

izv. prof. dr. sc. Petra Korać
mr. sc. Zrinka Pongrac Štimac, prof.
Valerija Begić, prof.

Biologija 4

UDŽBENIK IZ BIOLOGIJE ZA ČETVRTI RAZRED GIMNAZIJE

1. izdanje



2021.



Nakladnik

ALFA d. d. Zagreb

Nova Ves 23a

Za nakladnika

Miro Petric

Direktorica nakladništva

mr. sc. Daniela Novoselić

Urednica za Prirodu, Biologiju i Kemiju

mr. sc. Daniela Novoselić

Recenzija

prof. dr. sc. Ines Radanović

izv. prof. dr. sc. Maja Matulić

Snježana Đumlija, prof.

Lektura i korektura

Kristina Ferenčina

Likovno i grafičko oblikovanje

Edita Keškić

Ilustracija

Igor Bojan Vilagoš

shutterstock.com

Fotografija

arhiva Alfe

shutterstock.com

Digitalno izdanje

Alfa d. d.

Mozaik Education Ltd.

Tehnička priprema

Alfa d. d.

Tisak

Denona d.o.o.

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika rješenjem Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske:

KLASA: **UP/I-602-09/21-03/00038**, URBROJ: **533-06-21-0002**, od **20. svibnja 2021.** godine.

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem **001103047**.

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT	CIJENA
132 str.	288 g	265 mm (v) x 210 mm (š)	115,00 kn

Digitalno izdanje dostupno je na digitalnoj platformi *mozaLearn* na internetskoj adresi **www.mozaweb.com/hr** pod identifikacijskim brojem **HR-ALFA-BIO4-3441**.

©Alfa

Ova knjiga, ni bilo koji njezin dio, ne smije se umnožavati ni na bilo koji način reproducirati bez nakladnikova pismenog dopuštenja.

Mozaik Education Ltd. zadržava intelektualno vlasništvo i sva autorska prava za komercijalne nazive *mozaBook*, *mozaWeb* i *mozaLearn*, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.

SADRŽAJ

1. Od genotipa do fenotipa

1.1. Građa i funkcija genoma	8
1.2. Nastanak proteina	15
1.3. Udvostručavanje DNA.....	23

2. Nasljeđivanje

2.1. Mendelovi zakoni	32
2.2. Teorije evolucije.....	39
2.3. Određivanje spola i svojstva vezana uz spol.....	46
2.4. Proširenje i izmjena osnovnih principa nasljeđivanja	57

3. Genetičko inženjerstvo

3.1. Alati molekularne biologije u genetičkom inženjerstvu.....	66
3.2. Primjena genetičkoga inženjerstva	72

4. Evolucija

4.1. Kozmička, kemijska i biološka evolucija.....	82
4.2. Tragovi u prošlost.....	90
4.3. Nastanak novih vrsta.....	106

Dragi učenice, draga učenice,

ove školske godine, u četvrtom razredu gimnazije, na nastavi iz predmeta Biologija proširit ćeš i upotpuniti znanja iz različitih disciplina biologije – znanosti o životu. Stranice ovog udžbenika sadrže teme koje su povezane u četiri tematske cjeline: *Od genotipa do fenotipa*, *Nasljeđivanje*, *Genetičko inženjerstvo* i *Evolucija*.

U tim tematskim cjelinama upoznat ćeš molekularnu osnovu živog svijeta, nastanak proteina, udvostručavanje molekule DNA, Mendelove zakone nasljeđivanja, alate molekularne biologije u genetičkom inženjerstvu te njegovu primjenu, kozmičku, kemijsku i biološku evoluciju, dokaze evolucije te nastanak novih vrsta.

Svaka tematska cjelina u ovom udžbeniku počinje ilustracijom ili fotografijom s pitanjem koje će te motivirati na promišljanje, istraživanje i uočavanje različitih bioloških procesa. Zatim slijedi popis tema koje su dio tematske cjeline, zajedno s ključnim konceptima te ishodima učenja.

U tekstu su tamnije otisnuti važni (ključni) pojmovi koji su bitni za izgradnju bioloških koncepata.

Između glavnih dijelova teksta nalaze se tekstovi pod nazivom *BioInfo* te *Uči (uoči) na primjeru*, a čiji sadržaji donose zanimljivosti iz biologije. Oni će ti pomoći u povezivanju bioloških tema sa svakodnevnim životom. Vjerujemo da su sadržaji tih rubrika unutar tvojih interesa i znatiželje pa će te potaknuti na daljnje istraživanje i pobuditi tvoje zanimanje za biologiju.

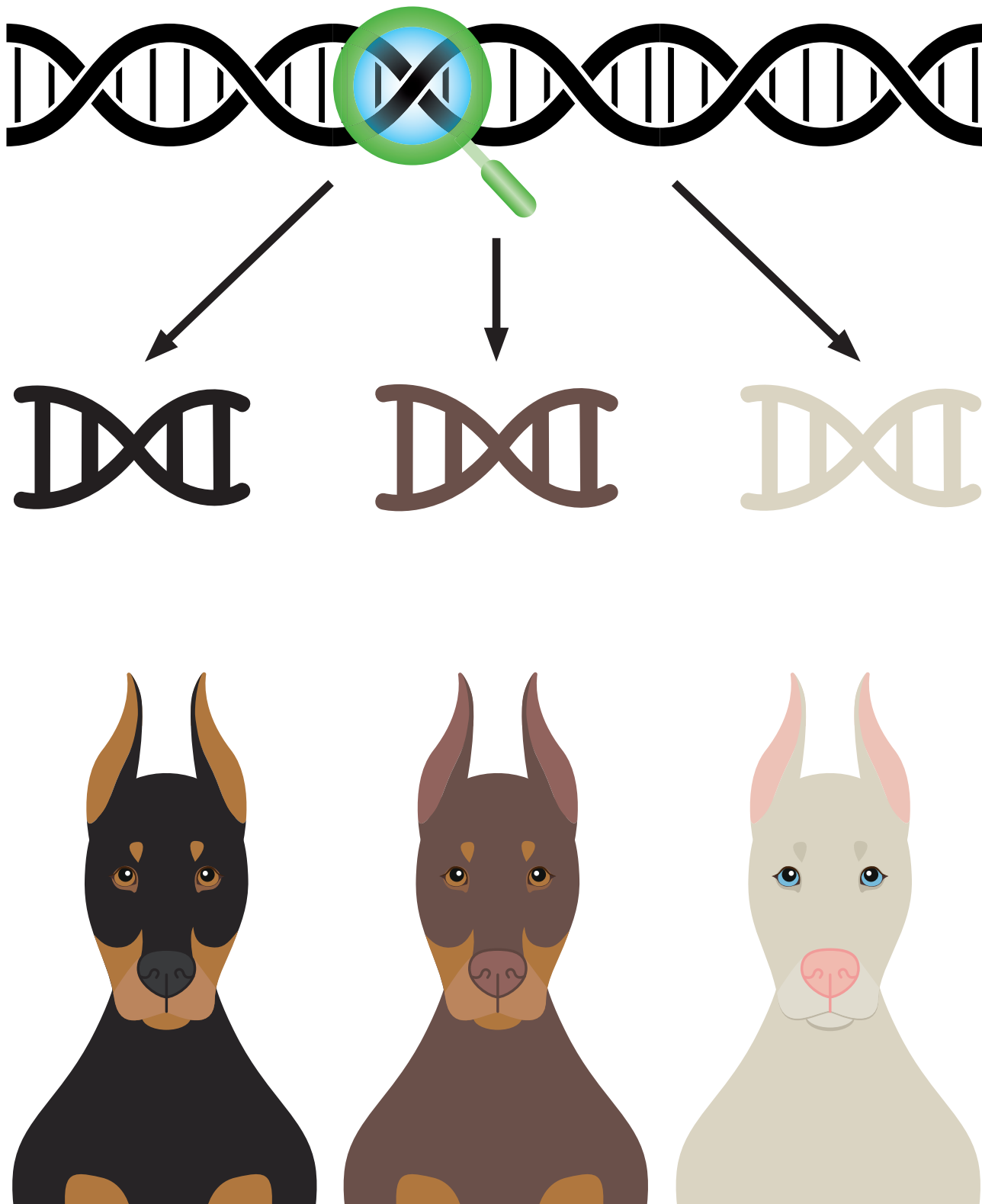
Pitanja u rubrici *Provjeri znanje* omogućuju ti provjeru razumijevanja sadržaja nastavne teme. Rubrika *Sažetak* kratak je prikaz najvažnijih informacija nastavne teme.

Prirodnoznanstveni pojmovnik sadrži kratak opis pojmova koji proširuju spoznaje o temi. Uvršteni pojmovi mogu ti pomoći kao smjernice za daljnje istraživanje nastavne teme.

