



PRIRODOSLOVNA ISTRAŽIVANJA RIJEČKOG PODRUČJA II
NATURAL HISTORY RESEARCHES OF THE RIJEKA REGION II

PRIRODOSLOVNA BIBLIOTEKA
NATURAL HISTORY LIBRARY

15

PRIRODOSLOVNI MUZEJ RIJEKA
NATURAL HISTORY MUSEUM RIJEKA





Prirodoslovna istraživanja riječkog područja II
Natural history researches of the Rijeka region II

Urednici
Editors

Milvana Arko-Pijevac
Doc.dr.sc. Boštjan Surina

Recenzija knjige
Reviewers of the Book
doc.dr.sc.Boštjan Surina

Tehnički urednik
Technical editor
Branko Lenić

Izrada fotografije naslovnice
Cover photos
Želimir Gržančić

Engleski prijevod predgovora
English translation of the Preface
Sanja Padavić

Slog
Page layout
Trampi d.o.o.

Tisak
Print
Modo Fac d.o.o., Zagreb

Naklada
Number of copies printed
300 kom



PRIRODOSLOVNA BIBLIOTEKA
NATURAL HISTORY LIBRARY
15

PRIRODOSLOVNA ISTRAŽIVANJA RIJEČKOG PODRUČJA II
NATURAL HISTORY RESEARCHES OF THE RIJEKA REGION II

Radovi sa znanstvenog savjetovanja održanog u Rijeci od 14.-17. lipnja 2006.g. povodom 130. godišnjice utemeljenja i 60. godišnjice javnog djelovanja Prirodoslovnog muzeja Rijeka

Papers from the Scientific Conference which was held in Rijeka from 14th to 17th June 2006, on the occasion of the 130th anniversary of the founding and the 60th anniversary of public activity of the Natural History Museum Rijeka

SEZONSKA RASPODJELA I EKOLOŠKI ZNAČAJ KRIPTOFITA U RIJEČKOM ZALJEVU I U VINODOLSKOM KANALU

SEASONAL DISTRIBUTION AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CRYPTOPHYTES IN THE RIJEKA BAY AND VINODOL CHANNEL

Damir VILIČIĆ¹, Ingrid IVANČIĆ², Sunčica BOSAK¹

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Biološki odjel, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, dvilici@biol.pmf.hr*

²*Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, 52210 Rovinj, ingrid@cim.irb.hr*

SAŽETAK

Kriptofiti su bičaši koji uz dinoflagelate, kokolitoforide i zelene alge, čine glavninu nanoplanktona (stanice veličine 2 – 20 µm) u moru. Stanice kriptofita imaju čvrst proteinski periplast, pa ostaju dobro očuvane u konzerviranim uzorcima i lako se prepoznaju pod svjetlosnim mikroskopom. Istraživanje u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu kod Crikvenice, je provedeno u okviru nacionalnog projekta Jadran, u razdoblju od 2002 do 2005 godine. Najjači razvoj kriptofita zabilježen je u površinskom sloju (0–10 m). Njihov razvoj ovisi o koncentraciji hranjivih tvari (anorganskih i organskih) i termohalnim svojstvima mora, te o razvoju ostalog fitoplanktona s kojim stupa u kompeticiju za nutrijente. Razvoj kriptofita je najčešće zabilježen u proljeće, nakon dotoka nutrijenata i početnog razvoja dijatomeja. Iako im pogoduje povećana koncentracija nutrijenata u proljeće, često se razvijaju uz dinoflagelate i zelene bičaše u oligotrofnim ljetnim uvjetima, zbog njihove sposobnosti miksotrofne prehrane. Prema tome, kriptofiti sudjeluju u stvaranju i transformiraju organsku tvar u moru. Mala ljetna koncentracija fosfata i nitrata (manja od 0.01, odnosno 0.3 µmol L⁻¹), te mala abundancija dijatomeja i dinoflagelata (manje od 10⁵, odnosno 5×10³ stanica L⁻¹), često pokazuju da je istraživano područje oligotrofno.

KLJUČNE RIJEČI: fitoplankton, kriptofiti, nanoplankton, nutrijenti, sezonska raspodjela, Riječki zaljev, Vinodolski kanal, Jadransko more

ABSTRACT

Cryptophytes, dinoflagellates, coccolithophorids and green algae, mostly contribute to marine nanoplankton (cell size 2 – 20 µm). Cryptophyte cells are easily recognizable under the light microscope, due to their stiff proteinaceous periplast. The research has been performed in the frame of the national project "Jadran", in the Rijeka Bay and Vinodol Channel near Crikvenica, during 2002 - 2005. Samples were taken by Nansen samplers. Phytoplankton abundance was determined using inverted microscope, thermohaline characteristics by CTD profiler, and nutrients by standard methods. Intensive development of cryptophytes was detected in the surface layer (0–10 m), and regulated by hydrographic conditions and competition for nutrients with other phytoplankton. Cryptophytes contribute to formation and transformation of organic matter in the sea. Development of cryptophytes appeared in spring, following influx of nutrients and proliferation of diatoms. Usually in oligotrophic summer conditions, the abundance of cryptophytes was positively and significantly correlated with dinoflagellates, indicating their metabolic mutualism (mixotrophic potential). Low summer concentration of orthophosphates and nitrates (usually less than 0.01, and 1 µmol L⁻¹, respectively), and small abundance of diatoms and dinoflagellates (less than 10⁵, and 5×10³ cells L⁻¹, respectively), indicated oligotrophic conditions.

KEY WORDS: phytoplankton, cryptophytes, nanoplankton, nutrients, seasonal distribution, Rijeka Bay, Vinodol channel, Adriatic Sea

UVOD

Kriptofiti (Cryptophyta) su važni bičaši koji uz dinoflagelate, kokolitoforide i zelene alge, čine glavninu nanoplanktona (stanice veličine 2 – 20 µm) u moru. Stanice imaju čvrst proteinski periplast, pa su lako prepoznatljive pod svjetlosnim mikroskopom.

Razvoj fitoplanktona u Jadranu, kao i u drugim morima umjerenog pojasa pokazuje bimodalnu sezonsku raspodjelu; jedan proljetni i jedan jesenski maksimum. Primijećeno je da sezonska raspodjela kriptofita u drugim dijelovima sjever-

nog Jadrana pokazuje dva godišnja maksimuma; u vrijeme proljetnog obilja nutrijenata, te u doba ljetnog siromaštva nutrijenata. Takvo, na prvi pogled kontradiktorno ponašanje populacija rezultat je već poznatog svojstva kriptofita da se mogu prehranjivati miksotrofno (GERVAIS, 1997; MARS-HALL i LAYBOURN-PARRY, 2002); fagocitiranjem organskih čestica (susjednih stanica i neživih čestica), čime se snabdijevaju deficitarnim hranjivim tvarima u oligotrofnim uvjetima. Poznavanje takvih specifičnih trofičkih odnosa može pružiti nove spoznaje o funkcioniranju pelagijala (zajed-

nice organizama u slobodnoj vodi).

