zdvojení jaderné DNA** probíhá **v S-fázi** buněčného cyklu →
→ **vznik dceřiných molekul DNA**

- 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)

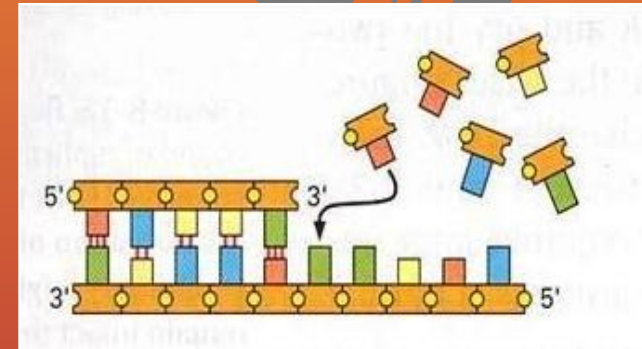


replikace

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**



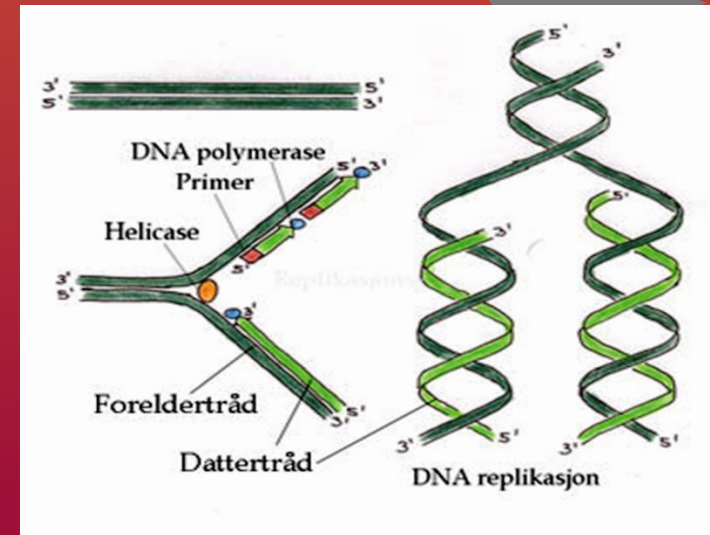
syntéza komplementárního řetězce DNA

Prokaryonta

- replikace kruhového chromozomu

Eukaryonta

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

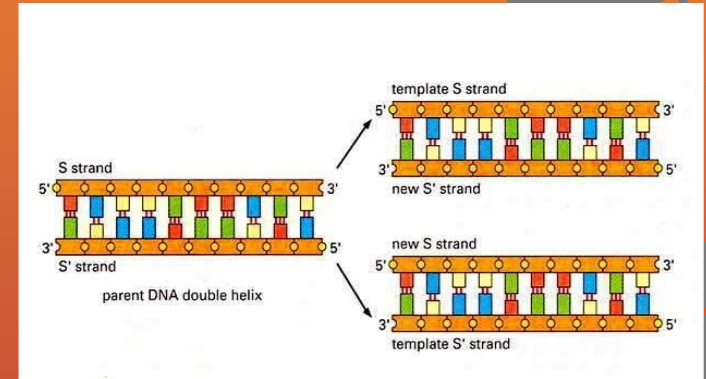


replikace

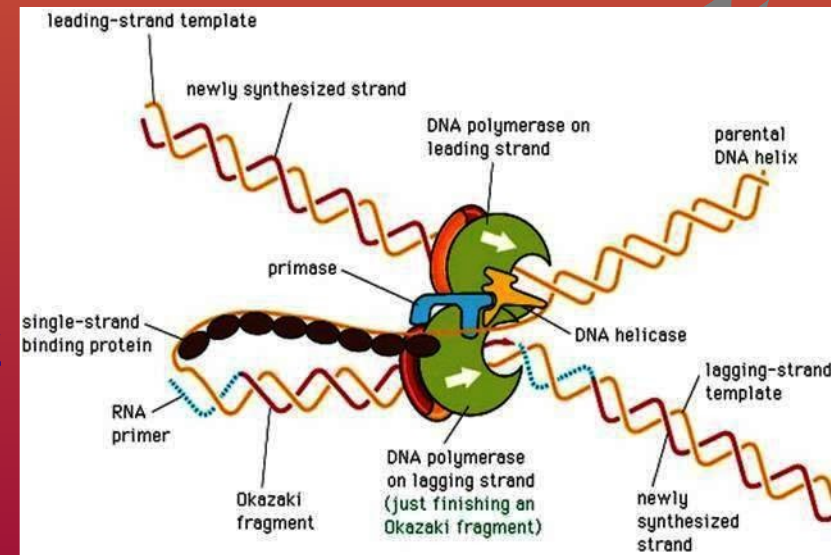
