



'19

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД

год. 60

бр. 4 (септембар)

YU ISSN 04406826
UDC 54.011.93



150 година
периодног система
елемената

Д. И. Менделјејева

ОСНОВЫ
ХИМИИ.



Хемијски Преглед
www.shd.org.rs/hp.htm

српско хемијско друштво

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Годиште 60

број 4
септембар

Editor-in-Chief
RATKO M. JANKOV
Deputy Editor-in-Chief
DRAGICA TRIVIĆ

Volume 60
NUMBER 4
(September)

Publisher
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Издаје
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК
Ратко М. Јанков

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ
УРЕДНИКА
Драгица Тривић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ
Јелена Радосављевић, Наталија Половић и Воин Петровић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

Иван Гутман, Снежана Зарић, Јован Јовановић, Славко
Кеврешан, Драган Марковић, Владимир Павловић,
Радомир Саичић, Живорад Чековић (председник).

Годишња чланарина, укључује часопис „Хемијски преглед“,
за 2018. годину износи:

- за све запослене и студенте докторских студија 1.800,00
- за професоре у основним и средњим школама..... 1.000,00
- за пензионере, студенте основних и мастер студија,
ђаке и незапослене..... 800,00
- претплата за школе и остале институције..... 3.500,00
- за чланове и институције из иностранства. € 50

Чланарину и претплату можете уплатити на рачун СХД:
205-13815-62, позив на број 320.

Web site: <http://www.shd.org.rs/hp/>
e-mail редакције: hempred@chem.bg.ac.rs

Припрема за штампу: Јелена и Зоран ДИМИЋ,
Светозара Марковића 2, 11000 Београд

Штампа: РИЦ графичког инжењерства Технолошко-
металуршког факултета Београд, Карнегијева 4

Насловна страна и Интернет верзија часописа:
Слободан и Горан Ратковић, RatkovicDesign
www.ratkovicdesign.net
office@ratkovicdesign.net

САДРЖАЈ

Ана СИМОВИЋ
Ana SIMOVIĆ
ЦРВЕНЕ АЛГЕ И ЊИХОВЕ БИОАКТИВНЕ КОМПОНЕНТЕ
RED ALGAE AND THEIR BIOACTIVE COMPONENTS 78

Мирјана ПЕТРОНИЈЕВИЋ, Јасмина АГБАБА, Јелена
МОЛНАР-ЈАЗИЋ и Сања ПАНИЋ
*Mirjana PETRONIJEVIĆ, Jasmina AGBABA, Jelena MOLNAR-
JAZIĆ i Sanja PANIĆ*
ПРИМЕНА ОДАБРАНИХ УНАПРЕЂЕНИХ ОКСИДАЦИОНИХ
ПРОЦЕСА У ПРИПРЕМИ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ
*ADVANCED OKSIDATION PROCESSES IN DRINKING WATER
PRODUCTION* 84

Светлана МАРКОВИЋ, Слађана ЂОРЂЕВИЋ, Изудин
РЕЏЕПОВИЋ, ЖИКО МИЛАНОВИЋ
*Svetlana MARKOVIĆ, Slađana ĐORĐEVIĆ, Izudin REDŽEPOVIĆ,
Žiko MILANOVIĆ*
СИМУЛИРАЊЕ ХЕМИЈСКИХ СПЕКТРА ПОМОЋУ
СОФТВЕРА ЗА МОЛЕКУЛСКО МОДЕЛИРАЊЕ
*SIMULATION OF CHEMICAL SPECTRA BY MEANS OF THE
SOFTWARE FOR MOLECULAR MODELING* 90

ВЕСТИ ИЗ ШКОЛА / ВЕСТИ ЗА ШКОЛЕ
ИЗВЕШТАЈ О РЕЗУЛТАТИМА СА 55. РЕПУБЛИЧКОГ
ТАКМИЧЕЊА ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ ОСНОВНИХ
ШКОЛА 95

ИЗВЕШТАЈ О РЕЗУЛТАТИМА СА 55. РЕПУБЛИЧКОГ
ТАКМИЧЕЊА ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ СРЕДЊИХ
ШКОЛА 99

ВЕСТИ ИЗ СХД

КРАТКИ ИЗВЕШТАЈ СА 7. РЕГИОНАЛНОГ СИМПОЗИЈУМА
ЕЛЕКТРОХЕМИЈЕ ЗЕМАЉА ЈУГОИСТОЧНЕ ЕВРОПЕ
- RSE-SEE-7 104



ЧЛАНЦИ



Ана СИМОВИЋ (Универзитет у Београду - Хемијски факултет, Катедра за биохемију; е-пошта: simovic.ana@gmail.com)

ЦРВЕНЕ АЛГЕ И ЊИХОВЕ БИОАКТИВНЕ КОМПОНЕНТЕ

Црвене алге једне су од (нај)старијих фотосинтетских организма на Земљи и користе се у исхрани човека од самих почетака људске цивилизације. Оне налазе све већу примену не само у њехрамбеној индустрији, већ и у медицини, козметици и производњи високовредној биојорива. У овом чланку су украјко приказане најважније биоактивне компоненте црвених алги, уз крајњак осврћ на њихову вредност алги и значај њиховог/будуће примене биоактивних једињења црвених алги у производњи додатака исхрани и фармацеутика.