Elektronički udžbenik sadrži videozapise, animacije i dinamičke 3D modele s prikazima, animacijama i kvizovima.

U proučavanju sadržaja ovog udžbenika potrebnu pomoć pružit će ti tvoj nastavnik. Ako ti u budućoj profesiji biologija i ne bude u fokusu, vjerujemo da će ti se dopasti ljepota njezine logičnosti i mnogostruke primjene u životu. Učeći sadržaje biologije, stvaraš cjeloživotna temeljna znanja, stoga ti na kraju srednjoškolskog obrazovanja želimo puno uspjeha u radu.

1. OD GENOTIPA DO FENOTIPA



Ključni koncepti:



- ★ informacija o svim živim bićima zapisana je u njihovoj DNA
- ★ na temelju informacije u DNA nastaju proteini koji određuju građu i funkcioniranje živih bića
- ★ na građu živih bića, osim informacije zapisane u DNA, utječe i okoliš
- ★ informacija zapisana u DNA prenosi se s generacije na generaciju procesom replikacije koji prethodi diobi
- ★ osnovni stanični procesi na molekularnoj razini isti su kod svih živih bića
- ★ promjene u DNA rezultiraju promjenama u proteinima, tj. građi i funkcijama stanice/organizma

1.1. Građa i funkcija genoma

1.2. Nastanak proteina

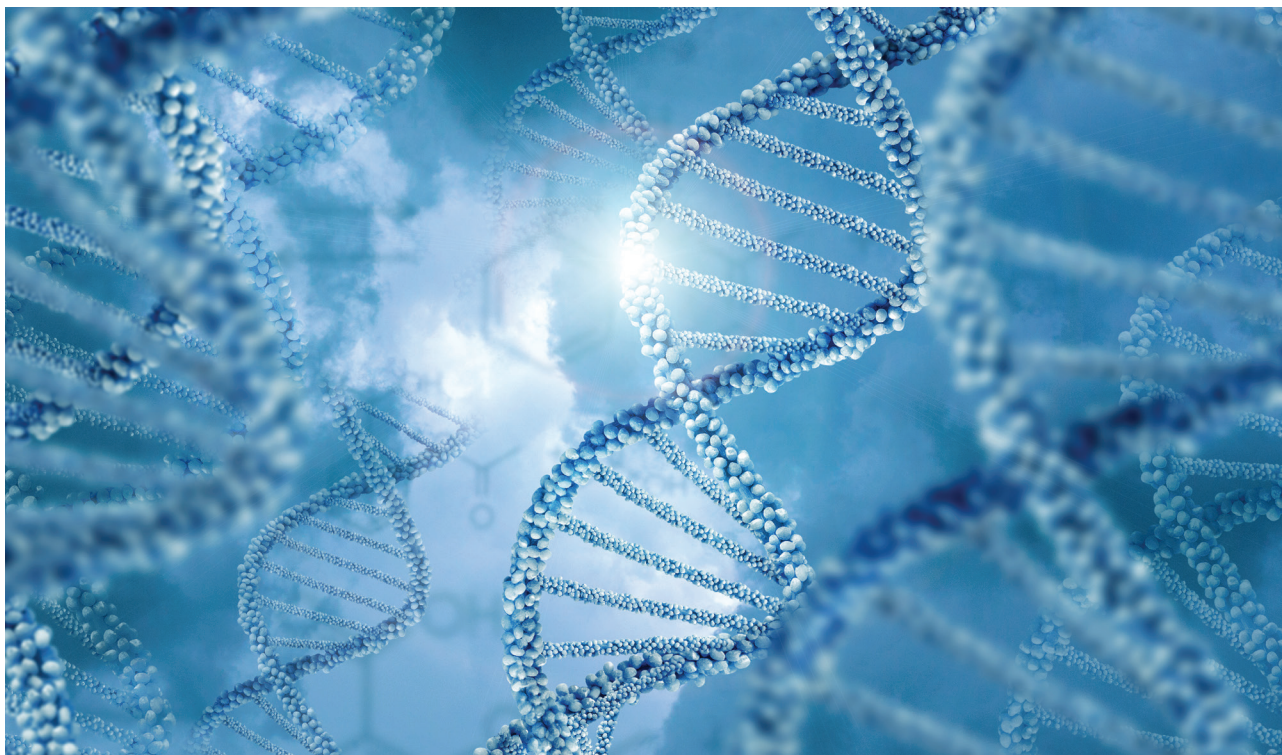
1.3. Udvostručavanje DNA

Kad proučiš ovu cjelinu, moći ćeš:



- ★ objasniti molekularnu osnovu živoga svijeta (A.4.1.)
- ★ objasniti životne procese na molekularnoj razini (B.4.2.)
- ★ raspravljati o iskorištavanju energije na različitim organizacijskim razinama živoga svijeta (C.4.2.)
- ★ primijeniti osnovna načela i metodologiju znanstvenoga istraživanja kritički prosuđujući rezultate, analizirati posljedice razvoja znanstvene misli tijekom povijesti (D.4.1.).

1.1. GRAĐA I FUNKCIJA GENOMA



► Što određuje građu i način funkcioniranja svih živih bića?

Kad proučiš ovu temu, moći ćeš:

- ★ objasniti građu molekule DNA
- ★ povezati građu DNA s njezinom funkcijom
- ★ analizirati građu genoma
- ★ raspravljati o važnosti ispravnog pakiranja i smještaja molekule DNA u stanici.

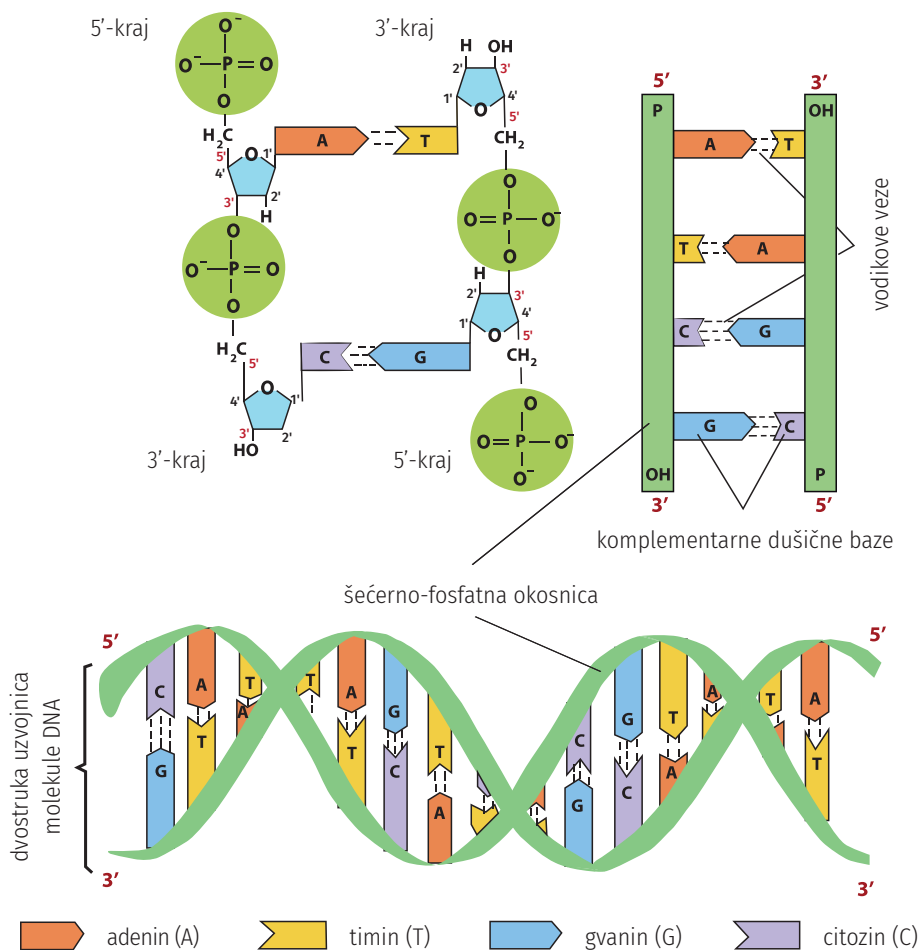
Sva živa bića imaju zajedničke osnovne procese poput rasta, razmnožavanja, metabolizma i sl. Ono što im je dodatna zajednička značajka na molekularnoj razini jest genom. Genom svih živih bića predstavljaju molekule DNA. One se nalaze u gotovo svakoj stanici svakog organizma i nose ukupnu nasljednu uputu za svako živo biće. Njihova je kemijska građa u svakom živom biću jednaka, dok se kod različitih živih bića razlikuju veličinom, oblikom i sadržajem. Molekule DNA mogu biti kratke ili duge, kružne ili linearne, mogu sadržavati gusto pakirane gene (dijelove koji daju uputu, tj. kodiraju protein ili RNA) ili gene koje međusobno odvajaju dulji odnosno kraći nekodirajući dijelovi. Sadržaj genoma ono je što nas sve čini istodobno sličnima i različitima, tj. ono što određuje našu srodnost i što je uputa na temelju koje živi organizmi nastaju, građeni su i funkcioniraju.