Cilj ovog rada je utvrditi sezonsku raspodjelu i količinu kriptofita, važnih predstavnika eukariotskih, planktonskih mikroorganizama u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu, u dva susjedna, relativno izolirana bazena SI dijela Jadrana.

ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Riječki zaljev i Tršćanski zaljev su najsjeverniji dijelovi Sredozemnog mora i najdublje se uvlače u europski kontinent. Zato su najjače izloženi ljetnom zagrijavanju i zimskom hlađenju, što se odražava na termička i hidrografska svojstva tih bazena. Pogotovo je zimi izraženo stvaranje katabatičke cirkulacije zraka, pri čemu nastaje bura koja pripada najjačim vjetrovima u svijetu.

Riječki zaljev je relativno zatvoren akvatorij površine 449 km², s dubinom koja dostiže 60 do 65 m. S istoka graniči s otokom Krkom, koji se približava kopnu na udaljenost od 500 m kod Jadrana (Slika 1.). Riječki zaljev komunicira s otvorenim morem preko Kvarnera i Kvarnerića (prolazi Vela vrata, Srednja vrata). Vinodolski je kanal slabije povezan s Riječkim zaljevom uskim Tihim kanalom. Prevladavajuće strujanje u Tihom kanalu je u smjeru od Vinodolskog kanala prema Riječkom zaljevu (LEDER i sur., 1998). Strujanje u Riječkom i Vinodolskom kanalu ovisi o općoj cirkulaciji u Jadranskom mora (ORLIĆ i sur., 1992) i regulirano je vjetrovima (ORLIĆ i sur., 1994), posebice burom (JURČEC 1981, PENZAR i sur., 2001; LEE i sur., 2005), kao i dotokom slatkih voda (LEDER i sur., 1998).

Hidrografske prilike u istraživanom području, pogotovo u Velebitskom i Vinodolskom kanalu ovise velikim dijelom o dotoku podzemnih voda vruljama (ORLIĆ i sur. 2000). Dotok slatkih voda je maksimalan nakon oborinskog maksimuma u studenom (PENZAR i PENZAR, 1980) i u proljeće za vrijeme topljenja snijega. Godišnja količina oborine u zaleđu Riječkog zaljeva je vrlo visoka, jer prelazi 3000 mm iznad 100 m visine (GAJIĆ-ČAPKA i sur., 2003), a najveće su količine izmjerene na mjernim postajama Platak, Snježnik i Risnjak (3473 - 3648 mm) (KNEŽEVIĆ, 1998). Vrijednosti kratkotrajne maksimalne oborine dostižu 46 mm na sat (GAJIĆ-ČAPKA, 1991).

U Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu nalazi se mnogo podzemskih izvora-vrulja (BENAC i sur. 2003). Podzemna voda potječe iz slivnog područja u zaleđu građenom od propusnih karbonatnih stijena (BIONDIĆ i sur., 1996), a pod-

zemna cirkulacija je složena i ovisi o režimu oborina i hidrološkom ciklusu (BONACCI i ROJE-BONACCI, 2000).

MATERIJAL I METODE

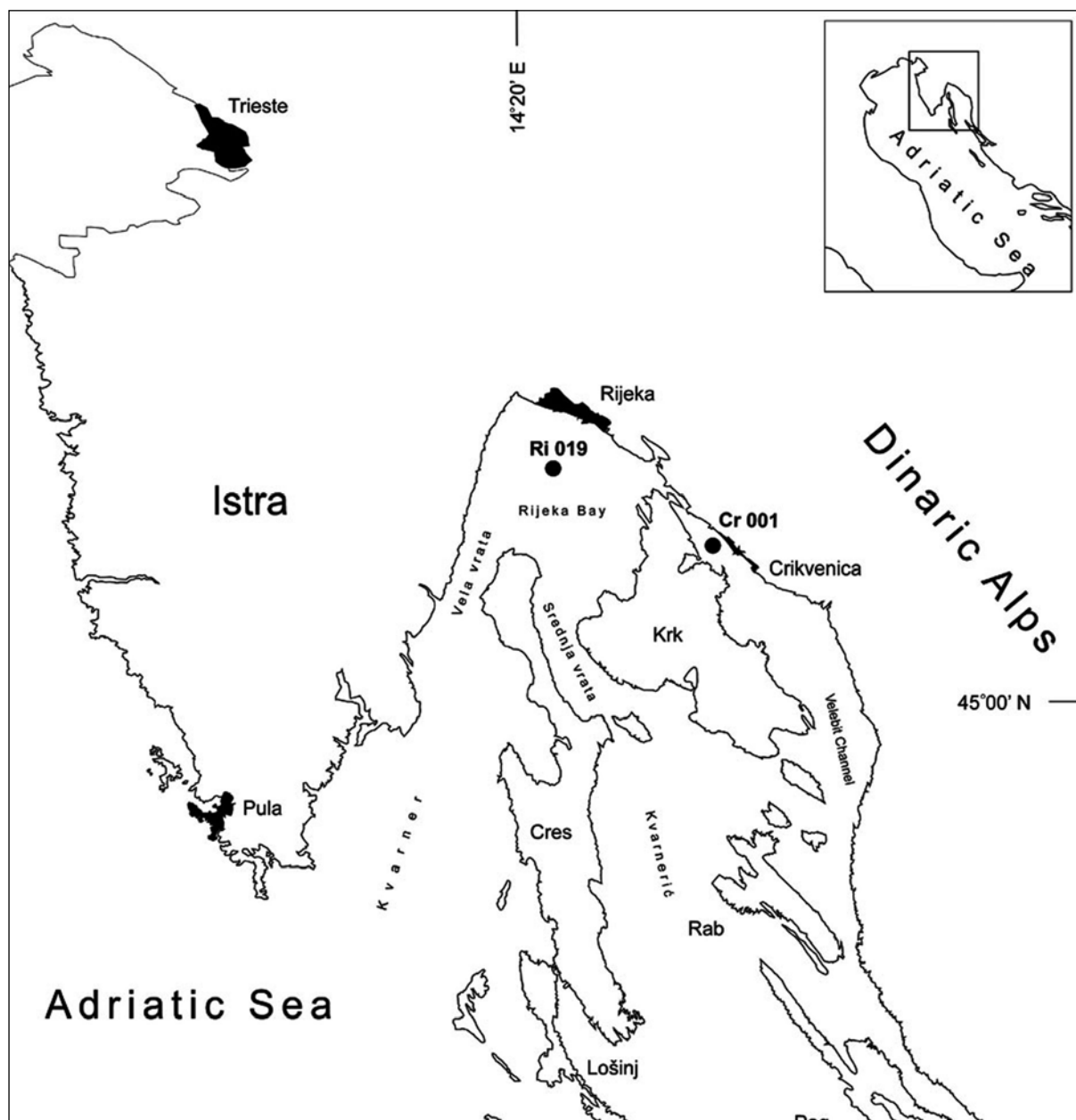
Istraživanje je provedeno u okviru nacionalnog projekta «Jadran» u Riječkom zaljevu (na postaji Ri 019) i u Vinodolskom kanalu kod Crikvenice (na postaji Cr 001), u od prilike mjesečnim intervalima, u razdoblju od 2002 do 2005 godine.

