

Filogenija najčešćih jadranskih riba hrskavičnjača (razred chondrichthyes) temeljena na strukturi citrokom oksidaze I

Benussi, Matteo

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:408638>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za prirodne i zdravstvene studije

MATTEO BENUSSI

**FILOGENIJA NAJČEŠĆIH JADRANSKIH RIBA HRSKAVIČNJAČA (RAZRED
CHONDRICHTHYES) TEMELJENA NA STRUKTURI CITOKROM OKSIDAZE I**

Završni rad

Pula, rujan, 2017. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za prirodne i zdravstvene studije

MATTEO BENUSSI

**FILOGENIJA NAJČEŠĆIH JADRANSKIH RIBA HRSKAVIČNJAČA (RAZRED
CHONDRICHTHYES) TEMELJENA NA STRUKTURI CITOKROM OKSIDAZE I**

Završni rad

JMBAG: 0303053795, redoviti student

Studijski smjer: Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru

Predmet: Genetika i evolucija

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

Znanstvena grana: Genetika, evolucija i filogenija

Mentor: doc. dr. sc. Mauro Štifanić

Pula, rujan, 2017. godine



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Matteo Benussi, kandidat za prvostupnika znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student: Matteo Benussi

U Puli, _____, _____ godine



IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Matteo Benussi, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „**Filogenija najčešćih jadranskih riba hrskavičnjača (razred Chondrichthyes) temeljena na strukturi citokrom oksidaze I**“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____ (datum)

Potpis

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Karakteristike Jadranskog mora	3
1.2. Temelji razumijevanja filogenije.....	4
1.2.1. Nastanak života i evolucija.....	5
1.2.2. Struktura i funkcija gena	9
1.2.3. Sistematika i taksonomija.....	11
1.3. Molekularna filogenija.....	13
1.3.1. Molekularni markeri	13
1.3.1.1. Citokrom oksidaza podjedinica I	14
1.3.2. Formiranje filogenetskog stabla	16
1.4. Ribe hrskavičnjače (razred Chondrichthyes)	22
1.4.1. Ugroženost hrskavičnih riba.....	23
1.4.2. Konzervacija riba hrskavičnjača	24
2. CILJ RADA	25
3. MATERIJALI I METODE	26
3.1. Odabir uzoraka	26
3.2. Filogenetska analiza.....	26
4. REZULTATI	28
4.1. Odabrani uzorci	28
4.2. Filogenetska procjena	29
5. RASPRAVA	31
6. ZAKLJUČAK	32
7. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	33
8. BASIC DOCUMENTATION CARD	34
9. LITERATURA	35
PRILOZI	39

1. UVOD

Započeto jednostavnim promatranjem, opisom, prenošenjem savjeta i znanja usmenom predajom, čovjek se sa svojim posebnim načinom razmišljanja izdigao što nas je odvojilo od ostalih živih bića na Zemlji i napravilo superiornom vrstom. Razvoj poljoprivrede omogućio je i sam razvoj civilizacije što je zapravo prekretnica i prema ranim razvojem naprednije znanosti upravo zbog veće mogućnosti otkrivanja, dokazivanja i korištenje drugih složenijih metoda osim jednostavnog promatranja kao jedinom metodom kojom su se stjecala prva znanja. Stoga tisuće godina ljudskih dostignuća, izuma, ubrzanog gospodarskog razvitka potaknuto industrijalizacijama došlo se do suvremenog napretka tehnologije, a time i znanosti. Današnja tehnologija dozvolila nam je da sagledamo svijet iz drugačije perspektive i time mijenjamo stara razmišljanja zamijenjena novim, bolje potkrijepljenima.

U svakom znanstvenom istraživanju postoji vrijedan period otkrića velikih umova koji ne smiju biti zaboravljeni. Najznačajniji su početne točke nekog dijela znanosti poput Carl von Linné-a koji je zaslužan za temelje biološke sistematike ili kasnije Charles Darwin za postavljenje teorije o evoluciji živih bića ili otkriće fosila koji su uspjeli potkrijepiti teoriju evolucije, te Watson-ovo i Crick-ovo otkriće strukture DNA. Bilo da se radi o otkrićima iz fizike, kemije, biologije, geologije ili bilo kojeg drugog polja, ona su važna za rađanje i grananje novih područja znanosti, novih znanstvenih disciplina. Zato su prije spomenuta otkrića, uz ostala ne manje vrijedna, stvorila temelj za bolje razumijevanje ekologije, evolucije, genetike i odgovaraju na pitanja o prapovijesnim događanjima, nastanku organizama, podrijetlu vrsta, izumiranju vrsta, njihove međusobne povezanosti i odnosa. Na tim temeljima danas postoje znanja, sredstva i metode, poput poznavanja mitohondrijskog genoma i Citokrom oksidaze I (COI) gena u mitohondriju kao molekularnog markera te stvaranje filogenetskog stabla putem kojeg je moguće lakše otkriti veze između organizama, pratiti tu vezu dalje prema zajedničkome pretku i sagledati evoluciju iz šireg kuta.

Danas se susrećemo s nepoznanicom kao što je broj vrsta. Opisano je oko 1.8 do 2 milijuna vrsta (Anderson i sur., 2015), ali se procjenjuje da je taj broj puno veći, u rasponu od 10 pa do čak 100 milijuna s time da se taj broj smanjuje zbog masovnog izumiranja kojem svjedočimo a uzrok je upravo industrijski napredak koji je usmjeren ka smanjenju ili čak istrebljenju vrsta i bioraznolikosti (theguardian, pristupljeno 9.9.).

Hrskavične ribe (razred Chondrichthyes) svoju prisutnost u vodenom svijetu broje otprilike 400 milijuna godine što ih čini evolucijski jednom od najstarijih skupinama

kralješnjaka na Zemlji. Također oni spadaju među najugroženije morske ribe Sredozemlja čiji su glavni uzroci uglavnom ribolovna djelatnost, a biološki čimbenici kao što su mala stopa reprodukcije , relativno mala gustoća populacije, spori rast, ograničeno rasprostranjenje ne mogu oporaviti nekadašnje stanje. U zapadnom Indijskom oceanu i centralnom Pacifiku te sjeveroistočnom Atlantiku zabilježena je najveća količina ulova te se pretpostavlja da u svijetu godišnje samo ulov morskih pasa premašuje oko 100 milijuna jedinki. Ovaj broj uključuje i desetke milijuna morskih pasa koji se love samo zbog njihovih leđnih peraja pri čemu se peraje odsijecaju a ostatak tijela životinje se uglavnom baca nazad u more te desetke milijuna jedinki stradali slučajnim ulovom. Stoga je i brojnost hrskavičnjača bila pokazala izraziti negativan trend, kao u svijetu tako i na Jadrana, u razdoblju od 1996. do 2008. godine. (dzsp, pristupljeno 8.9.2017)

1.1. Karakteristike Jadranskog mora

Jadransko more (eng. Adriatic sea) je dio Sredozemnog mora koje se nalazi na umjerenim geografskim širinama i zauzima ukupnu površinu od 138.600 km² i volumen od 35.000 km³. Njegov se oblik može opisati kao pravokutnik koji se proteže 800 km u dužinu i 200 km u širinu. More je omeđeno obalama država Italije, Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Crne Gore i Albanije u duljini od 3740 km. Jadransko more je poluzatvoreno i odvojeno Otrantskim vratima širine 75 km (između Italije i Albanije) gdje na jugoistočnom dijelu graniči s Jonskim morem. Jadransko more je podijeljeno na tri dijela: sjeverni Jadran (zračna linija: Pula-Rimini ili Ancona-Zadar), srednji Jadran i južni Jadran (zračna linija: Dubrovnik-Gargano). Sjeverni Jadran čini i najsjeverniju točku Sredozemnog mora. Prosječna dubina Jadranskog mora iznosi 173 m s time da sjeverni Jadran predstavlja najplići dio kontinentalne podine (prosjek 33,5 m), a u južnom Jadranu se nalazi najdublja točka, u Južnojadranskoj kotlini dubine 1233 m (Dulčić, 2005).

Temperatura ljeti iznosi od 22 do 26 °C, dok je zimi 6 do 12 °C na sjevernom Jadranu i 10 do 15 °C na južnom Jadranu. Prosječni salinitet Jadranskog mora iznosi 38 ‰, dok je na sjevernom Jadranu niži zbog utjecaja slatkovodnog donosa iz rijeke Po koja utječe i na samu cirkulaciju u Jadranu. Jadran ima tri glavne velike cjeline morske vode karakterizirane određenom kombinacijom temperature i saliniteta: Sjevernojadranska voda visoke gustoće (SVVG; 11°C, 38.5), Levantinska intermedijarna voda (LIV; 14°C, 38.7) i Južnojadranska duboka voda (JDV; 13°C, 38.6).

Flora i fauna Jadranskog mora rezultat je brojnih geoloških, geografskih, klimatskih i bioloških utjecaja koji su se odvijali tijekom njegova stvaranja (Jardas, 1996). Iako je Jadran dio Sredozemnog mora, on je također i zaseban biogeografska i ekološka jedinica što se može vidjeti prema sastavu i svojstvima prisutne biocenoze (Dulčić, 2005). Riblje vrste i podvrste koje su zapisane u Jadranskom moru su grupirane u dvije klase, 26 redova i 120 familija od čega 21 familija pripada klasi hrskavičnih riba (Chondrichthyes), dok ostatak spada u koštunjače (Osteichthyes). Konačni broj ribljih vrsta nije moguće u potpunosti odrediti zbog vrsta koje se možda povremeno pojavljuju i pojedinih vrsta koje su ulovljene samo jednom ili nisu ulovljene nikad (Dulčić, 2005).

1.2. Temelji razumijevanja filogenije

Filogenija je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem evolucijske prošlosti različitih taksonomskih kategorija, a za cilj ima pronalazak evolucijske poveznice između organizama analiziranjem promjena u različitim organizmima tijekom evolucije, pronalazak veze između pretka i potomka i promjena vremena razilaženja (divergencije) između grupa organizama koje ih dijeli od zajedničkog pretka. Korištenjem morfološkim, fiziološkim, embriološkim, genetskim, molekularnim, fosilnim i geografskim homologijama moguće je proučavati tijekom evolucijske prošlosti različite taksonomske skupine. Homologija je postojanje zajedničkih struktura ili gena, sličnosti između organizama, što može imati za rezultat postojanje različite funkcije (npr. organa) u različitim vrstama organizama, a razvijaju se pod utjecajem istih ili sličnih gena (Jelenić i sur., 2004).

Najbolji način za otkrivanje detalja o životu u davnoj prošlosti su fosilni ostaci. Fosil je ostatak nekoć živućeg organizma sačuvani u stijeni koji mogu biti podijeljeni na tri vrste: tjelesni fosili, fosilni tragovi i kemijski fosili. Tjelesni fosili su obično tvrdi dijelovi poput ljuštura, kosti, zubi. Fosilni tragovi (ihnofosili) su ostaci sačuvani u stvrdnutom sedimentu, poput otiska stopala i posljednji kemijski fosili se sastoje od razgrađenih organskih tvari iz molekula živih bića poput fosilnog DNA izvađenog iz zuba ili kostiju (Palmer i sur., 2009).

Iako se u fosilnim zapisima sačuva samo mali dio života na Zemlji, oni su najzaslužniji za većinu ljudskih spoznaja o prapovijesnom životu i njegovu razliku u promijenjenim uvjetima koji su vladali na Zemlji. Fosilni zapisi pokazuju da se život razvio u moru te kako je izlazio na kopno uspostavili su se prvi ekološki odnosi biljaka i životinja (Palmer i sur., 2009).

Glavni cilj filogenije je rekonstruirati stablo života odnosno filogenetsko stablo gdje se mogu prikazati sve poveznice između grupa organizama (Nei, Kumar, 2000) uz poznavanje evolucijskih bitnih događaja na Zemlji koji sežu natrag milijardama godina.

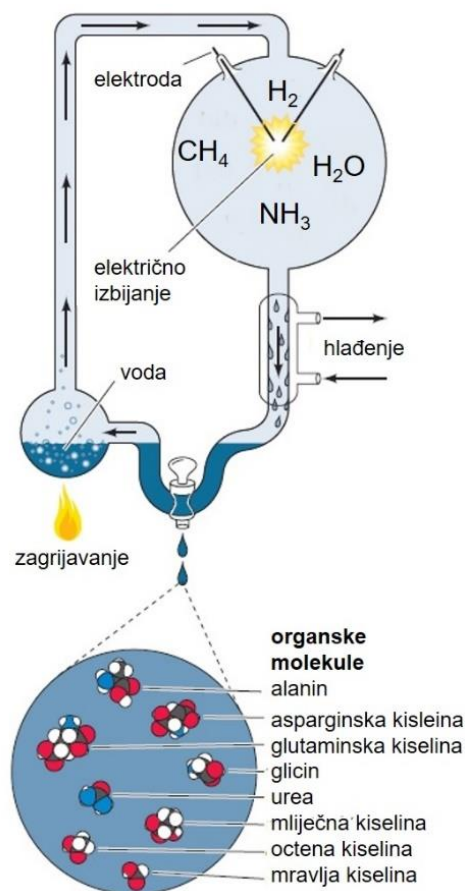
1.2.1. Nastanak života i evolucija

Geološkom kronologijom (slika 1.) mogla se podijeliti Zemljina prošlost pri čemu je takva standardizirana vremenska ljestvica postala pomagalo za razumijevanje glavnih evolucijskih događaja na Zemlji kao što je razvitak života.

EON	ERA	PERIOD	EPOHA	PR. MILIJUNA GODINA	
FANEROZOIK	KENOZOIK	neogen	holocen	0,017-danas	
			pleistocen		
			pliocen		
			miocen	5,332	
		paleogen	oligocen	33,9	
			eocen		
	MEZOZOIK	kreda	gornja	65,6	
			donja	145,5	
		jura	gornja	175,6	
			srednja		
		trijas	gornji	228,7	
			srednji		
	PALEOZOIK	perm	donji	251,0	
			lopingij		
			gvadalupij	270,6	
		karbon	pensilvanij	cisuralij	
			gornji		307,2
				srednji	
			donji		318,1
		misisipij	gornji	345,3	
			srednji		
		devon	gornji		385,3
			srednji		416,0
				donji	
silur			pridolij	422,9	
			ladlov		
		venlok	443,7		
	landoverij				
ordovicij	gornji	471,8			
	srednji				
	donji				
kambrij	furongij	499			
	serija 3	528			
	serija 2				
	donja serija	542			
PRETKAMBRIJ	PROTEROZOIK	edikarij	635		
		kriogenij			
		tonij	1000		
		stenij			
		ektasij	1400		
	ARHAIK	PALEOPROTEROZOIK	kalimij		
			staterij	1800	
		MEZOARHAIK	orosirij	2300	
			riacij		
NEOARHAIK	siderij	2500			
MEZOARHAIK		2800			
PALEOARHAIK		3600			
EOARHAIK		4000			

Slika 1. **Geološka kronologija.** Sustav najveće dijelove naziva eonima, a pod njima po duljini slijede ere, period, epohe (McNamara i sur.,2015).