УКРАТКО О (ЦРВЕНИМ) АЛГАМА

Алге се уопштено могу описати као водени, фотосинтетски, једноћелијски или вишећелијски не-васкуларни организми у које се не убрајају копнене биљке (ембриофите) и лишјајеви. Највећи су произвођачи кисеоника на Земљи. Већину чине морске, док свега око 3% припада слатководним врстама. Микроалге су једноћелијски, микроскопски организми (фитопланктон), док су макроалге вишећелијски еукариоти, који се на основу своје боје деле у три главне таксономске групе: *Phaeophyta* (браон алге), *Chlorophyta* (зелене алге) и *Rhodophyta* (црвене алге). Црвене алге (раздео *Rhodophyta*) су еволутивно веома стара и разноврсна група еукариотских, углавном вишећелијских алги, са око 7000 до сада познатих врста. Већина врста црвених алги су паренхиматозне (*Porphyra*, *Halymenia*), псеудо-паренхиматозне (*Ceramium*), или филаментозне (*Polysiphonia*).

Црвене алге су организми са вишеслојним ћелијским зидом, који је изграђен од пектина и ксилана (спољашњи) и целулозе (унутрашњи слојеви), са додатним хидроколоидним сулфонским полисахаридама као што су агар и карагинан. Ћелијски зид може бити калцификован. Дебљина плазмине мембране износи 8–10 nm, са (на појединим местима) везаним тубулама. Цитоплазма се налази уз ћелијски зид, док средину ћелије заузима вакуола. Голџи апарат црвених алги углавном се састоји од 5–15 цистерни. За разлику од других еукариота, код којих је цис-Голџи об-

ласт везана за ендоплазматски ретикулум, код већине црвених алги он је у вези са митохондријама. Ендоплазматични ретикулум (глатки и рапави) се налази на периферији ћелије, у близини једра. Једро (може их бити више) је мало, пречника 3–5 μm током интерфазе ћелијског циклуса. Број хромозома варира од 2–100.

Хлоропласти (родопласти) црвених алги садрже појединачне тилакоиде. Фотосинтетски апарат црвених алги је јединствен по томе што садржи једино хлорофил *a*, уз фикобилипротеине са ковалентно везаним линеарним хромофорама који су допунски пигменти за прикупљање светлосне енергије. Фикобилизоми (агрегати фикобилипротеина) одговарају антенама које образују хлорофили *a* и *b* код зелених алги и виших биљака. Боја црвених алги (различите нијансе црвене до/или љубичасте) зависи од односа садржаја фикоеритрина (црвени) и фикоцијанина (плави фикобилипротеин). Када алга утине, њена боја брзо прелази у зелену, пошто се у води одлично растворни фикобилипротеин исперу, и хлорофил остаје као доминантни пигмент. Други, много мање заступљени, пигменти који се налазе у родопластима црвених алги су α - и β -каротен и ксантофили лутеин и зеоксантин. Главни производ фотосинтезе је флоридае скроб, у мањој мери и манитол, сорбитол и дулцитол. Флоридае скроб је у води нерастворан амилопектин веома разгранате структуре (α -1,4 гликозидне везе углавном и α -1,6 гликозидне везе у бочним ланцима глукана). Занимљиво, скроб се код црвених алги складишти у цитоплазми ћелија, а не у хлоропластима као код других група макроалги и код копнених биљака.

Црвене алге карактерише и потпуно одсуство флагеларних структура. Размножавају се полно и бесполно (вегетативно и спорулативно). Вегетативно размножавање остварује се простом деобом, раскидањем колоније, или откинутим деловима талуса. Полно се размножавају оогамијом. У метаболичком погледу, постоје аутоτροφне врсте (саме себи стварају храну), потпуни хетеротрофни паразити (узимају готову храну из природе), или полупаразити (епифите). Црвене алге живе на различитим дубинама (и до 250 m). Мали број може да поднесе веће промене темпера-

туре, тако да су најзаступљеније у водама тропских мора. Велики број врста црвених алги живи и у (умерено) континенталним морима, где достижу већу величину, док је у хладним морима број врста веома мали.

ЗНАЧАЈ (ЦРВЕНИХ) АЛГИ У ИСХРАНИ ЧОВЕКА

У погледу укупне количине и комерцијалне вредности, највећи део морских алги људи користе у исхрани, или за производњу прехранбених адитива, док се остатак употребљава у медицинске и индустријске сврхе. За разлику од копнених биљака, велика већина алги је јестива, али нису све једнако погодне за исхрану, због тешкоћа у култивисању и, једноставно, зато што нису посебно укусне. Већину алги треба додатно третирати, обично сушењем, кувањем, или пржењем, како би се учиниле укуснијим за човека. У исхрани људи највише користе црвене и браон алге, ређе зелене и модро-зелене алге. Неке врсте црвених алги, као што су *Porphyra* spp. (нори, лавер) и *Palmaria palmata* (дулсе), користе се вековима у људској исхрани. Сматра се да се у Кини и Јапану црвене алге користе као храна више од 4000. година. У нашим крајевима алге су углавном храна макробиотичара.