Uzorci za određivanje količine fitoplanktona i nutrijenata su uzeti 5 L Niskinovim crpcem. Uzorci za analizu fitoplanktona su konzervirani pomoću 2 postotne (konačna koncentracija) otopine neutraliziranog formaldehida. Abundancija fitoplanktona je određena pomoću istraživačkog, inverznog mikroskopa Zeiss Axiovert 200 (UTERMÖHL, 1958; HASLE, 1978a, b; VERNICK 1978). U poduzorcima od 50 mL, konzervirane stanice su sedimentirane u trajanju od 24 sata. Određivanje abundancije (broja stanica po litri) provedeno je najkasnije jedan mjesec nakon uzorkovanja. Analizirane su dvije veličinske kategorije; mikrofitoroplankton (dužina stanica i kolonija veća od 20 µm) i nanofitoroplankton (prepoznatljive stanice veličine od 5 do 20 µm). Stanice nanoplanktona su brojane dužinom jednog transeka ili u cca. 20 vidnih polja dna komorice za sedimentaciju, kod povećanja od 200, odnosno 400 X. Stanice mikrofitoroplanktona su brojane na dva načina: stanice vrsta veće abundancije kod povećanja od 400 X duž jednog središnjeg profila dna komorice, a stanice vrsta manje abundancije su brojane duž dva transeka pod 200 X, te u ostalom dijelu dna komorice uz povećanje od 100 X. Preciznost brojenja je ±10%.

Salinitet i temperatura su izmjereni sondom koja bilježi konduktivitet, temperaturu i dubinu (SEA Bird Electronics Inc., USA). Hranjive soli su određene standardnim metodama (STRICKLAND i PARSONS, 1972; IVANČIĆ i DEGOBBIS, 1984).

REZULTATI

Sezonske varijacije termohalinih svojstava i koncentracije hranjivih soli (Slika 2., 4.), te abundancije fitoplanktona (Slika 3., 5) u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu su slične zbog međusobne blizine istraživanih bazena. Vinodolski kanal je plići nego Riječki zaljev, pa dolazi do snažnijeg zimskog i ljetnog hlađenja. Također je bliži izvorima slatke vode iz krškog podzemlja, te jačem dotoku nitrata i silikata nego Riječki zaljev (Tablica



Slika 1. Položaj postaja u Riječkom zaljevu (Ri 019) i u Vinodolskom kanalu kod Crikvenice (Cr 001)

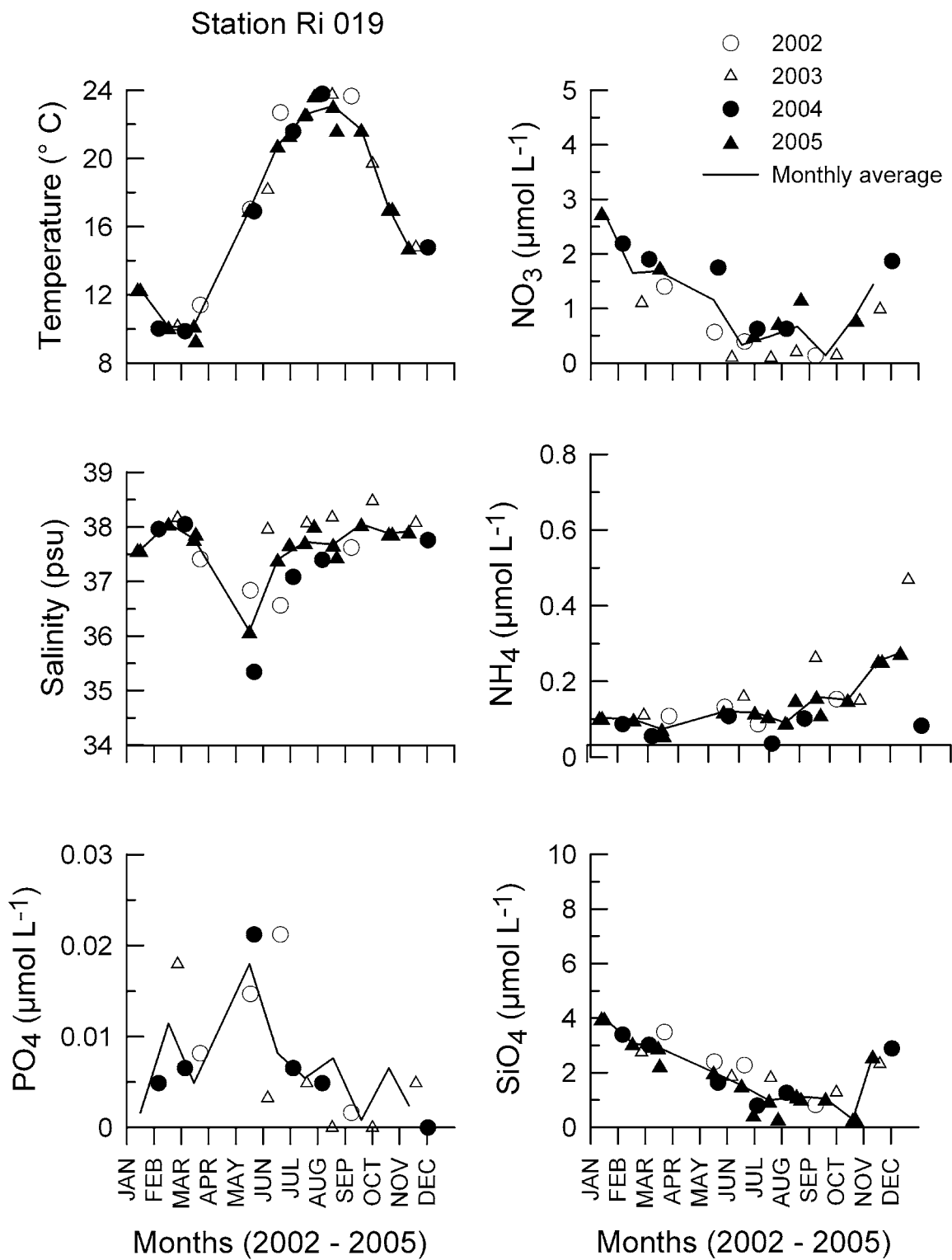
1.). Koncentracija ortofosfata je niska u oba bazena i ne prelazi $0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$. Ljetna koncentracija ukupnog anorganskog dušika je vrlo niska, jer opada do $0.16 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Najveći udio u ukupnoj abundanciji krupnijeg fitoplanktona čine alge kremenjašice (dijatomeje). Maksimalna godišnja abundancija dijatomeja dostiže 6×10^5 stanica L^{-1} u Riječkom zaljevu (50% više nego u Vinodolskom kanalu). Maksimalna abundancija ukupnog nanoplanktona dostiže 3.3×10^5 (prosječno 5.5×10^4) stanica po litri (Tablica 1.). Prosječna abundancija dijatomeja je za 20 posto veća u Riječkom zaljevu nego u Vinodolskom kanalu, dok je prosječna abundancija dinoflagelata, kokolitoforida, kriptofita i zelenih

