Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program:

Biologie se zaměřením na vzdělávání s přidruženým studiem Geografie se zaměřením na vzdělávání

Eliška Mejzlíková

Vyhynutí v přímém přenosu? Příběh *Fucus virsoides* v Jaderském moři.
Extinction in real time? The story of Fucus virsoides in the Adriatic Sea.

Typ závěrečné práce:

Bakalářská práce

Školitel: doc. RNDr. Yvonne Němcová, Ph.D.

Praha, 2026

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 29.4. 2026

Poděkování
Ráda bych poděkovala své vedoucí práce doc. RNDr. Yvonne Němcové, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a trpělivost při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu a povzbuzení během celého studia.

Prohlášení o užití generativní umělé inteligence

Prohlašuji, že při přípravě předložené práce byly použity následující nástroje generativní AI uvedenými způsoby:

Při přípravě práce byl použit nástroj **ChatGPT** v období **5. 3. 2025–28. 4. 2026**. Nástroj jsem použila k jazykové korektuře textu a úpravě formulací.

Při přípravě práce byl použit nástroj **Claude** (Anthropic) v období **15. 3. 2025–28. 4. 2026**. Nástroj jsem použila k jazykové korektuře a stylistické revizi textu a překladu abstraktu do anglického jazyka.

Po použití uvedených nástrojů umělé inteligence jsem důkladně revidovala a upravila obsah podle potřeby a plně přejímám odpovědnost za výslednou podobu práce

Abstrakt

Úbytek populací druhu *Fucus virsoides* v Jaderském moři představuje v současnosti ekologický problém. Druh byl v minulosti běžnou součástí intertidální zóny severní a střední části Jaderského moře, avšak v posledních desetiletích došlo k významnému poklesu jeho populací a fragmentaci areálu výskytu. Úbytek populací spadá do širšího globálního trendu ústupu hnědých řas v důsledku klimatické změny, která vede k posunu areálů druhů směrem k vyšším zeměpisným šířkám a ke snížení počtu vhodných stanovišť.

Hlavní příčiny ústupu souvisejí s kombinací více faktorů, mezi které patří charakter substrátu, salinita, teplota, expozice vlnám a dostupnost živin. Významnou roli sehrávají také změny ve fyzikálních a chemických vlastnostech Jaderského moře, zejména střídání eutrofních a oligotrofních podmínek způsobené antropogenními vlivy a klimatickými změnami. V současnosti je druh v mnoha oblastech hodnocen jako kriticky ohrožený nebo lokálně vyhynulý.

Možnostem obnovy Fucus *virsoides* napomáhá především využití ex situ kultivace a následné reintrodukce do přirozeného prostředí. Výsledky výzkumů naznačují, že tento přístup může být do budoucna využitelný, avšak jejich úspěšnost je podmíněna stabilitou prostředí a vhodnými podmínkami.

Klíčová slova: *Fucus virsoides*, Jaderské moře, klimatická změna, bioaktivní látky, úbytek, faktory prostředí, antropogenní vlivy, ex situ kultivace

Abstract

The decline of *Fucus virsoides* populations in the Adriatic Sea currently represents a significant ecological problem. The species was previously a common component of the intertidal zone along the northern and central parts of the Adriatic Sea; however, in recent decades a substantial decrease in its populations and fragmentation of its distribution range have been observed. This decline is part of a broader global trend of brown algae retreat driven by climate change, which leads to poleward shifts of species ranges and a reduction in the number of suitable habitats.

The main causes of the decline are associated with a combination of factors, including substrate characteristics, salinity, temperature, wave exposure and nutrient availability. An important role is also played by changes in the physical and chemical properties of the Adriatic Sea, particularly the alternation of eutrophic and oligotrophic conditions driven by anthropogenic influences and climate change. At present, the species is considered critically endangered or locally extinct in many areas.

The restoration of *Fucus virsoides* is supported primarily by the use of ex situ cultivation followed by reintroduction into the natural environment. Research findings suggest that this approach may be applicable in the future; however, its success depends on environmental stability and suitable conditions.