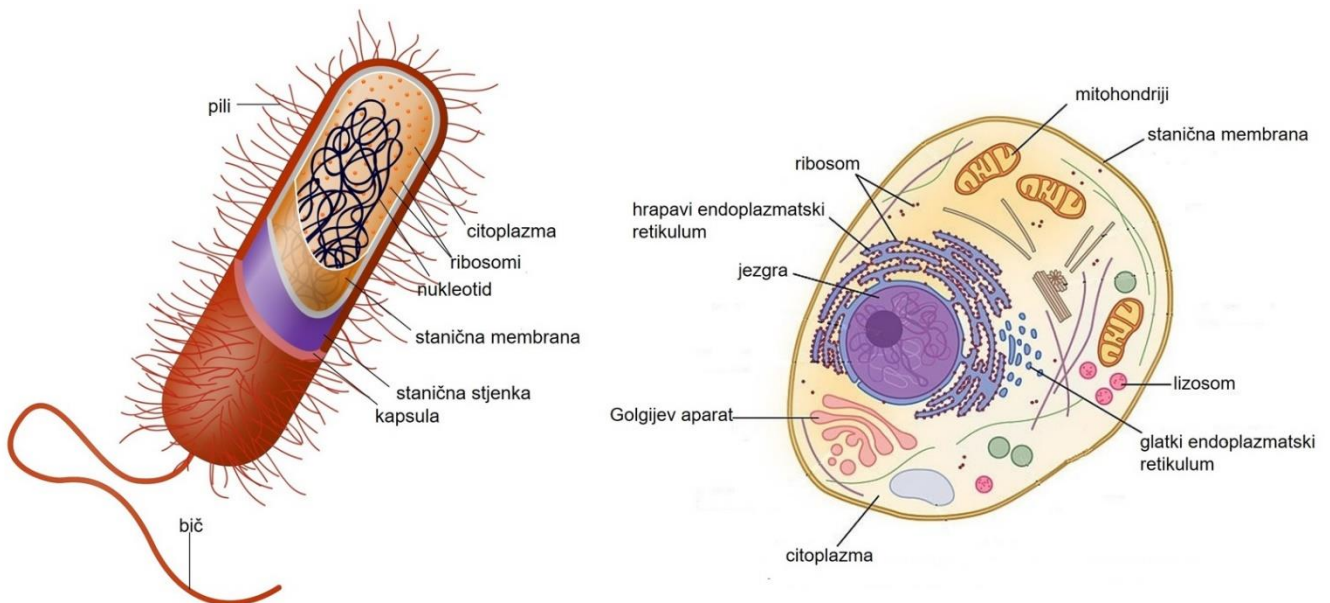
Pretpostavka je da se život razvio, diversificirao i od sitnih oceanskih mikroba pretvorio u milijune vrsta koje danas obitavaju na Zemlji u razdoblju duljem od 3,8 milijardi godina. Iako se nastanak prve stanice u potpunosti nije mogao razumjeti zbog teškog laboratorijskog reproduciranja uvjeta primitivne Zemljine atmosfere kakvi su postojali nekada nakon njenog formiranja, dvadesetih godina prošlog stoljeća po prvi se put predložilo spontano polimeriziranje jednostavnih molekula u makromolekule. Spontano formiranje organskih molekula je dokazano Miller-Uryjevim eksperimentom (slika 2). Iako se putem eksperimenta nisu u potpunosti ponovili uvjeti početne primitivne atmosfere Zemlje, jasno se pokazalo vjerojatnost spontane sinteze organskih molekula kao materijali koji će kasnije služiti za nastanak živih organizama, a bitna osobina makromolekule iz koje se razvio život ja bila njezina sposobnost repliciranja. (Cooper i Hausman, 2004).



Slika 2. Prikaz Miller-Uryjevog eksperimenta spontanog formiranja organskih molekula (Cooper i Hausman, 2004)

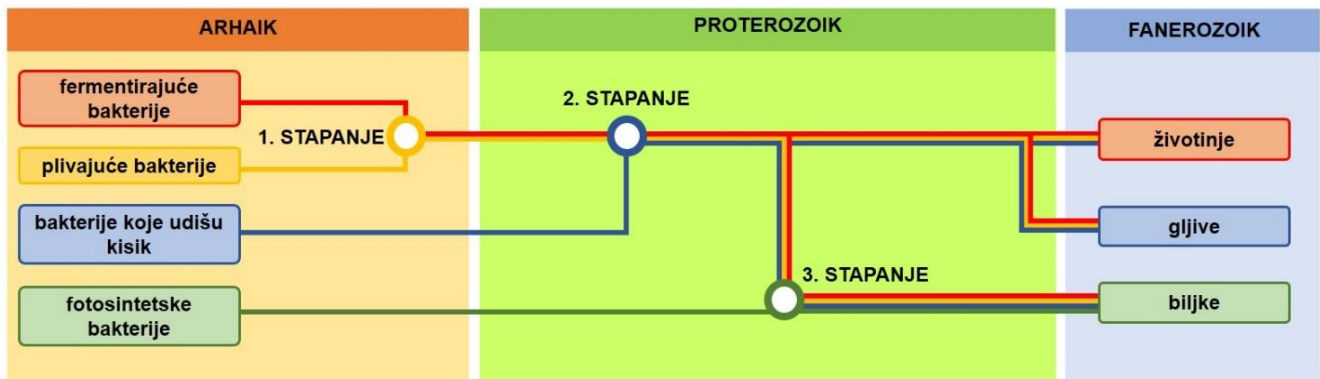
Vjeruje se da je RNA bila prva struktura zaslužna za rane stupnjeve kemijske evolucije temeljena na samoreplicirajućim molekulama RNA koja je evoluirala u današnji genetički kod i bila zamijenjena DNA kao genetičkim materijalom (Cooper i Hausman, 2004).

Okruživanjem molekule RNA membranom građene od amfipatskih molekula i evolucijom metabolizma, proizvodnje energije potrebne za replikaciju, razvoja fotosinteze i oksidativnog metabolizma nastala je jednostavna prokariotska stanica cijanobakterija bez stanične jezgre a nakon toga i prvi eukariotski organizam sa jezgrom i drugim organelima što čini prve razlike između ta dva tipa života (slika 3).



Slika 3. Prokariotska ili bakterijska stanica (lijevo) i Eukariotska desno stanica, njihova građa i razlike (Preuzeto sa getmededu 9.9.2017)

Prvi nastanak eukariotskog života još u eonu arhaika moguće da se pojavio postepeno simbiotičkim stapanjem različitih vrsta bakterija koja se zbivalo tijekom više milijardi godina (slika 4.) Pretpostavlja se da je bilo tri glavnih stapanja. U prvom stapanju fermentirajuće arheobakterije s jezgrom za pohranu DNK i nadzor stanične kemije su se stopile sa plivajućim eubakterijama koje imaju bičeve za kretanje. Drugo stapanje koje se desilo u proterozoiku povezuje bakterije koje udišu kisik i primitivne eubakterije čime bakterije koje udišu kisik postaju mitohondriji za pohranu energije. Zadnje, treće, glavno stapanje se odvijalo sa algama i fotosintetskim cijanobakterijama čime one postaju stanični kloroplasti i postaju preci današnjim biljkama (Brasier i sur.; 2009).



Slika 4. Prikaz nastanka složenijih eukariotskih stanica (Braseir i sur.,2009)

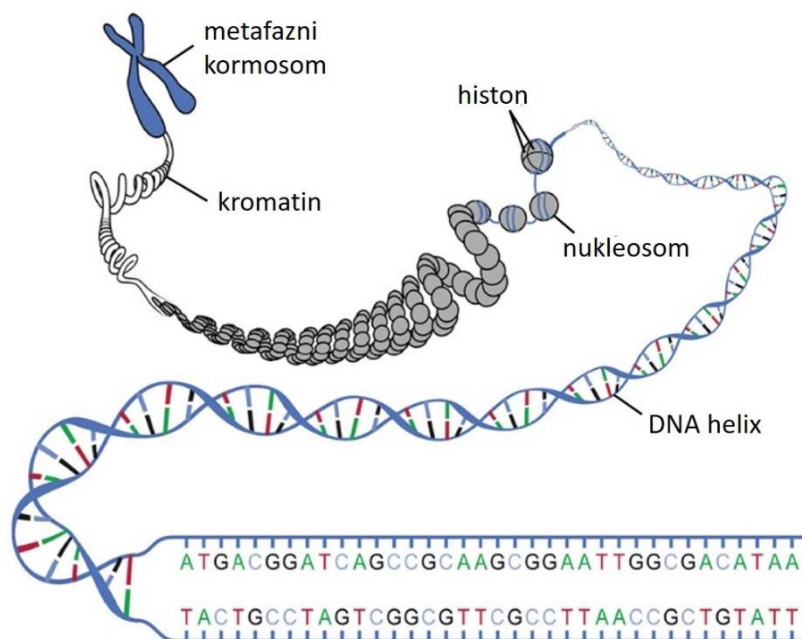
Daljnijim događajima stvarali su se sve složeniji višestanični organizmi, eukarioti, i dovelo do nastanka novih prehrambenih navika i prehrambenih lanaca što je potaknulo proces odabira, prirodne selekcije i natjecanja tj. evoluciju.

Charles Darwin i Alfred Russel Wallace bili su potaknuti mnogim idejama i pitanjima o prirodi života, njegovu početku i povijesti, a 1858. godine su zajedno objavili sažetak o teoriji evolucije (Palmer i sur., 2009). Evolucija je znanstvena teorija koja tvrdi da se geni biljaka i životinja odnosno njihova genetička struktura mijenja prolaskom vremena preoblikujući se i prilagođavajući uvjetima života na Zemlji. A direktan uzrok prilagodbe je zapravo mutacija gena. Stoga imamo mikroevoluciju u kojoj dolazi do genetskih promjena i dovode do nastanka novih vrsta i makroevoluciju koja podrazumijeva promjene u višim sistematičkim skupinama (npr. porodice) (Palmer i sur., 2009).

Nasljedna genetička varijabilnost je osnova Darwinove i Wallaceove teorije evolucije. Većina vrsta koje su živjele na Zemlji do danas su izumrle, ali geni su preživjeli u živućim potomcima. Specijacija je proces u kojim nove vrste nastaju od pretka i odvija se putem fragmentacije populacije, odnosno dolazi do geografske i genetske različitosti skupine iste vrste. Također masovna izumiranja koja su se odvijala su dozvoljavala unutar adaptivne radijacije, napredak i diversifikaciju drugih vrsta i otvaranje novih ekoloških niša (Barnosky i sur 2011).

1.2.2. Struktura i funkcija gena

DNA (eng. Deoxyribonucleic acid) molekula čiju su trodimenzionalnu strukturu otkrili James Watson i Francis Crick je građena od dva polinukleotidna lanca, a svaki od njih je građen od četiri različita nukleotida. Nukleotid grade šećer deoksiriboza, fosfatna skupina i jedna od četiri moguće dušične baze koje diferenciraju svaki nukleotid. Dušične baze se dijele na purine poput Adenin [A] i Gvanin [G] te pirimidine poput Timin [T] i Citozin [C]. Dvolančana molekula DNA omotana je oko svoje zamišljene osi u uzavojnicu koju se naziva dvostrukim helixom. Polinukleotidne lance vežu vodikove veze između baza te postoji kao što je prije spomenuto specifično sparivanja baza komplementarnih nukleotida tako da se baza adenin jednog lanca sparuje sa timinom drugog lanca dvostrukom vodikovom vezom, a baza gvanin sa bazom citozin trostrukom vodikovom vezom. DNA molekula gradi gen, kodiranu informaciju u obliku nasljednih jedinica, a skupina gena čini genom, ukupnu genetičku informaciju za nasljeđivanje (slika 5.) (Pavlica, 2012).



Slika 5. Prikaz strukture DNA i gena (biology.stackexchange pristupljeno 12.9.)

Gen se može klasificirati u dvije skupine: protein kodirajući gen i RNA kodirajući gen. Protein kodirajući gen se transkripcijom pretvaraju u messenger RNA (mRNA) koji se potom translatairaju u aminokiselinske sljedove proteina odnosno polipeptide što je i centralna dogma molekularne biologije. RNA kodirajući gen proizvode transfer RNA (tRNA) bitne u prevođenju genetičke informacije mRNA u aminokiselinske sljedove

proteina, ribosomni RNA (rRNA) dio je ribosoma koji imaju ulogu u sintezi proteina i male jezgrene RNA (eng. small nuclear RNA; snRNA) koje su zatvorene u jezgri (Nei i Kumar, 2000).

Većina eukariotskih gena sadrži dijelove za kontrolu transkripcije i obradu primarnog transkripta RNA (eng. pre-messenger RNA; pre-mRNA). Primarni transkript sadrži kodirajuće dijelove koje nose informaciju za kodiranje aminokiselina u polipeptidne proizvode gena i nekodirajuće dijelove koji sadrže informaciju za važnu za reguliranje polipeptidnog produkta. Pojedini sljedovi nekodirajućeg dijela se režu u procesu proizvodnje mRNA i ti se sljedovi zovu introni dok ostatak čine egzoni (Nei i Kumar, 2000).

Kako su sve morfološke i fiziološke osobine organizma kontrolirane genetskom informacijom koju nosi DNA bilo kakva mutacija osobina su rezultat promjene u DNA kao što su supstitucije nukleotida s drugim nukleotidom (tranzicija zamjena između dva pirimidina $T \leftrightarrow C$ ili između dva purina $A \leftrightarrow G$ te transverzija zamjena između pirimidina ili purina; T ili $C \leftrightarrow A$ ili G), delecija nukleotida (gubitak jednog ili više nukleotida), insercija nukleotida (umetanje jednog ili više nukleotida) koji zajedno uzrokuju mutaciju pomaka okvira čitanja (engl. frameshift) i inverzija (promjena) nukleotida (Nei i Kumar, 2000).

1.2.3. Sistematika i taksonomija

Taksonomija (sistematika, klasifikacija) je znanstvena disciplina čija je zadaća utvrditi i navesti bitne osobine svih organizama koji danas žive na Zemlji i onih koji su živjeli u njezinoj geološkoj prošlosti (Bačić i sur., 2003).