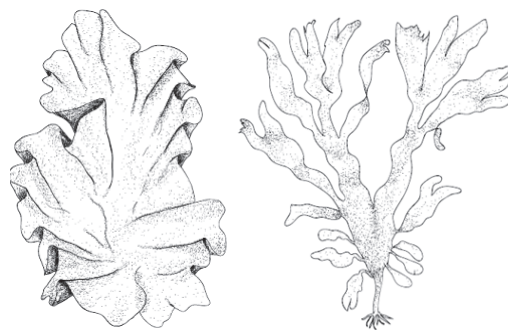
Будући да се користе за производњу листића за припремање једне врсте сушија, *нори алге* су значајнија врста алги у људској исхрани у свим деловима света. Иако потиче из јужне Кине (VII век), данас је суши синоним за деликатес јапанске кухиње. Сама реч "суши" описује врсту пиринча, и некада се користио као "брза храна", за дуге коцкарске ноћи. *Маки суши* се данас припрема тако што се на листу направљеном од пресованих (обично црвених) алги најпре дода слој пиринча, потом остали састојци (сирова риба и поврће), и све се то увије у ролну која се сече на комаде (залогaje).



Један од традиционалних састојака сушија су нори црвене алге

Према подацима светске Организације за храну и пољопривреду (ФАО) из 2011. године, светска производња нори алги је већа од 22 милиона тона свежих алги. Латински назив за нори алге (род *Porphyra*) потиче од грчке речи за љубичасто-црвену боју. Нори алге су изузетно хранљиве (Табела 1). Прерађују се под контролисаним условима, како би се спречило распадање (биоактивних) компоненти и да би се задржала

нутритивна вредност као у свежем производу. Између 30 и 45% суве масе нори алги су протеини, од чега је око 80% сварљиво (организам може да искористи). Садржај протеина се разликује у зависности од сезоне и врсте. Садржај угљених хидрата, дијететских влакана, липида и пепела је, редом, око 40%, 33,7–34,7%, 0,7–1,6% и 8,5–8,7% суве масе. Биотехнолошки третман нори алге ензимима који разграђују влакна је један од начина да се повећа биодоступност протеина. Нори алге садрже (мање-више) једнаке количине ω -3 и ω -6 масних киселина. Садржај хлорофила а, каротеноида, фикоеритрина и фикоцијанина редом износи: 601–646, 120–130, 1289–1802 и 1255–1743 mg/100 g суве масе. Нори алга је богата минералима (посебно са К, Na, Mg, P и Zn). Садржај гвожђа, и посебно јода, је изузетно висок (Табела 1), али је нижи у односу на друге јестиве морске траве/алге. Садржај тешких метала (Cu, Cd и Cr) по правилу је веома низак. Нори је богата витаминима А и Ц. Она садржи око десет пута више витамина А од спанаћа, и око четири пута више витамина Ц од јабуке исте масе. Међутим, витамин Ц се брзо разграђује у (о)сушеном производу. Због високог садржаја витамина B₁₂ (око 0,06 mg/100 g суве масе) нори алга се препоручује и у вегетаријанској исхрани.



Приказ изгледа нори (*Porphyra* spp.) и дулсе (*Palmaria palmata*) црвене алге (десно)

Богата културна историја везана је за *дулсе црвену алгу* (*Palmaria palmata*), коју су људи који насељавају обале широм света, а посебно оне северног Атлантика и Тихог океана, вековима користили у исхрани. На Исланду, где је позната као *söl*, дуго је била незамењиви извор дијететских влакана. Назив *Palmaria* добија пошто је талус понекад подељен у делове који изгледају као прсти на руци. Од свих морских алги дулсе има укус који је најприхватљивији за тржишта Европе и Северне Америке. Дулсе има релативно висок садржај протеина (и до 25% суве масе), што је више него у пилетини или бадемима. Међутим, недостатак је јој есенцијална аминокиселина триптофан. Садржи знатну количину калијума, а у поређењу са другим врстама морских алги сиромашна је липидима, посебно у односу на велике смеђе алге. Угљени хидрати који се налазе у дулсе алги су једноставније форме него у другим врстама морских алги. Као и друге алге, и дулсе је изузетно богат извор гвожђа и јода у исхрани.

Табела 1. Упросечени нутритивни састав црвених алги које се највише користе у исхрани човека: нори (*Porphyra spp.*) и дулсе (*Palmaria palmata*).

Макронутријенти (порција од 7 g)	Енергија (cal)	Протеини (g)	Липиди (g)	Угљени хидрати (g)	Влакна (g)
Нори	22	2,5	<0,1	3	2
Дулсе	18	2	<0,1	3	2
Препорука (дневно)	2300	50	65	300	25

Минерали (порција од 7 g)	I (µg)	Ca (mg)	Na (mg)	K (mg)	Mg (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Mn (mg)	Cu (mg)	Cr (µg)	Zn (mg)
Нори	98	13	113	188	26	29	1	0,24	0,04	10	0,29
Дулсе	1169	15	122	547	19	29	2	0,08	0,03	10	0,20
Препорука (дневно)	50	1000	2400	3500	400	1000	18	2,0	2,0	120	15