Molekulární genetik

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

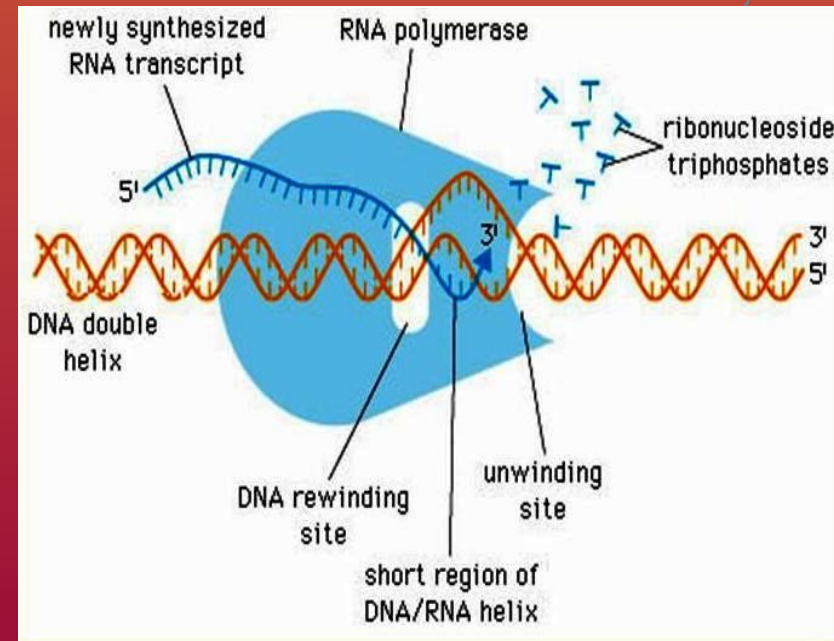
Molekulární genetik

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 thyminu v DNA je v RNA uracil)
- opět složitý enzymatický proces
- RNA-polymerázy - enzymy, které katalyzují syntézu RNA podle matrice DNA



transkripce

Molekulární genetik

transkripce:

RNA-polymerázy - umožňují syntézu všech tří typů RNA

(mRNA, rRNA i tRNA)

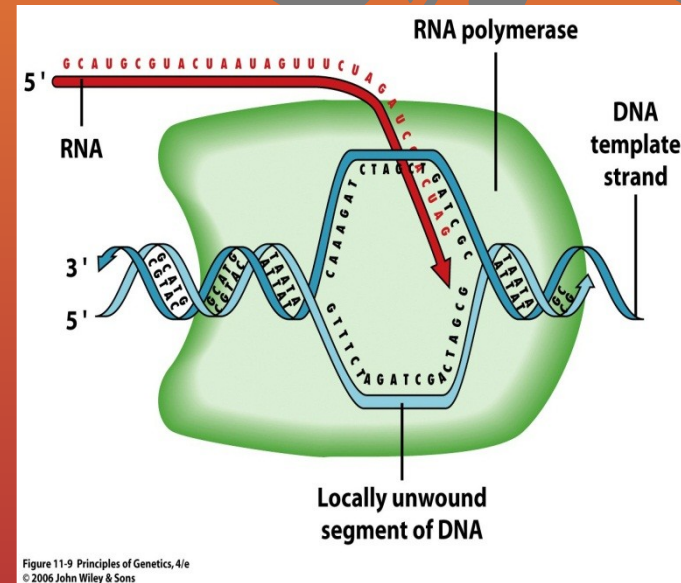
vznik RNA-transkriptu - zahrnuje tři fáze:

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 genetika

transkripce:

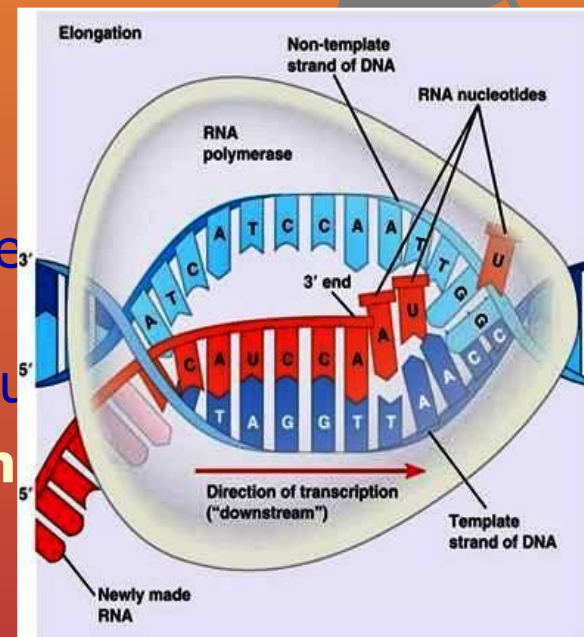
DNA - tvořena dvěma polynukleotidovými řetězci