Građa genoma

Već znamo da je molekula DNA kod svih živih bića dvolančana molekula i da se svaki polinukleotidni lanac (polimerna molekula) sastoji od monomera, u ovom slučaju deoksiribonukleotida. Deoksiribonukleotidi se sastoje od **šećera deoksiriboze, fosfatne skupine** i određene **dušične baze**. Pritom su dušične baze odgovorne za povezivanje lanaca jer se među bazama jednog lanca i bazama drugog lanca stvaraju vodikove veze. Nukleotidi se u oba lanca nalaze spojeni u smjeru 3' prema 5' (oznake temeljene na broju ugljikovih atoma u šećeru pentozi na koji je vezana fosfatna skupina), a lanci su smješteni antiparalelno. Dušične baze u oba su lanca precizno raspoređene na temelju komplementarnosti. Baze mogu biti purinske i pirimidinske. Purinske su adenin (A) i gvanin (G), a pirimidinske su citozin (C) i timin (T). Purinske baze su građene od dva heterociklička prstena, a pirimidinske od jednog. Adenin se u molekuli DNA uvijek veže za timin, a gvanin uvijek za citozin. (Slika 1.1.1.)

Molekule DNA sadrže sve informacije potrebne da bi na temelju njih neko živo biće bilo građeno i funkcioniralo. Te su informacije zapisane u redosljednu nukleotida pa je sekvencija nukleotida ono što predstavlja ukupnu nasljednu informaciju prisutnu u svakoj stanici, tj. **genom**. Kod prokariota jedna kružna molekula DNA čini genom, dok kod eukariota genom čine najmanje dvije linearne molekule DNA.

Slijed nukleotida nekog genoma organiziran je u različite funkcionalne jedinice, od kojih je najpoznatija ona koju nazivamo **gen**. Gen je sekvencija DNA, dio genoma koji nosi uputu za neki produkt (molekulu RNA ili protein) pa kažemo i da su geni kodirajući dijelovi DNA. Geni mogu biti raspoređeni tako da dolaze jedan za drugim, a mogu biti i raspršeni po genomu pa ih tada razdvajaju nekodirajuće sekvencije. (Slika 1.1.2.)



► Slika 1.1.1. Građa molekule DNA

Značajka je prokariota da imaju gusto složene gene s malo nekodirajućih sekvencija, dok se kod eukariota nalazi različita količina nekodirajućih sekvencija između gena – što je organizam razvijeniji, to je više nekodirajućih regija genoma. (Slika 1.1.2.)

Ispred gena nalazi se regija koju nazivamo **promotor**. To je sekvencija koja ne nosi informaciju za produkt, već je ona dio koji označava početak gena i omogućava njegovo očitavanje. Geni sadrže informaciju zapisanu u obliku kôda. Kôd čine tripleti dušičnih baza. Kod eukariota geni se sastoje od eksona i introna. Eksoni su dijelovi koji nose kôd, a između njih su nekodirajući dijelovi – introni. (Slika 1.1.2.)

Kod prokariota, geni nemaju introne. Često su organizirani u veće funkcionalne jedinice koje nazivamo **operoni**. Operone čini jedan promotor i nekoliko uzastopnih gena pa je tako očitavanje više gena kontrolirano jednim promotorom.

Kod svih živih bića geni nose informaciju za neki produkt i na temelju te informacije izgrađena je stanica i u njoj se odvijaju nužni procesi.

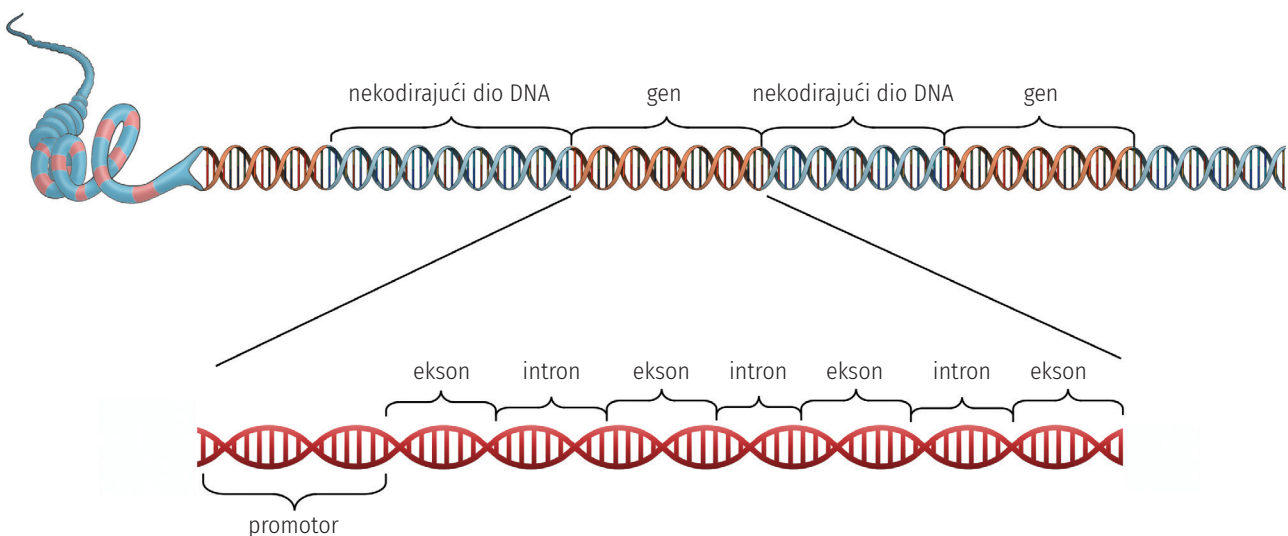
Virusi, koje poznajemo kao infektivne čestice, nisu živa bića, ali imaju genom. Njihov genom može biti molekula DNA ili molekula RNA, a obje mogu biti ili dvolančane ili jednolančane. Virusni genom, poput genoma živih bića, sadrži sve informacije koje su virusu potrebne da bude specifično građen i da specifično funkcionira. Te su informacije i u virusnom genomu zapisane u obliku gena.

BIOINFO

- sekvenciranje genoma

Očitavanje redoslijeda nukleotida u molekuli DNA naziva se sekvenciranje DNA. Prve metode koje su omogućile sekvenciranje osmislili su Frederick Sanger, Alan Coulsoni, Allan Maxam i Walter Gilbert. Sangerovo sekvenciranje metoda je koja se temelji na sintezi molekule DNA, a Maxam-Gilbertova metoda temelji se na razgradnji molekule DNA.

Walter Gilbert i Frederick Sanger dobili su 1980. godine Nobelovu nagradu za njihov doprinos vezan uz određivanje slijeda baza u nukleinskim kiselinama („for their contributions concerning the determination of base sequences in nucleic acids“). Nagradu u području kemije podijelili su s Paulom Bergom, koji je nagrađen za doprinos u području istraživanja biokemije nukleinskih kiselina s posebnim naglaskom na rekombinantnu DNA.