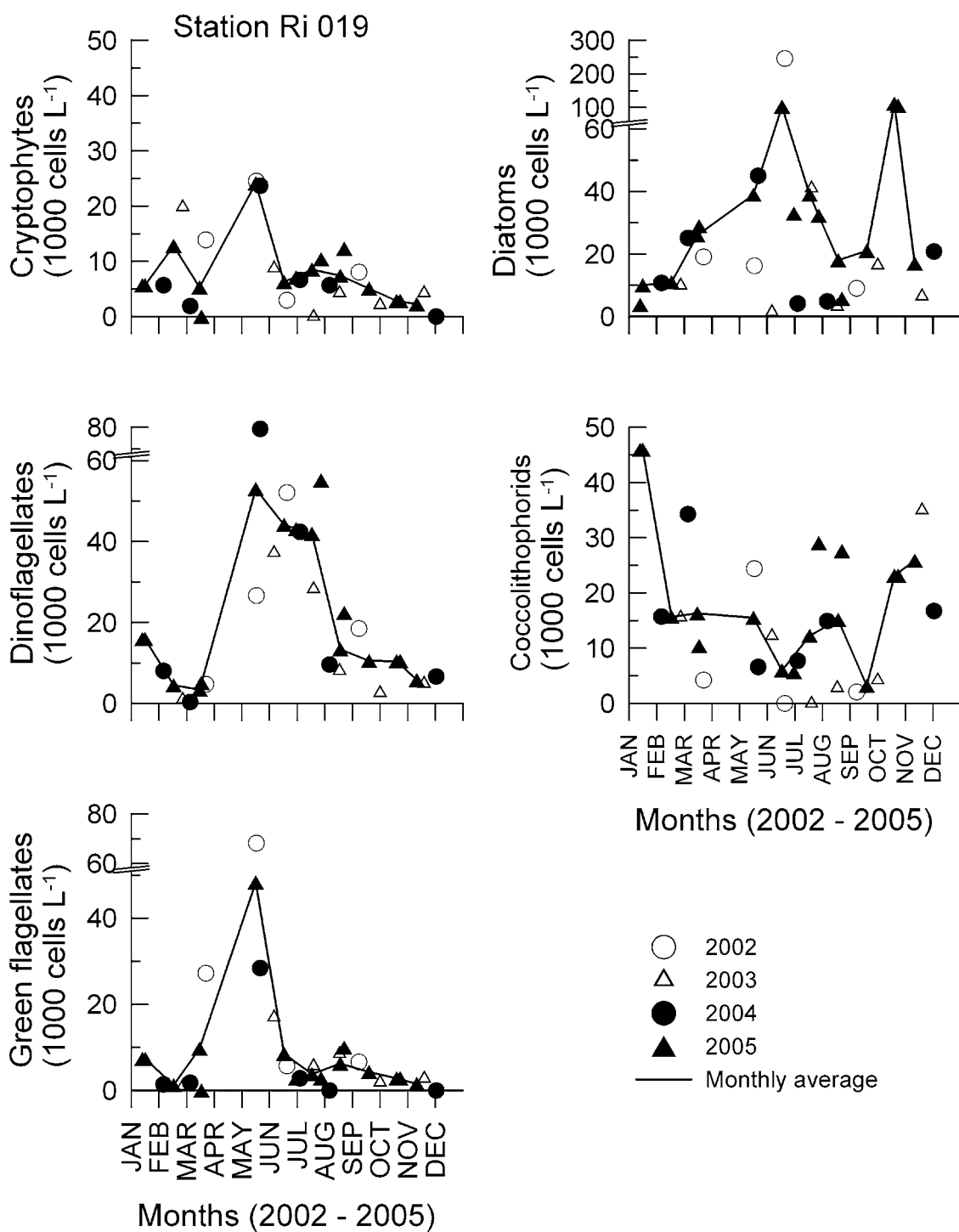
bičša slična u oba bazena. Međutim, u Riječkom je zaljevu zabilježena 70% veća maksimalna abundancija dinoflagelata (2.7×10^5 stanica L^{-1}) nego u Vinodolskom kanalu (8×10^4 stanica L^{-1}). Također u Riječkom je zaljevu zabilježena i veća abundancija silikoflagelata (prosječna za 22%, maksimalna za 66%), dok je za zelene flagelate prosječna vrijednost beznačajno veća (za 2%), a maksimalna veća za 33%.

Zasićenje kisikom je uravnoteženo (oko 100 %), što pokazuje odsustvo intenzivnog cvjetanja fitoplanktona i malu količinu organske tvari (Tablica 1.).

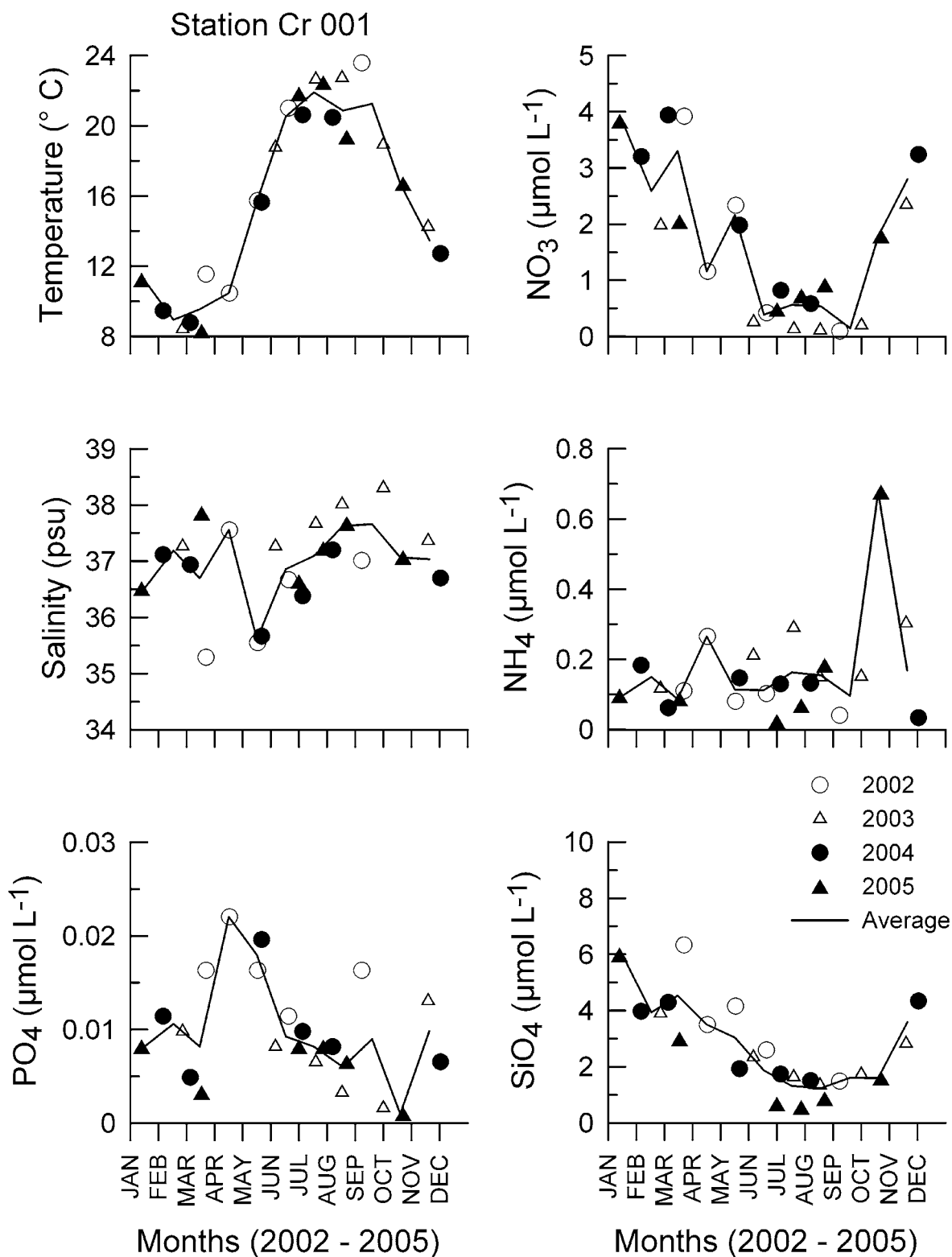
Najjači razvoj kriptofita u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu zabilježen je u površinskom



