TEDI International Interdisciplinary Journal of Young Scientists from the Faculty of Textile Technology

Pregled bioaktivnih molekula smeđih algi i potencijalna primjena u proizvodnji funkcionalne hrane

Roberta Ernek

Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu (rernek@pbf.hr)

Abstract: Smeđe alge bogat su izvor bioaktivnih molekula od kojih su među najvažnijima polisaharidi laminarin, fukoidan i alginati, proteini, pigmenti fukoksantin i β-karoten, masne kiseline, vitamini te florotanini. Navedeni spojevi međusobno su strukturno različiti, a većina od njih posjeduje brojna biološki aktivna svojstva (antioksidativno, antikoagulativno, antitrombotsko, antivirusno, antikancerogeno, protuupalno i antibakterijsko) i zdravstvene benefite (prevencija i liječenje raznih bolesti, imunomodulatorno djelovanje) zbog čega imaju značajnu primjenu u proizvodnji funkcionalne hrane. Osim brojnih zdravstvenih benefita, dodatak algi u hranu uvelike doprinosi i kvaliteti te trajnosti samoga proizvoda zbog antioksidativnih i antimikrobnih svojstava prisutnih bioaktivnih molekula. Na tržištu se nalazi značajan broj proizvoda na bazi algi poput obogaćenih proizvoda na bazi žitarica i mliječnih proizvoda, proizvodi na bazi algi kao nadomjestak za meso i tjesteninu, dodataka prehrani itd. Unatoč širokom asortimanu proizvoda na bazi algi i brojnim znanstvenim istraživanjima, potencijal algi još uvijek je nedovoljno iskorišten, naročito u segmentu razvoja funkcionalnih proizvoda kao jednog od najviše rastućih segmenata prehrambene industrije.

Key words: bioaktivne molekule, smeđe alge, funkcionalna hrana, primjena

1. INTRODUCTION

Alge su jedni od najrasprostranjenijih organizama na Zemlji, a zbog sposobnosti rasta u ekstremnim uvjetima prisutne su u slanim vodama. Tipični su eukarioti s dobro razvijenom jezgrom, staničnom stjenkom, kloroplastima koji sadrže klorofil i druge pigmente te bičevima. Makroalge su klasificirane na temelju njihovih kemijskih i morfoloških karakteristika, posebice prisutnosti specifičnih pigmenata. Dijele se na smeđe alge (*Phaeophyceae*), crvene alge (*Rhodophyceae*) i zelene alge (*Chlorophyceae)* (Ścieszka i Klewicka, 2019; Pereira, 2021). Smeđe alge bogat su izvor bioaktivnih molekula kao što su proteini, aminokiseline, polisaharidi, masne kiseline, vitamini, minerali, dijetalna vlakna, steroli, pigmenti, polifenoli kojima se pripisuju brojna biološka djelovanja (antioksidativno, antikoagulativno, antitrombotsko, antivirusno, antikancerogeno, protuupalno i antibakterijsko). Stoga ekstrakti te drugi proizvodi smeđih algi imaju veliki potencijal u proizvodnji funkcionalne hrane, dodataka prehrani te u prevenciji i ublažavanju simptoma raznih bolesti (Dobrinčić i sur., 2020).

Razvoj funkcionalnih proizvoda bogatih bioaktivnim molekulama algi predstavlja važan segment prehrambene i farmaceutske industrije, kojima se pridaje sve više prostora u znanstvenim istraživanjima (Sahoo i Seckbach, 2015). Biomasa algi i njezini ekstrakti koriste se kao dodatci prehrani i ukomponirani u hranu u obliku pojačivača okusa, aditiva za boje, konzervansa, emulgatora i antioksidansa (Mendes i sur., 2022). Najviše se konzumiraju smeđe alge, a vrste koje se smatraju sigurnima za ljudsku prehranu su *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus, Himanthalia elongata, Undaria pinnatifida, Ascophyllum nodosum, Lamina-ria digitata, Laminaria saccharina, Laminaria japonica* i *Alaria esculenta* (Cikoš i sur., 2020). Posljednjih godina sustavno se razvijaju i nadograđuju spoznaje o funkcionalnim sastojcima iz algi te se nastoje pronaći učinkovite i održive metode izolacije bioaktivnih molekula kao i dokazivanje njihovih bioloških učinaka.

Stoga je cilj ovog preglednog rada istaknuti biološki potencijal algi te dati sistematičan pregled bioaktivnih spojeva i njihovih svojstava, kao i pregled istraživanja o potencijalnim zdravstvenim benefitima te primjeni bioaktivnih molekula algi u proizvodnji funkcionalne hrane.

2. TEORIJSKI DIO

Alge su velika skupina pretežno autotrofnih organizama kojima nedostaje prava organizacija tkiva, a obuhvaćaju prokariote i filogenetički raznolike eukariotske alge (Perković i sur., 2022). Prema internetskoj bazi podataka, AlgaeBase, opisano je preko 167000 vrsta (Guiry i Guiry, 2022). Razlikujemo jednostanične mikroalge veličine od 3 do 10 μm, te višestanične makroalge koje dostižu i do 70 m u dužinu s dnevnim prirastom od oko 50 cm (Ścieszka i Klewicka, 2019). Sadrže klorofil, koji im omogućava provođenje procesa fotosinteze. Kao primarni proizvođači, makroalge se nalaze na dnu morskog hranidbenog lanca te su hrana biljojedima. Neke vrste razvile su mehanizme zaštite od biljojeda od kojih je najčešća kalcifikacija ili proizvodnja različitih sekundarnih metabolita (Pereira, 2021).

Podjela makroalgi temelji se na njihovim kemijskim i morfološkim karakteristikama, a prvenstveno na prisutnosti specifičnih pigmenata pri čemu se dijele se na:

- smeđe alge (*Phaeophyceae*), kod kojih smeđa boja potječe od pigmenta fukoksantina,
- crvene alge (*Rhodophyceae*), čiji su dominantni pigmenti fikoeritrin i fikocijan te
- zelene alge (*Chlorophyceae*) koje sadrže klorofile a i b.