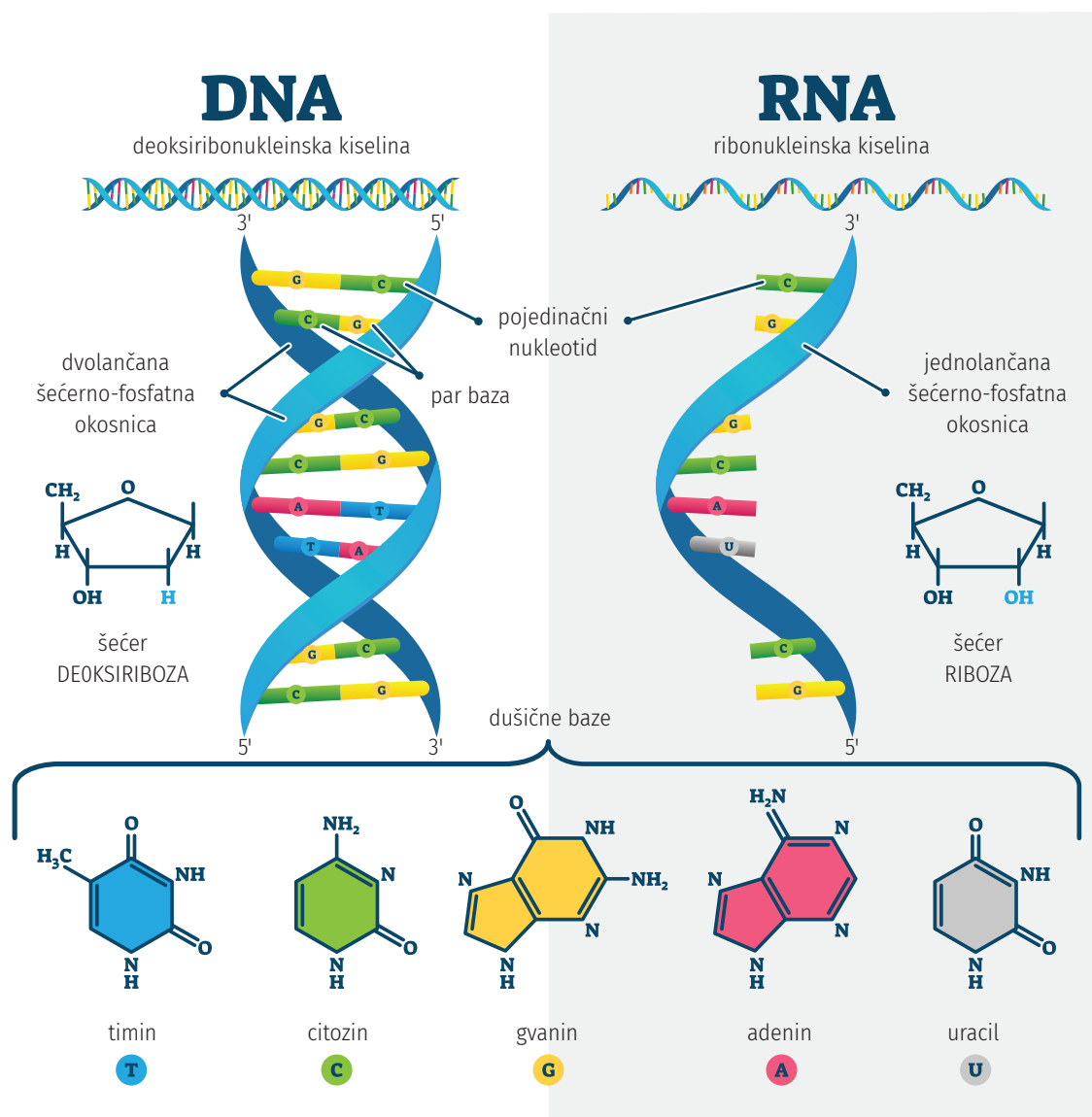
► Slika 1.1.2. Prikaz eukariotskog genoma koji sadrži nekodirajuće dijelove i kodirajuće dijelove – gene. Geni se sastoje od introna i eksona, a ispred njih se nalazi promotor.

Funkcija genoma

Budući da genom predstavlja ukupnu nasljednu uputu, tj. informaciju o tome kako stanica treba izgledati i koje funkcije treba obavljati, njegova je osnovna funkcija pohrana informacija. Informacije koje su pohranjene u onom dijelu genoma koji čine geni uputa su za izgradnju RNA i proteina.

Molekule **ribonukleinske kiseline** (RNA, od engl. *ribonucleic acid*), sudjeluju u osnovnim molekularnim procesima stanice i ključne su za usmjeravanje tih procesa.

Molekule RNA kemijskom su građom slične molekula DNA, no imaju posve drukčije zadaće. Sastoje se od **jednog polinukleotidnog lanca**, a njegovi su monomeri ribonukleotidi. Ribonukleotidi se razlikuju od deoksiribonukleotida po vrsti šećera pa se tako sastoje od fosfatne skupine, **šećera riboze** i dušične baze. Dušične baze mogu, kao i kod deoksiribonukleotida, biti adenin, citozin i gvanin, no umjesto timina ribonukleotidi sadrže **uracil**. U polimeru su, baš kao i deoksiribonukleotidi, povezani u smjeru 3' prema 5'. (Slika 1.1.3.)



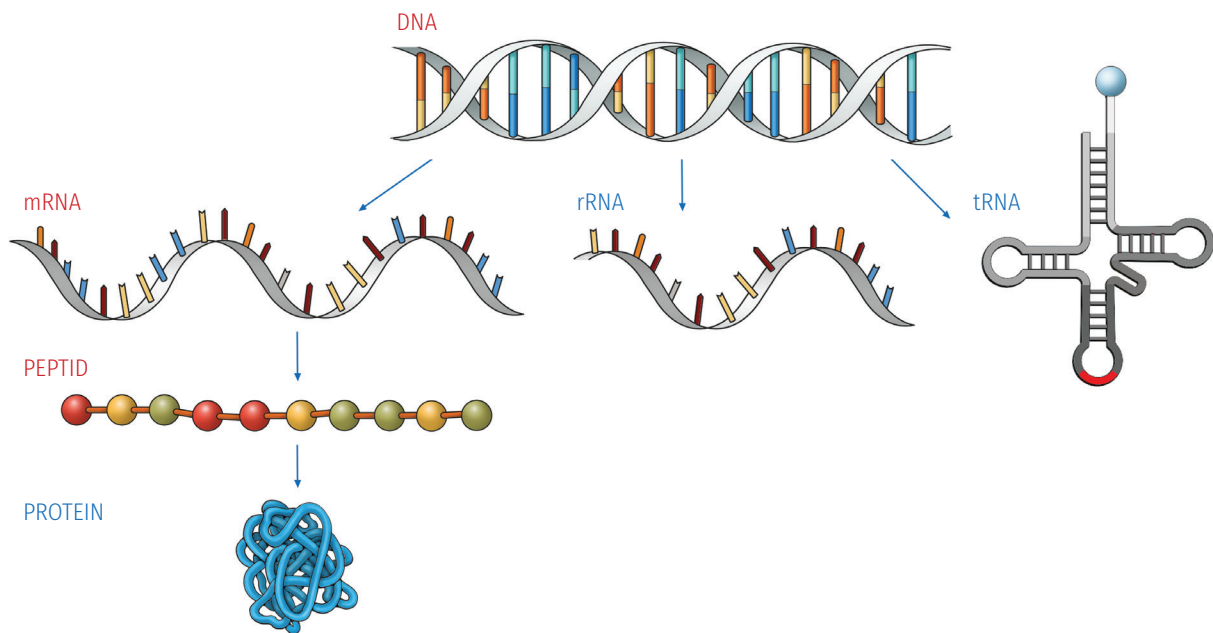
► Slika 1.1.3. Sličnosti i razlike između molekula DNA i RNA.

Postoje različiti tipovi molekula RNA. Najpoznatije su **glasnička RNA (mRNA)** (od engl. *messenger RNA*), **ribosomska RNA (rRNA)** i **transportna RNA (tRNA)**. Osim njih u posljednje vrijeme sve se više istražuju male RNA (mikroRNA ili miRNA), koje su važne za regulaciju nastanka proteina.

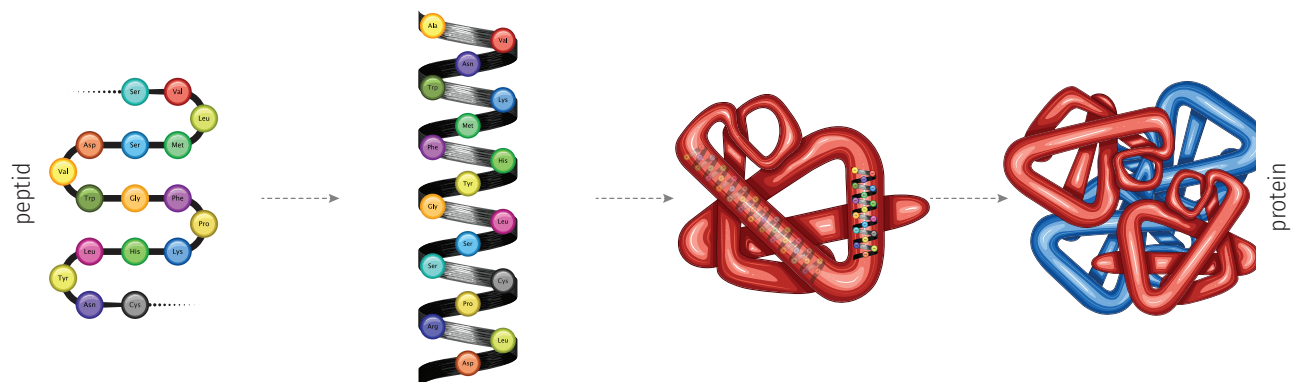
Molekule mRNA nastaju kao prijepis gena koji kodiraju proteine, a funkcija im je prijenos informacije pohranjene u genomu od jezgre do ribosoma – mjesta u stanici gdje se proizvode proteini upravo na temelju upute koju prenose molekule mRNA. Ribosomske RNA također su prijepis gena, no u ovom

slučaju riječ je o genima koji ne nose informaciju za proteine, već su rRNA završni produkti koji nastaju na temelju upute u genu. Molekule rRNA sastavni su dio ribosoma. Molekule tRNA najmanje su od triju osnovnih vrsta RNA te imaju ulogu u dopremanju pojedinih aminokiselina koje se ugrađuju u peptid na ribosomu. (Slika 1.1.4.)