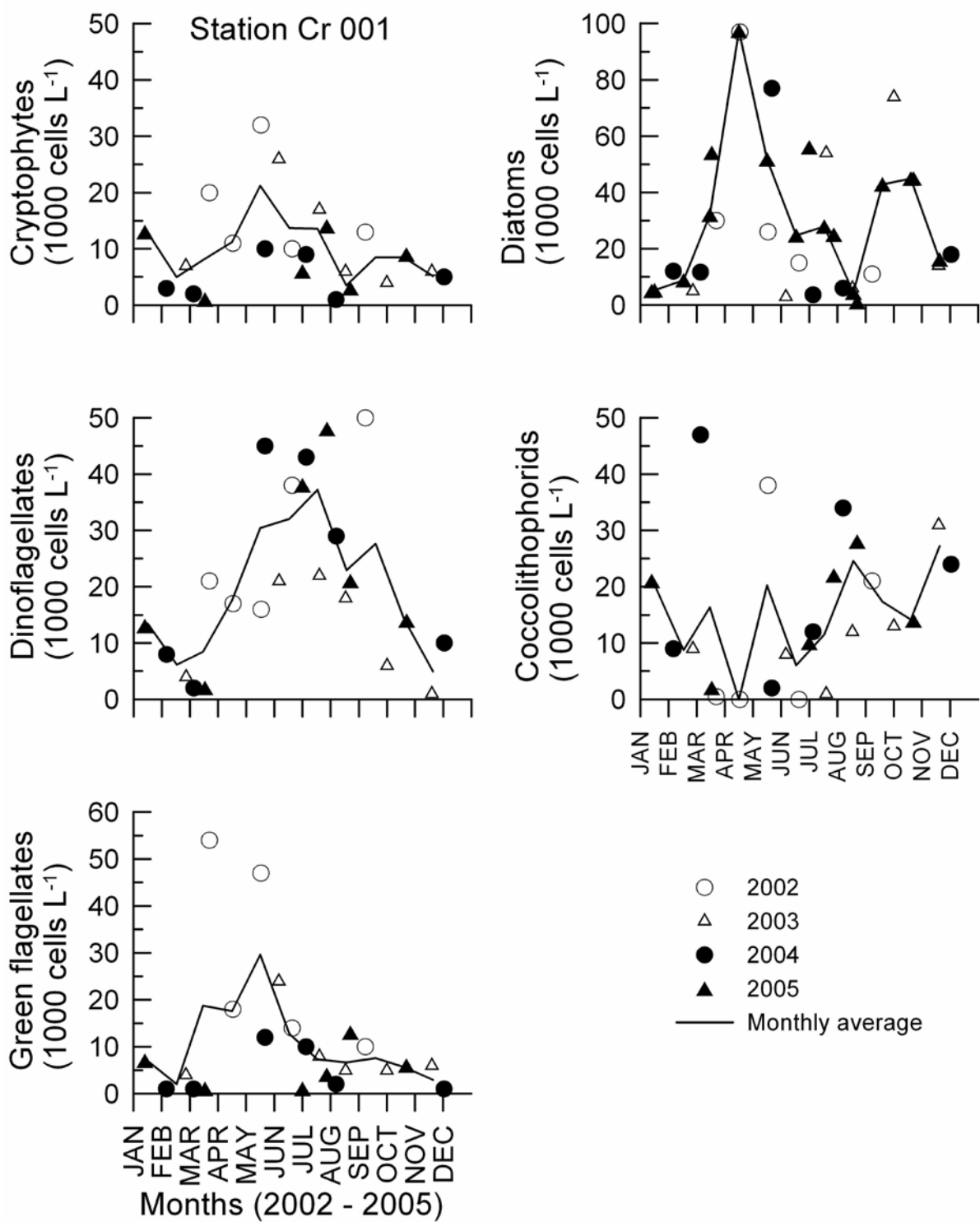
Slika 2. Sezonska raspodjela termohalinih svojstava, koncentracije ortofosfata, nitrata, amonijaka i ortosilikata u Riječkom zaljevu (na postaji Ri 019)



Slika 3. Sezonska raspodjela bičaja (kriptofita, dinoflagelata, zelenih flagelata, kokolitoforida) i dijatomeja u Riječkom zaljevu (na postaji Ri 019)