Alge sintetiziraju širok spektar bioaktivnih sekundarnih metabolita i vrijednih bioaktivnih supstanci među koje pripadaju proteini, ugljikohidrati, masne kiseline, lipidi, polisaharidi, polifenoli, steroli te pigmenti klorofil, karotenoidi i fikobilini (Ścieszka i Klewicka, 2019). U usporedbi s biljkama, neke vrste proizvode višestruko veću količinu proteina. Obzirom da je u algi iskorištenje Sunčeve energije znatno efikasnije no što je to kod biljaka, njihov potencijal za proizvodnju vrijednih spojeva može biti iskorišten za poboljšanje nutritivnih vrijednosti hrane (Kovač Blagojević i sur., 2013). Zbog bogatog kemijskog sastava i prisutnosti bioaktivnih spojeva alge imaju vrlo široku primjenu te se koriste u kemijskoj, kozmetičkoj, farmaceutskoj te u prehrambenoj industriji.

Bioaktivne molekule algi pokazuju bakteriocidno djelovanje, predstavljaju alternativu za mnoge kemoterapeutike te ih možemo koristit u svrhu bioremedijacije, uklanjanja teških metala i organskih polutanata. Jedna od značajnih primjena također je i ona u proizvodnji biogoriva, lipidi iz mikroalgi mogu biti iskorišteni za biodizel, dok bioetanol nastaje nakon saharifikacije i fermentacije algi (Ścieszka i Klewicka, 2019). Biomasa mikroalgi dostupna je u različitim oblicima poput praha, tableta, kapsula, tekućina, a također može biti inkorporirana u različite prehrambene proizvode, a u ljudskoj prehrani najčešći i najznačajniji su preparati algi *Spirulina* i *Chlorella* (Pooja, 2014).

2.1 Smeđe alge

Smeđe alge (*Phaeophyceae*) sadrže oko 2000 opisanih vrsta te su jedna od nekolicine eukariotskih loza koja je razvila složenu višestaničnost. Pokazuju specifične morfološke varijacije između vrsta koje se bitno razlikuju ovisno o složenosti na razini stanica, tkiva i organa (Bringloe i sur., 2020). Ove morske alge dominantne su vrste u stjenovitim obalnim ekosustavima (Cock i sur., 2011). Morfologija i građa talusa ovih algi vrlo je različita. Postoje oblici koji imaju mikroskopski sitno razgranati nitasti talus, dok postoje i oblici čiji je listoliki talus dug više desetaka metara i složene je građe. Neki rodovi imaju jako diferenciran talus kod kojega možemo razlikovati dijelove nalik korijenu (rizoid), stablu (kauloid) i listu (filoid) (Antolić i sur., 2011). Smeđe alge karakterizira njihova smeđa boja koja potječe od karotenoidnog pigmenta, fukoksantina, prisutnog u kloroplastima. U pojedinim vrstama uz fukoksantin smeđoj nijansi boje pridonose i prisutni tanini. U kloroplastima se također nalaze i klorofili a, c1 i c2 te β-karoten, dijatoksantin, violaksantin i velike količine fukoksantina. Razmnožavaju se vegetativno (fragmentacija), nespolno i spolno.

Primjena algi kao prehrambenih proizvoda seže daleko u prošlost. Vrlo su važan segment prehrane u zapadnim i orijentalnim zemljama. U obalnim prostorima popularne su kao morsko povrće, a svoju popularnost stekle su zahvaljujući nutritivnom sastavu i već spomenutim bioaktivnim molekulama.

2.2 Bioaktivne molekule algi

2.2.1 Polisaharidi

Polisaharidi algi nalaze se u staničnoj stjenki, koja je građena od dva dijela, takozvanog kristaliničnog, koji obnaša ulogu kostura, i amorfnog dijela, matriksa, u kojemu se nalazi kostur. Rezerve polisaharida potječu iz fotosintetskog mehanizma. Nalaze se pohranjeni u plastidima otkud se po potrebi koriste za osnovni metabolizam (Hentati i sur., 2020). Među najznačajnije polisaharide smeđih algi spadaju laminarini, alginati i fukoidani te sulfatirani polisaharidi.

Laminarin, u vodi topljiv linearni polisaharid, sastoji se od β (1→3) i β (1→6) glukana u omjeru 3:1. Molarna masa laminarina iznosi oko 5 kDa, ovisno o stupnju polimerizacije. Ovisno o tipu šećera na reducirajućem kraju, razlikujemo M lance s terminalnim 1-O- supstituiranim D-manitolom i G lance s glukozom (Dobrinčić i sur., 2020). Struktura i omjer ova dva tipa laminarina varira u odnosu na okolišne čimbenike za koje se također smatra da utječu i na biološku aktivnost laminarina. Koncentracija laminarina u smeđim algama varira ovisno o vrsti, godišnjem dobu, staništu te metodi ekstrakcije, a iznosi do 35% suhe tvari. Topljivost u vodi ovisi uglavnom o stupnju razgranatosti pri čemu je visoko razgranati laminarin topljiv u vodi neovisno o temperaturi, dok je onaj nižeg stupnja grananja topljiv samo pri visokim temperaturama. Za razliku od ostalih polisaharida iz algi, laminarin nema svojstva zgušnjavanja i želiranja. Proces ekstrakcije laminarina uglavnom obuhvaća mljevenje, taloženje u bazičnom ili kiselom mediju, ultrafiltraciju i dijalizu. Uspješnost ekstrakcije povećava se pri visokim temperaturama uz vodu kao otapalo. Laminarin je intenzivno istraživan zbog potencijalnih bioloških djelovanja kao što je aktivacija makrofaga koja dovodi do imunostimulacije te antitumorskog i zacjeljujućeg djelovanja. Smeđe alge, pa tako i laminarin, dobar su izvor dijetalnih vlakana. Istraživanja su pokazala da je laminarin zbog glikozidnih veza u svome sastavu otporan na hidrolitičke enzime prisutne u gornjem ljudskom gastrointestinalnom traktu, a podliježe fermentaciji endogene intestinalne mikroflore te je zaključeno da je laminarin potencijalni modulator intestinalnog metabolizma (Kadam i sur., 2015).