Postoji 20 različitih aminokiselina koje se peptidnim vezama povezuju u peptide. Niz aminokiselina koji se naziva peptid u stanici se smata s obzirom na kemijske interakcije među aminokiselinama i njihovim dijelovima pa tako nastaju funkcionalni proteini. (Slika 1.1.5.)



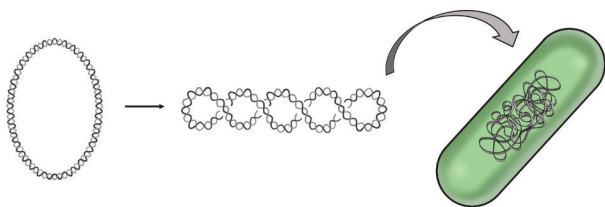
► Slika 1.1.4. Geni, kodirajuće regije genoma, nose informaciju za izgradnju molekula RNA i proteina.



► Slika 1.1.5. Peptidi koji nastanu na temelju informacije pohranjene u genomu postupno se smataju da bi na kraju nastali funkcionalni proteini.

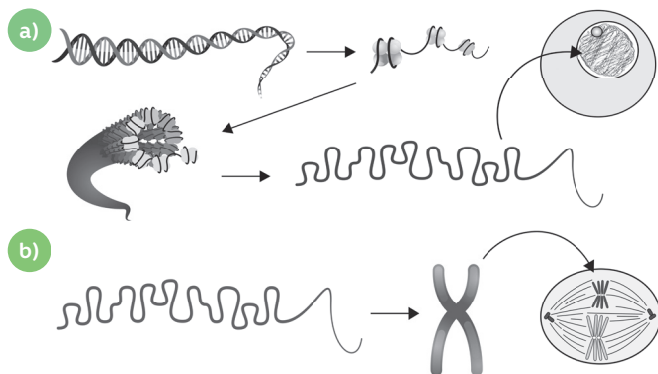
Proteini su molekule od kojih su izgrađena sva živa bića, a u stanici imaju različite funkcije – osim strukturne (dio su stanične membrane, izgrađuju ribosome, čine stanični kostur i dr.), imaju i ulogu regulacije osnovnih molekularnih procesa, djeluju kao enzimi i signalne molekule (hormoni), imaju ulogu u obrani organizma (antitijela) itd.

Da bi funkcija genoma mogla biti ostvarena, tj. da se uputa koja je pohranjena u njemu može prenositi kroz generacije i očuvati, molekula DNA mora biti zaštićena, ali i dostupna staničnim mehanizmima onda kada iz nje trebaju očitati neku informaciju. Genom prokariota relativno je kratka molekula DNA. Kružna dvolančana uzvojnica u stanicama bakterija često je dodatno smotana tako da se omata sama oko sebe, a nalazi se u citoplazmi. (Slika 1.1.6.)



► Slika 1.1.6. Način smatanja bakterijskog genoma

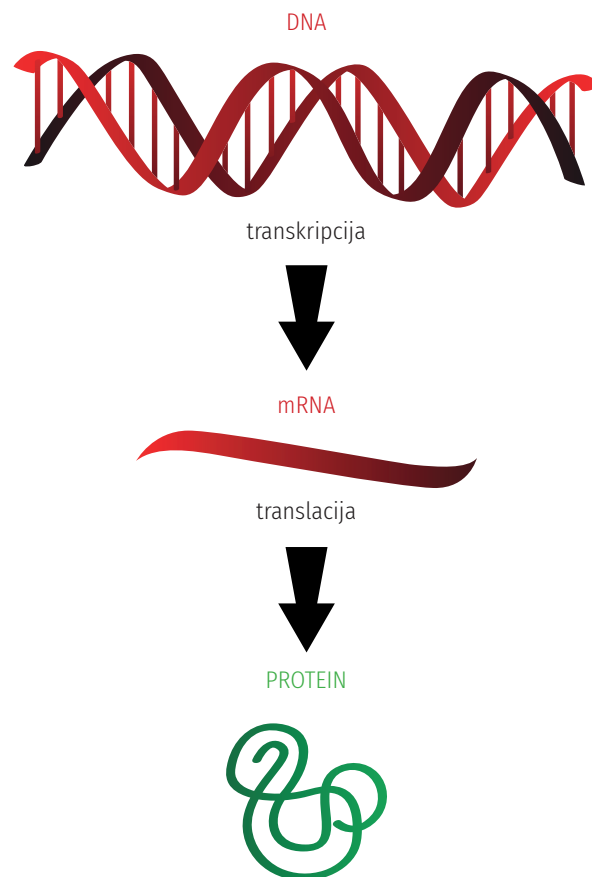
Genom eukariota koji sačinjavaju duge linearne molekule DNA pohranjen je u jezgri stanica. Te su molekule DNA dvostruke uzvojnice koje se preciznim omatanjem oko histonskih proteina još kompaktnije slažu i čine kromatin u interfaznoj jezgri koji se dodatno kondenzira pa stvara kromosome tijekom diobe stanice. (Slika 1.1.7.)



► Slika 1.1.7. a) DNA se u eukariotskoj stanici pakira u oblik kromatina da bi mogla biti pohranjena u jezgri stanice u interfazi. b) Tijekom diobe stanice kromatin se dodatno kondenzira i stvara kromosome.

Dvostruka molekula DNA koja je dodatno smotana stabilan je oblik pohrane informacija. No danas vjerujemo da nije uvijek bilo tako. Prve molekule koje su imale funkciju prijenosa informacije bile su molekule RNA. Budući da su one jednolančane, kraće i time nestabilnije od molekula DNA, tijekom evolucije molekula DNA preuzela je funkciju genoma živih bića.

Osim potrebe za sigurnom pohranom informacija, postoji potreba i za njihovom dostupnošću. Da bi se uputa pohranjena u genomu mogla očitati, genom, osim što mora biti zaštićen od oštećenja, mora istodobno biti dostupan kako bi stanica na temelju njegove upute mogla proizvesti molekule RNA i proteine. Očitavanje informacije precizno je regulirano i kod prokariota i kod eukariota. Temeljni proces regulacije kod svih živih bića je isti, samo je kod prokariota nešto jednostavniji, zbog čega iziskuje i manje energije. Očitavanje informacije prvi je korak u nastanku nekog proteina. Nastanak pojedinog proteina sastoji se od dvaju dijelova: transkripcije i translacije. U njima sudjeluju molekule RNA i mnogobrojni proteini koji su već prisutni u stanici. (Slika 1.1.8.)



► Slika 1.1.8. Nastanak proteina sastoji se od transkripcije i translacije.

SAŽETAK

Genom je ukupna nasljedna informacija na temelju koje su građena sva živa bića, koja određuje molekularne procese u stanicama. Kod živih bića genom čini dvolančana molekula DNA, dok virusi za genom mogu imati jednolančane ili dvolančane molekule DNA ili RNA. Najpoznatije funkcionalne jedinice genoma su geni – sekvencije DNA koje nose kôd za određenu molekulu RNA ili protein. Postoje različiti tipovi molekula RNA: mRNA prenosi zapis o proteinu, rRNA sačinjava ribosom, tRNA donosi aminokiseline u procesu stvaranja peptida. Proteini koji nastaju složenim procesima na temelju upute u genomu obavljaju u stanici velik broj različitih funkcija, npr. izgrađuju stanicu i sve njezine komponente, djeluju kao enzimi, služe kao signalne molekule i osiguravaju obranu organizma od patogena.

PROVJERI ZNANJE

1. Što je osnovna funkcija genoma?
2. Što su kodirajući dijelovi genoma i zašto ih tako zovemo?
3. Koje su sličnosti, a koje razlike u građi molekula DNA i RNA?
4. Zašto je važno da genom sačinjava stabilna makromolekula?
5. Što je zajedničko, a u čemu se razlikuju genomi prokariota i eukariota?

PRIRODOZNAJSTVENI POJMOVNIK

Nukleotidi su molekule koje predstavljaju monomere od kojih su izgrađene nukleinske kiseline. Sastoje se od šećera pentoze, fosfatne skupine i dušične baze.

Dušične baze su male prstenaste organske molekule koje sadržavaju atom dušika koji ima kemijska svojstva baze.

Aminokiseline su monomeri koji izgrađuju peptide i proteine (polimerne molekule). Sastoje se od dviju funkcionalnih skupina, aminoskupine i karboksilne skupine, i bočnog lanca koji je specifičan za svaku od njih.