Витамини (порција од 7 g)	A (IU)	B ₁ (mg)	B ₂ (mg)	B ₃ (mg)	B ₆ (mg)	B ₁₂ (µg)	Ц (mg)	Е (IU)
Нори	300	0,04	0,21	0,41	0,78	1,23	0,84	0,36
Дулсе	46	0,01	0,13	0,13	0,63	0,46	0,44	0,12
Препорука (дневно)	5000	1,5	1,7	20	2,0	6,0	60	30

БИОАКТИВНЕ КОМПОНЕНТЕ ЦРВЕНИХ АЛГИ

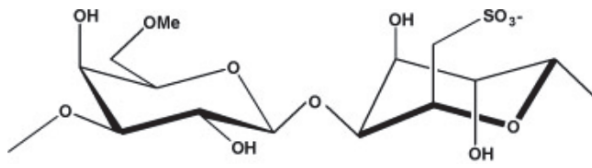
Поред своје нутритивне вредности, алге се на тржишту хране све више рекламирају као "функционална храна" и "нутрацеутици". Ови термини у основи описују храну која садржи обиље биоактивних компоненти, или фитохемикалија. Овакве супстанце, или смеше једињења, поред своје (основне) нутритивне вредности имају и *повољан утицај на здравље*. Оне, још увек недовољно изученим механизмима, утичу на превенцију и/или третман многих хроничних болести код људи (канцери, кардиоваскуларне болести, гојазност и/или дијабетес типа 2 и друго).

Дијететска влакна су део хране биљног порекла (у основи безскробни полисахариди) која се потпуно не разлаже деловањем дигестивних ензима. Укупан садржај влакана (растворних и нерастворних у води) код морских алги је много *већи* него у воћу и поврћу. Влакна нерастворна у води немају калоријску вредност, већ поспешују варење тако што везују воду, пружајући осећај увећане масе хране у стомаку, и олакшавају пролаз хране кроз црева и пражњење столице. У води растворна влакна се разграђују у дебелом цреву, успоравају гастрично пражњење и брзину апсорпције угљених хидрата, што помаже снижавању нивоа шећера у крви. Пигменти алги, посебно фикобилипротеини, такође представљају занимљиве молекуле за проучавање њиховог биоактивног потенцијала. Црвене алге садрже и друге, у мањој мери заступљене биоактивне молекуле, као што су пептиди или полифеноли.

Не треба занемарити ни олигоминерални састав морских алги (Табела 1), посебно што се у њима углавном налазе у хелираном и колоидном облику, што повећава њихову биодоступност (искористљивост) у телу човека. Епидемиолошке студије су недвосмислено утврдиле да популације које у својој исхрани користе велике количине морских алги имају *мању* стопу горе наведених хроничних обољења, што је потврђено и у неколико клиничких студија. У даљем тексту укратко је сумирано шта се зна о заштитном деловању најзаступљенијих биоактивних компоненти црвених алги. Ови и други налази свакако су додатни аргумент у корист (свакодневне) употребе алги у исхрани савременог човека.

СУЛФОНОВАНИ ПОЛИСАХАРИДИ

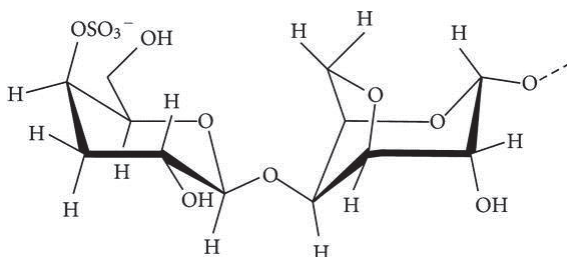
Порфиран је унутарћелијски сулфоновани агароколоид сложене структуре, који се састоји од остатака D-галактозе, L-галактозе, 3,6-анхидро-L-галактозе, 6-O-метил-D-галактозе и сулфатних естара. Примена праха сушене нори (*P. tenera*) алге у исхрани показала је хемопревентивни учинак против канцера јетре изазваног диетил-нитрозамином. Даље, на ћелијама канцера желуца, изоловани порфиран из ове алге смањује фосфорилацију рецептора за инсулину сличан фактор раста 1 и активира каспазу-3, сигнални протеин која нисходно активира процес апоптотске (програмиране) смрти канцерских ћелија. Сулфоновани полисахариди из *P. yezoensis* показали су инхибиторно дејство на раст ћелија канцера желуца и плућа, а производи њиховог разлагања, настали након третмана ултразвуком, значајно су повећали анти-пролиферативни ефекат на ћелије канцера желуца.



Основна структурна јединица порфирана, сулфонованог полисахарида алги

Нори алга поред порфирана садржи и друге анти-туморске компоненте. Нађено је да њен висок унос повољно утиче на смањење ризика од канцера дојке. Примена порфирана изолованог из *P. haitenesis* повећава синтезу фактора некрозе тумора- α и интерлеукина-10 у ћелијској линији мишијих моноцит-макрофага RAW264.7, што указује на његову имуно-модулаторну активност. Порфиран из *P. haitenesis* показује и снажну *in vitro* антиоксидативну активност. Након интраперитонеалне примене код старих мишева, активност супероксид-дисмутазе и глутатион-пероксидазе, кључних ензима заштитног антиоксидативног система, као и укупан антиоксидативни капацитет значајно су увећани. Штавише, ниво пероксидације липида значајно је умањен у свим тестираним органима (плућа, јетра, срце, мозак, слезина), што указује да порфиран има и значајну *in vivo* антиоксидативну активност.