Prema karakteristikama određenim morfologijom, embriologijom, fiziologijom, ekologijom, geografijom, ponašanjem i u novije vrijeme molekularnim karakteristikama sva se živa bića organiziraju u osam sistematskih kategorija: Nadcarstvo (lat. superregnum), Carstvo (lat. regnum), Koljeno (lat. phylum), Razred (lat. classis), Red (lat. ordo), Porodica (lat. familia), Rod (lat. genus) i Vrsta (lat. species) (Bačić i sur., 2003).

Vrsta je osnovna sistematska jedinica i kategorija koja zaista postoji. Naime hijerarhija može imati jedan dodatni stupanj ili više dodatnih stupnjeva što je rezultat ne pristajanja pojedine životinje u već oformljenu kategoriju. Zato se nadrazredi ili podredovi moraju postaviti kako bi se određena skupina prilagodila (Brock i sur., 2001).

Svaki organizam na Zemlji je srodan drugim organizmima te odlaskom dovoljno daleko u prošlost vidjelo bi se da sva živa bića dijele zajedničkog predaka, organizma od kojeg smo svi evoluirali. Taksonomija predstavlja princip putem kojeg se može shvatiti u kojem dijelu su se organizmi razdvojili unutar evolucijskog stabla i pronaći prikladna poveznica za objašnjavanje odnosa između svih organizama, no ona prvenstveno grupira organizme koji dijele zajedničke karakteristike. Prvi koji je ukazao na važnost sustavnog sistematiziranja živih bića i osmislio jednostavnu podjelu na biljke i životinje bio je grčki filozof Aristotel. Stoljećima kasnije slijedile su se Aristotelove stope i sami nazivi organizama su bili složeniji jer su dobili ime prema polinomnoj nomenklaturi. Naime naziv obične pčele je glasio „*Apis pubescens, torace subgrisea, abdomine fusco, pedibus posticis glabris utrinque margine ciliatis*“ što je više bio opis same vrste. (Girrotti, 1994.).

Znanstvenici su koristili polinomnu nomenklaturu mnogo godina jer nisu još shvaćali kolikoj količini organizama treba dati ime sve do perioda otkrića mnogih vrsta kada se uvidjela potreba za novim drugačijim sustavom nazivlja, odnosno binarnom nomenklaturom. Binarnu nomenklaturu i taksonomski sustav u kojem se klasificiraju sva živa bića na Zemlji unutar kategorija postavio je i objavio 1758. godine švedski prirodoslovac Carl von Linné u svom znanstvenom radu „Systema Naturae“ i time

uveo red u svijet prirode. U svom je desetom izdanju opisao 4400 životinjskih i 7700 biljnih vrsta kojima je dao znanstveni naziv vrste putem binarne nomenklature, čime je glomazan naziv obične pčele postao „*Apis mellifera*“. (Baier i sur., 2004)

Linne-ova temeljna klasifikacija koju je osmislio nastavila se koristiti i do današnjeg dana uz ispravke, poboljšanja i preinake koje zbog ograničene tehnologije u ondašnje vrijeme nisu mogle biti otkrivene. U 19. stoljeću važni znanstvenici među kojima su se nalazili i Charles Darwin, Jean-Baptiste Lamarck i Ernest Haeckel predstavili su novi sustav klasificiranja osnovan na evolucijskim odnosima što dovodi do drugačijeg sastavljanja filogenetskog stabla. (Quizlet, pristupljeno 8.9.2017.)

Sistematika i taksonomija je bila oduvijek jedna od kontraverznih područja u biologiji. Puno je slučajeva kada se više stručnjaka ne slaže oko opredjeljenja nekog organizma u podvrstu, vrstu, rod, familiju ili bilo koju drugu kategoriju dok je neslaganje u filogeniji manje jer podjela primarno obraća pažnju na evolucijski odnos organizma. Također oba dva područja biologije su usko povezana jer je klasifikacija organizma vođena utjecajem evolucijske povijesti. Stoga filogenetika ima važnu ulogu u otkrivanju znanstvenih osnova sistematike. Mnoge prednosti molekularne filogenije su iskorištene za promjenu određene klasifikacije nekoga organizma (Nei i Kumar, 2000).

1.3. Molekularna filogenija

Kao što je prije spomenuto, idealan pristup evolucijskoj povijesti svih organizama na Zemlji unutar filogenetskog stabla je korištenje fosilnih zapisa. Obzirom da se fosilni zapisi nalaze u fragmentima i nepotpuni su, istraživači su mogli uspoređivati samo morfološki i fiziološki i odgonetnuti evolucijsku povijest nekoga organizma prilikom čega se zbog njihove stalne promjene osobina nije moglo izraditi detaljno i u potpunosti točno filogenetsko stablo a time niti evolucijska povijest. Postignuća u molekularnoj biologiji promijenile su takvu situaciju. Ovaj pristup ima nekoliko prednosti u odnosu na određivanja odnosa putem morfoloških i fizioloških osobina. Prvo, DNA kao što je prije spomenuto sastoji se od četiri tipa nukleotida koji se mogu koristiti u usporedbi pri bilo kojoj grupi organizama. Genomi svih vrsta sadrže duge sljedove nukleotida i sadrži puno veću količinu filogenetskih informacija nego morfološke osobine. Zbog tih razloga se molekularna filogenija koristi za razjašnjavanje mnogih grananja filogenetskog stabla koje je bilo teško odrediti klasičnim putem (Nei i Kumar, 2000).

1.3.1. Molekularni markeri

Molekularni marker je DNA slijed korišten za označavanje ili praćenje određenog područja (lokusa) na određenom kromosomu. Otkrićem DNA strukture i funkcije 1950. omogućilo je daljnje razvijanje u području molekularne genetike. Metode DNA kloniranja, sekvencioniranja i hibridizacije razvijene 70-ih godina te DNA amplifikiranje i automatsko sekvencioniranje tijekom 80-ih godina vodilo je ka razvoju različitih vrsta genetičkih markera kada su se pojavila i prva istraživanja populacijske genetike putem mitohondrijske DNA (Collard i sur., 2004).

Molekularni markeri se primjenjuju u istraživanju genetike prirodnih i pripitomljenih populacija i načine unošenja promjene unutar tih populacija. Također se koristi pri mapiranju gena, označavanju gena, genetske raznolikosti, filogenetske analize, identifikaciju vrsta i dijagnosticiranju autosomalnih recesivnih genetičkih bolesti.

Tri su glavna tipa genetičkih markera: morfološki, biokemijski i DNA (molekularni) marker. Morfološki markeri obično predstavljaju fenotipska svojstva, poput boje, oblika, pigmentacije. Biokemijski markeri su mala količina različitih krvnih grupa i isoenzimi. Oni predstavljaju biokemijsko svojstvo koje se može određivati putem

proteinske elektroforeze te se uspoređuju razlike u poretku aminokiselina. Pojedini proteini se koriste za istraživanje genetičke različitosti i određivanja filogenetskog odnosa između vrsta. Ograničenost biokemijskih markera se pojavila kada je utvrđeno da je njihova varijabilnost kod nekih vrsta znatno niska (Odak i sur., 2002). Također često se nalaze u vrlo malom kodirajućem dijelu genoma i teško ih je detektirati elektroforezom i okolišni čimbenici imaju veliki utjecaj na njih pri čemu se degradiraju. (Odak i sur., 2002).

DNA (molekularni) markeri predstavljaju fragmente DNK i omogućavaju razlikovanje pojedinih genotipova na temelju DNK analize.. Ovi markeri su locirani na nekodirajućem području DNA i prednost je što okolišni uvjeti ne utječu na njih (Collard i sur., 2004).

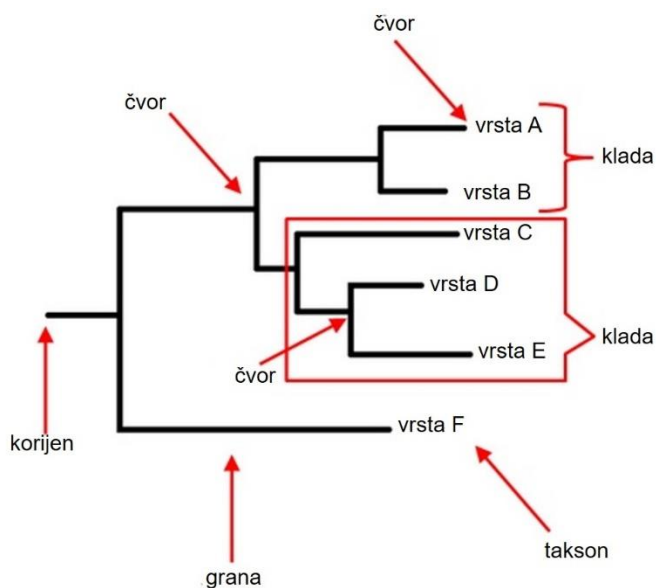
1.3.1.1. Citokrom oksidaza podjedinica I

Citokrom oksidaza podjedinica I je protein poznat i kao mitohondrijski kodirana citokrom c oksidaza I (MT-COI). Citokrom c oksidaza i je glavna podjedinica kompleksa citokrom c oksidaze koji ima ulogu u oksidacijskoj fosforilaciji. Također, COI gen se koristi kao DNA barkod za identifikaciju životinjskih vrsta. Povoljan je zbog učestalosti mutacija koje se odvijaju dovoljno brzo za razlikovanje blisko srodnih vrsta.

U eukariotskoj stanici mitohondriji imaju ključnu ulogu u proizvodnji metaboličke energije oslobođene razgradnjom ugljikohidrata i masnih kiselina koja se u procesu oksidativne fosforilacije pretvara u ATP. Mitohondriji su okruženi dvostrukom membranom koju čine unutarnja i vanjska membrana a između međumembranskim prostorom. Unutarnja membrana formira nabore koji se nazivaju kriste (lat. cristae) i protežu se u unutrašnjost mitohondrija ispunjenu matriksom. (Cooper i sur. 2004)

1.3.2. Formiranje filogenetskog stabla

Filogenetsko stablo kao završni rezultat filogenetske analize grafički je prikaz evolucijskih odnosa između gena ili organizama putem sljedova proteina ili DNA. Stoga se može i determinirati hijerarhijski odnos između vrsta i procijeniti vrijeme divergencije između vrsta. Svako se stablo sastoji od grana i čvorova (slika 7). Čvorovi mogu biti vanjski i predstavljati sistematske jedinice koje se proučavaju ili unutarnji i predstavljati hipotetske zajedničke pretke proučavanih sistematskih jedinica.



Slika 7. Prikaz kladograma i dijelovi filogenetskog stabla (Lio i Goldman, 1998.)

Filogenetsko stablo može biti formirano kao filogram ili kladogram. Filogram je prikaz kod kojeg se evolucijsko vrijeme prikazuje u duljini grane koje je prošlo od odvajanja od zajedničkog pretka. Kladogram je prikaz u kojem je bit topologija stabla koja prikazuje relativne odnose između različitih vrsta (Xiong, 2006).

Vrijeme razilaženja se može odrediti putem molekularnog sata. Molekularni sat temelji se na zamisli da se evolucijske promjene zbivaju u redovitim vremenskim razmacima. Pretpostavlja se da stopa genetskih promjena u DNA nekog organizma ne mijenja se prolaskom vremena ili se barem uprosječi. No ta brzina se razlikuje kod različitih vrsta organizama zbog više čimbenika pri čemu točni molekularni sat zapravo ne postoji (Wilke i sur., 2009).

Filogenetsko izučavanje podijeljeno je u pet različitih faza:

Faza 1: Odabir sekvenci za analiziranje

Faza 2: Izrada višestrukog poravnavanja (eng. multiple alignment) odabranih homolognih sekvenci

Faza 3: Odabir supstitucijskog modela, statistički model molekularne evolucije, za odgovarajuće sekvence

Faza 4: Izrada filogenetskog stabla zasnovanog na odgovarajućim homolognim sekvencama i supstitucijskim modelima

Faza 5: Statistička procjena filogenetskog stabla

Poredak faza nije organiziran linearnim putem. Čest je slučaj da se mora koji korak odnosno faza vraćati unatrag za pregled podataka i postavljenih parametara prije dolaska na napredniju iduću fazu, kako bi rezultati mogli biti što vjerodostojniji. Različiti rezultati zasebno će biti procijenjeni u posljednjoj fazi i mogu biti zajedno uspoređeni. (Goldman i sur., 1998.)

Odabir homolognih sljedova

Filogenetska analiza se zasniva na usporedbi homolognih bioloških sljedova kao što su npr. Citokrom oksidaza podjedinica I ili NADH dehidrogenaza podjedinica 2. Proučavanje razlike između svih sljedova dopušta da se procjeni evolucijski odnos između odgovarajućih vrsta i njihovog divergencijskog vremena (Goldman i sur., 1998.).

Za prikupljanje homolognih sljedova, koriste se baze nukleotidnih podataka poput Genebank, RefSeq, Uniprot ili HomoloGene, koje mogu biti pretražene putem internetskih stranica poput NCBI (eng. National Center for Biotechnology Information). Drugi način prikupljanja sekvenci je i putem poravnavanja (eng. alignment) u BLAST-u (Goldman i sur., 1998.). Pri odabiru nukleotidnih sljedova potrebno je obratiti pažnju ukoliko se nalazi više mjesta sa neodređenostima (tablica 1) što bi utjecalo na krajnji rezultat.

Tablica 1. Oznake neodređenosti u slijedu nukleotida prema IUPAC-u
(bioinformatics.org pristupljeno 12.9.)