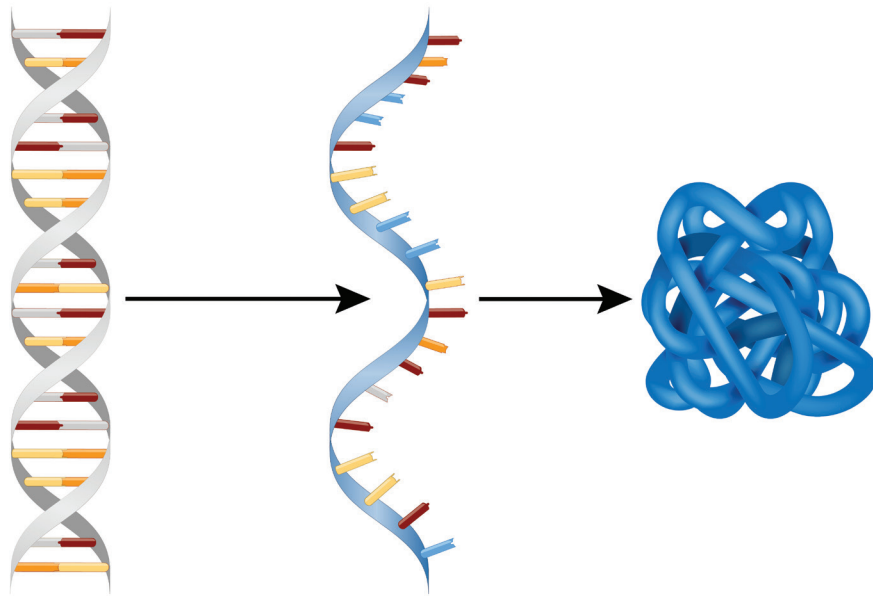
Vodikove veze su intermolekulske privlačne sile koje uzrokuju privlačenje između dipola. U molekuli DNA stvaraju se između nasuprotnih lanaca i tako uzrokuju nastanak dvolančane strukture.

Kovalentne veze temelje se na dijeljenju elektronskog para između dvaju atoma. One u molekulama DNA i RNA povezuju nukleotide i tako stvaraju šećerno-fosfatnu okosnicu.

Peptidne veze specifičan su oblik kovalentnih veza. Njima se aminokiseline međusobno povezuju kako bi se stvorili peptidi.

Rekombinantna ili **rekombinirana DNA** je molekula DNA koja se sastoji od dijelova genoma više donora povezanih u jednu molekulu.

1.2. NASTANAK PROTEINA



► *Kako stanica zna kada i kakve proteine treba proizvesti?*

Kad proučiš ovu temu, moći ćeš:

- ★ objasniti procese prijenosa informacije od genoma do ribosoma
- ★ objasniti proces izgradnje proteina
- ★ raspravljati o povezanosti pojmova *genotip* i *fenotip*
- ★ raspravljati o važnosti precizne regulacije nastanka proteina.

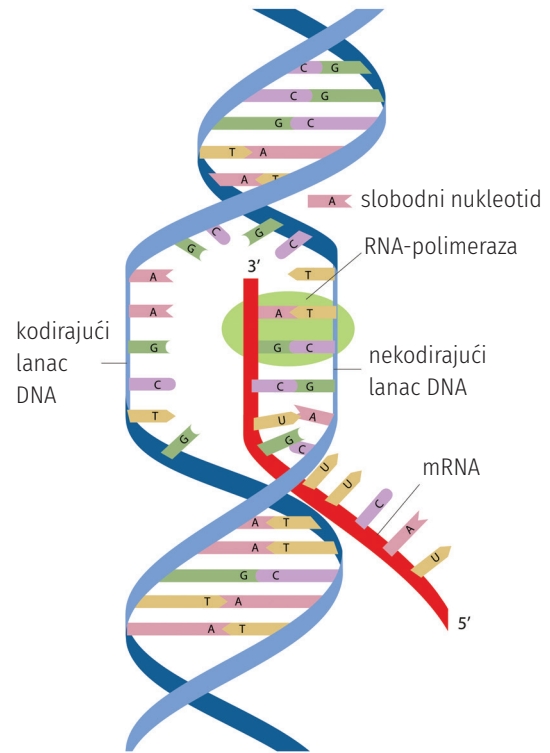
Svaka stanica, bez obzira na to je li riječ o stanici koja je ujedno i čitav organizam ili o stanici koja je dio kompleksnog organizma građenog od velikog broja tkiva i sustava, komunicira s okolišem i drugim stanicama oko sebe. Ta interakcija podrazumijeva i

signale koji stanici kažu da je u određenom trenutku života potrebno proizvesti određene proteine. Ponekad je riječ o potrebi za strukturnim proteinima jer stanica ulazi u diobu pa će novonastalim stanicama trebati sve iste komponente kao i stanici iz koje nastaju, ponekad je to potreba za daljnjim prijenosom signala pa stanica proizvodi protein koji izlučuje kao signalnu molekulu koja će dalje prenijeti informaciju, npr. hormon, ponekad je ta potreba uzrokovana osnovnim funkcijama poput metabolizma pa stanica proizvodi enzime itd. U svakom slučaju, proces kojim će stanica odgovoriti na poruku da postoji potreba za nekim proteinom pokrenut će niz događaja. Uputa za određeni protein morat će se pronaći u genomu, genom će na tome mjestu morati postati dostupan mašineriji koja će prepisati uputu u oblik poruke koju će poslati do ribosoma i na kraju će se ta poruka morati prevesti u aminokiselinski niz, koji će završno dati funkcionalan protein. Cijeli taj niz događaja sastoji se od dva osnovna dijela: transkripcije i translacije.

Transkripcija

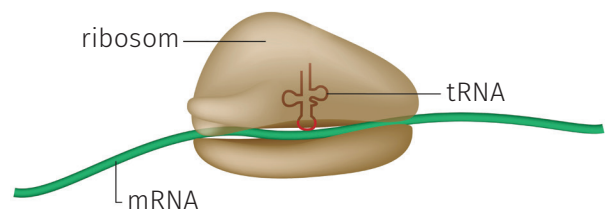
Transkripcija je proces kojim nastaju sve molekule RNA prepisivanjem slijeda nukleotida molekule DNA, no ovdje ćemo je razmotriti na primjeru nastanka mRNA jer je to jedina molekula RNA koja nosi informaciju na temelju koje nastaju neki drugi produkti, tj. proteini.

Transkripcija započinje kada u stanici postoji potreba za proizvodnjom nekog proteina. Tada se dio uzvojnice DNA koji nosi uputu za taj protein mora odmotati, moraju se odvojiti lanci DNA da bi uputa postala dostupna za očitavanje i mora se na temelju precizne upute zadane u kôdu stvoriti mRNA. Enzim koji prepoznaje mjesto u genomu koje je potrebno očitati zove se **RNA-polimeraza**. Kod prokariota ona sama prepoznaje promotor gena koji će prepisati, a kod eukariota ona je dio složenog kompleksa koji obuhvaća velik broj drugih vrsta proteina. Jednom kada se RNA-polimeraza smjesti na početak gena, započinje prepisivanje upute koja se u njemu nalazi. Taj se proces odvija tako da ona prepoznaje deoksiribonukleotide u DNA koji sačinjavaju kôd i prepisuje ih po principu komplementarnosti povezujući ribonukleotide u molekulu RNA. Princip komplementarnosti tijekom transkripcije takav je da se za svaki deoksiribonukleotid koji sadržava citozin u DNA u RNA ugrađuje ribonukleotid koji sadržava gvanin i obrnuto, a za svaki deoksiribonukleotid koji sadržava timin u RNA se ugrađuje onaj ribonukleotid koji sadrži adenin. No kada deoksiribonukleotid u DNA sadržava adenin, u RNA se ugrađuje ribonukleotid koji sadrži uracil, a ne timin. Ribonukleotidi se povezuju u smjeru 5' prema 3', a nastala **mRNA** predstavlja niz **kodona** koji su zapravo prijepis kôda iz molekule DNA. Lanac molekule DNA s kojeg se očitava uputa zove se nekodirajući lanac, dok se onaj koji ne služi kao kalup RNA-polimerazi naziva kodirajući lanac. Zbog toga je slijed baza u kodirajućem lancu jednak onom u molekulama RNA, osim što se umjesto timina u molekuli RNA na tim pozicijama nalazi uracil. Nekodirajući lanac DNA komplementaran je kodirajućem lancu DNA, ali i molekuli RNA koja je s njega prepisana, iako su i ovdje iznimka uracili, a ne timini u RNA. (Slika 1.2.1.)



► Slika 1.2.1. Transkripcija je proces kojim na temelju zapisa u DNA nastaju molekule RNA po principu komplementarnosti.