Keywords: *Fucus virsoides*, Adriatic Sea, climate change, bioactive compounds, population decline, environmental factors, anthropogenic impacts, ex situ cultivation

Obsah

1 ÚVOD **1**

2 GLOBÁLNÍ ZMĚNA KLIMATU A MOŘSKÉ MAKROFYTY **2**

3* CHARAKTERISTIKA RODU *FUCUS* (FUCALES, PHAEOPHYCEAE*) **3**

4 ROD *FUCUS* JAKO ZDROJ BIOAKTIVNÍCH LÁTEK **4**

4.1 POLYSACHARIDY 4

4.2 FLOROTANINY 4

4.3 KAROTENOIDY 5

4.4 MINERÁLNÍ LÁTKY, BIOAKUMULACE A PRAKTICKÉ VYUŽITÍ 5

5 *FUCUS VIRSOIDES* J. AGARDH **5**

5.1 ŽIVOTNÍ CYKLUS 7

6* FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZŠÍŘENÍ *FUCUS VIRSOIDES **8**

6.1 SUBSTRÁT 9

6.2 SALINITA 10

6.3 ORIENTACE STANOVIŠTĚ A VLIV VLN 10

6.4 TEPLOTA 10

6.5 ANTROPOGENNÍ VLIVY 11

7 JADERSKÉ MOŘE **12**

7.1 CHARAKTERISTIKA A GEOGRAFICKÉ ČLENĚNÍ JADERSKÉHO MOŘE 12

7.2 HYDROGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA JADERSKÉHO MOŘE 14

7.3 HISTORIE JADERSKÉHO MOŘE 14

8 HISTORICKÝ A SOUČASNÝ VÝSKYT *FUCUS VIRSOIDES* V JADERSKÉM MOŘI **15**

9 MOŽNÉ PŘÍČINY ÚBYTKU POPULACÍ *FUCUS VIRSOIDES* **17**

10 SNAHY O ZÁCHRANU *FUCUS VIRSOIDES* **18**

11 ZÁVĚR **19**

12 SEZNAM LITERATURY **22**

13 SEZNAM OBRÁZKŮ **31**

1 Úvod

Mořské makrořasy představují podstatnou složku pobřežních ekosystémů, kde hrají klíčovou rolu v produkci biomasy, tvorbě stanovišť a zachovávání biodiverzity. Hnědé řasy (Phaeophyceae) představují klíčovou složku pobřežních ekosystémů, kde vytvářejí strukturu společenstev a poskytují útočiště i zdroj potravy širokému spektru organismů (Wernberg & Filbee-Dexter, 2019). Konkrétně rod *Fucus* náleží mezi ekologicky nejvýznamnější zástupce již zmíněné třídy. Zástupci rodu jsou primárně typické pro temperátní oblasti severní polokoule.

Ojedinělým případem v rámci rodu *Fucus* je druh *Fucus virsoides*, jenž je jediným zástupcem tohoto rodu ve Středozemním moři a zároveň endemitem Jaderského moře. Tento konkrétní druh je považován za glaciální relikt, neboť je spojován s historickými klimatickými změnami v období pleistocénu (Assis et al., 2014; Serrão et al., 1999).

V minulosti byl *Fucus virsoides* značně rozšířen v intertidální zóně podél pobřeží Jaderského moře na východní straně. Dále se také rozšířil od severní Itálie až po Albánii, kde tvořil nejjižnější hranici výskytu (Descourvières et al., 2024a).

Výskyt druhu *Fucus virsoides* je úzce vázán na specifické environmentální podmínky, mezi které patří zejména typ a stabilita substrátu, salinita, teplota, expozice vlnění a dostupnost živin (Munda, 1996; Orlando-Bonaca et al., 2013). V posledních desetiletích byl zaznamenán znatelný a znepokojivý pokles populací tohoto druhu. V současnosti se jeho výskyt omezuje pouze na izolované populace, které jsou velmi fragmentované. V důsledku toho je druh řazen mezi ohrožené druhy (Descourvières et al., 2024a).

Úbytek je vázán na kombinaci více faktorů. Patří mezi ně například transformace prostředí způsobené lidskou činností, klimatická změna, eutrofizace vod, dále také značné znečištění a degradace pobřežních stanovišť (Casado-Amezúa et al., 2019; Falace et al., 2010). Tyto změny zároveň narušují strukturu a ekologickou stabilitu, poněvadž dochází ke změnám včetně oteplování vody a změny dostupnosti živin (Sfriso, 2020). Situace kolem *Fucus virsoides* ale není ojedinělá. Spadá do globálního trendu ústupu ekosystémových makrofyt v důsledku klimatické změny (Manca et al., 2024; Poloczanska et al., 2013).