Alginati su linearni heteropolisaharidi sastavljeni od β-D-manuronske kiseline (M) i α-L-guluronske kiseline (G). Ova dva monomera povezana su u 1→4 konfiguraciju i organizirana kao homogeni MM, GG ili alternativno MG blokovi. Udio pojedinih blokova odgovoran je za fizikalna svojstva alginata, alginati s visokim udjelom M blokova su viskozniji, dok oni s visokim udjelom G blokova imaju bolja svojstva želiranja (Dobrinčić i sur., 2020). M blokovi pružaju linearnost i fleksibilnost linearnim lancima alginata, dok G blokovi osiguravaju čvrstu i namotanu strukturnu konformaciju odgovornu za čvrstoću ovih anionskih kopolimera (Hentati i sur., 2020). Alginat se obično koristi u obliku hidrogela u biomedicini. Hidrogelovi su trodimenzionalno umrežene mreže sastavljene od hidrofilnih polimera s visokim sadržajem vode. Konvencionalna uloga alginata u farmaceutici uključuje zgušnjavanje, želiranje i stabilizaciju agenasa obzirom da alginat ima značajnu ulogu pri primjeni lijekova s kontroliranim otpuštanjem. Također se primjenjuje u liječenju akutnih i kroničnih rana u obliku zavoja na bazi alginata koji osiguravaju vlažnu okolinu i olakšavaju zacjeljivanje (Lee i Mooney, 2012).

Fukoidani su polisaharidi koji se većinom sastoje od L-fukoze i sulfatnih esterskih skupina, no također sadrže i ostale monosaharide i uronsku kiselinu te acetilne grupe i proteine. Fukoidani imaju širok raspon bioloških aktivnosti, ali je najšire proučavano njihovo snažno antikoagulativno djelovanje koje je prema provedenim istraživanjima povezano sa sadržajem i položajem sulfata, molarnom masom i sadržajem šećera. S većom koncentracijom sulfata povećava se i antikoagulativno djelovanje. Također je dokazano i antivirusno djelovanje sulfatiranih polisaharida, među kojima su i fukoidani, te je zamijećena niska citotoksičnost u usporedbi s drugim antivirusnim lijekovima koji se trenutno koriste u kliničkoj medicini (Li i sur., 2008).

2.2.2 Proteini

Proteini smeđih algi sadrže sve aminokiseline, a njihov odnos varira ovisno o godišnjem dobu. Općenito, najviša koncentracija proteina pronađena je za vrijeme zime i ranog proljeća. Koncentracija proteina također značajno varira unutar iste vrste među populacijama (Černá i sur., 2011). Količine esencijalnih aminokiselina u algi usporedive su sa zahtjevima WHO za proteine u prehrani. Crvene alge imaju značajno veću koncentraciju aminokiselina nego što je to u smeđih i zelenih algi, no smeđe alge su najbogatije kiselim aminokiselinama.

Među proteinima morskih algi ističu se dvije skupine aktivnih proteina, lektini i fikobiliproteini. Lektini su glikoproteini koji imaju sposobnost vezanja s ugljikohidratima, a sudjeluju u mnogim biološkim procesima kao što je međustanična komunikacija. Imaju sposobnost aglutinacije crvenih krvnih stanica, također djeluju antibakterijski, antivirusno, protuupalno i antitumorski. Fikobiliproteini su relativno stabilni i visoko topljivi flourescentni proteini pronađeni kod crvenih algi.

Bioaktivni morski peptidi otvorili su novu perspektivu farmaceutskog razvoja, to su specifični proteinski fragmenti koji imaju pozitivan učinak na ljudsko zdravlje. Bioaktivni peptidi obično sadrže od 3 do 40 aminokiselina, a njihova je aktivnost zasnovana na sastavu i slijedu aminokiselina. Kratki lanci aminokiselina neaktivni su kada se nalaze unutar sekvence roditeljskog proteina, no mogu se osloboditi tijekom gastrointestinalne probave, obrade hrane ili fermentacije. Asparaginska kiselina i glutaminska kiselina najzastupljenije su aminokiseline kod većine vrsta morskih algi. Ove dvije aminokiseline pokazuju zanimljive značajke u razvoju okusa, a glutaminska kiselina glavna je komponenta umami okusa. Najveće koncentracije glutaminske kiseline sadrže smeđe alge. Peptidi morskih algi široko su istraženi zahvaljujući njihovim zdravstvenim benefitima, te njihova komercijalizacija može biti od velikog značaja za proizvodnju dodataka prehrani i različitih proizvoda farmaceutske industrije.

Ekstrakcija proteina, peptida i aminokiselina iz algi većinom se provodi u laboratorijskom mjerilu. Glavne metode koje se koriste za ekstrakciju proteinskih frakcija su ekstrakcija otapalom, hidroliza proteolitičkim enzimima mikrobnog podrijetla te hidroliza proteolitičkim mikroorganizmima tijekom fermentacije. U prehrambenoj i farmaceutskoj industriji najčešće korištena metoda je enzimska hidroliza čime se izbjegava uporaba organskih otapala ili opasnih kemikalija i mikrobiološke kontaminacije (Pangestuti i Kim, 2015).

2.2.3 Pigmenti

Najzastupljeniji pigmenti smeđih algi, kao i kod ostalih razreda, su klorofil a i β-karoten. Ostali pigmenti, izuzev fukoksantina, prisutni su u vrlo malim količinama (Mautner, 1954). Fukoksantin je prirodni smeđe ili narančasto obojen pigment koji pripada velikoj skupini karotenoida smještenih u kloroplastima smeđih algi (Martin, 2015). Za razliku od ostalih karotenoida, ima jedinstvenu strukturu, u kojoj su prisutni neuobičajena alenska veza, 9 konjugiranih dvostrukih veza, 5,6-monoepoksid i kisikove funkcionalne skupine uključujući hidroksilne, epoksi, karbonilne i karboksilne ostatke. Kao i drugi karotenoidi, fukoksantin je podložan degradaciji uslijed izlaganja toplini, svjetlu, kisiku, enzimima, nezasićenim lipidima i ostalim oksidirajućim molekulama. Pročišćeni fukoksantin uglavnom sadrži *trans*-izomere, dok se povećanjem temperature ekstrakcije povećava i omjer *cis*-izomera koji smanjuju antioksidativnu aktivnost fukoksantina (Zhang i sur., 2015). Fukoksantin i fukoksantinol nemaju provitaminsko djelovanje, ali zato imaju brojne zdravstvene benefite, uključujući protumutageno, protudijabetičko i protuupalno djelovanje te preventivne učinke kod nastajanja stanica raka (Martin, 2015). Primjerice, bioaktivni oblici fukoksantina, fukoksantinol i amarouciaksantin A imaju dokazano antikancerogeno djelovanje.