Карагенани црвених алги чине породицу од шест типова линеарних, хидрофилних, сулфонованих галактана. Три главна варијетета (капа, јота и ламбда) се разликују у степену сулфатације основне дисахаридне структуре. Због својих гелирајућих и стабилишућих својстава (снажно се везују за протеине хране) много се користе у индустрији хране. Карагенани имају добро документовани анти-вирусни ефекат, на примеру инфекција вирусом херпеса, денга вирусом, HIV-вирусом и код хуманог папилома вируса. Претпоставља се да се снажан анти-вирусни ефекат састоји из два паралелна процеса: спречавање напада и уласка вируса на/у ћелије, и јачање урођеног имуног система и ометање даље инфекције преносом вируса путем крви. Неколико студија је показало антитуморски потенцијал карагенана, као и њихове анти-ангиогене ефекте код мишева. Утврђена је и индукција апоптозе у туморским ћелијама црева човека (Caco-2) и хепатичним ћелијским линијама (HepG2), при чему токсичност није примећена на здравим ћелијама. Описано је и да су про-апоптоски ефекти карагенана посредовани каспазом-3, каспазом-9, p53, Вах и Bcl-2 протеинима у MDA-MB-231 метастатским ћелијама рака дојке.

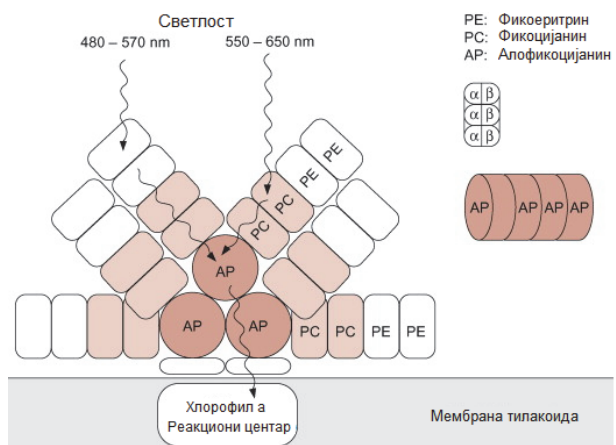


Основа структуре κ -карагенана из црвених алги

Без обзира на све ове резултате, треба бити опрезан у погледу сигурности (будуће) терапијске примене карагенана. Наиме, испитивања везе између излагања карагенанима и појаве улцерација црева и гастроинтестиналних неоплазми указала су на могућу карциногеност производа биотрансформације карагенана у животињским моделима, као и да неразложени карагенани у неким експерименталним моделима утичу на формирање тумора. Зато су даља истраживања с тим у вези неопходна.

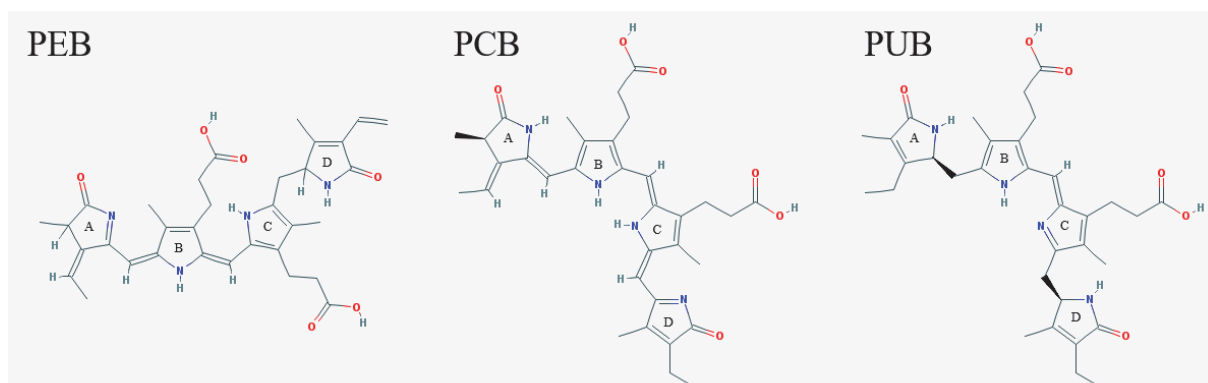
ФИКОЕРИТРИН

Фикоеритрин припада фамилији интезивно обојених флуоресцентних фикобилипротеина растворних у води. Фикобилипротеини су саставни део *фикобилизома*, супра-молекулских протеинских комплекса на мембрани тилакоида са стране строме хлоропласта. Њихова физиолошка улога је прикупљање светлосне енергије таласних дужина од 450 nm до 650 nm (у овом опсегу хлорофил *a* слабо апсорбује светлост) и потом њено преношење до фотосистема II. Према боји и апсорпционим својствима, разликују се три групе фикобилипротеина: *фикоеритрин* (РЕ; λ_{\max} =540–570 nm; λF_{\max} =575–590 nm), *розе до црвене боје*; *фикоцијанин* (РС; λ_{\max} =610–620 nm; λF_{\max} =645–653 nm), *љубичасте до плаве боје*; и *алофикоцијанин* (АРС; λ_{\max} =650–655 nm; λF_{\max} =657–660), *плаве боје*.