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

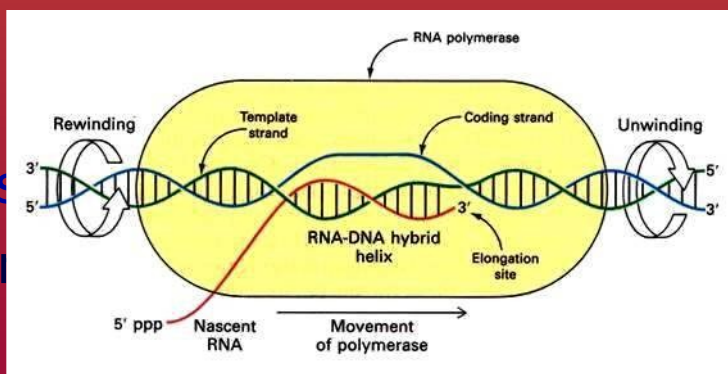
→ vznikající **molekula RNA** má tedy

stejnou nukleotidovou sekvenci

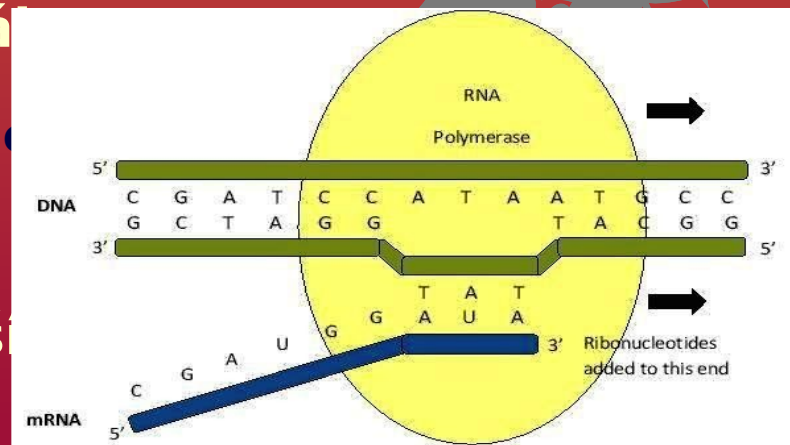
jako druhé - **kódující vlákno**



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**

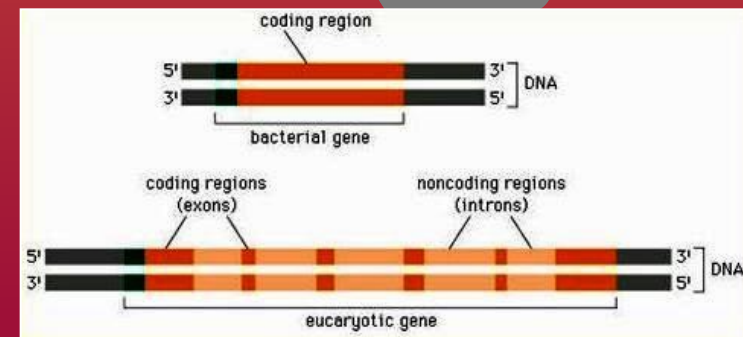
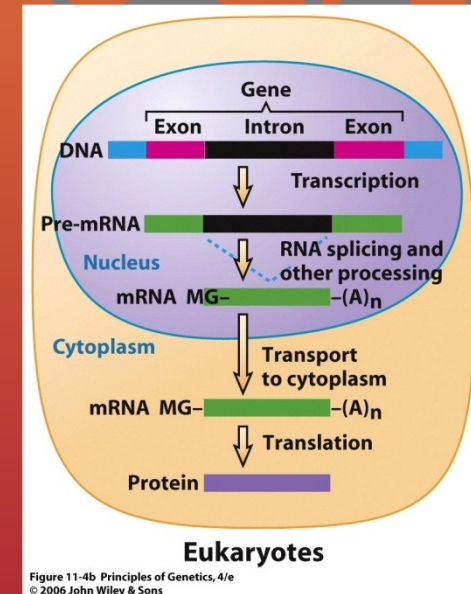
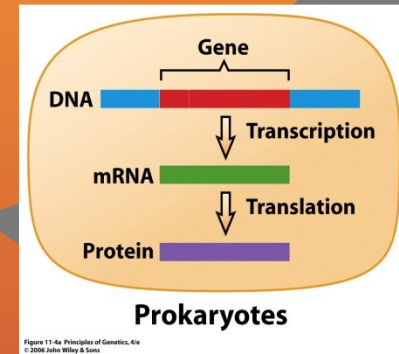
→ postranskripční úpravy

- 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 sekven)
- probíhá v cytoplazmě buněk na ribosomech
- ribozomy - buněčné struktury, které jsou tvořeny ribozom molekulami rRNA a bílkovin (nejsou to organely, neboť nemají membránu)
- mohou být v cytoplazmě loženy volně, i když jsou navázány na membránu endoplazmatického retikula
- poměrně početné, v buňce řádově okolo 10 000 - 100 000 ribozomů

70S ribosome—crystal structure

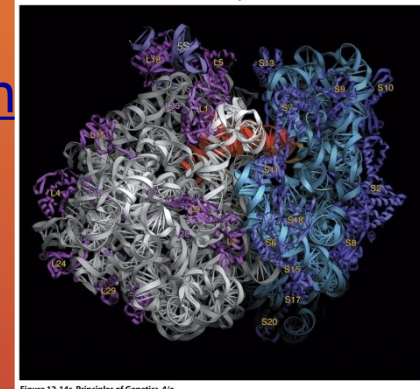
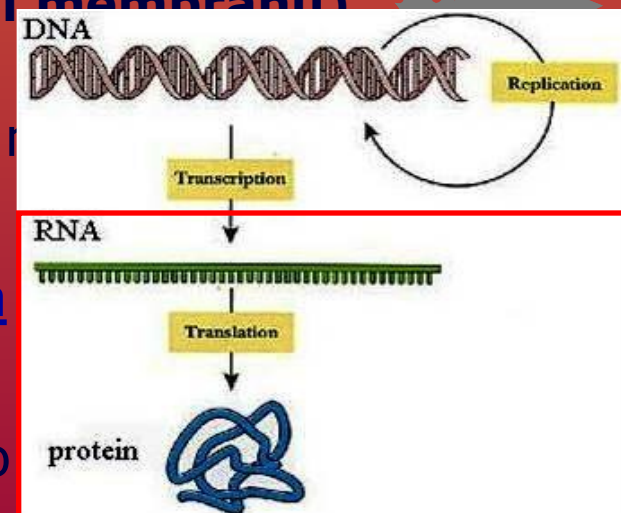