β-karoten je esencijalni nutrijent te je vrlo tražen kao prirodno bojilo za hranu, dodatak kozmetici i kao zdrava hrana. Prirodno se pojavljuje u obliku izomera, all-*trans*, 9-*cis,* 13-*cis* i 15-*cis* i koristi kao pomoćni pigment za sakupljanje svijetla te štiti fotosintetski aparat od fotooštećenja kod svih zelenih biljaka uključujući i alge. β-karoten se nakuplja u intertilakoidnim prostorima kloroplasta u obliku lipidnih globula. Njegova potencijalna sposobnost djelovanja kao antioksidans i imunomodulator dovela je do aktivnijih istraživanja njegove primjene u prevenciji različitih karcinoma kod ljudi. 9-*cis* izomer djeluje kao direktan prekursor retinoične kiseline koja kontrolira normalnu reprodukciju i održavanje epitelnog tkiva te djeluje kao kemopreventivni agens u epitelnoj karcinogenezi (Raja i sur., 2007).

Klorofil je sveprisutan pigment u većine biljaka, algi i fotosintetskih bakterija. Ima ključnu ulogu u fotosintezi i nekim biološkim funkcijama. U prirodi postoji nekoliko oblika klorofila koji se razlikuju strukturno što dovodi do razlike u apsorpcijskim karakteristikama i biološkim djelovanjima (Aryee i sur., 2018).

2.2.4 Masne kiseline

Smeđe alge se trenutno smatraju obećavajućim izvorom višestruko nezasićenih masnih kiselina (Belattmania i sur., 2018), čiji sastav varira ovisno o geografskoj lokaciji, godišnjem dobu, klimatskim uvjetima (temperatura, intenzitet svjetlosti), salinitetu i vrsti. Alge imaju nizak sadržaj lipida, niži od 5% suhe tvari. Profil masnih kiselina algi sadrži velike količine višestruko nezasićenih masnih kiselina, kao što su dokozaheksanska (C22:6 n-3), eikozapentaenoična (C20:5 n-3), α-linolenska (C18:3 n-3), linolna (C18:2 n-6), oktadekatetraenska (C18:4 n-3) i arahidonska (C20:4 n-6) kiselina (Dobrinčić i sur., 2020). Prema

literaturi, u algama prevladava palmitinska kiselina (C18:0). Višestruko nezasićene masne kiseline n-3 mogu koristiti u prevenciji različitih tipova karcinoma, a pokazuju i različite biološke aktivnosti kao što su smanjenje krvnog tlaka, prevencija kardiovaskularnih oboljenja, bolesti jetre i sl.. Višestruko nezasićene masne kiseline su također prekursori biosinteze eikosanoida, bioregulatora u mnogim staničnim procesima. Posljednjih godina ispitan je i utjecaj višestruko nezasićenih masnih kiselina n-3 na moždane funkcije i mentalno zdravlje te je dokazano da mogu poboljšati funkcije mitohondrija (Kendel i sur., 2015).

2.2.5 Ostali spojevi

Vitamini su organski esencijalni spojevi potrebni ljudskom tijelu u tragovima za obavljanje različitih kemijskih i fizioloških procesa. Klasificiraju se u dvije skupine prema topljivosti: vitamini topivi u vodi (kompleks vitamina B i vitamin C) i vitamini topivi u mastima (vitamin A i njegovi provitamini-karotenoidi s djelovanjem vitamina A i vitamini E, D i K). Sastav i vitaminski profil algi varira, a na njih, kao i na do sad spomenute molekule, utječu vrsta algi, stadij rasta, geografsko područje i salinitet, godišnje doba, dostupnost svjetla i temperatura morske vode. Vitamini također imaju bitnu ulogu u metabolizmu samih algi. Budući da je njihova koncentracija u prirodnom okruženju niska, apsorpcija iz okoliša je nedovoljna. Bioraspoloživost vitamina kada se govori o ljudskoj prehrani na prvom je mjestu povezana s njihovom topivošću, što je povezano s intestinalnom apsorpcijom i zatim i njihovim unosom u tkiva. Smatra se da 100 g morskih algi zadovoljava više od dnevne potrebe za vitaminom A, B_{12} i B_2 i dvije trećine potrebe za unosom vitamina C. Sadržaj vitamina B_2 i B_{12} u smeđih algi manje je značajan nego što je to kod crvenih, no smeđe alge sadrže visoke koncentracije vitamina C. Vitamin C učinkovito inhibira oksidaciju tijekom dugog razdoblja te neutralizira slobodne nitrite koji su supstrat za karcinogenezu. Također ima inhibirajući učinak na nastajanje slobodnih radikala čime se sprječava oštećenje molekula DNA te posljedično sprječava rast tumora. Nadalje vitamin C može djelovati i kao prooksidans pomažući slobodnim radikalima u organizmu da unište tumor u njegovim ranim fazama (Škrovánková, 2011.).
Važnu skupinu čine i fenolni spojevi, sekundarni metaboliti prisutni u raznim organizmima uključujući i alge. Imaju antioksidativna svojstva i sudjeluju u redoks reakcijama te se koriste zbog sposobnosti uklanjanja radikala i anti-age svojstava u kozmetičkoj industriji. Smeđe alge sadrže visoke koncentracije florotanina, oligomera i polimera floroglucinola (1,3,5-trihidroksibenzen). Fenolni spojevi uključeni su u mehanizme zaštite od svjetlosti, a posebice kao prevencija citotoksičnih efekata UV zračenja. Kod tanina ekstrahiranih iz smeđih algi dokazano je antibakterijsko djelovanje koji se potencijalno mogu primijeniti kao prirodni konzervans u prehrambenoj industriji (Audibert i sur., 2010).