Поједностављени схематски приказ структуре фикобилизома

Основна јединица структуре свих фикобилипротеина је хетеродимер кога чине α и β субјединице различите дужине (160–180 аминокиселина) и молекулске масе (16–21 kDa). Јединична структура формира $(\alpha\beta)_3$ тример, а потом два тримера образују хексамер $(\alpha\beta)_6$. Додатна γ јединица (30–33 kDa) постоји само код црвених алги и стабилизује олигомерну структуру фикоеритрина. Разлике у боји фикобилинских протеина последица су различитог садржаја линеарних тетрапиролних хромофора (*фикобилини*), које су ковалентно, тиоетарским везама везане за апопротеин. У црвеним алгама то су жуто обојени фикоуробилин (PUB), црвени *фикоеритриробилин* (PEB) и плави фикоцијанобилин (PCB). Ове три хромофоре су изомери и



Структура фикоеритробилина (PUB), фикоцијанобилина (PCB) и фикоуробилина (PUB), хромофора у саставу фикоеритрина

разликују се у броју и распореду коњугованих двоструких веза и местима везивања за субјединице протеина.

Јединствене спектралне карактеристике, сложена протеинска природа и изразита биолошка активност фикоеритрина разлог су његове све веће примене у козметици, фармацеутској индустрији и биомедицини. Фикоеритрин из црвене алге *Kappaphycus alvarezzi* показао је одличну антиоксидативну активност у великом броју *in vitro* есеја. Пречишћени фикоеритрин из цијанобактерије *Phormidium tenue* олакшава симптоме настале услед стрептозоцином-изазваног дијабетеса типа 2 код пацова, док онај из *Lyngbya sp.* продужава животни век црва (*Caenorhabditis elegans*) и побољшава функције чије је опадање повезано са старошћу. Даље, фикоеритрин и његова хромофора фикоеритробилин из *P. yezoensis* испољавају снажну антиинфламаторну активност *in vitro*, супримирајући дегранулацију мастоцита. Због високог квантног приноса флуоресценције, која може да буде летална за туморске ћелије, и мале фототоксичности, фикоеритрин је обећавајући фотосензитизер у фотодинамској терапији код различитих типова чврстих тумора. На пример, третман хепатоцелуларног карцинома пречишћеним фикоеритрином (250 mg/L), и потом озрачивање тумора Ar или He-Ne ласером, значајно инхибира његов раст и активира процесе апоптозе.

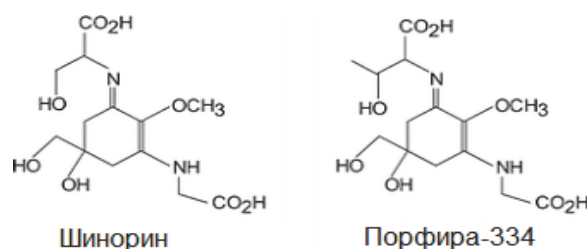
БИОАКТИВНИ ПЕПТИДИ

Црвене алге садрже различите биоактивне пептиде. Онај секвенце РPY учествује у анти-туморској ћелијској сигнализацији у процесу апоптозе, док PY-PE пептид, секвенце ALEGGKSSGGGEATRDPEТ, испољава пролиферативни ефекат на интестиналне епителне ћелије. Даље, хидролизат *P. yezoensis* показао је изражену инхибиторну активност на ангиотензин-конвертујући ензим (ACE), важан негативни регулатор ренин-ангиотензин система за регулацију крвног притиска. Орална примена ACE-инхибиторних пептида (Ile-Tyr; Met-Lys-Tyr; Ala-Lys-Tyr-Ser-Tyr i Leu-Arg-Tyr), изолованих из хидролизата *P. yezoensis*, показала је њихов значајан анти-хипертензивни ефекат код спонтано хипертензивних пацова. Дипептид ансерин (β -аланил-1-метил-L-хистидин), такође је идентификован као антиоксидативна компонента у *P.*

yezoensis и предмет је опсежних истраживања. Протеински хидролизат из *P. columbina* показује значајну имуномодулаторну активност *in vitro*, но структура и механизам деловања ових пептида још увек нису утврђени.

МИКРОСПОРИНСКЕ АМИНОКИСЕЛИНЕ

Микроспоринске аминокиселине су карактеристични метаболитски производи цијанобактерија, морских (микро- и макро-) алги и гљива. Порфира-334 је најзаступљенија микроспоринска аминокиселина у *P. yezoensis*, за коју постоје подаци да има снажну антиоксидативну активност и да убрзава зарастање рана. Када је испитан заштитни ефекат порфира-334 на UV-A зрачењем-изазвано старење фибробласта коже, добијено је умањено стварање реактивних врста, као и стимулација биосинтезе компоненти ванћелијског матрикса (проколаген, колаген тип I и еластин). Даље, екстракт *P. umbilicalis*, обogaћен са порфира-334 и шинорином, другом доста заступљеном микроспоринском аминокиселином црвених алги, значајно умањује ниво оштећења ДНК молекула и степен липидне пероксидације.