KOD	ZNAČENJE	KOMPLEMENTARAN KOD
A	Adenin	T
G	Gvanin	C
C	Citozin	G
T	Timin	A
Y	Pirimidin (C ili T)	R
R	Purin (A ili G)	Y
W	slab (A ili T)	W
S	jak (G ili C)	S
K	keto (T ili G)	M
M	amino (C ili A)	K
D	A, G, T (ne C)	H
V	A, C, G (ne T)	B
H	A, C, T (ne G)	D
B	C, G, T (ne A)	V
X/N	sve baze	X/N
-	praznina	-

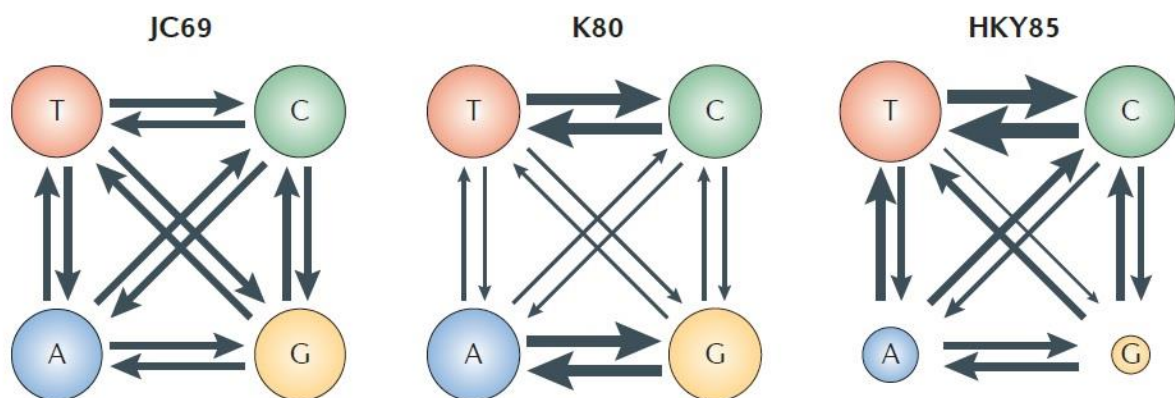
Višestruko poravnavanje (eng. multiple alignment) homolognih sljedova

Poravnavanje analiziranih bioloških sekvenci je važan korak u filogenetskom istraživanju jer uključuje usporedbu različitih homolognih sekvenci. Bitno je stoga odstraniti ne-homologne sekvence (npr. ukoliko među sekvencama imamo i COI i NADH dehidrogenaza potrebno je odstraniti jednu od sekvenci i izraditi poravnanje samo putem jednog tipa gena). (Goldman i sur., 1998).

Postoje mnogi zasebni alati za višestruko poravnanje kao i alati, kao što je npr. MEGA (eng. Molecular Evolutionary Genetic Analysis, <http://www.megasoftware.net/>), koji sadrže mnoge karakteristike pojedinačnih alata. MEGA računalni program dopušta višestruko poravnanje sekvenci putem Muscle-a (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/muscle/>) i ClustalW (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalw2/>) poravnavajućih metoda (Goldman i sur., 1998).

Odabir supstitucijskog modela

Ovaj korak se koristi tijekom izračunavanja vjerojatnosti (eng likelihood) grananja stabala (Bayesian i maksimalna vjerojatnost (maximum likelihood) pristup procjene stabala), odnosno za procjenu vjerojatnosti genetičke udaljenosti između različitih sekvenci. Zapravo se izračunava i opisuje stupanj zamjene nukleotida drugim nukleotidom tijekom evolucije (Slika 8.). Genetska udaljenost između dvije homologne sekvence definirana je kao broj supstitucija (zamjena) akumuliranih između njih od kada su se razišli od zajedničkog pretka. Filogenetska analiza se zasniva za točnog izbora prigodnog supstitucijskog modela kojih ima nekoliko, a najčešći su JC69 model (Jukes i Cantor, 1969), K80 model (Kimura, 1980) i HKY85 model (Hasegawa, Kishino and Yano 1985) (Goldman i sur., 1998).



Slika 8. **Markov model supstitucije nukleotida.** Strelica prikazuje stopu supstitucije od četiri nukleotida (T, C, A, G) i veličina kruga predstavlja frekvenciju supstitucije nukleotida. Svaka metoda ima različiti stupanj tranzicije (zamjena između dva pirimidina $T \leftrightarrow C$ ili između dva purina $A \leftrightarrow G$) i transverzije (zamjena između pirimidina ili purina; T ili $C \leftrightarrow A$ ili G) (Yang i sur., 2015).

Izrada filogenetskog stabla

Glavni cilj molekularne filogenije: putem filogenetskog stabla ustanoviti hijerarhijski model između vrsta prema njihovom evolucijskom odnosu i procijeniti vrijeme razilaženja (divergencije) između vrsta.

Postoje dva tipa stabala prema postojanju istaknutog čvorišta (grananja, eng. node) pod nazivom korijen (eng. Root); stablo s korijenom (Rooted tree) i bez korijena (Unrooted tree). Stablo s korijenom ima određeno ishodišno grananje pod nazivom korijen i odgovara zajedničkom pretku svih vrsta. Stablu bez korijena (Unrooted tree) korijen se može determinirati dodavanjem vanjskih grupa (eng outgroup), vrste koja

je poznata po svojoj najudaljenijoj grani, ili određivanjem najduže grane i potom se u oba slučaja pozicionira korijen u središnjoj točki (Goldman i sur., 1998).

Najčešće metode korištene za izradu filogenetskog stabla mogu se klasificirati u dvije kategorije (Goldman i sur., 1998.). Prva kategorija je metoda bazirana na udaljenosti u koju spada (eng.) Neighbor Joining metoda (NJ), minimalna evolucija (eng. Minimum evolution) i UPMGA (eng. unweighted pair group method with arithmetic mean) metoda. U drugu kategoriju spadaju kladističke metode temeljene na karakteristikama, poput metode maksimalne štedljivosti (eng. Maximum Parsimony, MP), maksimalne vjerojatnosti (eng. Maximum Likelihood, ML), i Bayesianova metoda. U prvoj se kategoriji metoda kalkuliра udaljenost između svakog para sekvenci što rezultira matricom udaljenosti (eng. distance matrix) koja se koristi za rekonstrukciju puteva i duljine grananja. U metodama baziranim na karakteristikama sve se sekvence u poravnanju istovremeno usporede (Yang i sur., 2012).

UPMGA (eng. unweighted pair group method with arithmetic mean) metoda je među najpopularnijim metodama i prati proceduru grupiranja. Pretpostavlja se da je svaka vrsta zaseban grozd, grupa. Potom se združuju dvije grupe i rekalkuliра udaljenost ujedinjenog para uzimanjem srednje vrijednosti i tako se cijeli proces ponavlja dok sve vrste nisu spojene u jednu grupu ili grozd. Algoritam nije usmjeren na utjecaj evolucijskog podrijetla (Goldman i sur., 1998).

Kod maksimalne štedljivosti (eng. Maximum Parsimony) moguća se stabla uspoređuju i daje se bod svakome stablu sa minimalnim brojem karakternih promjena stanja, poput zamjena aminokiselina, kojima treba dugi period evolucijskog vremena kako bi se sekvence uklopile u stablo. Najoptimalnijim stablom smatra se ono s najmanje promjena, najmanje mutacija, odnosno „najštedljivije“ stablo. (Eisen, 1998.)

Maksimalna vjerojatnost (eng. Maximum Likelihood) svoje podrijetlo vuče još iz 1920. godine kada ju se osmislio R.A. Fisher kao statistička metodologija za procjenu nepoznatih parametara u modelu (Yang i sur., 2012.). Metoda je slična prijašnjoj po tome što se koriste sve moguće pozicije u poravnanju i moguća stabla također uspoređuju te boduju. Bodovi su bazirani na vjerojatnosti sekvenci da mogu evoluirati u određenom vremenu dajući modelu mogućnost aminokiselinske ili nukleotidne supstitucije. Najbolje je stablo ono koje ima najveću vjerojatnost stvaranja osmatranih podataka (Eisen, 1998).

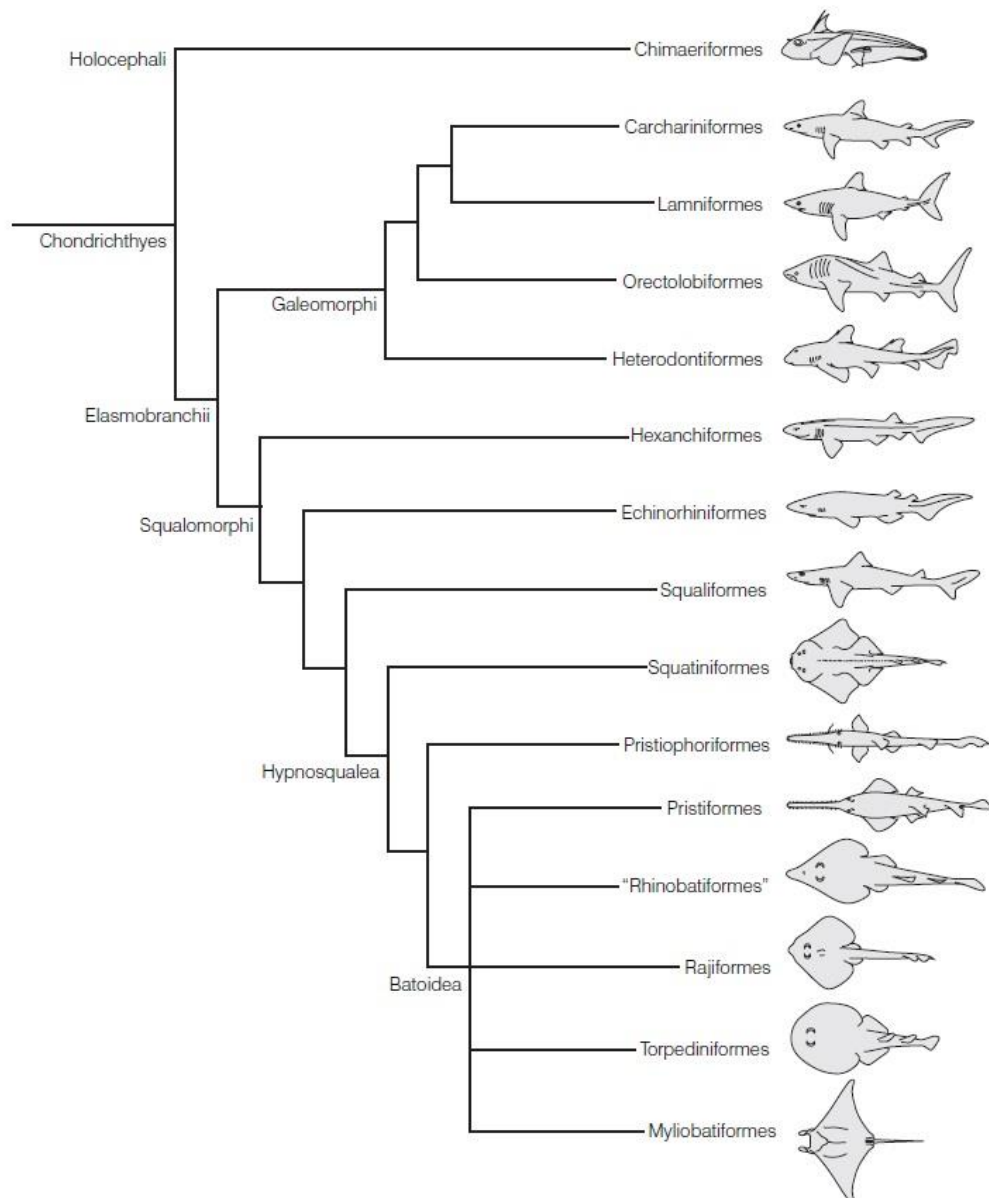
Svaka metoda ima svojih slabosti kao i jakosti i za svaku vrstu podataka jedan od ponuđenih metoda predstavlja dobar izbor.

Statistička procjena filogenetskog stabla

Nakon što se formiralo filogenetsko stablo potrebno je procijeniti njegovu pouzdanost (eng. robustness). Za procjenu stabla se koristi metoda koja se sastoji od eng. Bootstrapping-a. U ovoj se metodi ispituje povjerljivost (eng. confidence) putem stvaranja „pseudo uzoraka“ korištenih sličnih sekvenci kao razmjena sa ponavljajućim višestrukim poravnanjima. Tako se konstruira novo stablo sa novim poravnanjima i taj se proces ponavlja zadani broj iteracija (npr. 100 ili 1000 puta) (Goldman i sur., 1998.)

1.4 Ribe hrskavičnjače (razred Chondrichthyes)

Razred hrskavičnjača (Chondrichthyes) trenutačno spada u carstvo životinja (Animalia), podcarstvu Eumetazoa, natkoljeno Bilateria, koljeno Chordata, potkoljeno Vertebrata i infrakoljeno Gnathostomata (čeljoustoste ribe) u čiju skupinu također spadaju i actinopterygii i sarcopterygii. Glavne dvije skupine koje formiraju razred Chondrichthyes su podrazredi Elasmobranchii (morski psi i raže) i holocephali (cjeloglavke) u koje spadaju morski štakori i njihovi srodnici (slika 9) (Opačić i sur., 2006).



Slika 9. Filogenetski odnos između razreda Chondrichthyes (Stiasny i sur., 2004)

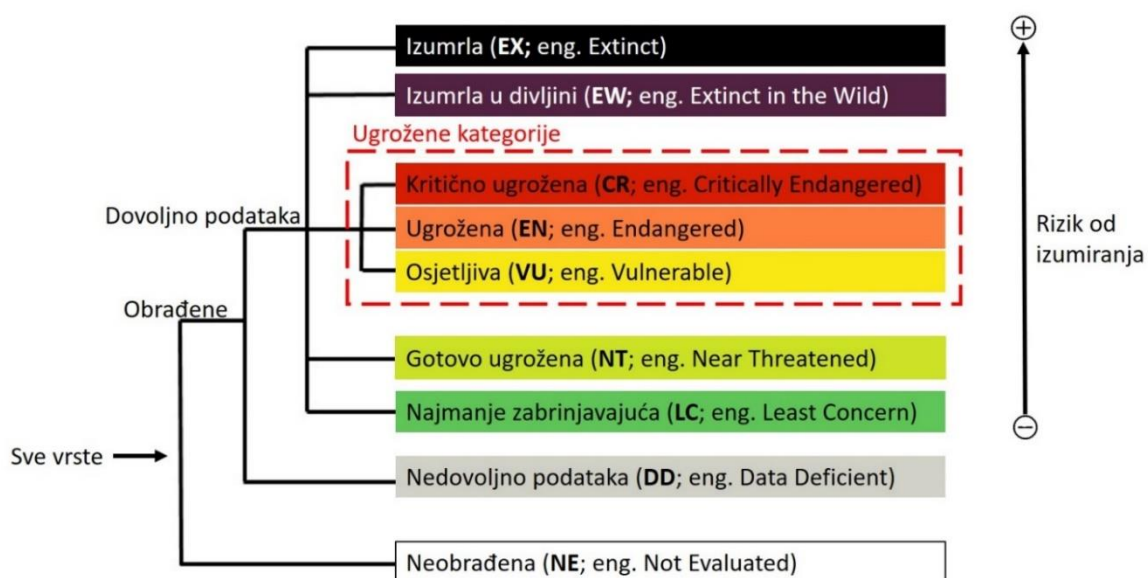
Unutarnji kostur svih riba ove skupine sačinjen je od savitljive hrskavice, a u nekim vrsta dijelovi lubanje i kostura su ojačani ulaganjem minerala. Zubi su prekriveni vrlo tvrdom ostaklicom te iza aktivnih zuba imaju nekoliko redova položenih zuba koji se

postepeno pomiču prema naprijed, a pojedinačni zubi mogu biti u kratkom periodu zamijenjeni (8-15 dana). Hrskavičnjače imaju izričito čvrstu i debelu kožu, pogotovo ženke jer se mužjaci pri parenju zubima pridržavaju za ženke. Koža im je prikrivena sitnim, prema natrag usmjerenim, zubastim strukturama koje se nazivaju plakoidne ljuske ili kožni zubići i na dodir se osjeća poput brusnog papira. Raže imaju razbacane zube te im je nepce prekriveno plosnatim zubima za drobljenje hrane. Neke raže imaju povećane zube koje tvore i bodlje dok cjeloglavke nemaju zuba. Za razliku od koštunjača, hrskavičnjače ne posjeduju plivači mjehur, a morski psi koji žive u otvorenom oceanu često imaju veliku jetru bogatu uljem koja pomaže održavanju u vodenom stupcu (Helfman i sur., 2009).