3. PREGLED ISTRAŽIVANJA O PRIMJENI BIOAKTIVNIH MOLEKULA ALGI U PROIZVODNJI FUNKCIONALNE HRANE

Razvoj funkcionalnih prehrambenih proizvoda koji sadrže morske alge kao sirovine (bilo ekstrakte ili cijele alge) predstavlja važan segment kojem se pridaje sve više prostora u prehrambenoj industriji (Sahoo i Seckbach, 2015). U hrani za ljudsku potrošnju alge se uglavnom dodaju u meso i pekarske proizvode (Ścieszka i Klewicka, 2019). Najviše se konzumiraju smeđe alge, a vrste koje se smatraju sigurnima za ljudsku prehranu su *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus*, *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Laminaria japonica* i *Alaria esculenta* (Cikoš i sur., 2020). Dodavanje algi ili izoliranih frakcija koje sadrže bioaktivne molekule kao funkcionalne komponente može pomoći u prevladavanju tehnoloških problema povezanih s mesnim proizvodima s niskim udjelom soli te svojstvima vezanja vode i masti (Scieszka i Klewicka, 2019). *H. elongata* najviše se iskorištava zbog svog mineralnog sastava i mogla bi biti dobra zamjena za sol jer smanjuje unos soli i zdravstvene komplikacije povezane s istim (Cikoš i sur., 2017). Dodatak *H. elongata* povećava sadržaj sulfatiranih aminokiselina za 20%, a meso se obogaćuje i polifenolnim spojevima čime se povećava antioksidativni potencijal i utječe na stabilnost proizvoda. Također je proučavan utjecaj dodatka *U. pinnatifida* na svojstva goveđih pljeskavica s niskim udjelom soli (0.5%) i visokim udjelom masti (<10%) kada se skladišti u zamrzivaču. Dodatak algi uzrokovao je sporije odmrzavanje, reducirao gubitke koji nastaju kuhanjem te poboljšao konzistenciju proizvoda čineći ga mekšim. Proučavajući utjecaj fukoksantina, glavnog karotenoidnog pigmenta *U. pinnatifida*, na peroksidaciju lipida i boju mesa mljevenih pilećih prsa uočeno je da fukoksantin poboljšava izgled i produljuje rok uporabljivosti pilećeg mesa i proizvoda od pilećeg mesa. *H. elongata* dodana u odreske od peradi rezultira smanjenim gubitcima tijekom kuhanja, a zabilježen je i povećan broj bakterija mliječne kiseline kao i povećanje koncentracije tiramina i spermidina. Alga *H. elongata* dodavana je u hrenovke, a *L. japonica* (u prahu) u kobasice. Pokušalo se dodavati sirove alge i stvoriti inovativne mesne proizvode poput kobasica i hamburgera, no neki aspekti, uključujući kvalitetu i organoleptičku prihvatljivost, još uvijek zahtijevaju sveobuhvatan pristup i detaljniju analizu. U istraživanju o ribljem ulju i linolnoj kiselini analiziran je inhibicijski učinak metanolnog ekstrakta iz *H. fusiformis* na peroksidaciju lipida. Spomenuta alga sadrži antioksidanse otporne na toplinu i

UV zračenje. Rezultati su pokazali da njezini antioksidansi mogu biti korisni u prevenciji oksidativnih promjena u prehrambenim uljima.

Proizvodi na bazi žitarica u širokoj su upotrebi, kako zbog jednostavnog postupka pripreme tako i zbog dugotrajnosti i niske cijene. Međutim, njihova nutritivna svojstva mogu se poboljšati dodatkom algi. Tjestenina je jedan od najraširenijih proizvoda na bazi žitarica, sadrži vrlo niske koncentracije proteina i esencijalnih aminokiselina. Dodatak proteinima bogatih aditiva, kao što su alge, poboljšava kvalitetu tjestenine. Tjestenina s 10% dodane *U. pinnatifida* prihvatljiva je okusom i boljih nutritivnih svojstava. Štoviše, dodatak alge pospješio je interakciju škrobnih zrnaca i proteina što je rezultiralo poboljšanom kvalitetom proizvoda. Brašno na bazi algi i lipidni prahovi trenutno su predmet znanstvenih istraživanja budući da se u modernoj kuhinji koriste kao zamjena za jaja, a cijenjeni su i na veganskom tržištu. Kruh je još jedan od proizvoda na bazi žitarica u koji se mogu dodavati razni bioaktivni sastojci. Kvaliteta kruha unaprijeđena je dodatkom zelene alge *Ulva lactuca* i i 2.5% *Laminaria* u prahu (Ścieszka i Klewicka, 2019). Također, kada je tijekom pripreme kruha dodano 4% *F. vesiculosus* u prahu uočeno je da se poboljšala viskoznost i konzistencija tijesta, dok se poroznost smanjila što je dovelo do veće gustoće i čvrstoće kruha. Da se sastojci dobiveni iz algi mogu koristiti kao funkcionalni sastojci prehrambenih proizvoda pokazalo se i u proizvodnji zdravih grickalica s uljem algi. Ulje algi dodavano je i u sladoled kako bi se povećala koncentracija omega-3 masnih kiselina, ali senzorska svojstva nisu bila prihvatljiva budući je utvrđeno da riblji okus dominira u odnosu na izvorni okus sladoleda. Dodatak *F. vesiculosus*, odnosno ekstrakta etanola, produžuje rok trajanja mlijeka i jogurta što ukazuje na prisutnost antioksidansa, spojeva koji reduciraju oksidaciju lipida. Antioksidansi prisutni u algama mogu poslužiti kao alternativa za sintetičke antioksidanse bez nuspojava za ljudsko zdravlje. Najpoznatiji antioksidansi algalnog podrijetla su florotanini koji su prisutni u smeđim algama. *F. vesiculosus* se pokazao kao najbolji izvor florotanina i ostalih antioksidansa te se zbog toga primjenjuje kao funkcionalni sastojak u raznim prehrambenim proizvodima da bi prevenirao kvarenje i oksidaciju. Pokazalo se da dodatak komercijalnog ekstrakta *F. vesiculosus* može služiti kao prehrambeni antioksidans zbog inhibicije stvaranja primarnih i sekundarnih produkata oksidacije. Dodavanjem praha algi *U. pinnatifida* i *L. japonica* u proizvodnji svježeg sira poboljšavaju se njegova čvrstoća i konzistencija. Makroalge mogu se konzumirati u više oblika: svježe, sušene, u obliku praha ili inkorporirane u prehrambene proizvode koji se nazivaju proizvodi visoke dodane vrijednosti. Već su komercijalizirane zdravije prirodne zamjene za tjesteninu, *H. elongata* kao špageti, dok se „wrapovi" prave od *U. pinnatifida* i *H. elongata*. Proizvodi od algi dostupni na tržištu etiketirani su kao bezglutenski, bez masti, bogati mineralima, s malo ugljikohidrata i niskokalorični (Cikoš i sur., 2017).