Cílem této bakalářské práce je zpracovat rešerši odborných publikací zaměřených na úbytek populací druhu *Fucus virsoides* a zhodnotit možné příčiny tohoto trendu, včetně vlivů spojených s lidskou činností. Práce se nejdříve zaměřuje na problematiku v širším globálním kontextu změn v rozšíření mořských makrofyt a charakterizuje rod *Fucus* z hlediska taxonomie, biologie a obsahu bioaktivních látek. Dále zaměřuje na analýzu faktorů ovlivňujících

rozšíření tohoto druhu, zejména environmentálních podmínek, jako jsou typ a orientace substrátu či salinita. Součástí práce je také popis změn fyzikálních, chemických a ekologických vlastností Jaderského moře v posledních desetiletích a posouzení jejich možného vlivu na úbytek populací *F. virsoides*. V závěrečné části se práce zaměřuje na přehled současných snah o obnovu chaluhových společenstev, zejména prostřednictvím ex situ kultivace a následného přesazování mladých jedinců do vhodných přírodních lokalit.

2 Globální změna klimatu a mořské makrofyty

Mořské makrofyty, mezi něž patří chaluhy (Phaeophyceae), ruduchy (Rhodophyta), zelené řasy (Chlorophyta) a mořské trávy (Angiospermae), tvoří klíčovou složku pobřežních ekosystémů. Tyto organismy fungují jako primární producenti a zároveň vytvářejí prostorově složitá stanoviště, jež poskytují zdroj potravy a úkryt pro další organismy (Duffy et al., 2019; Unsworth et al., 2019). Mimo jejich ekologický význam mají makrofyty také podstatnou roli v biochemických cyklech a účastní se tak na ukládání uhlíku v mořském prostředí. Přispívají tak umírňováním dopadů klimatické změny a stabilizaci pobřežních ekosystémů (Duarte et al., 2013; Krause-Jensen & Duarte, 2016).

V současnosti však dochází k velkým změnám v rozšíření mořských organismů v důsledku globální změny klimatu. Změny zahrnují přeskupování společenstev, přesun areálů druhů a vznik nových kombinací druhů (Pecl et al., 2017; Poloczanska et al., 2013). Hlavním projevem klimatické změny je posun rozšíření areálů směrem k vyšším zeměpisným šířkám, jenž je spojen se zvyšováním teploty vody. Druhy se postupně posouvají z teplejších oblastí do chladnějších, přičemž v oblastech polárních může docházet k jejich rozšíření (Assis et al., 2022; Krause-Jensen et al., 2020).

Studie zaměřené na mořské makrofyty – chaluhy, ruduchy i zelené řasy – ukazují, že v průběhu 21. století dojde k poklesu celkové druhové rozmanitosti řas. Snížení diverzity je očekáváno o přibližně 3-4 %, přičemž velká část lokalit může ztratit více než 10 % svých druhů (Manca et al., 2024). Současně se předpokládá i zmenšení vhodných stanovišť, zejména těch s vysokou ekologickou hodnotou. Celkově lze předpokládat, že klimatická změna povede k přeměně pobřežních ekosystémů. Budou převládat ztráty vhodných stanovišť a druhů, což může mít za následek snížení biologické rozmanitosti (Manca et al., 2024).

Rozšíření mořských makrofyt není náhodné. Jejich výskyt je ovlivňován mnoha faktory. Mezi nejvýznamnější patří salinita, charakter substrátu, teplota, dostatek světla, množství živin a hydrodynamické podmínky. Změny těchto faktorů mohou ovlivnit ekologii i fyziologii

organismů. Změny v dostupnosti živin mohou ovlivnit průhlednost vody a tím i podmínky pro fotosyntézu, zatímco zvýšená teplota překračuje jejich toleranční limity (Kwiatkowski et al., 2020; Van Der Strate et al., 2002). Mimo klimatické změny působí na stanoviště i další vlivy, například degradace stanovišť, znečistění nebo interakce mezi organismy, které účinky klimatické změny dále zesilují a mění strukturu společenstev (Orth et al., 2006; Smale, 2020).
Tyto globální změny se projevují ve většině pobřežních systémech, jako je pobřeží Jaderského moře, kde dlouhodobě dochází ke změnám prostředí. Společně s již výše zmíněnými faktory a antropogenním tlakem vedou k ústupu některých druhů. Mezi nejvíce ohrožené druhy patří hnědá řasa *Fucus virsoides,* o které pojednávají následující kapitoly (Descourvières et al., 2024a).