Tijelo morskog psa je glatko i hidrodinamično, repna peraja asimetrična te pri kretanju ribe doprinosi sili uzgona, dok su parne trbušne peraje smještene natrag. Usta su smještena sa donje strane i sa svake strane imaju po pet škržnih proreza. Tijelo raže je plosnato s velikim prsnim perajama. Usta su s donje strane, a voda za njihovo disanje povlači se kroz jedan par rupica (štrcala), koja su smještena na gornjoj strani, a potom prolazi preko škrga (Opačić i sur., 2006).

1.4.1. Ugroženost hrskavičnih riba

Svjetska udruga za zaštitu prirode (eng. The World Conservation Union, IUCN) osmislila je određene kriterije putem kojih se vrste svrstavaju u kategorije ugroženosti (Slika 10.) kako bi se upozorilo i poduzelo pravilne mjere za zaštitu vrste.



Slika 10. Kategorizacija putem koje se uvrštava određena vrsta u skupine i prikazuje njezino trenutačno stanje (preuzeto sa IUCN 10.09.)

Populacija morskih pasa globalno se smanjila za oko 50-80% od 1970-ih godina. Nadalje se trend nastavljao osobito kada se ribarstvo ubrzalo i povećala potražnja za njihovim perajama (Rose, 1996.). Danas skupina hrskavičnih riba, pa tako i morski psi, najugroženija su skupina riba u Sredozemlju. Prema IUCN-u 31 vrsta je klasificirana u ugrožene kategorije (CR,EN, VU; slika 7.) od čega je 14 kritično ugroženo (CR). Razlozi koji su doveli k tome su intenzivni ribolov različitim ribolovnim alatima i snazi, a koji se i dalje unapređuju za još bolji ulov željene ribe, pa morski psi mogu biti ulovljeni slučajnim ulovom (eng. bycatch), a njihovi biološki čimbenici poput male stope reprodukcije , relativno male gustoće populacije, spori rast, ograničeno rasprostranjenje niti ne mogu dozvoliti njezin potpuni oporavak u populaciji. Osim ulova prijetnja hrskavičnjačama je i gubitak staništa onečišćavanjem mora, uznemiravanjem, te eutrofikacija područja (dzzp, pristupljeno 8.9.2017).

1.4.2. Konzervacija riba hrskavičnjača

Osim proglašenja određenih hrskavičnih riba zaštićenima i strogo zaštićenima što može utjecati na osviještenje ljudi na kritičnu situaciju u kojoj se nalaze ove vrste, također je potrebno i upravljati ulovljenima ribljim stokovima i stokovima morskih pasa. Upravitelji ribarenja mogu predvidjeti budući oporavak u populaciji osnovano na postojećem reproduktivnom stoku što se koristi za pojedine komercijalne vrste, a hrskavične vrste ostaju jedna od najmanje reguliranih vrsta u komercijalnoj ribolovnoj aktivnosti u svijetu. Planovi upravljanja su predstavljeni mnogim zemljama ali još nisu implementirani. No i s implementacijom, konzervacija i oporavak morskih pasa je izuzetno zahtjevan zbog njihove biologije. Lokalno upravljanje nije dovoljno za njihovu zaštitu i oporavak populacije jer mnoge vrste prelaze velike udaljenosti. (Helfman i sur., 2009).

2. CILJ RADA

- Cilj ovog rada je konstrukcija filogenetskog stabla odabranih najčešćih jadranskih riba hrskavičnjača na osnovu nukleotidnih sljedova molekularnog markera Citokrom oksidaza podjedinica I (COI ili COXI) te evaluacija dobivenih rezultata usporedbom s opće prihvaćenom sistematikom riba hrskavičnjača.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Odabir uzoraka

Unutar istraživačkog rada kao uzorak je izabrano 12 vrsta najčešćih riba hrskavičnjača (razred Chondrichthyes) u Jadranskom moru podijeljenih unutar 6 taksonomskih redova Carcharhiniformes, Lamniformes, Rajiformes, Myliobatiformes, Squaliformes, Torpediniformes. Vrste su odabrane iz popisa dviju knjiga: „Pod površinom Mediterana“ i „Nove ribe Jadranskog i Sredozemnog mora“. Za bolje odvajanje hrskavičnih vrsta unutar filogenetskog stabla korištene su tri udaljenije sistematske skupine (*Paracentrotus lividus*, *Petromyzon marinus*, *Clavelina lepadiformis*) koje ne spadaju u bliske srodnike predstavljenih riba (eng. outgroup). Internetska stranica WoRMS (eng. World Register of Marine Species) poslužila je pri provjeravanju ispravnosti latinskog naziva vrste i trenutačne sistematike.

Dostupnost COI molekularnih markera 12 najčešćih hrskavičnih vrsta riba i tri udaljene vrste pregledani su na internetskim stranicama nukleotidne banke podataka američkog Nacionalnog centra za biotehnoške informacije (NCBI; eng. National Center for Biotechnology Information) kojoj se pristupilo u periodu od svibnja 2017. do lipnja 2017. godine. Putem iste NCBI internetske stranice također su sakupljeni COI nukleotidni sljedovi (slika 8). Nukleotidni sljedovi su odabrani upisivanjem formule latinski naziv ribe [orgn] and COI u NCBI tražilicu, za svaku vrstu pojedinačno. Primjer: „*Scyliorhinus stellaris* [orgn] and COI“. Prilikom upisivanja formule pretraga je bila ograničena na „nucleotide“. Iz dobivenih rezultata odabrani su COI sljedovi sa što manjim ili u potpunosti odsutnim neodređenostima u nukleotidnom slijedu. Nukleotidni slijedovi preuzeti su u FASTA tekstualnom formatu za daljnju obradu.

3.2. Filogenetska analiza

Homologi nukleotidni sljedovi su obrađeni i sravnjeni po parovima (eng. pairwise alignment) i višestruko sravnjeni (multiple alignment) putem ClustalW alata unutar MEGA 7.0.26 verzije programa (eng. Molecular Evolutionary Genetic Analysis) koji sadrži mnoge metode i alate za filogenetske analize. Sravnjeni sljedovi spremljeni su u MEGA formatu zbog mogućnosti daljnje izrade filogenetskog stabla.

Filogenetski odnosi procijenjeni su putem statističke metode susjednog sparivanja (eng. Neighbor Joining method, NJ) baziranom na Kimmura-2 supstitucijskom modelu (Inoue i sur, 2010). Supstitucijski model je postavljen na jednakom broju transverzija i tranzicija. U metodi susjednog sparivanja korišteno je samoučitavanje (eng. bootstrap) od 500 ponavljanja kao podrška grananja unutar stabla izražena u postocima.

The screenshot shows the NCBI search interface. The search bar contains the query "Scyliorhinus stellaris orgn and COI". The search results page shows two items:

1. **Scyliorhinus stellaris voucher SE25-4 cytochrome oxidase subunit 1 (COI) gene, partial cds; mitochondrial**
645 bp linear DNA
Accession: JN641247.1 | GI: 359817546
2. **Scyliorhinus stellaris voucher SE26-4 cytochrome oxidase subunit 1 (COI) gene, partial cds; mitochondrial**
636 bp linear DNA
Accession: JN641246.1 | GI: 359817544

The second item is selected, and the "FASTA" format is chosen. The resulting FASTA sequence is shown below:

```

>JN641246.1 Scyliorhinus stellaris voucher SE26-4 cytochrome oxidase subunit 1
(COI) gene, partial cds; mitochondrial
CGGAACAGCCCTAAGCCTACTAATTCGAGCTGAATTAGTTCAGCCGGGTTCACTTTTAGGTGATGATCAG
ATTTACAATGTAATCGTAACTGCCCATGCTTTCGTAATAATTTCTTTATAGTTATACCAGTAATGATCG
GTGGATTGGAACTGACTGGTACCCCTAATAATTGGAGCACCAGATATAGCCTTCCCTCGAATAAATAA
CATAAGCTTTTGACTCCTTCCACCCCTCCTTCTTCTCCTATTAGCCTCAGCAGGGGTAGAGGCCGGAGCA
GGAACCTGGGTGGACAGTTTATCCCCATTAGCTGGTAATATAGCCCATGCCGGGGCATCCGTTGATTTAA
CTATCTTCTCCCTCCATCTAGCTGGTATTTCATCAATCTTAGCTTCAATTAATTTTATTACAACCATAT
TAATATAAAACCCCGCGGTATCACAGTACCAAAACACCCCTTATTGTGTGATCAATTTCTCGTAACTACT
GTCCTCTCTTTTATCCCTCCCTGTCCCTTGACGCCGGAATTACAATGTTATTAACAGATCGAAACCTTA
ATACAACATTTCTTGACCCAGCAGGAGGGGGAGACCCCATCTTTATCAGCACTTATTCTGATTCCTTGG
CCACCC
  
```

Slika 11. Postepeni koraci pri odabiranju COI slijeda putem NCBI nukleotidne baze podataka

4. REZULTATI

4.1. Odabrani uzorci

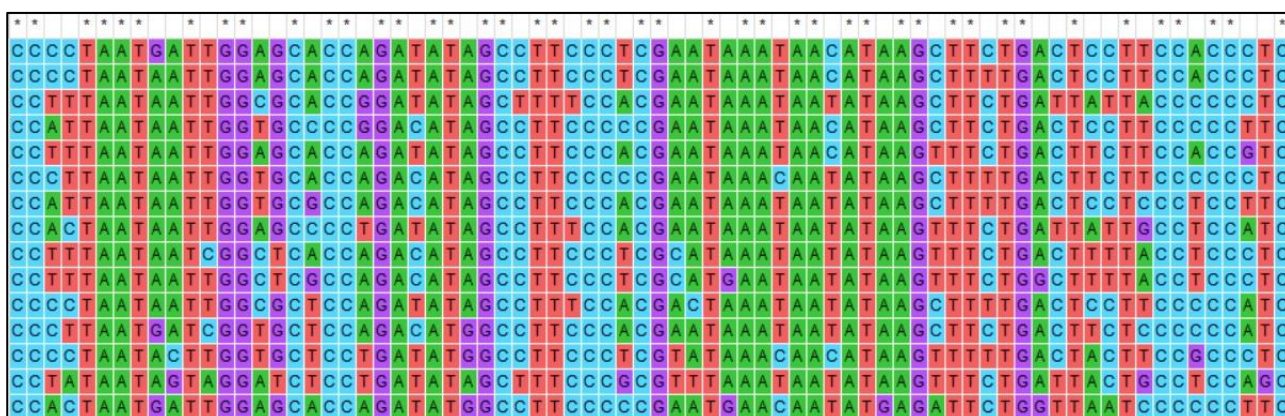
Pretragom NCBI nukleotidne baze podataka odabrani su COI nukleotidni sljedovi vrsta prikazanih u tablici 2. Potpuni nukleotidni sljedovi dostupni su u prilogu 1. Izabrani su COI nukleotidni sljedovi u rasponu od 617 do 675 parova baza, a najčešći su sljedovi duljine 652 parova baza.

Tablica 2. Latinski naziv i hrvatski nazivi odabranih najčešćih hrskavičnih riba u Jadranskom moru podijeljenih u redove i njihov NCBI pristupni kod

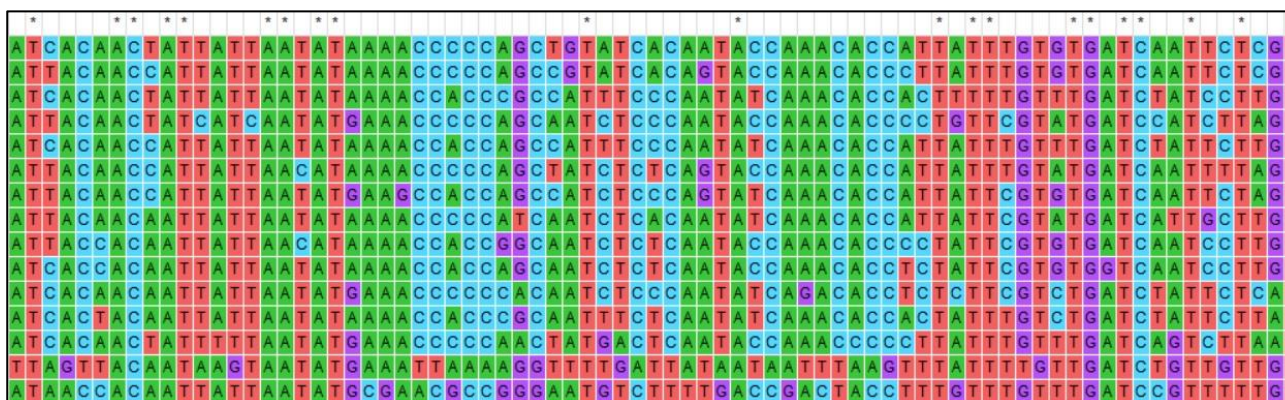
No.	Hrskavične vrste korištene za izradu filogenetskog stabla	Hrvatski naziv	NCBI pristupni kod
	RED Carcharhiniformes		
1	<i>Scyliorhinus canicula</i> Linnaeus, 1758	Mačka bljedica	JN641243.1
2	<i>Scyliorhinus stellaris</i> Linnaeus, 1758	Mačka mrkulja	JN641247.1
	RED Squaliformes		
3	<i>Oxynotus centrina</i> Linnaeus, 1758	Pas prasac	KT307364.1
	RED Lamniformes		
4	<i>Carcharodon carcharias</i> Linnaeus, 1758	Velika bijela psina	KM212005.1
5	<i>Carcharhinus longimanus</i> Poey, 1861	Pas trupan oblokri lac	GU440259.1
6	<i>Carcharias taurus</i> Rafinesque, 1810	Psina zmijozuba, trošiljka	JF493075.1
7	<i>Cetorhinus maximus</i> Gunnerus, 1765	Psina golema	KT307170.1
	RED Torpediniformes		
8	<i>Torpedo marmorata</i> Risso, 1810	Drhtulja šarulja	KT307466.1
	RED Rajiformes		
9	<i>Raja clavata</i> Linnaeus, 1758	Raža kamenica	KJ709867.1
10	<i>Raja miraletus</i> Linnaeus, 1758	Raža modropjega	JF494348.1
	RED Myliobatiformes		
11	<i>Dasyatis pastinaca</i> Linnaeus, 1758	Šiba žutulja	KT307197.1
12	<i>Myliobatis aquila</i> Linnaeus, 1758	Golub kosir	JF493930.1
	Outgroup		
13	<i>Paracentrotus lividus</i> , Lamarck, 1816	Crni ježinac	KF369173.1
14	<i>Petromyzon marinus</i> , Linnaeus, 1758	Paklara	AY603104.1
15	<i>Clavelina lepadiformis</i> , Müller, 1776	Plaštenjak	JN028190.1

4.2. Filogenetska procjena

Višestrukim sravnjivanjem (eng. multiple alignment) COI sljedova u MEGA 7.0.26 računalnom programu putem ClustalW alata dobiveno je sravnjenje u kojem su vidljiva konzervirana područja i varijabilnost trećeg nuklotida prema oznakama(*) u gornjem dijelu slike 12. i područja manje konzerviranosti, odnosno veće raznolikosti nukleotidnog sljeda (slika 13).