Kod prokariota DNA je smještena u samoj citoplazmi jer nemaju jezgru pa je nastala mRNA točno na onome mjestu u stanici gdje će se povezati s ribosomom. Osim toga geni nemaju introne pa je nastala mRNA odmah spremna za prijenos informacije. Kod eukariota se transkripcija odvija u jezgri, iz nastale mRNA prvo se izrezuju dijelovi koji odgovaraju intronima, mRNA se dodatno dorađuje i kada je u potpunosti spremna za prijenos informacije, izlazi iz jezgre i odlazi u citoplazmu gdje se povezuje s ribosomima. Povezivanjem mRNA, ribosoma (koji sadrže rRNA) i tRNA započinje translacija. (Slika 1.2.2.)



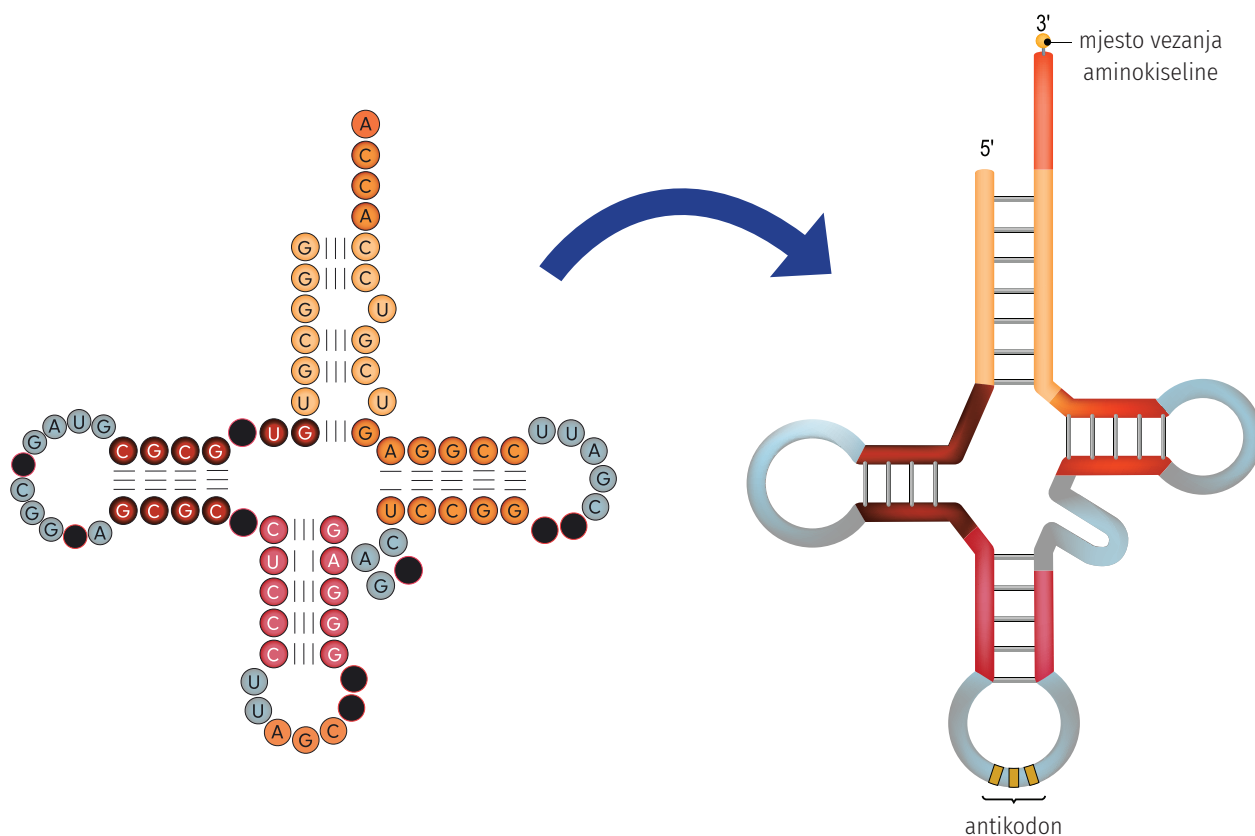
► Slika 1.2.2. Molekula mRNA prenosi uputu za proizvodnju proteina do ribosoma, povezuje se s njim i s tRNA pa se tako nakon transkripcije nastavlja sinteza proteina translacijom.

Translacija

Translacija se kod prokariota događa još dok traje transkripcija. Čim počne izgradnja mRNA, na nju se vežu ribosom i tRNA i tako se, dok se mRNA produkuje, već odvija i translacija. Kod eukariota dorađena se mRNA u citoplazmi povezuje s ribosomom i tRNA. Zbog toga je za proces nastanka proteina kod eukariota potrebno više energije pohranjene u obliku molekula adenozin-trifosfata (ATP) i gvanozin-trifosfata (GTP).

U oba se slučaja mehanizam prevođenja prijepisa gena odvija na isti način. U tom procesu sudjeluju male molekule RNA, **tRNA**. Molekula tRNA malena je molekula čiji se dijelovi međusobno povezuju zbog komplementarnosti sekvencija u istoj molekuli pa dvodimenzionalno imaju oblik djeteline s četiri lista. Na gornjem kraju te strukture nose aminokiseline, dok se na donjem kraju nalaze tri baze (triplet baza) koje nazivamo **antikodon**. (Slika 1.2.3.)

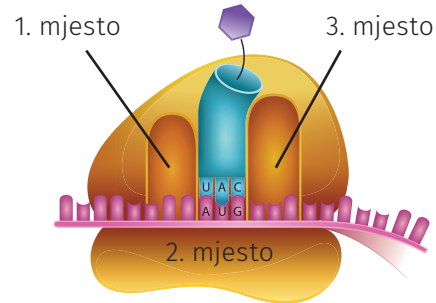
Svaki antikodon komplementaran je kodonu u mRNA, a kodoni su upute za specifične aminokiseline. Kodoni koji su tri uzastopne baze u mRNA (tripleti) uputa su za pojedine aminokiseline, no ima ih puno više nego aminokiselina. Dok aminokiselina ima 20 kod svih živih bića, kodona ima 64. Budući da se kôd temelji na postojanju četiriju različitih baza koje nose deoksiribonukleotidi, a jedan triplet može započeti bilo kojom od njih, postoji 4^3 , tj. 64 mogućih kombinacija. Jedan kodon predstavlja **start-signal**, mjesto s kojeg počinje translacija (ujedno i informacija za metionin), tri kodona predstavljaju **stop-signal**, mjesto koje je oznaka kraja translacije, a preostalih 60 kodona daje informaciju za preostalih 19 aminokiselina. Međutim, to ne znači da je svaka aminokiselina kodirana s tri kodona, već je broj kodona za pojedinu aminokiselinu različit.



► Slika 1.2.3. Struktura molekule tRNA.

Koji kodon odgovara kojoj aminokiselini može se iščitati pomoću tablice u kojoj je naveden genski kôd (Tablica 1. 2. 1). Genski kôd može se iščitati iz različitih prikaza ili popisa kodona, no najčešći je prikaz upravo ovakva tablica. U prvom stupcu lijevo odabere se simbol odgovarajuće prve baze tripleta pa se u redu koji taj simbol označava prema simbolima u redu iznad tablice odabere simbol druge baze tripleta. Presjekom odabranog reda i odabranog stupca dobije se pravokutnik u kojem se nalaze oznake četiriju kodona. Na kraju se prema zadnjem stupcu tablice odabere simbol treće baze tripleta. On označava red koji od četiriju kodona u dobivenom presjeku odabire jedan koji označava određenu aminokiselinu. Na primjer, vidimo da kodon AUG, koji je start-kodon, nosi uputu da se na prvo mjesto peptida koji će nastati ugrađuje aminokiselina metionin, kao i da su kodoni UAA, UAG i UGA stop-kodoni, tj. kodoni koji će označiti kraj izgradnje peptida i ne nose uputu ni za jednu aminokiselinu.

Genski kôd ključan je za izgradnju peptida/proteina. Oko molekule mRNA sklopi se ribosom tako da se na mRNA prvo veže njegova manja podjedinica. Onda se tRNA koja sadrži antikodon komplementaran start-kodonu poveže s mRNA i na kraju se kompleks upotpuni velikom podjedinicom ribosoma. Velika podjedinica ribosoma ima takvu konformaciju da se u njoj nalaze tri mjesta, od kojih je srednje ono na koje dolazi molekula tRNA koja nosi aminokiselinu. (Slika 1.2.4.)