Proizvodnja fermentirane hrane, kao što je mlijeko, meso, povrće, žitarice uključuje sudjelovanje bakterija mliječne kiseline (BMK). One pružaju učinkovitu metodu konzerviranja fermentirane hrane, imaju utjecaj na okus, teksturu, a često i nutritivnu vrijednost. Konzumacija proizvoda bogatih BMK u vezi je s brojnim zdravstvenim koristima. Učinkovite su u borbi s alergijama na hranu, koriste se za ublažavanje atopijskog dermatitisa, Crohnove bolesti, ulceroznog kolitisa, reumatoidnog artritisa i akutnog gastroeneritisa uzrokovanog rotavirusima. Također pokazuju i antikancerogeno i imunostimulirajuće djelovanje te smanjuju razinu kolesterola u krvi. Koriste se i u slučajevima intolerancije na laktozu, za liječenje zatvora i infekcije *Helicobacter pylori*. Štoviše, imaju antagonistički učinak na crijevne patogene. Fermentirani proizvodi koji se obogaćuju algama su pretežno mliječni proizvodi. Mliječni proizvodi sadrže visoku razinu nutrijenata koji osiguravaju dostatnu količinu proteina, kalcija, kalija, magnezija, fosfora, cinka, vitamina A, D i B_{12} te riboflavina. Iako su glavni izvor kalcija u prehrani, u siru se kalcij nalazi imobiliziran u kazeinu, a ljudi koji nemaju enzim za probavu kazeina ne mogu apsorbirati kalcij iz tih proizvoda. Dodatkom algi bogatih kalcijem možemo povisiti njegovu razinu u tim proizvodima te doprinijeti liječenju hipokalcijemije. Smeđa alga *Laminaria* dodaje se u dimljeni sir, mliječne deserte i jogurt. Kako bi se dobio mliječni proizvod kao izvor joda, *L. saccharina* dodaju se u svježi i zrnati sir. Dodatkom *U. pinnatifida* i *L. japonica* u sir produljuje se njegova trajnost tijekom skladištenja. Najbolja tekstura svježeg sira zamijećena je pri dodatku 9% *U. pinnatifida* u industrijski ili domaći sir (Ścieszka i Klewicka, 2019).

4. BUDUĆI TRENDOVI I PERSPEKTIVE PRIMJENE ALGI U PROIZVODNJI FUNKCIONALNIH PROIZVODA

U segmentu prehrambene industrije posljednjih godina se bilježi značajan rast u razvoju funkcionalnih proizvoda na bazi algi s posebnim naglaskom na proizvode koji su bogati bioaktivnim molekulama s potencijalnim zdravstvenim benefitima (Sahoo i Seckbach, 2015). Upotreba algi pri formuliranju hrane čvrsto je pozicionirana na tržištu prehrambenih proizvoda s tendencijom rasta u narednim godinama. Za razliku od dosadašnje prakse, gdje su se komponente algi većinom koristile kao suplementi, trenutni pravci primjene različitih oblika algi, njihovih derivata, izolata i bioaktivnih molekula, usmjereni su prema njihovoj primjeni i inkorporiranju u prehrambene proizvode. Takav pristup u posljednjih nekoliko godina rezultirao je povećanim brojem prehrambenih proizvoda na bazi algi lansiranih na tržište. Percepcija potrošača o proizvodima na bazi algi koje povezuju sa zdravom prehranom te njihova spremnost da izdvoje veću količinu novca za takve proizvode podložna je

fluktuaciji ovisno o svijesti o zdravstvenim dobrobitima spomenutih komponenti, utjecaju na okoliš i održivosti, kao i o dobrobiti životinja. Posljednjih godina potražnja za algama i proizvodima na bazi algi kontinuirano raste, zahvaljujući visokoj nutritivnoj vrijednosti komponenata algi, širenju veganske populacije te sve većoj potražnji za prehrambenim proizvodima biljnog podrijetla. Unatoč navedenom te brojnim studijama koje ističu biološki potencijal algi, proizvodi na bazi algi još uvijek su u vrlo niskim postotcima uključeni u prehranu. Stoga je potrebno provesti brojna istraživanja i razvijati inovacije kako bi se potaknuo razvoj pročišćenih, organoleptički neutralnijih komponenti koje bi u većem postotku mogle biti ukomponirane u hranu i zadovoljiti potrebe profinjenih tržišta i potrošača (Boukid i Castellari, 2021). Dizajn hrane algalnog podrijetla vrlo je važan za integraciju tržišta te ga podupiru razni projekti Europske unije u okvira kojih se potiče identifikacija novih vrsta algi sa svojstvima koja će zadovoljiti potrebe zahtjevnih tržišta, proizvođača i potrošača, odobrenje istih kao hrane te u konačnici komercijalnu proizvodnju. Grupa istraživača Prehrambeno biotehnološkog fakulteta partner je u projektu „BioProspecting of the Adriatic Sea“ koji se provodi na Institutu Ruđer Bošković te se posljednjih godina sustavno bavi proučavanjem raznih morskih organizama među kojima alge zauzimaju značajno mjesto, a dobiveni rezultati neosporno govore u prilog iznimnom biološkom potencijalu smeđih algi kao prirodnih izvora brojnih bioaktivnih molekula s naglaskom na masne kiseline, polisaharide i proteine. Iako su brojna znanstvena istraživanja prethodno identificirale obećavajuće alge kao novu hranu, a tvrtke za proizvodnju su spremne komercijalizirati ovaj vrijedan bioresurs, trenutni zakonodavni postupci su predugi da bi se prilagodili tržišnoj potražnji i otkrićima koja se rapidno mijenjaju što uvelike usporava i poskupljuje postupak odobravanja novih sojeva algi (Mendes i sur., 2022).