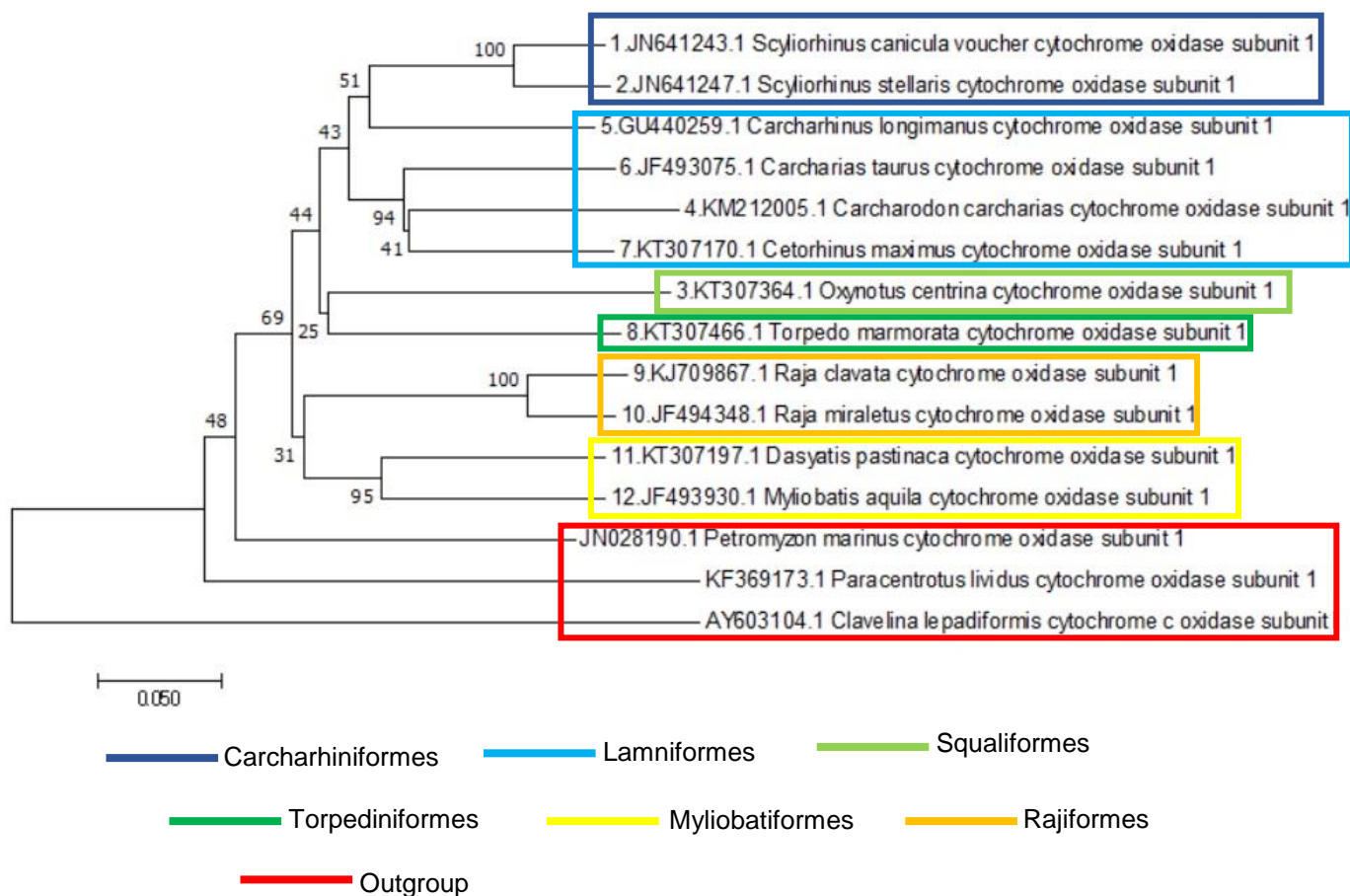
Slika 12. Dio višestruko poravnatih (eng. multiple alignment) COI sljedova određeno pomoću ClustalW alata u MEGA softwareskom programu. Oznake (*) iznad poravnatih sljedova pokazuju mjesta potpune konzerviranosti.



Slika 13. Dio višestruko poravnatih (eng. multiple alignment) COI sljedova određeno putem ClustalW alata u MEGA softwareskom programu. Oznake (*) iznad poravnatih sljedova pokazuju mjesta potpune konzerviranosti.

COI sljedovi hrskavičnih riba grupiraju se u 7 skupina od kojih jedna predstavlja udaljenije srodnike (eng. outgroup), a preostalih 6 skupina označavaju sistematsku podjelu hrskavičnih riba prema redovima. Vrste *Scyliorhinus canicula* i *S. stellaris* zajedno su se odvojile u red Carcharhiniformes kao i vrste *Carcharodon carcharias*, *Carcharias taurus*, *Cetorhinus maximus* u red Lamniformes, *Raja clavata* i *R. miraletus* u red Rajiformes te *Dasyatis pastinaca* i *Myliobatis aquila* u red Myliobatiformes. Redovi koju su imali samo jednog predstavnika u svojoj skupinu su Squaliformes sa vrstom *Oxynotus centrina* i Torpediniformes sa vrstom *Torpedo marmorata* (slika 11).

Metodom susjednog sparivanja (NJ) rezultirale su filogenetskim stablom sa bootstrap podrškom većinom od 40%.



Slika 14. Filogenetsko stablo dobiveno metodom susjednog sparivanja (NJ) pomoću COI gena. Na granama su označene bootstrap vrijednosti. Duljina grana je sukladna broju supstitucijskih promjena (mjerilo označava 0,050 supstitucija po nukleotidu).

5. RASPRAVA

Ovim istraživačkim radom korišteni COI sljedovi pokazali su pravilno formiranje filogenetskog stabla procijenjenog putem statističke metode susjednog sparivanja (NJ) baziranom na Kimmura-2 supstitucijskom modelu čija se pouzdanost u identifikaciji bliskih vrsta općenito iskazala učinkovito (Hebert i sur., 2003).

U sravnjenim sljedovima koji kodiraju za proteinski sljed podjedinice I citokrom oksidaze jasno je vidljiva najveća varijabilnost na svakom trećem mjestu nukleotidnih sljedova, što je posljedica degeneriranosti genetičkog koda. Drugim riječima, velik udio varijabilnosti sravnjenih nukleotidnih sljedova nalazimo na trećem mjestu u kodonima koji kodiraju za istu aminokiselinu što u konačnici ne utječe na funkcionalnost eksprimiranog proteina (Cooper i Hausman, 2004).

Filogenetsko stablo dobiveno metodom susjednog sparivanja (NJ) putem MEGA računalnog programa sa 500 bootstrap ponavljanja formiralo se u očekivane skupine sistematizirane prema redovima. Stablo se većinom slaže sa opće prihvaćenom sistematikom hrskavičnih riba (Stiassny i sur., 2004) osim podrazreda Batoidea gdje su redovi Myliobatiformes, Squaliformes i Torpediniformes u drugačijem poretku od referentne sistematike. Naime postoje drugačije podjele i predstavljanja sistematika podrazreda Batoidea unutar razreda Chondrichthyes (Rocco i sur., 2006). Prema morfološkoj podijeli po Stiassny-u i sur iz 2004 podrazred Batoidea nije u potpunosti definiran čime su razlika i položaj u bilo kojoj drugoj podijeli prihvatljive. Uglavnom se smatra da su vrste iz reda Torpediniformes udaljenije od ostalih vrsta u filogenetskom stablu što je dosljedno ranijim hipotezama i nedavnim prikazima da su Torpediniformes najvjerojatnije sestrinska skupina ostalih Batoidea (Rocco i sur., 2006)

6. ZAKLJUČAK

- Među najčešćim vrstama riba koje obitavaju u Jadranskom moru vrlo je malo riba hrskavičnjača (razred Chondrichthyes).
- COI molekularni marker pokazao je dobro svojstvo u određivanju filogenetskog odnosa hrskavičnih vrsta.
- Filogenetsko stablo sa uzorcima od 12 vrsta hrskavičnih riba i 3 udaljenije vrste detektiralo je filogenetske odnose koji su u skladu sa opće prihvaćenom sistematikom hrskavičnjača po Stiassny i sur. (2004).

7. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru

Završni rad

Filogenija najčešćih jadranskih riba hrskavičnjača (razred Chondrichthyes) temeljena na strukturi citokrom oksidaze I

Matteo Benussi

SAŽETAK

Molekularna filogenija ima veliki značaj i primjenu u određivanju evolucijskih odnosa između organizama te praćenje zajedničkog pretka što bi svakako promjenilo pojedine podjele unutar sistematike i takonomije kao što se to i zbiva. Mitohondrijska DNA Citokrom oksidaza podjedinica I kao jedan od molekularnih marker koji se koristi u molekularnoj filogeniji za izradu filogenetskog stabla ima veliku važnost u današnje vrijeme za identifikaciju vrsta. Njegova povoljna svojstva pogoduju za određivanje sličnosti i razlika te udaljenosti određenih vrsta. Ribe hrskavičnjače (razred Chondrichthyes) su jedna od rjeđih pojava u Jadranskom moru. Razlog tome stoji u smanjenju populacija vrsta koje se događa globalno. Kako bi se pratio filogenetski odnos hrskavičnih riba uzete su vrste koje najčešće dolaze u Jadransko more. Nukleotidni sljedovi odabranih hrskavičnih vrsta su preuzeti iz NCBI nukleotidne banke i obrađeni u MEGA 7 računalnom programu sa ClustalW alatom za sravnjivanje. Za izradu filogenetskog stabla koristila se Neighbor-Joining metoda. Finalni rezultat bilo je očekivano filogenetsko stablo koje se podudaralo sa trenutačno opće prihvaćenom sistematikom. Red Batoidea jedini su pokazali iznimku različitog poretka od uobičajene sistematike prema Stiassny.

Rad je pohranjen u knjižnicama Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli. Izvornik je na hrvatskom jeziku (44 stranica, 14 slika, 2 tablica, 34 literaturnih navoda).

Ključne riječi: molekularni marker, molekularna filogenija, filogenetsko stablo, Citokrom oksidaza podjedinica I, hrskavičnjače (Chondrichthyes)

Mentor: Dr. sc. Mauro Štifanić

Ocjenjivači: Dr. sc. Mauro Štifanić

Dr. sc. Emina Pustijanac

Dr. sc. Daniel Mark Lyons

Datum obrane: 21.09.2017.

8. BASIC DOCUMENTATION CARD

Juraj Dobrila University of Pula

Bachelor thesis

University Undergraduate Study Programme – Marine Sciences

Phylogeny of common Adriatic Cartilaginous (class Chondrichthyes) based on Cytochrome Oxidase I structure

Matteo Benussi

ABSTRACT

Molecular phylogeny has great importance and application in determining evolutionary relationships between organisms and monitoring of a common ancestor, which would certainly change certain divisions within systematics and taxonomy as it does. Mitochondrial DNA Cytochrome Oxidase Subunit I as one of the molecular markers used in molecular phylogenesis for the building of a phylogenetic tree, it has great importance today for species identification. Its extremely conserved sequence is one of the features that helps to determine the similarities and differences and the distances of certain species. Chondrichthyes is one of the rarest phenomena in the Adriatic Sea. The reason for this is to reduce species populations that are happening globally. In order to monitor the phylogenetic relationship of crustacean fish, the species are most commonly found in the Adriatic Sea. The nucleotide sequences of selected cartilage species were taken from the NCBI nucleotide bank and processed in the MEGA 7 computer program with the ClustalW alignment tool. The Neighbor-Joining method was used for phylogenetic tree making. The final result was the expected phylogenetic tree that coincided with the currently universally accepted systematics. The Order Batoids are the only ones to show the exception of a different order of ordinary systematics towards Stiasny.

This thesis is deposited in the Library of Juraj Dobrila University of Pula. Original in Croatian (44 pages, 14 figures, 2 tables, 34 references).

Key words: molecular marker, molecular phylogenetics, phylogenetic tree, Cytochrome Oxidase I, Cartilaginous (Chondrichthyes)

Supervisor: Dr. sc. Mauro Štifanić

Reviewers: Dr. sc. Mauro Štifanić

Dr. sc. Emina Pustijanac

Dr. sc. Daniel Mark Lyons

Thesis defence: 21.09.2017.

9. LITERATURA

Al-Samarai R. F. i Al-Kazaz A. A. (2015.) Molecular Markers: an Introduction and Applications. *European Journal of Molecular Biotechnology*. Vol. 9. str 118-130.

Bačić, T., Erben, R. i Krajačić M. (2003.) *Raznolikost živog svijeta; udžbenik biologije za drugi razred gimnazije*. Zagreb: Školska knjiga.