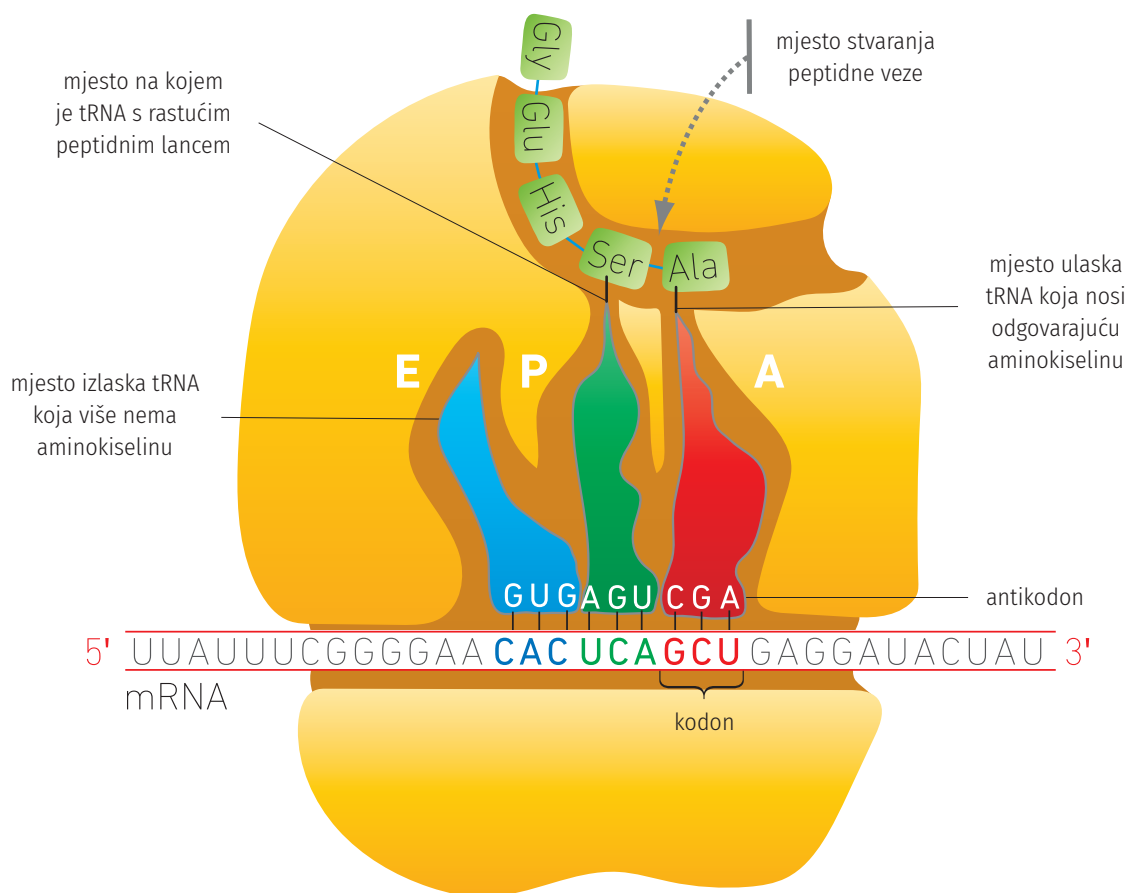
► Slika 1.2.4. Početak translacije.

► Tablica 1.2.1. Genski kod

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

U idućem koraku molekula tRNA koja sadrži antikodon komplementaran drugom kodonu u mRNA dolazi na treće mjesto u ribosomu. Metionin se s početne molekule tRNA peptidnom vezom veže za aminokiselinu na tRNA koja se nalazi na drugom kodonu, a molekula mRNA pomiče se ulijevo. Sada se tRNA koja sadrži antikodon komplementaran start-kodonu nalazi na prvom mjestu u ribosomu, na drugom mjestu nalazi se tRNA koja na svoju aminokiselinu ima vezan metionin,

a na treće mjesto u ribosomu ulazi tRNA koja sadrži antikodon komplementaran idućem kodonu u mRNA. Molekula tRNA koja ima antikodon komplementaran start-kodonu sada se nalazi na prvom mjestu u ribosomu i više nema aminokiselinu, otpušta se s ribosoma, a ciklus se ponavlja vođen redoslijedom kodona u mRNA. Na kraju, kada se pojavi neki od stop-kodona, u ribosom ne ulazi tRNA, nego specifičan protein koji označava kraj translacije. (Slika 1.2.5.)



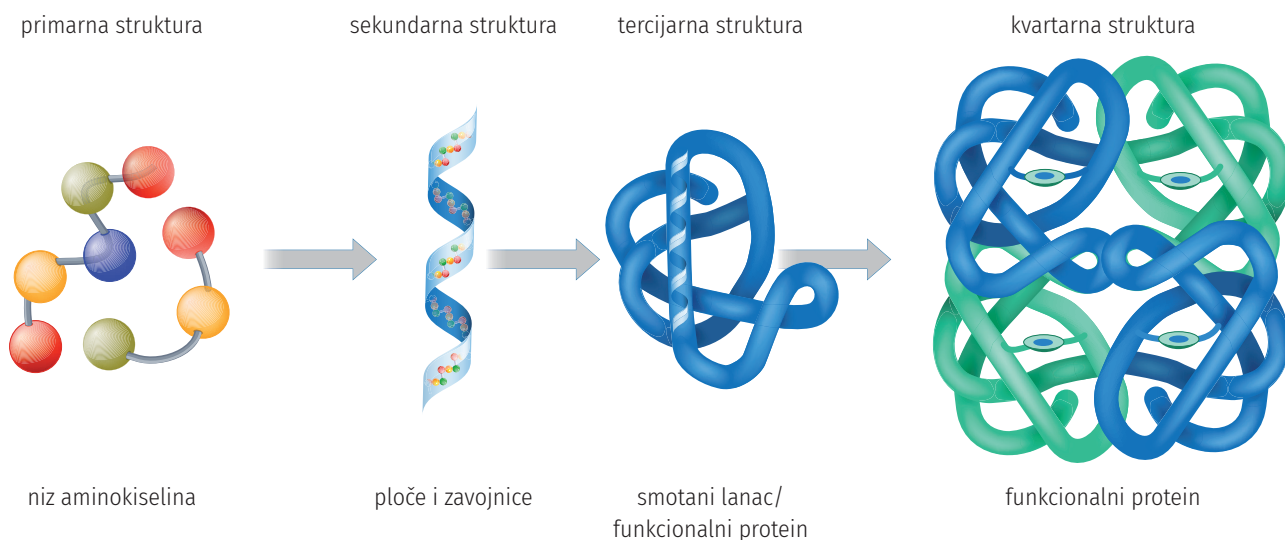
► Slika 1.2.5. Prikaz translacije.

Kada dođe do kraja translacije, otpušta se nastali peptid i razdvajaju se dijelovi ribosoma. Ribosomske podjedinice vezat će se na neku drugu mRNA i ponovo će započeti proces translacije, dok će novonastali peptid – uz pomoć već postojećih proteina – proći proces smatanja. Taj proces odvija se tako da se niz aminokiselina koji nazivamo **primarna struktura** smata na temelju kemijskih interakcija bočnih lanaca aminokiselina pa nastaje **sekundarna struktura**. Sekundarna struktura dalje se smata i zauzima završni prostorni oblik, tj. nastaje **tercijarna struktura**. Neki proteini već su sada spremni obavljati svoju funkciju pa je to za njihovo smatanje završna faza, a neki se udružuju s drugim proteinima da bi u zajedničkom kompleksu stvarali **kvartarnu strukturu** i postali funkcionalni proteini. (Slika 1.2.6.)

Na opisan način od zapisa u molekuli DNA nastaju funkcionalni proteini koji obavljaju različite funkcije u stanicama i određuju njihov identitet. Ipak, sve molekule mRNA ne moraju nužno ući u proces translacije. Ako nekog proteina ima previše ili više nije potreban stanici, mRNA koja nosi prijelaz po kojem bi on tre-

bao nastati neće se vezati za ribosom i neće započeti translacija. U takvoj regulaciji sinteze proteina sudjeluju molekule mikroRNA koje se vežu za mRNA pa onemogućavaju njezino vezanje s ribosomom ili je upućuju na razgradnju. Postoji više mehanizama koji reguliraju koliko kojeg proteina ima u stanici i koliko se kojega treba stvoriti, a svi su oni usklađeni da bi se optimalno iskoristila energija koja je stanici potrebna za život.

Virusi, koji imaju vlastiti genom sa svega nekoliko gena, nemaju sve što je potrebno za sintezu proteina. Oni u svom genomu najčešće imaju gene koji kodiraju proteine potrebne virusu za ulazak u stanicu domaćina, umnažanje vlastitog genoma ili za dodatne funkcije kojima virus najučinkovitije iskorištava stanične mehanizme za stvaranje svojih čestica. Nemaju ribosome ni gene koji kodiraju mašineriju potrebnu za sintezu proteina, stoga iskorištavaju te komponente stanice domaćina da bi proizveli sve što im je potrebno. Time utječu na stanične procese i narušavaju homeostazu stanice domaćina.



► Slika 1.2.6. Stvaranje funkcionalnog proteina.