Шинорин

Порфира-334

Структура микроспоринских аминокиселина црвених алги

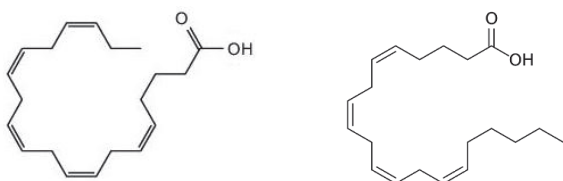
ДУГОЛАНЧАНЕ ПОЛИНЕЗАСИЋЕНЕ МАСНЕ КИСЕЛИНЕ

Најзаступљеније полинезасићене киселине дугог низа код црвених алги су еикозапентаенска (EPA; 20:5 ω -3) и арахидонска масна киселина (ARA; 20:4 ω -6). У црвеним алгама *Porphyra umbilicalis* и *Palmaria palmata* EPA чини и до 50% укупног садржаја масних киселина. За животиње су ове две масне киселине есенцијалне, с обзиром да не могу да их синтетишу



Структуре још неких биоактивних компоненти црвених алги

(ARA у довољној количини), а од кључне су важности за здравље човека. ЕРА је, између осталог, важна за нормални раст фетуса и функцију кардиоваскуларног система, а АРА учествује у ћелијској сигнализацији и кључан је инфламаторни посредник. Морске макроалге, међутим, по правилу имају веома низак садржај укупних липида, тако да препоручени (реални) дневни унос црвених алги (од око 7 g суве масе) које имају висок удео полинезасићених масних киселина у својим липидима, неће обезбедити њихов препоручени дневни унос за организам (одраслог) човека.



Структура еикозапентаенске (лево) и арахидонске масне киселине, којима су црвене алге посебно богате

ДРУГЕ БИОАКТИВНЕ КОМПОНЕНТЕ ЦРВЕНИХ АЛГИ

Црвене алге садрже незанемарљиве количине и други значајних биоактивних супстанци: фенолна једињења, флоротанини, фукостерол и таурин. Најважнија фенолна једињења у *P. dentata* су катехол, рутин и хесперидин. Сирови екстракт богат овим једињењима инхибира синтезу гасовитог азот(II)-оксида, стимулисањем настајања липополисахарида. Флоротанини, полимери флороглуцинола и 1,3,5-трихидроксибензена, су једињења фенолне природе која апсорбује UV зрачење и показују значајно антиоксидативно деловање. Флоротанини су, очекивано, показали заштитни ефекат против канцерогенезе коже изазване UV-B зрачењем, као и инхибиторни ефекат на разградњу колагенског матрикса у кожи. Фукостерол је посебно заступљен у браон и (мање) у црвеним алгама, и показано је да ово једињење помаже у третману компликација дијабетеса и артеријске хипертензије. Таурин (2-аминоетансулфонска киселина) делује као неуро-трансмитер, антиоксидант и модулатор унутарћелијског нивоа калцијума и као електролит. Показао се као ефикасан у снижавању нивоа холестерола

и аполипопротеина Б-100 (структурна компонента LDL-честица) у серуму, што би требало да смањује ризик од настанка атеросклерозе и коронарне болести срца. Месо и млечни производи су богати таурином, али не и храна биљног порекла, са изузетком морских алги. Сушена нори алга је веома богат извор таурина (13,0 mg/g суве масе).

ЗАКЉУЧАК

С обзиром на значај који (црвене) алге имају у исхрани човека, испитивања биодоступности (искористљивости) и биоактивности њених најважнијих компоненти, пре свега протеина и полисахарида, је од изузетног значаја. Велики потенцијал за истраживања на овом пољу упућује на заједнички рад алголога са другим научницима и клиничарима, али и на сарадњу са инжењерима који би пројектовали системе за ефикасан узгој и производњу црвених алги на комерцијалној скали.

Abstract

RED ALGAE AND THEIR BIOACTIVE COMPONENTS

Ana SIMOVIĆ, University of Belgrade - Faculty of Chemistry, Belgrade, Serbia

Algae have an extremely important role in the ecosystem. The nutritional potential of these marine organisms could be greatly exploited in reducing world hunger. Red algae are extremely rich in bioactive components with proven benefits for human health. In this article, the structure and emerging roles of these compounds are briefly presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ariffin SH, Yeen WW, Abidin IZ, Abdul Wahab RM, Ariffin ZZ, Senafi S. Cytotoxicity effect of degraded and undegraded kappa and iota carrageenan in human intestine and liver cell lines. *BMC Complement Altern Med.* 2014;**14**:508.
2. Bito T, Teng F, Watanabe F. Bioactive compounds of edible purple laver *Porphyra* sp. (nori). *J Agric Food Chem.* 2017;**65**:10685-92.
3. Bocanegra A, Bastida S, Benedi J, Ródenas S, Sánchez-Muniz FJ. Characteristics and Nutritional and Cardiovascular-Health Properties of Seaweeds. *J Med Food.* 2009;**12**(2):236-58.
4. Bourgougnon N, editor. *Advances in botanical research: Sea plants.* Amsterdam (Netherlands): Elsevier Academic Press; 2014.