Brasier, M. (2009.) Mikroorganizmi. U Maljković, Z. (ur.). *Prapovijest- Sveobuhvatna ilustrirana povijest života na Zemlji*. Hrvatsko izdanje Grupa Mladinska knjiga, 2015, Zagreb: Mozaik knjiga .

Cooper, M. G. i Hausman, E.R. (2004.) *Stanica-molekularni pristup*. Treće izdanje. Zagreb: Medicinska naklada Zagreb.

Dulčić, J., Dragičević B. (2011.) *Nove ribe Jadranskog i Sredozemnog mora*. Zagreb: Institut za Oceanografiju i ribarstvo.

Dulčić, J., Soldo, A., Jardas, I. (2005.) Adriatic fish biodiversity and review of bibliography related to Croatian small-scale coastal fisheries. *Adriatic Sea Small-Scale Fisheries*. 103.

Girotti M. (1990.) *Ape regina; Biologia e selezione- Tecniche di allevamento- Utilizzo e mercato*. Milano: Ulrico Hoepli Editore.

Hebert, D. N. P., Ratnasingham, S. i deWaard R. J. (2003.) Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related specie. *The Royal Society; biology letters*. 270 str. 96-99.

Helfman, S. G., Collette, B. B., Facey E. D. i Bowen W. B. (2009.) *The Diversity of Fishes; Biology, Evolution and Ecology*. Drugo izdanje. Oxford: Wiley-Blackwell

Inoue, G. J., Miya, M., Lam, K., Tay, B., Danks, A. J., Bell, J., Walker, I. T. i Venkatesh, B. (2010) Evolutionary Origin and Phylogeny of the Modern Holocephalans (Chondrichthyes: Chimaeriformes): A Mitogenomic Perspective. *Mol. Biol. Evol.* 27(11): 2576-2586.

Jelenić, S., Kerovec, M., Ternjej. I. i Mihaljević, Z. (2004.) *Biologija 4; Genetika, ekologija, evolucija; udžbenik iz biologije za četvrti razred gimnazije*. Drugo izdanje. Zagreb: Profil.

Jukes, T.H., i Cantor, C.R. (1969) Evolution of Protein Molecules. New York: Academic Press. Str. 21–132.

Kimura, M. (1980) A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences". *Journal of Molecular Evolution*. vol 16. str. 111–120.

Lambert, D., Naish, D. i Wyse, Elizabeth. (2001.) *Encyclopedia of Dinosaurs and Prehistoric Life*. London: Dorling Kindersley Limited.

Liò, P. i Goldman, N. (1998.) Models of Molecular Evolution and Phylogeny. *Genome Res*. 8: 1233-1244.

Milišić, N. (2007.) *Sva riba Jadranskog mora*. Prvi dio. Split: Sveučilišna knjižnica u Splitu.

Nei, M. i Kumar, A. (2000.) *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford: University Press

Opačić, J. V. (2006.) *Ocean- velika ilustrirana enciklopedija*. Hrvatsko izdanje Grupa Mladinska knjiga, 2010, Zagreb: Mozaik knjiga.

Palmer, D. (2009.) Mlada Zemlja. U Maljković, Z. (ur.). *Prapovijest- Sveobuhvatna ilustrirana povijest života na Zemlji*. Hrvatsko izdanje Grupa Mladinska knjiga, 2015, Zagreb: Mozaik knjiga .

Radonić, M. M., Šimunović, V. S. i Markota, Š. Z. (2001.) *Monera, protisti, gljive, biljke; biologija; udžbenik za drugi razred gimnazije*. deveto izdanje. Zagreb: Profil.

Rannala, B. i Yang, Z. (2012.) Molecular phylogenetics: principles and practice. *Nature Reviews. Genetics*. Vol. 13. str. 303-314.

Rocco, L., Liguori, I., Costagliola, D., Morescalchi, A. M., Tinti, F. i Stingo, V. (2006). Molecular and karyological aspects of Batoidea (Chondrichthyes, Elasmobranchi) phylogeny. *Science Direct* [Online], vol 389. [Pristupljeno:12.9.2016.]

Rosenblatt, R. (2001.) Ribe. U Borovac I. (ur). *Životinje- Velika ilustrirana enciklopedija*. Zagreb: Mozaik knjiga.

Tamura, K. (1992). Estimation of the number of nucleotide substitutions when there are strong transition-transversion and G+C content biases. *Molecular Biology and Evolution* 9 (4) str. 678–687.

Turk, T. (2011). *Pod površinom Mediterana*. Zagreb: Školska knjiga.

Collard, Y. C. B., Jahufer, Z. Z. M., Brouwer, B. J. i Pang, E. C. K. (2004) An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica* vol 142: 169–196.

MREŽNE STRANICE

Bioinformatic.org [Online] Dostupno na:

<https://www.bioinformatics.org/sms/iupac.html>

[Pristupljeno:12.9.2017.]

BiologyStackExchange. [Online] Dostupno na:

<https://biology.stackexchange.com/questions/17640/genes-chromosomes-base-pairs-and-the-23-pairs>

[Pristupljeno:12.9.2017.]

Državni zavod za zaštitu prirode. [Online] Dostupno na:

<http://www.dzrp.hr/novosti/k/morski-psi-i-ostale-hrskavicnjace-u-jadranu-1111.html>

[Pristupljeno:8.9.2017.]

Encyclopeddia Britannica. [Online] Dostupno na:

<https://www.britannica.com/science/phylogeny>

[Pristupljeno:8.9.2017.]

GetMedEdu. [Online] Dostupno na:

<http://www.getmededu.com/differences-between-prokaryotic-and-eukaryotic-cells.html>

[Pristupljeno:9.9.2017.]

MedicalXpress. [Online] Dostupno na:

<https://medicalxpress.com/news/2015-01-mitochondrial-mutations.html>

[Pristupljeno:12.9.2017.]

Mrežni udžbenik iz genetike. [Online] Dostupno na:

<http://www.genetika.biol.pmf.unizg.hr/pogl1.html>

[Pristupljeno:9.9.2017.]

Quizlet. [Online] Dostupno na:
<https://quizlet.com/1650531/taxonomy-flash-cards/>
[Pristupljeno:12.9.2017.]

Zaštita-prirode.hr. [Online] Dostupno na:
<http://www.zastita-prirode.hr/Novosti-i-dogadanja/Morski-psi-i-ostale-hrskavicnjace-u-Jadranu>

[Pristupljeno:12.9.2017.]
IUCN Red List [Online] Dostupno na:
<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/categories-and-criteria/2001-categories-criteria>

[Pristupljeno:9.9.2017.]

NCBI [Online] Dostupno na:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
[Pristupljeno:12.3.2017.]

MEGA [Online] Dostupno na:
<http://www.megasoftware.net/>
[Pristupljeno:12.3.2017.]

PRILOZI

Popis slika

Slika 1. Geološka kronologija (McNamara i sur.,2015)

[Preuzeto: Palmer, D. (2009.) Mlada Zemlja. U Maljković, Z. (ur.). *Prapovijest-Sveobuhvatna ilustrirana povijest života na Zemlji*. Hrvatsko izdanje Grupa Mladinska knjiga, 2015, Zagreb: Mozaik knjiga .]

Slika 2. Prikaz Miller-Uryjevog eksperimenta spontanog formiranja organskih molekula (Cooper i Hausman, 2004)

[Preuzeto: Cooper, M. G. i Hausman, E.R. (2004.) *Stanica-molekularni pristup*. Treće izdanje. Zagreb: Medicinska naklada Zagreb.]

Slika 3. Prokariotska ili bakterijska stanica (lijevo) i Eukariotska desno stanica, njihova građa i razlike

[Preuzeto:<http://www.getmededu.com/differences-between-prokaryotic-and-eukaryotic-cells.html>]

(Pristupljeno: 9.9.2016.)

Slika 4. Prikaz nastanka složenijih eukariotskih stanica (Braseir i sur.,2009)

[Preuzeto: Brasier, M. (2009.) Mikroorganizmi. U Maljković, Z. (ur.). *Prapovijest-Sveobuhvatna ilustrirana povijest života na Zemlji*. Hrvatsko izdanje Grupa Mladinska knjiga, 2015, Zagreb: Mozaik knjiga .]

Slika 5. Prikaz strukture DNA i gena

[Preuzeto: <https://biology.stackexchange.com/questions/17640/genes-chromosomes-base-pairs-and-the-23-pairs>]

(pristupljeno 12.9.)

Slika 6. Prikaz građe mitohondrija i mitohondrijskog genoma i položaj COI gena u genomu

[Preuzeto: <https://medicalxpress.com/news/2015-01-mitochondrial-mutations.html>]

(Pristupljeno 12.9.)

Slika 7. Prikaz kladograma i dijelovi filogenetskog stabla (Lio i Goldman, 1998.)

[Preuzeto: Liò, P. i Goldman, N. (1998.) Models of Molecular Evolution and Phylogeny. *Genome Res.* 8: 1233-1244.]

Slika 8. Markov model supstitucije nukleotida (Yang i sur.,2012).

[Preuzeto: Rannala, B. i Yang, Z. (2012.) *Molecular phylogenetics: principles and practice. Nature Reviews. Genetics.* Vol. 13. str. 303-314.]

Slika 9. Filogenetski odnos između razreda Chondrichthyes (Stiassny i sur., 2004)

[Preuzeto: Helfman, S. G., Collette, B. B., Facey E. D. i Bowen W. B. (2009.) *The Diversity of Fishes; Biology, Evolution and Ecology.* Drugo izdanje. Oxford: Wiley-Blackwell]

Slika 10. Kategorizacija putem koje se uvrštava određena vrsta u skupine i prikazuje njezino trenutno stanje

[Preuzeto: <https://www.bioinformatics.org/sms/iupac.html>]
(Pristupljeno: 12.9.2016.)

Slika 11. Postepeni koraci pri odabiranju COI slijeda putem NCBI nukleotidne baze podataka

Slika 12. Dio konzerviranih višestruko poravnatih (eng. multiple alignment) COI sljedova

Slika 13. Dio manje konzerviranih višestruko poravnatih (eng. multiple alignment) COI sljedova

Slika 14. Filogenetsko stablo dobiveno metodom susjednog sparivanja (NJ) pomoću COI gena

Popis tablica

Tablica 1. Oznake neodređenosti u slijedu nukleotida prema IUPAC-u

[Preuzeto: <https://www.bioinformatics.org/sms/iupac.html>]
(Pristupljeno:12.9.2016.)

Tablica 2. Latinski naziv i hrvatski naziv odabranih najčešćih hrskavičnih ribe u Jadranskom moru podijeljenih u redove i njihov NCBI iz

Prilog 1. Sljedovi Citokrom oksidaze podjedinice I (COI) molekularnog markera sa latinskim nazivom vrste. NCBI izvorom i brojem parova baza. Brojevi sa lijeve strane predstavljaju početni broj prve baze u nizu

Latinski naziv vrste	NCBI izvor	Parovi baza
<i>Scyliorhinus canicula</i>	JN641243.1	675
1 tacttaatct ttggtgcatg agcaggcata gtcggaacag ccctaagcct cctaattcga 61 gctgagtttag gtcagccggg ttcactttta ggggatgatac agatttataa tgtaatcgta 121 actgcccatg ctttcgtaat aatcttcttt atagttatgc cagtaataat tggcggattt 181 ggggaattgac tagtaccocct aatgattgga gcaccagata tagccttccc tcgaataaat 241 aacataagct tctgactcct tccaccctcc tttctcctcc tattagcttc agcaggggta 301 gaagctgggg cagggactgg atgaacagtc tacccccacat tagctggtaa tatagctcat 361 gcgggagcat ccgttgattt aactatcttc tctctccacc tagctgggat tcatcaatt 421 ttagcttcaa ttaattttat cacaactatt attaataata aaccccagc tgtatcacia 481 taccaaacac cattatattgt gtgatcaatt ctctgacta ccgtccttct tcttctatcc 541 ctccctgtcc ttgcagccgg aattacaata ttgttaacag atcgaaatct taatacaaca 601 ttctttgacc cagcaggagg aggagatcct attctttatc agcacttatt ctgattcttt 661 ggccaccag aaatc		
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	JN641247.1	645
1 cggaacagcc ctaagcctac taattcgagc tgaattaggt cagccggggt cacttttagg 61 tgatgatcag atttacaatg taatcgtaac tgcccatgct ttcgtaataa ttttctttat 121 agttatacca gtaatgatcg gtggatttgg aaactgactg gtaccctaa taattggagc 181 accagatata gccttccctc gaataaataa cataagcttt tgactccttc caccctcctt 241 tcttctccta ttagcctcag caggggtaga ggccggagca ggaactgggt ggacagtta 301 tccccatta gctggtaata tagcccatgc cggggcatcc gttgatttaa ctatcttctc 361 cctccatcta gctggatatt catcaatctt agcttcaatt aattttatta caaccattat 421 taatataaaa cccccagccg tatcacagta ccaaacaccc ttatttgtgt gatcaattct 481 cgtaactact gtccttcttc ttttatccct ccctgtcctt gcagccggaa ttacaatggt 541 attaacagat cgaaacotta atacaacatt ctttgaccca gcaggagggg gagaccccat 601 tctttatcag cacttattct gattctttgg cccccaaaa ttcta		
<i>Oxynotus centrina</i>	KT307364.1	648
1 cctttacttg atttttgggtg catgagcagg aatagtaggt acagccctta gtttacttat 61 tcgaacagaa ttaagccaac ctggtacact tttaggagat gaccaaact acaatggtat 121 tgtaactgct cacgctttcg tgataatctt ctttttagta atgcctgtaa taattgggtg 181 gtttgggaat tggctagtgc ctttaataat tggcgcaccg gatatagctt ttccacgaat 241 aaataatata agcttctgat tattacccc ctctctcctt ttacttctag cctccgctgg 301 tgtagaagcg ggagccggaa ccggatgaac agtatatccc cctcttgcca gcaatatagc 361 tcacgcagga gcatctgtag atttagccat cttttccctt catttggccg gtatttctc 421 gattctagcc tctattaatt ttatcacaac tattattaat ataaaaccac ccgccatttc 481 ccaatatcaa acaccacttt ttgtttgatc tatccttgta actactgtcc tctcctcct 541 agcccttccc gtccttgag ccgcaattac aatattatta actgaccgta atttaaacac 601 aacgtttttt gatcccgcag gaggaggaga ccccatcctc tatcaaca		