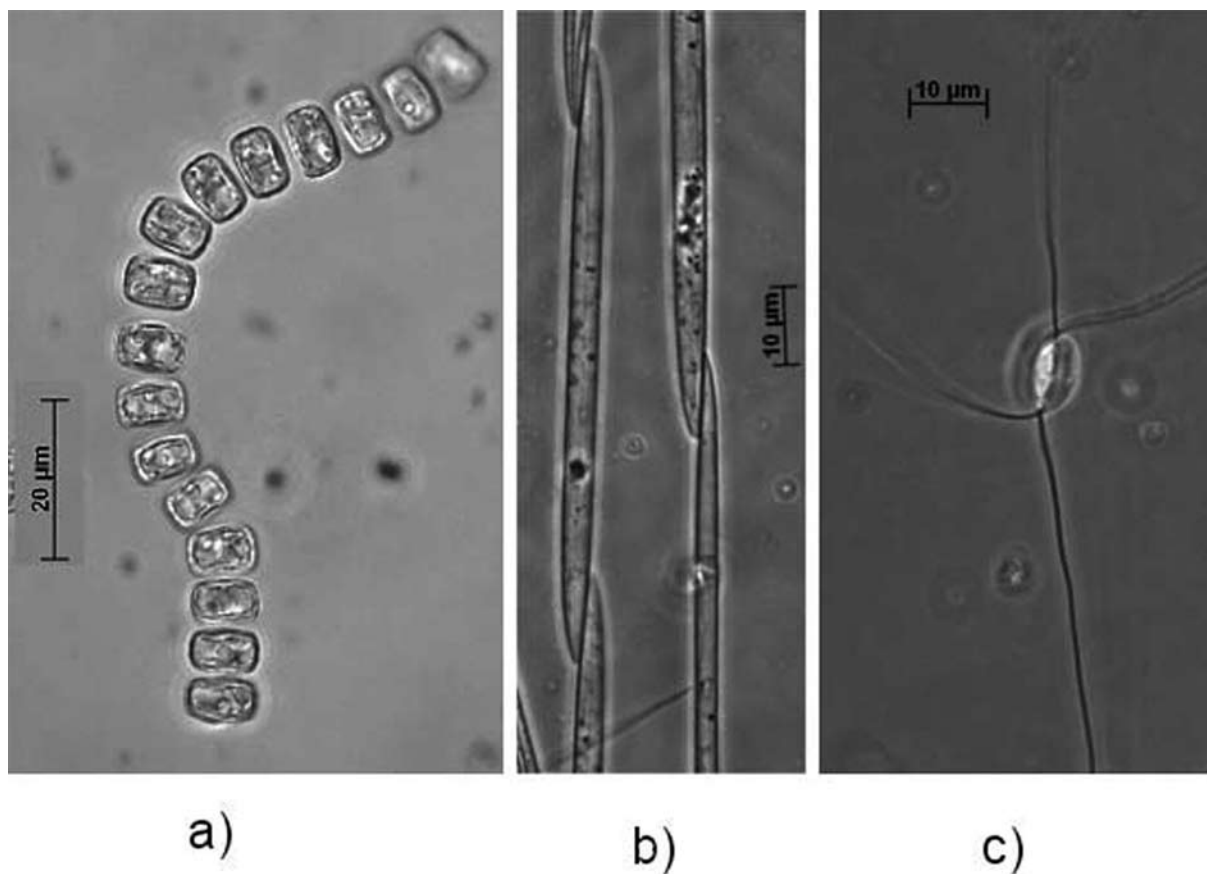
Slika 4. Sezonska raspodjela termohalinih svojstava, koncentracije ortofosfata, nitrata, amonijaka i ortosilikata u Vinodolskom kanalu kod Crikvenice (na postaji Cr 001)



Slika 5. Sezonska raspodjela bičaša (kriptofita, dinoflagelata, zelenih flagelata, kokolitoforida) i dijatomeja u Vinodolskom kanalu kod Crikvenice (na postaji Cr 001)

Tab. 1. Raspon vrijednosti (MIN – MAX) i srednje vrijednosti (AVG) analiziranih parametara u Riječkom zaljevu (Ri019) i u Vinodolskom kanalu (Cr001) u razdoblju od 2002 do 2005 godine. MICRO – mikrofitoplankton, DIATO – dijatomeje, KOKO – kokolitoforidi, KRIPTO – kriptofiti, ZEL FL – zeleni flagelati, NANO – ukupni nanoplankton, Temp – temperatura, Sal – salinitet, Oxysat – zasićenje kisikom, PO4 – ortofosfati, TP – ukupni fosfor, NO3 – nitrati, TIN – ukupni anorganski dušik, SiO4 – silikati

Postaje		MICRO	DIATO	DINO	KOKO	SILICO	KRIPTO	ZEL FL	NANO	Temp	Sal	Oxysat	PO4	TP	NO3	TIN	SiO4
Ri019	MIN	380	160	<40	<40	<40	<40	710	<40	9.26	33.37	0.98	<0.01	0.03	0.08	0.216	0.26
Ri019	MAX	618420	609530	272890	90950	2840	63680	96000	328560	27.35	38.48	1.22	0.04	0.17	4.05	4.682	4.15
Ri019	AVG	52650	45770	26210	14760	60	11560	13080	55570	17.87	37.47	1.07	0.01	0.09	0.96	1.222	1.80
Cr001	MIN	1000	80	40	<40	<40	<40	760	<40	7.97	32.23	0.99	<0.01	0.05	0.09	0.166	0.23
Cr001	MAX	284000	284000	81930	65270	950	81500	64000	172800	25.30	38.31	1.25	0.05	0.18	5.55	5.853	8.46
Cr001	AVG	39370	35970	20960	14640	40	12320	15020	50000	16.72	36.92	1.08	0.01	0.09	1.52	1.782	2.58



Slika 6. Vrste (dijatomeje) s maksimalnom abundancijom u istraživanom području: *Cyclotella* sp. (a), *Pseudo-nitzschia* sp. (b), *Chaetoceros socialis* (c)

Tab. 2. Sezonski razvoj nekih dominantnih vrsta fitoplanktona u Riječkom zaljevu (Ri 019) i u Vinodolskom kanalu (Cr 001). Označene su maksimalne mjesečne abundancije (stanica L⁻¹) zabilježene u razdoblju od 2002 do 2005. godine.

Month	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Depth (m)	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
1											
Prorocentrum minimum	0	2800	25600	9600	6400	0	0	5600	0	0	0
Cyclotella spp.	0	0	25600	106000	350	2800	0	0	0	0	0
Thalassiosira spp.	760	0	5600	0	0	0	190	0	0	0	0
Cerataulina pelagica	0	0	9800	0	0	760	0	380	0	1500	0
2											
Chaetoceros socialis	0	4500	6000	0	170000	39000	28000	3400	0	60000	2800
Mesoporos perforatus	0	0	0	0	0	14000	0	0	0	0	0
Chaetoceros vixvisibilis	0	0	30	0	36900	45000	37000	0	1100	100	0
Pseudo-nitzschia spp.	2600	20	8500	6400	6000	600000	6000	9000	6000	1100	1900
Skeletonema costatum	0	0	0	0	0	22700	0	0	0	0	0
3											
Calyptrolithina sp.	0	0	0	0	0	0	5600	140	0	0	0
Dactyliosolen fragilissimus	0	0	0	0	0	0	200	2800	20	0	0
Leptocylindrus danicus	0	0	0	0	0	0	200	0	29000	0	2600
Rhabdosphaera tignifer	2800	0	1400	0	0	5600	25000	11000	28000	8500	5700
4											
Nitz. longissima/Cylindrotheca	5600	11300	1500	0	0	380	6000	11400	3000	8500	14000
Emiliania huxleyii	68000	310	60000	0	0	25000	5600	12800	14000	22800	31000

sloju (0–10 m), najčešće u proljeće, u svibnju (Slika 3., 5.), za vrijeme ili nakon maksimalnog razvoja dijatomeja. Maksimalni razvoj kriptofita prate dinoflagelati i zeleni nanoflagelati. Sezonski razvoj kokolitoforida je drukčiji, jer ovi nanoplanktonski bičaši (građeni od kalcitnih kokolita) maksimalan razvoj postižu tijekom zime.