Izvor financiranja: Pregledni rad izrađen je u okviru „BioProCro-Center of Excellence for Marine Bioprospecting“ i projekta „BioProspecting of the Adriatic Sea“ sufinanciranog sredstvima EU-Operativni program „Konkurentnost i kohezija 2014.-2020. (KK.01.1.1.01) i Vlade Republike Hrvatske. Rad je izrađen pod mentorstvom prof.dr.sc. Verice Dragović-Uzelac.

POPIS LITERATURE

Antolić, B. and Nikolić, V. (2011) ‘Dr.sc. Boris Antoli ! Vedran Nikoli ! , dipl.ing. biologije Dr.sc. Ante Žuljević

Aryee, A.N., Agyei, D. and Akanbi, T.O. (2018) ‘Recovery and utilization of seaweed pigments in food processing’, *Current Opinion in Food Science*, 19, pp. 113–119. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.013.

Audibert, L. *et al.* (2010) ‘Phenolic compounds in the brown seaweed Ascophyllum nodosum: Distribution and radical-scavenging activities’, *Phytochemical Analysis*, 21(5), pp. 399–405. Available at: https://doi.org/10.1002/pca.1210.

Belattmania, Z. *et al.* (2018) ‘Fatty acid composition and nutraceutical perspectives of brown seaweeds from the Atlantic coast of Morocco’, *International Food Research Journal*, 25(4), pp. 1520–1527.

Boukid, F. and Castellari, M. (2021) ‘Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market from 2015 to 2019: A front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain’, *Foods*, 10(1). Available at: https://doi.org/10.3390/foods10010173.

Bringloe, T.T. *et al.* (2020) ‘Phylogeny and Evolution of the Brown Algae’, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(4), pp. 281–321. Available at: https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1787679.

Černá, M. (2011) *Seaweed proteins and amino acids as nutraceuticals*. 1st edn, *Advances in Food and Nutrition Research*. 1st edn. Elsevier Inc. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387669-0.00024-7.

Cikos, A.M., Rozelindra, C.R. and Drago, S. (2017) ‘Macroalgae in the Food Industry – Opportunities and Challenges’, *Engineering power*, pp. 14–19.

Cock, J.M., Peters, A.F. and Coelho, S.M. (2011) ‘Brown algae’, *Current Biology*, 21(15), pp. R573–R575. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.05.006.

Guiry, M. D., and G. M. Guiry. 2022. Algae base. http://www.algaebase.org. Pristupljeno 21. kolovoza 2022.

Dobrinčić, A. *et al.* (2020) ‘Advanced technologies for the extraction of marine brown algal polysaccharides’, *Marine Drugs*, 18(3). Available at: https://doi.org/10.3390/md18030168.

Hentati, F. *et al.* (2020) ‘Bioactive polysaccharides from seaweeds’, *Molecules*, 25(14), pp. 1–29. Available at: https://doi.org/10.3390/molecules25143152.

Kadam, S.U., Tiwari, B.K. and O’Donnell, C.P. (2015) ‘Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae’, *International Journal of Food Science and Technology*, 50(1), pp. 24–31. Available at: https://doi.org/10.1111/ijfs.12692.

Kendel, M. *et al.* (2015) ‘Lipid composition, fatty acids and sterols in the seaweeds ulva armoricana, and solieria chordalis from brittany (France): An analysis from nutritional, chemotaxonomic, and antiproliferative activity perspectives’, *Marine Drugs*, 13(9), pp. 5606–5628. Available at: https://doi.org/10.3390/md13095606.

Kovač, D. *et al.* (2013) 'Algae in food and feed', *Food and Feed Research*, 40(1), pp. 21–31. Available at: http://fins.uns.ac.rs/e-journal/uploads/Magazines/magazine_123/Algae-in-food-and-feed.pdf.
Lee, K.Y. and Mooney, D.J. (2012) 'Alginate: Properties and biomedical applications', *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 37(1), pp. 106–126. Available at: https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003.
Li, B. *et al.* (2008) 'Fucoidan: Structure and bioactivity', *Molecules*, 13(8), pp. 1671–1695. Available at: https://doi.org/10.3390/molecules13081671.
Martin, L.J. (2015) 'Fucoxanthin and its metabolite fucoxanthinol in cancer prevention and treatment', *Marine Drugs*, 13(8), pp. 4784–4798. Available at: https://doi.org/10.3390/md13084784.
Mautner, H.G. (1954) 'The chemistry of brown algae', *Economic Botany*, 8(2), pp. 174–192. Available at: https://doi.org/10.1007/BF02984737.
Mendes, M. *et al.* (2022) 'Algae as Food in Europe: An Overview of Species Diversity and Their Application', *Foods*, 11(13), p. 1871. Available at: https://doi.org/10.3390/foods11131871.
Pangestuti, R. and Kim, S. (2015) *Seaweed proteins, peptides, and amino acids*, *Seaweed Sustainability*. Elsevier Inc. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2/00006-4.
Pereira, L. (2021) 'Macroalgae', pp. 177–188.
Perković, L. *et al.* (2022) 'Biotechnological Enhancement of Probiotics through Co-Cultivation with Algae: Future or a Trend?', *Marine Drugs*, 20(2). Available at: https://doi.org/10.3390/md20020142.
Pooja, S. (2014) 'Algae used as Medicine and Food-A Short Review', *Journal of Applied Pharmaceutical Science and Research*, 6(162), pp. 33–35.
Raja, R., Hemaiswarya, S. and Rengasamy, R. (2007) 'Exploitation of Dunaliella for β-carotene production', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74(3), pp. 517–523. Available at: https://doi.org/10.1007/s00253-006-0777-8.
Sahoo, D. and Seckbach, J. (2015) *The algae world*, *The Algae World*. Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-7321-8.
Ścieszka, S. and Klewicka, E. (2019) 'Algae in food: a general review', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(21), pp. 3538–3547. Available at: https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496319.
Singh, I.P. and Sidana, J. (2013) 'Phlorotannins', *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*, pp. 181–204. Available at: https://doi.org/10.1533/9780857098689.1.181.
Škrovánková, S. (2011) 'Seaweed vitamins as nutraceuticals', *Advances in Food and Nutrition Research*, 64, pp. 357–369. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387669-0.00028-4.
van Weelden, G. *et al.* (2019) 'Fucoidan structure and activity in relation to anti-cancer mechanisms', *Marine Drugs*, 17(1). Available at: https://doi.org/10.3390/md17010032.
Zhang, H. *et al.* (2015) 'Fucoxanthin: A Promising Medicinal and Nutritional Ingredient', *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2015. Available at: https://doi.org/10.1155/2015/723515.