<i>Carcharodon carcharias</i>	KM212005.1	652				
1	cctttattta	atTTTTggtg	catgagcag	aatagtggga	acagccctaa	gcTTTTaat
61	ccgtgccgag	ctgggtcaac	caggTtccct	cctcggagat	gaccagattt	ataatgTtat
121	tgtgaccgcc	catgccttcg	taataatctt	cttcatggta	atgcccata	taattggggg
181	TTTTgggaat	tgactaatcc	cattaataat	tggtgccccg	gacatagcct	cccccgaaT
241	aaataacata	agcttctgac	tccttcccc	ttcTTTTta	ctactcctag	cttcagccgg
301	agttgaagca	ggagccggca	ctggTtgaac	agtctaccct	cccctggccg	gtaatttagc
361	acagcgagga	gcatccgTtg	acctggctat	cttctccctt	cacctagcag	gtatttctc
421	aatcttggcc	tcaattaact	ttattacaac	tatcatcaat	atgaaacccc	cagcaatctc
481	ccaataccaa	acaccctgt	tcgtatgatc	catcttagta	acaaccatcc	ttcttctcct
541	agcccttcca	gtgctcgcag	ccggcatcac	aatgTtactt	actgaccgaa	atctaaacac
601	aacattcttt	gatccagcag	gaggaggaga	ccctattctc	taccaacatc	tt
<i>Carcharhinus longimanus</i>	GU440259.1	652				
1	cctttacct	atTTTTggtg	catgagcag	tatagTtgg	acagccctaa	gtctccta
61	tcgagctgaa	cttgggcaac	ctggatcact	tttaggagat	gatcagattt	ataatgTtat
121	cgtaaccgcc	cagctTTTTg	taataatctt	tttcatggTt	ataccaatta	taattggTgg
181	tttcggaaat	tgattagTcc	ctttaaataat	tgaggacca	gatatagcct	ttccacgaaT
241	aaataacata	agTtTctgac	ttcttccacc	gtcatttctt	ctccttctcg	cctctgctgg
301	agtagaggct	ggagcaggta	ctggTtgaac	agTtTatcct	ccattagcta	gcaacctagc
361	acatgctgga	ccatctgTtg	atTtagctat	ttctctctt	cacttagccg	gtgtttcatc
421	aattTtagct	tcaattaatt	ttatcacaac	cattattaat	ataaaaccac	cagccatttc
481	ccaatatcaa	acaccattat	ttgtTtgatc	tattcttgta	accactattc	ttcttctcct
541	ctcacttcca	gttctTgcag	cagggattac	aatattactt	acagaccgta	accttaatac
601	tacattcttt	gatcctgcag	gtggaggaga	cccaatcctt	tatcaacatt	ta
<i>Carcharias taurus</i>	JF493075.1	652				
1	cctatactta	atctTtggTg	catgagcag	aatagtagga	acagccctaa	gccttcta
61	tcgagctgaa	ctaggacaac	ccggatcact	cctaggagat	gatcagatct	ataatgTtat
121	tgtaaccgcc	catgcattTg	taataatTtt	cttcatggTt	atacctgtaa	taattggTgg
181	attcggaaac	tgactagTgc	ctttaaataat	tggtgcacca	gacatagcct	cccccgaaT
241	aaacaatata	agctTtTgac	ttcttcccc	ctctTtTctt	ttactcctag	cttcagctgg
301	agtcgaagct	ggagccggca	ccggTtgaac	ggTgtatcct	cctTtagccg	gtaacttagc
361	ccatgccgga	gcatccgTtg	acttagctat	ctTtTctctt	catttagcag	gcatttcatc
421	aatcttagcc	tcaatcaact	tcattacaac	cattattaac	ataaaacccc	cagctatctc
481	tcagtaccaa	acaccattat	ttgtatgatc	aattTtagta	acaactatcc	tcctccttct
541	atcccttcca	gtactTgcag	ctggTatcac	tatacttctt	acggaccgaa	acttaaacac
601	aacattcttt	gaccggctg	ggggaggaga	cccaatcctc	tatcaacatc	ta
<i>Cetorhinus maximus</i>	KT307170.1	635				
1	agtagggaca	gcctaaagcc	tcctaattcg	agccgaatta	ggccaacccg	gatcacttct
61	tggtgatgat	caaatttata	atgttattgt	gacagctcat	gcatttgtaa	taatcttctt
121	catggttata	cccgtaataa	ttgggggttt	tgggactga	ttagtaccat	taataattgg
181	tgcgccagac	atagccttcc	cacgaataaa	taatataagc	tttTgactcc	tcctccttc
241	tttctcttta	ctcctggcct	cagccggagt	tgaagctgga	gccggaactg	gctgaacagt
301	ataccctccc	ctagctggca	atctagcaca	cgctggagca	tccgttgatt	tagccatctt
361	ttctctccat	ttagcaggca	tctcatcaat	tctagcttca	attaacttta	ttacaaccat
421	tattaatatg	aagccaccag	ccatctccca	gtatcaaaca	ccattattcg	tgtgatcaat
481	tctagtcaca	accatccttc	ttctTttagc	cctcccagta	cttgcagccg	gcatcacaat
541	attgcttacc	gatcggaaac	taaacacaac	attctTtgac	ccagcagggg	gaggggaccc
601	tattctctac	caacacctgt	tctgattctt	cggtc		

<i>Torpedo marmorata</i>	KT307466.1	637			
1	agcaatagtc	ggaacaggat	taagcttatt	aattcgaaca	gaattaagtc agcctggtac
61	tctcttaggg	gatgatcaaa	tctataacgt	aatcggtact	gcccagctt tcggtataat
121	tttcttcatg	gttataccta	ttataattgg	cggttttggc	aattgactaa tcccactaat
181	aattggagcc	cctgatatag	cctttccacg	aataaataat	ataagtttct gattattgcc
241	tccatccttt	ctccttttac	ttgcctcagc	agggtgtgaa	gcaggagcag gaacaggggtg
301	aacagtatat	ccaccactcg	ccggtaatct	tgcacacgca	ggagcatccg ttgatttaac
361	cattttctct	ctccatttag	ccggtatttc	ctctatttta	gcatcaatta attttattac
421	aacaattatt	aatataaaac	ccccatcaat	ctcacaatat	caaacacccat tattcgtatg
481	atcattgctt	gtaacaactg	ttctactcct	cttatcatta	ccagttctag cagcagggat
541	tacaatactc	ctaacagacc	gaaacctcaa	caccacattc	tttgaccag cagggggagg
601	ggatccaatt	ttataccaac	atttattctg	attcttc	
<i>Raja clavata</i>	KJ709867.1	652			
1	cctctattta	atTTTTGGTg	cctgagcagg	aatggtcgga	actggcctaa gccttcta
61	ccgagcagaa	ctaagtcaac	ccgggaccct	cctaggtgac	gatcagattt ata
121	tgttacagcc	cacgccttg	taataatctt	tttcatggtc	ataccaatta tgatcggcgg
181	atttggcaac	tgactcgtcc	ctttaataat	cggtccacca	gacatagcct tccctcgc
241	aaataatata	agtttctgac	ttttacctcc	ctcttttctc	ctcctcctgg cctccgctgg
301	ggttgaagcc	ggagccggga	caggttggac	agtctacccc	cctctggcag gaaacttagc
361	ccacgcgggg	gcctccgtag	acttaacaat	tttctccctc	catttggcag gtgtttcatc
421	tattctagcc	tccattaact	tcattaccac	aattattaac	ataaaaccac cggcaatctc
481	tcaataccaa	acaccctat	tcgtgtgac	aatccttggt	acaactgttt tacttcttat
541	agccctcccc	gttctagcag	ccggcatcac	tatgctactc	acggatcgta atctcaacac
601	aactttcttt	gaccccgctg	gaggggggga	ccccatccta	tatcaacatt ta
<i>Raja miraletus</i>	JF494348.1	652			
1	cctctattta	atTTTTGGTg	cctgagcagg	aatagtcgga	actggcctaa gccttcta
61	ccgagcagaa	ctaagtcaac	ccgggaccct	cctaggtgat	gatcagattt ata
121	tgttacagcc	cacgccttg	taataatctt	ttttatgggt	ataccaatta tgatcggcgg
181	attcggcaac	tgactcgtcc	ctttaataat	tggtcgcaca	gacatagcct tccctcgc
241	gaataatata	agtttctgac	ttttacctcc	ctcttttctc	cttctcctgg cctccgctgg
301	ggttgaagcc	ggagccggga	caggttgaac	agtctaccca	ccctagcag gaaacttagc
361	ccacgcgggg	gcctccgtag	atctaacaat	tttctccctt	catttggcag gtatctcatc
421	tattctagcc	tccattaact	tcataaccac	aattattaat	ataaaaccac cagcaatctc
481	tcaataccaa	acacctctat	tcgtgtggtc	aatccttggt	acaactgttt tacttctcat
541	agccctacca	gtgctagcag	ctggcatcac	gatactgctc	acggatcgca atcttaacac
601	aactttcttt	gaccctgctg	ggggaggaga	tccaattcta	tatcaacatt ta
<i>Dasyatis pastinaca</i>	KT307197.1	652			
1	cctttattta	atctttgggtg	catgagcggg	gatagtgggc	actggtctca gtctattaat
61	ccgaaccgaa	ttaagccaac	caggcgcatt	attgggtgat	gaccaaactc acaatgta
121	tgttaccgcc	cacgccttg	taataatctt	cttcatagta	ataccaatta tgatcggagg
181	atttggtaac	tgactagttc	ccctaataat	tggtcgtcca	gatatagcct tccacgact
241	aaataatata	agcttttgac	tccttcccc	atctttcctt	ctactactag cctcagcagg
301	agtagaagcc	ggagctggca	caggatgaac	agtttacccc	ccattagctg gtaatcttgc
361	acacgcggga	gcttccgtag	accttgctat	cttttctctt	cacttagccg gtgtttcctc
421	tattctagca	tccattaact	ttatacacaac	aattattaat	atgaaacccc ccacaatctc
481	ccaatatcag	acacctctct	tcgtctgac	tattctcatt	acaacagtcc tcttttact
541	atcaactcca	gttctggcag	caggcattac	tatacttctc	acagatcgta atcttaacac
601	aaccttcttc	gacccagcag	gtggaggaga	ccccattctt	taccaacatc tc

<i>Myliobatis aquila</i>	JF493930.1	652
1 cctttacttg atctttggtg catgagcagg gatagtgggt actggcctca gcctactaat 61 tcgaacagaa ctaagtcaac caggggocct actgggtgac gaccaaattt ataatgtaat 121 tgttaccgcc catgcctttg taataatfff cttcatggtc ataccaatca taatcgggtg 181 gttcggtaat tgactagttc ccttaatgat cgggtgctcca gacatggcct tcccacgaa 241 aaataatata agctttctgac ttctccccc atcttttctt ctactactag cctcagcagg 301 ggtagaggcc ggagctggca ctgggtgaac agtttatccc cctctagctg gcaacctggc 361 acatgctggg gcctctgtag atttaactat cttttccctg cacttagcag ggttctctc 421 tattctagca tcaatcaatt ttatcactac aattattaat ataaaaccac ccgcaatttc 481 tcaatatcaa acaccactat ttgtctgac tattcttatt acaaccattc ttctcttact 541 atccctgccc gttctagcag caggtatcac catgctcctc acagatcgta atcttaatac 601 aacctttttc gaccggcgag ggggtggcga cccattctt tatcaacacc tc		
<i>Paracentrotus lividus</i>	KF369173.1	658
1 aacactttat ttaatttttg gtgcctgagc aggcattgga ggaactgcaa tgagagtaat 61 tatccgagcc gagctagcac aaccagggtc tttattgaaa gacgaccaa tttacaaagt 121 agtagttact gcacacgcac tagtaatgat ttttttatg gtaatgcaa ttatgatagg 181 aggatttgga aactgactta tcccactaat gattggagca ccagatatgg ctttcccccg 241 aatgaacaat atgagattct ggtaaatccc cccttctttt attttgcttc tagcttcagc 301 aggagagaa agaggagccg ggacaggatg aaccatatac cccctctct ccagaaaaat 361 tgcccacgca ggaggctcag tagacttagc aatcttctca ctccatcttg cgggtgcctc 421 ttctatccta gcctcaatta actttataac cacaattatt aatatgcaa cgccgggaat 481 gtcttttgac cgactacctt tgtttgtttg atccgttttt gttacagcat tctacttct 541 tctttctcta ccagtaactag caggagcgat tactatgttt ctaacagacc gtaaaattaa 601 cacaacattt ttcgaccag caggaggagg agaccaatt ctgtttcaac atttattc		
<i>Petromyzon marinus,</i>	AY603104.1	652
1 cctatatcta attttcgggg cttgagcagg aatagtagga actgcttta gtattcta 61 tcgagctgaa ctaagtcagc caggcacttt attaggagac gaccaaattt ttaatgttat 121 cgtaactgcc catgccttcg tcataatctt ttttatagtt ataccaatta taattggagg 181 ctttggaac tgacttgtag ccctaatact tgggtgctcct gatatggcct tccctcgtat 241 aaacaacata agtttttgac tacttccgcc ctctttactt ttactcttag cctctcagc 301 agttgaagct ggggcaggaa caggatgaac tgtatatcct cccttagccg gaaacctagc 361 ccacaccggg gcctctgtcg acctaacaat cttttcctta cacttagccg gagtttcac 421 aattctagga gcagtttaatt tcatcacaac tattttta atgaaacccc caactatgac 481 tcaataccaa acccccttat ttgtttgac agtcttaac actgcagttc ttcttcttct 541 atctctacca gtactagcag ctgctatcac aatacttcta acagatcgta acttaatac 601 atccttcttc gaccctgcag gaggaggaga cccattctt taccaacact ta		
<i>Clavelina lepadiformis</i>	JN028190.1	617
1 ttatattttt ttttaagaat ttattcggct ttagtgagaa ctggtttaag tataattatt 61 cgtactgagc tttcacaac tgggcaatta attggaatg gtcagattta taatgtagta 121 gtaactgcac atgctctttt aataattttt tttttatta tacctgttat aattagagga 181 tttagaaatt ggctattacc tataatagta ggatctcctg atatagcttt cccgcgttta 241 aataatataa gtttctgatt actgcctcca gctttatttc ttcttgatt atctgttttt 301 aatagggaca gggtaaggac aggggtgact atttaccac cattatctgg cattttagct 361 catagtagtg gggctgtaga tataggattt ttttctttac atttagctag ggtttctagt 421 attttaaggt ctataaattt tttagttaca ataagtaata tgaaattaa aggttttgat 481 tataataatt taagtttatt ttgttgatct gttgttgtaa cactgtttt actggtgcta 541 tctctacctg ttttagctgc tgctattacc atactgcttt ttgatcgtaa tttaaatac 601 agtttttttg atcctat		