Zajednicu fitoplanktona koja se razvija u doba maksimalnog razvoja kriptofita (u svibnju) uglavnom čine dijatomeje *Chaetoceros socialis* i *Ch. vixvisibilis* (Tabela 2.). U čitavom godišnjem razvojnom ciklusu uz *Ch. socialis*, kodominantne su još dvije dijatomeje: *Cyclotella* i *Pseudo-nitzschia* (Slika 6.). Sukcesivni razvoj zajednica fitoplanktona možemo pratiti od pojave jesensko-zimskih, preko rano-proljetnih i proljetnih do ljetnih vrsta.

RASPRAVA

Sukcesivni razvoj pojedinih fitoplanktonskih vrsta ovisi o hidrografskim svojstvima i kompeticijskim odnosima za nutrijente među pojedinim vrstama.

Značajna korelacija između nitrata i silikata pokazuje da je područje pod znatnijim utjecajem slatkih voda s kopna (Tablica 3.). Najbolji pokazatelj obogaćenosti vodenog stupca hranjivim tvarima je biomasa fitoplanktona, što uključuje koncentraciju klorofila *a* u stanicama svih veličinskih kategorija (pikoplanktonu, nanoplanktonu, mikroplanktonu).

Mala ljetna koncentracija fosfata i ukupnog anorganskog dušika (često manja od 0.01, odnosno 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$), te mala abundancija dijatomeja i dinoflagelata (manje od 10^5 , odnosno 5×10^3 sta-

Tab. 3. Pearson correlation among determined parameters (Log10 transformed data) measured in the period 2002 – 2005 in Rijeka Bay (Station Ri 019) and Vinodol Channel near Crikvenica (Station Cr 001). Significant correlations at $p < .01$ (**) and $p < .05$ (*).

	DIN	COC	SILI	CRYP	GREE	TEM	SAL	PO4	N03	Si04
DIAT	-.03	-.25**	-.03	-.15	-.14	-.04	-.11	.14	.10	-.08
DINO		-.07	-.13	.20*	.29**	.53**	-.30**	.15	-.29**	-.33**
COC			.10	.09	-.21*	-.07	.26**	-.22**	.19*	-.19*
SILI				.06	-.24**	-.41**	.09	-.08	.31**	.25**
CRYP					.35**	.10	-.32**	.39**	.04	-.01
GREE						.31**	-.17	.24**	-.32**	-.06
TEM							-.03	.02	-.65**	-.61**
SAL								-.48**	-.40**	-.33**
PO4									.19*	.15
N03										.48**

nica L⁻¹), pokazuju da je područje Riječkog zaljeva i Vinodolskog kanala oligotrofno. Dominacija nanoplanktona je također dobar pokazatelj oligotrofnog mora, pa su istraživanja nanoplanktona ključna u objašnjavanju ekoloških odnosa u Jadranu.

Redfieldov omjer je uvijek veći od 16, što pokazuje da je razvoj fitoplanktona u istraživanom području limitiran fosforom.

Istraživanje je pokazalo da se kriptofiti razvijaju u uvjetima povećane koncentracije nutrijenata istovremeno ili nakon dijatomeja. Vezu između dotoka slatke vode i dijatomeja pokazuje značajna statistička veza ($p < 0,01$) između kriptofita, fosfata, saliniteta i dinoflagelata (Tablica 3). Koeficijent korelacije između kriptofita i saliniteta je negativan, što uz pozitivnu korelaciju s fosfatima pokazuje afinitet kriptofita prema ortofosfatima u vrijeme povećanog dotoka slatkih voda, te moguću kompeticiju za fosfate s dijatomejama (SAKSHAUG I OLSEN, 1986). Međutim, značajna statistička veza između kriptofita i dinoflagelata, pokazuje dodatni razvoj kriptofita nakon maksimalnog razvoja dijatomeja – uz dinoflagelate u oligotrofnim uvjetima, kada uspijevaju preživjeti zbog sposobnosti miksotrofne prehrane. Nakon proljetnog cvjetanja dijatomeja, u okolišu zaostaju povećane količine otopljenе organske tvari (GAŠPAROVIĆ I ČOSOVIĆ, 2001). Kriptofiti mogu upijati otopljenu organsku tvar osmotrofijom (GERVAIS, 1997) ili fagocitirati bakterije (MARSHALL I LAYBOURN-PARRY, 2002) ili druge suspendirane organske čestice. S druge strane, kriptofiti su važni mikroorganizmi kojima se hrane trepetljikaši (YIH i sur., 2004). Nadalje je poznato da se kriptofitima hrane heterotrofni i miksotrofni dinoflagelati, pogotovo u uvjetima kada

nedostaje fosfora (LI i sur. 2000). Navedene spoznaje dobro se uklapaju u obrazac funkcioniranja mikrobne prehrane mreže ili mikrobnog kruga (AZAM i sur. 1993, SHERR I SHERR 2000). Dobiiveni rezultati u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu sukladni su obrascu kakav je karakterističan za oligotrofne ekološke sustave, u kojima mikroorganizmi i mikrobne zajednice preživljavaju nepovoljne (oligotrofne) uvjete. Nedostatak nutrijenata je izrazit ljeti kada je dotok slatkih voda minimalan. Tada mikrobna zajednica ne živi na račun hranjivih tvari koje dotiču s kopna, nego na račun mikrobiološki regeneriranih hranjivih soli (“regeneracijska primarna produkcija”) (CAPBLANCO, 1990). Mnoge vrste fitoplanktona svoje potrebe za hranjivim tvarima u oligotrofnom moru namiruju miksotrofijom (CHRISTAKI i sur., 1999; SMALLEY I COATS, 2002; MEDINA-SANCHEZ I VILLAR-ARGAIZ, 2004). Funkcije mikrobne hranidbene mreže u oligotrofnim sustavima važne su za protok energije od pikoplanktona do metazoa (WILLIAMS I PETER, 2000), pa utječu i na biologiju nektonskih organizama (riba).

Vode koje dotiču iz dinarskog krša siromašne su fosforom, a hrvatska obala je još uvijek relativno slabo naseljena, pa nema znatnijeg dotoka fosfora iz antropogenih izvora. Stoga je trofički stupanj u Riječkom zaljevu i u Vinodolskom kanalu još uvijek uglavnom nizak, što pokazuju vrijednosti trofičkog indeksa TRIX koje su najčšće niže od 4 (PRECALI i sur., 2003).