TEDI International Interdisciplinary Journal of Young Scientists from the Faculty of Textile Technology

Apstraktni elementi u kreiranju odjevnih predmeta

Tajana Kolarec

SAŽETAK
Istraživanjem razvoja europskog i američkog apstraktnog slikarstva u različitim stilovima moderne umjetnosti u periodu 20. Stoljeća upoznajemo se s radom umjetnika. Kroz razvoj lirske i organičke, te geometrijske apstrakcije, apstraktnog ekspresionizma i minimalizma uočili smo tendenciju apstraktne umjetnosti, boje i oblika na slici napuštanje realnosti i pretvaranje likovnih elemenata u čistu ekspresiju umjetnikovih unutarnjih osjećanja, energije i ritma.
Na slikama ima oblika kakvi su u doba njihova nastanka bili plod njihove mašte i apstrakcije, dok danas, nama, nalikuju slikama svakidašnjice.

KLJUČNE RIJEČI:
Apstrakcija, apstraktna umjetnost, moda, umjetnost, supermatizam, konstruktivizam, neoplasticizam, apstraktni ekspresionizam, op art.

KEY WORDS:
Abstraction, abstract art, fashion, art, suprematism, constructivism, neo-plasticism, abstract expressionism, op art.

UVOD

Apstrakcija je proces raščlambe i pojednostavljenja stvarnosti u geometrijske likove, a to potvrđuje i samo značenje riječi apstraktan što doslovno znači odijeliti. Označava stilizirana i ne prikazivačka umjetnička dijela, neovisno o kojem se mediju radi (slikarstvo,kiparstvo,fotografija,film). Ta čista umjetnost ne slijedi nikakav cilj, već je ona jednostavno simbolički čin stvaranja.
Djelo je apstraktno ako njegovo značenje nije određeno prikazivanjem bića, predmeta, situacije ili događaja. Ono je definirano procesom stvaranja, materijalnom i prostornom strukturom svoje pojavnosti. U dvadestom stoljeću dolazi do osviještenja da se umjetnost već neko vrijeme kreće prema apstrakciji. Umjetnici su počeli napuštati figurativnost i koristeći se duginim bojama, slobodom izražavanja i dinamičnom slikarskom tehnikom stvorili su jedan potpuno ne predmetni stil.
Poslužili su se onime što ih okružuje u stvarnom životu, prirodom, i tu su nalazili ideje, ali ih interpretirali na malo drugačiji način, vođeni svojom unutrašnjošću. Na slikama ima oblika kakvi su u njihovo doba nastanka bili plod njihove mašte i apstrakcije, dok danas, nama, nalikuju slikama svakidašnjice. Mnoge stilove moderne umjetnosti publika je dočekala s dosta kritičnim stavom, pa tako i apstrakciju koja je izazivala najviše otpora. Ranije, slikari su se ograničavali na oponašanje prirode ili pričanje priče. Sada, po prvi puta, umjetnici su mogli unijeti neograničen prostor u kojem je mašta, ne samo moguća, nego ostvariva. Ideje apstrakcije počivaju na analitičkom kubizmu, s čime se slažu mnogi teoretičari i kritičari moderne umjetnosti.
U teoriji govorimo o tri termina apstrakcije; Organska apstrakcija – naziv za apstraktne slike ili skulpture čija forma direktno ili indirektno podsjeća na biološke opće oblike, vitalistička apstrakcija – naziv za apstraktne slike ili skulpture koje svojom formom nagovječćuju metaforičnost i simboliziraju ljudski razlog postojanja, te geometrijska apstrakcija – naziv čiji je medij izveden iz osnova načela geometrije ili su realizirane geometrijskim shemama (suprematizam, konstruktivizam, neoplasticizam…)

Teoretičar Šuvaković ukazao je na četiri stupnja razvoja apstrakcije zbog lakšeg pregleda kompletnog razvoja apstraktne umjetnosti prošlog stoljeća:

- Otkriće apstrakcije (slikarstvo- analitički kubizam, prethodnici apstrakcije, Kandinski)
- Pojava apstrakcije između rata (De stijl, Konstruktivizam, Supermatizam)
- Pojava modernizma poslije II.svj.rata (Op art)
- Konceptualna umjetnost i minimalizam

RAZVOJ ASPTRAKTNOG SLIKARSTVA

Apstraktna umjetnost je nastala između 1909. I 1919. Godine i bila jee pokušaj umjetnika da stvore idealno uravnotežen svijet u kaosu kapitalističkih društvenih i ekonomskih odnosa, koji su se u svom negativnom smislu najviše odrazili u tragičnom periodu Prvog svjetskog rata. Stvarajući apstraktne slike iz čistih likovnih elemenata, gdje su oblici živjeli svoje vlastito