Figure 12-14c: Principles of Genetics, 4/e



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 proteinu zajišťuje **tRNA** díky **párování bází 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**

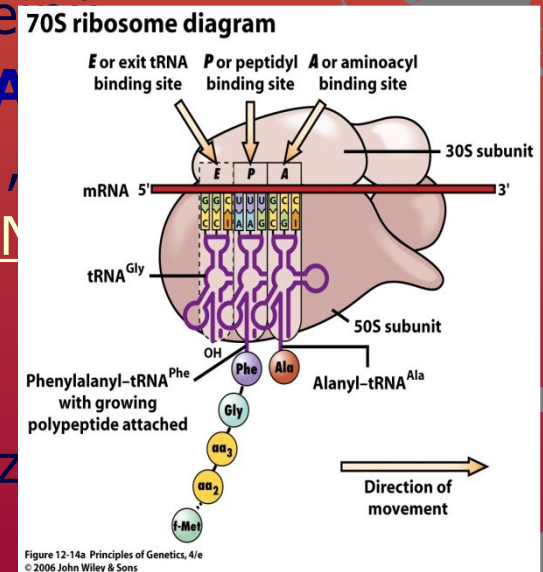
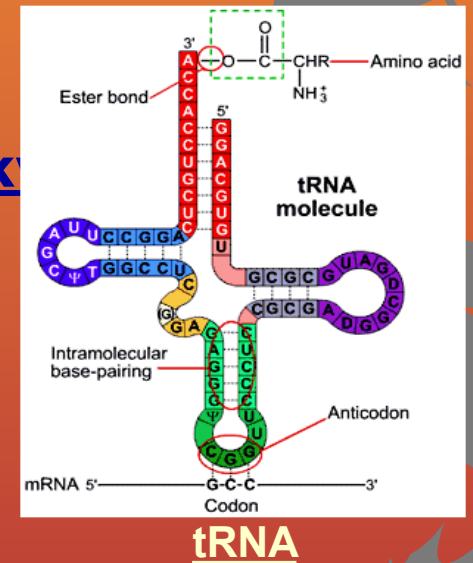


schéma translace

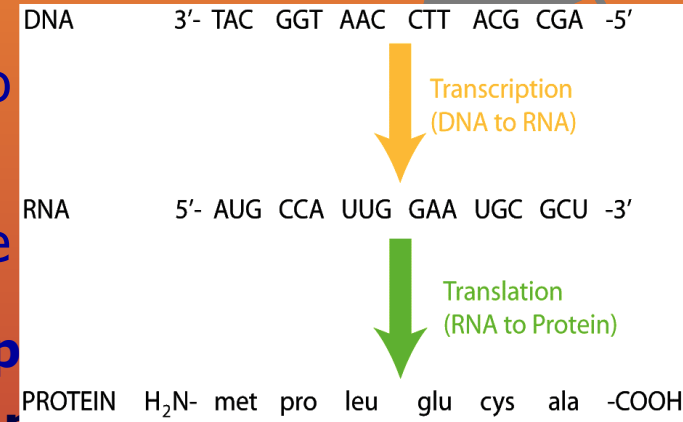
translace:

Molekulární genetika

- genetický kód:

- každá AMK je kódována jednou nebo kombinacemi tří nukleotidů (tzv. **triplety ~ kodony**) na molekule

→ **pořadí nukleotidů na mRNA určuje pořadí AMK v budoucí molekule proteinu**



od DNA k 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

		Second Base						
		U	C	A	G			
U	UUU	Phe	UCU	UUA	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC		UCC	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	CAC		CGC	Arg	C
	CUA		CCA	CAA	Gln	CGA		A
	CUG		CCG	CAG		CGG		G
A	AUU		ACU	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	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	GAC		GGC	Gly	C
	GUA		GCA	GAA		GGA		A
	GUG		GCG	GAG	Glu	GGG		G

genetický kód

translace:

Molekulární genetik

- 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

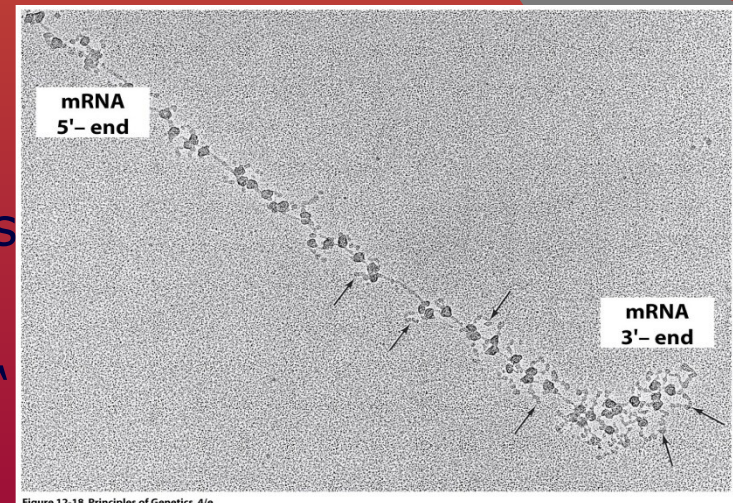


Figure 12-18 Principles of Genetics, 4/e

polyribozom

Molekulární genetika

translace:

- jako u transkripce rozlišujeme tři fáze:

a) iniciace

- **zahájení translace,**
vznik tzv. iniciačního komplexu
(iniciační komplex - z ribozomu, mRNA a
iniciační tRNA)

b) elongace

- **prodlužování peptidového řetězce**
(vznik peptidových vazeb mezi příslušnými AMK)

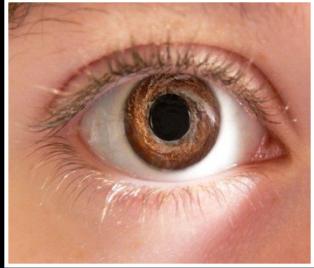
c) terminace - **zakončení syntézy peptidového řetězce**, které je
signalizováno některým ze stop kodonů na mRNA

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

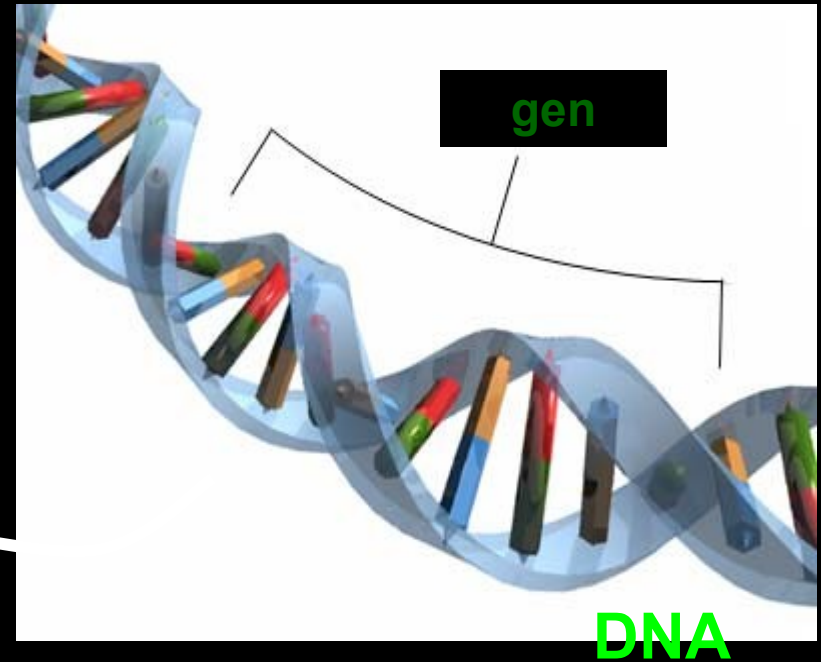
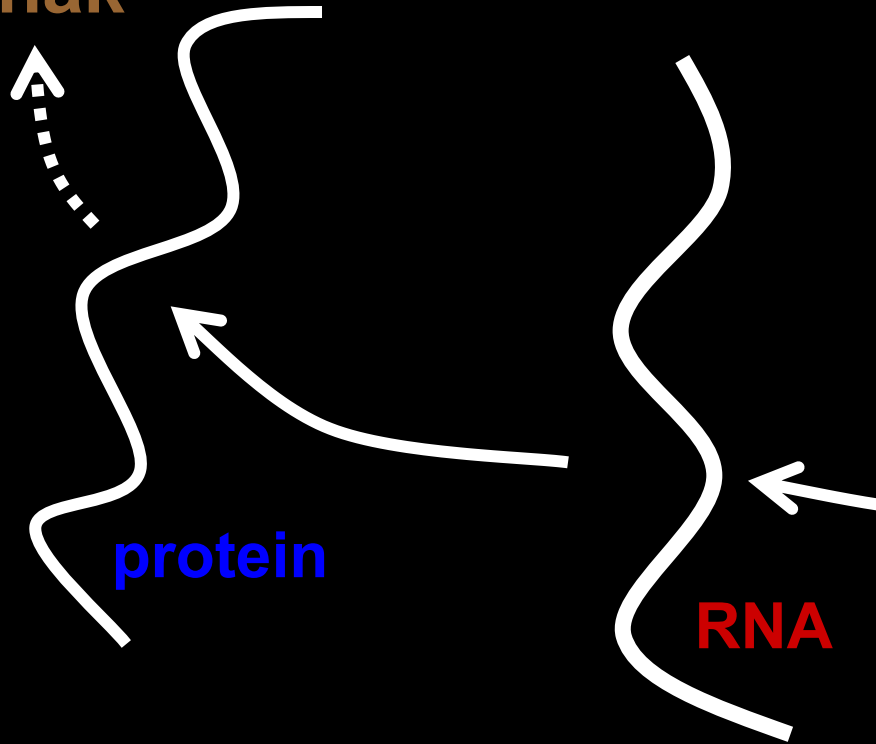