ZAHVALA

Istraživanja su provedena uz potporu Ministarstva znanosti Republike Hrvatske

LITERATURA

- AZAM, F., SMITH, D.C., STEWART, G.F., HAGSTRÖM, A. 1993. Bacteria – organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. *Microb. Ecol.* 28, 167 – 179.
- BENAC, Č., RUBINIĆ, J., OŽANIĆ, N. 2003. The origin and evolution of coastal and submarine springs in Bakar Bay. *Acta Carsologica* 32, 157 – 171.
- BIONDIĆ, B., ŠARIN, A., FRITZ, F. 1996. Hidrološka karta jadranskog sliva. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- BONACCI, O., ROJE–BONACCI, T. 2000. Interpretation of groundwater level monitoring results in karst aquifers: examples from the Dinaric karst. *Hydrol. Process.* 14, 2423–2438.
- CAPBLANCO, J. 1990. Nutrient dynamics and pelagic food web interactions in oligotrophic and eutrophic environments: an overview. *Hydrobiologia* 207, 1 – 14.
- CHRISTAKI, U., VAN WAMBEKE, F., DOLAN, J.R. 1999. Nanoflagellates (mixotrophs, heterotrophs and autotrophs) in the oligotrophic eastern Mediterranean: standing stocks, bacterivory and relationships with bacterial production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 181, 297 – 307.
- GAJIĆ-ČAPKA, M. 1991. Short-term precipitation maxima in different precipitation climate zones of Croatia. *Int. J. Climatol.* 11, 677 – 687.
- GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC-TADIĆ, M., PATARČIĆ, M. 2003. Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske. *Hrv. Meteorol. Čas.* 38, 21 – 33.
- GAŠPAROVIĆ, B., ČOSOVIĆ, B. 2001. Distribution of surface-active substances in the northern Adriatic Sea. *Mar. Chem.* 75, 301 – 313.
- GERVAIS, F. 1997. Light-dependant growth, dark survival, and glucose uptake by cryptophytes isolated from a freshwater chemocline. *J. Phycol.* 33, 18 – 25.
- HASLE, G.R. 1978a. The inverted – microscope method. In: Sournia, A. (ed.), *Phytoplankton manual*, 88 – 96. UNESCO, Paris
- HASLE, G.R. 1978b. Using the inverted microscope. In: Sournia, A. (ed.), *Phytoplankton manual*, 191 – 196. UNESCO, Paris
- IVANČIĆ, I., DEGOBBIS, D. 1984. An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. *Wat. Res.* 18, 1143–1147.
- JURČEC, V. 1981. On mesoscale characteristics of bora conditions in Yugoslavia. *Pure Appl. Geophys.* 119, 640 – 657.
- KNEŽEVIĆ, R. 1998. Hidrogeografske značajke Gorskog kotara. *Zbornik radova Savjetovanja Prirodoslovna istraživanja riječkog područja, Rijeka*, 267 – 275.
- LEDER, N., SMIRČIĆ, A., VILIBIĆ, I. 1998. Neke karakteristike polja struja Riječkog zaljeva – komunikacija Riječkog zaljeva s Vinodolskim kanalom preko Tihog kanala. *Zbornik radova Savjetovanja Prirodoslovna istraživanja riječkog područja, Rijeka*, 213 – 221.
- LEE, C.M., ASKARI, F., BOOK, J., CARNIEL, S., CUSHMAN-ROISIN, B., DORMAN, C., DOYLE, J., FLAMENT, P., HARRIS, C.K., JONES, B.H., KUZMIĆ, M., MARTIN, P., OGSTON, A., ORLIĆ, M., PERKINS, H., POULAIN, P.-M., PULLEN, J., RUSSO, A., SHERWOOD, C., SIGNELL, R.P., THALER DETWEILER, D. 2005. Northern Adriatic response to a wintertime bora wind event. *EOS, Trans. Am. Geophys. Un.* 86, 157 – 165.
- LI, A.S., STOECKER, D.K., COATS, D.W. 2000. Spatial and temporal aspects of *Gyrodinium galatheanum* in Chesapeake Bay: distribution and mixotrophy. *J. Plankton Res.* 22, 2105 – 2124.
- MARSHALL, W., LAYBOURN-PARRY, J. 2002. The balance between photosynthesis and grazing in Antarctic mixotrophic cryptophytes during summer. *Freshw. Biol.* 47, 1060 – 2070.
- MEDINA-SANCHEZ, J.M., VILLAR-ARGAIZ, M. 2004. Neither with nor without you: a complex algal control on bacterioplankton in a high mountain lake. *Limnol. Oceanogr.* 49, 1722 – 1733.
- ORLIĆ, M., GAČIĆ, M., LAVIOLETTE, P.E. 1992. The currents and circulation of the Adriatic Sea. *Oceanol. Acta* 15, 109 – 124.
- ORLIĆ, M., KUZMIĆ, M., PASARIĆ, Z. 1994. Response of the Adriatic Sea to bora and sirocco forcing. *Cont. Shelf Res.* 14, 91 – 116.
- ORLIĆ, M., LEDER, N., PASARIĆ, M., SMIRČIĆ, A. 2000. Physical properties and currents recorded during September and October 1998 in the Velebit Channel (east Adriatic). *Period. Biol.* 102, 31–37.

- PENZAR, B., PENZAR, I. 1980. O položaju i uzrocima ekstrema u godisnjem hodu oborine u Hrvatskoj (I dio). Geogr. Glasnik 41/42, 27 – 48.
- PENZAR, B., PENZAR, I., ORLIĆ, M. 2001. Vrijeme i klima uz hrvatsku obalu Jadrana (Weather and Climate of the Croatian Adriatic). Hrvatski hidrografski institut, Split.
- PRECALI, R., ŠOLIĆ, M., ŠURMANOVIĆ, D., ČPSOĆ-FLAJSIG, G. 2003. Stanje kakvoće priobalnog mora Hrvatske. Zbornik radova 3. Hrvatske konferencije o vodama, Osijek, 435 – 442.
- SAKSHAUG, E., OLSEN, Y., 1986. Nutrient status of phytoplankton blooms in Norwegian waters and algal strategies for nutrient competition. Can. J. Fish. Aqu. Sci. 43, 389 – 396.
- SHERR, E., SHERR, B. 2000. Marine microbes, an overview. In Kirchman, D.L. (ed.) Microbial ecology of the oceans, 13 – 46. Wiley – Liss, New York.
- SMALLEY, G.W., COATS, D.W., STOECKER, D.K. 2003. Feeding in the mixotrophic dinoflagellate *Ceratium furca* is influenced by intracellular nutrient concentrations. Mar. Ecol. Prog. Ser. 262, 137 – 151.
- STRICKLAND, J.D.H., PARSONS, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analyses. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 167, 1-310.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9, 1-38.
- VENRICK, E.L. 1978. How many cells to count? In: Sournia, A. (ed.), Phytoplankton manual, 167 - 180. UNESCO, Paris
- WILLIAMS, B., PETER, J. 2000. Heterotrophic bacteria and the dynamics of dissolved organic matter. In Kirchman, D.L. (ed.) Microbial ecology of the oceans, 153 – 200. Wiley – Liss, New York.
- YIH, W., KIM, H.S., JEONG, H.A., MYUNG, G., KIM, Y.G. 2004. Ingestion of cryptophyte cells by marine photosynthetic ciliate *Mesodinium rubrum*. Aquat. Microbiol. Ecol. 36, 165 – 170.