5. Cai C, Wang Y, Li C, Guo Z, Jia R, Wu W, Hu Y, He P. Purification and photodynamic bioactivity of phycoerythrin and phycocyanin from *Porphyra yezoensis* Ueda. *J Ocean Univ China*. 2014;13(3):479-84.
6. Cao J, Wang J, Wang S, Xu X. *Porphyra* species: A mini-review of its pharmacological and nutritional properties. *J Med food*. 2016;19(2):111-9.
7. Cian RE, Drago SR, Medina FS, Martinez-Augustin O. Proteins and carbohydrates from red seaweeds: evidence for beneficial effects on gut function and microbiota. *Mar Drugs*. 2015;13:5358-83.
8. Fleurence J, Levine I, editors. *Seaweed in health and disease prevention*. 1st Ed. Cambridge: Academic Press; 2016.
9. Harnedy PA, FitzGerald RJ. *Bioactive Proteins, Peptides, And Amino Acids From Macroalgae*. *J Phycol*. 2011;47(2):218-32.
10. Mouritsen OG. *Seaweeds: edible, available & sustainable*. Chicago; London: University of Chicago Press, 2013.
11. Ryu J, Park SJ, Kim IH, Choi YH, Nam TJ. Protective effect of porphyra-334 on UVA-induced photoaging in human skin fibroblasts. *Int J Mol Med*. 2014;34(3):796-803.
12. Sakai S, Komura Y, Nishimura Y, Sugawara T, Hirata T. Inhibition of mast cell degranulation by phycoerythrin and its pigment moiety phycoerythrobilin, prepared from *Porphyra yezoensis*. *Food Sci Technol Res*. 2011;17:171-177.
13. Sangeetha P, Babu S, Rengasamy R. Antioxidant properties of R-Phycoerythrin from *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva. *J Innov Res Sol*. 2017;3:47-56.
14. Sonani RR, Rastogi RP, Patel R, Madamwar D. Recent advances in production, purification and applications of phycobiliproteins. *World J Biol Chem*. 2016;7(1):100-9.
15. Sonani RR, Singh NK, Awasthi A, Prasad B, Kumar J, Madamwar D. Phycoerythrin extends life span and health span of *Caenorhabditis elegans*. *AGE (Dordr)*. 2014;36(5):9717.
16. Stadnichuk IN, Tropin IV. Phycobiliproteins: Structure, functions and biotechnological applications. *Appl Biochem Microbiol*. 2017;53(1):1-10.
17. Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, Smith AG, Camire ME, Brawley SH. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J Appl Phycol*. 2017;29(2):949-982.



Мирјана ПЕТРОНИЈЕВИЋ*, Јасмина АГБАБА**, Јелена МОЛНАР ЈАЗИЋ** и Сађа ПАНИЋ*

* Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду,

** Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, e-mail: mirjana.petronijevic@uns.ac.rs, jasmina.agbaba@dh.uns.ac.rs, jelena.molnar@dh.uns.ac.rs, sanjar@tf.uns.ac.rs

ПРИМЕНА ОДАБРАНИХ УНАПРЕЂЕНИХ ОКСИДАЦИОНИХ ПРОЦЕСА У ПРИПРЕМИ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

УВОД

Обезбеђивање здравствено безбедне воде за пиће данас представља један од највећих проблема у свету, који привлачи пажњу стручњака услед све веће потребе за квалитетном водом за пиће, као и због све загађенијих ресурса. Тренутно доступни водни ресурси садрже разне загађујуће материје што технологију њихове прераде често чини комплексном, уз често неизбежну примену савремених метода третмана у комбинацији са конвенционалним технологијама што додатно повећава инвестиционе и оперативне трошкове. С обзиром на све оштрије захтеве у погледу квалитета воде за пиће, као и тренд даљег погоршања квалитета ресурса за водоснабдевање, ради се на усавршавању постојећих технологија, као и увођењу нових поступака прераде воде. Иако је најчешћи и најраспрострањенији здравствени ризик повезан са водом за пиће контаминација патогеним микроорганизмима, не би требало занемарити ни ефекте присуства загађујућих материја које могу у дужем временском периоду довести до штетног дејства на здравље људи.

Једну од највећих потешкоћа у процесу припреме квалитетне воде за пиће представља повећан садржај природних органских материја у ресурсима који се користе за водоснабдевање. На територији АП Војводине, Република Србија, водоснабдевање становништва углавном је оријентисано на експлатацију подземних вода, које често карактерише присуство и висок садржај природних органских материја (ПОМ). Присуство ПОМ има негативан утицај на квалитет воде за пиће проузрокујући специфичну жуту до мрку боју, лош мирис и укус воде. Поред тога, ПОМ испољавају и снажну тенденцију ка везивању и транспорту органских и неорганских загађујућих материја, као и формирању токсичних оксидационих/дезинфекционих нус-производа.

Природне органске материје представљају сложен матрикс органског материјала чији састав је веома комплексан. Њихове карактеристике варирају од локалитета до локалитета на коме су настале и условљене су сезонским променама. Груба подела природних органских материја може се извршити на: нехуминске материје (амино киселине, угљоводоници,