syntéza bílkoviny

Molekulární genetika



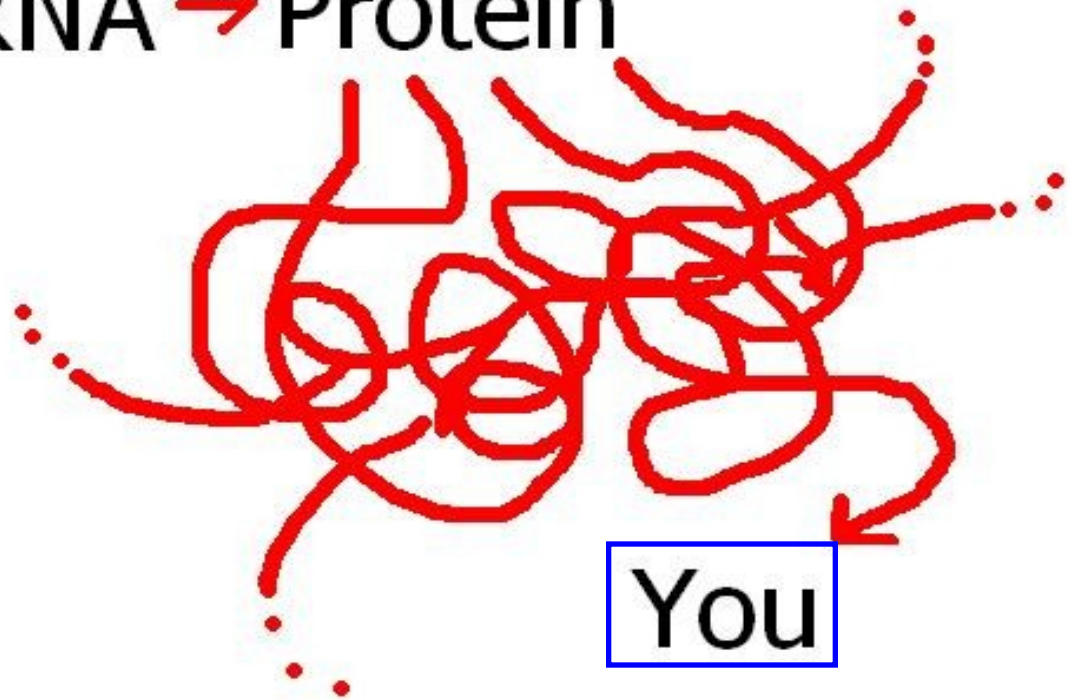
znak



expresse genetické informace

Molekulární genetika

DNA → RNA → Protein



exprese genetické informace u proteinu nekončí

Molekulární genetik

literatura:

Rosypal S.:

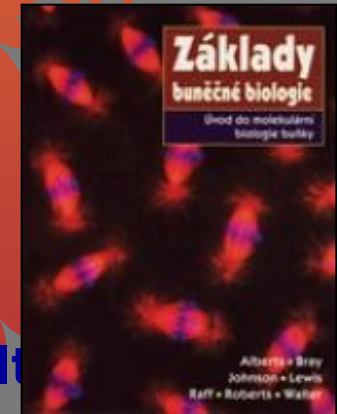
Úvod do molekulární biologie.

- 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.

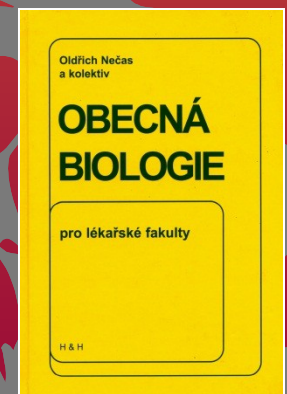
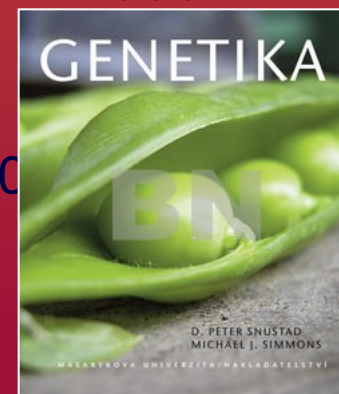


Nečas O. et al.: **Obecná biologie pro lékařské fakulty**

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

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

Genetika. Masarykova univerzita. 2000



Molekulární genetiká - 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>

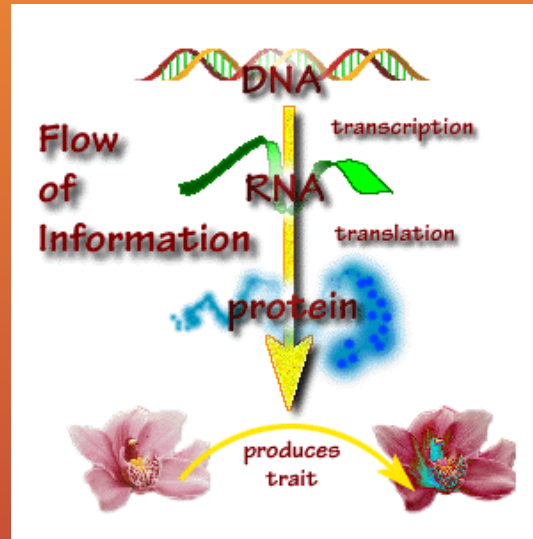
- transkripce

http://www.encyclopedia.com/video/_6Rrymt6XwI-dna-translation-animation-by-interact.aspx

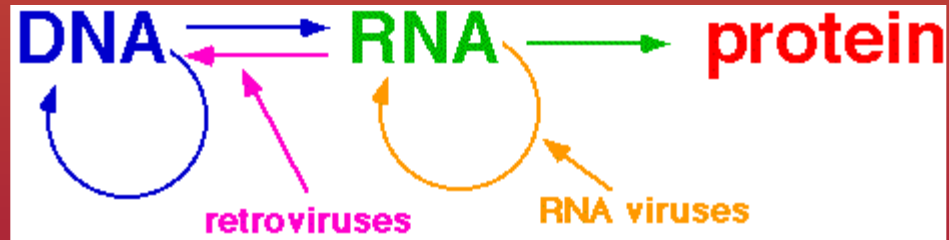
- translace

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

- translace



Děkuji za pozornost



Marek David
david@ped.muni.cz