3 Charakteristika rodu *Fucus* (Fucales, Phaeophyceae*)*

Rod *Fucus* patří mezi hnědé řasy (Phaeophyceae*)* z řádu Fucales a čeledi Fucaceae. Hnědé řasy (Phaeophyceae*)* patří Stramenopiles v rámci superskupiny SAR. Hnědé řasy tvoří základy ekosystémů při pobřeží a vytvářejí tak významná stanoviště a zdroje potravy. *Fucus* se běžně vyskytuje v intertidálu Atlantského a Tichého oceánu, ale také v Severním a Baltském moři. Zástupci rodu *Fucus* mají zpravidla pevné, ploché stélky, které jsou vidličnatě větvené a mohou dosahovat délky až 50 cm. Stélky obvykle obsahují střední žilku a často se u nich vyskytují plynové měchýřky, které napomáhají udržení vzpřímené polohy ve vodním sloupci (Lüning, 1991).
Čeleď Fucaceae je rozšířena převážně na severní polokouli, pouze některé příbuzné rody zasahují i na jižní polokouli, například rod *Xiphophora* v oblasti Australasie (Clayton, 1988). Příčiny tohoto rozložení nejsou dosud zcela objasněny. Předpokládá se, že hlavní roli hraje tropická teplotní bariéra rovníkových vod, jenž omezuje následné šíření druhů mezi polokoulemi. V kombinaci s omezenou schopností dálkové disperze, která je charakteristická pro tuto čeleď. V rámci rodu *Fucus* je rozpoznáváno asi osm druhů (Powell, 1957).
Fucus je ekologicky významný rod, který vytváří stanoviště pro mnoho druhů epifytů a epifauny a mohou sloužit také jako líheň pro některé ryby a bezobratlé (Wernberg & Filbee-Dexter, 2019). Kromě toho, že poskytují základní ekosystémové služby, tak jsou zdrojem bioaktivních složek, které se často používají pro farmaceutický, potravinářský a kosmetický průmysl (Descourvières et al., 2024a).

4 Rod *Fucus* jako zdroj bioaktivních látek

Zástupci rodu *Fucus* se vyznačují vysokou nutriční hodnotou a obsahem mnoha bioaktivních sloučenin, konkrétně fukoidanů, florotaninů a fukoxantinu. Sloučeniny se vyznačují především antioxidačními, protizánětlivými, protinádorovými, antikoagulačními a antidiabetickými účinky (Catarino et al., 2018).

Mořské řasy jsou mimo jiné i zdrojem několika klíčových živin – sacharidů, bílkovin, minerálních látek a polynenasycených lipidů. Obsahují také rozsáhlou škálu bioaktivních sloučenin, které jsou prospěšné pro lidské zdraví. Ve východoasijských kulturách jsou mořské řasy součástí každodenního jídelníčku, v západních zemích byly převážně využívány v průmyslu fykokoloidů. V poslední době se však konzumace i využití v průmyslu rozšiřuje po celém světě (Catarino et al., 2018).

4.1 Polysacharidy

Sacharidy jsou nejvíce zastoupenou složkou rodu *Fucus* a vykonávají zde funkci zásobní, strukturální i ochrannou (Holdt & Kraan, 2011). Výživově jsou především hlavním zdrojem vlákniny, která se podílí na regulaci peristaltiky střev a podporuje růst výhodné střevní mikroflóry (Patarra et al., 2011). Mezi tři hlavní polysacharidy patří kyselina alginová, fukoidany a laminarany. Jejich obsah se může lišit na základě druhu i mezi jednotlivými zástupci téhož druhu (Holdt & Kraan, 2011).

Kyselina alginová je běžně nejvíce zastoupeným polysacharidem. U druhu *F. vesiculosus* může dosahovat až 59 % sušiny (Radwan et al., 1996). Zajišťuje pružnost stélky, jelikož je součástí buněčné stěny a její produkce se zvyšuje s expozicí vůči vlnám a turbulentnímu prostředí (McHugh, 2003). Na ochraně proti vysychání se podílejí fukoidany a plní tak rovněž funkci strukturální (Rioux et al., 2007). Co se týče biologických účinků vykazují širokou škálu účinků – antioxidační, protinádorové, antivirové, protizánětlivé a antidiabetické (Imbs et al., 2015; Rodriguez-Jasso et al., 2014). Laminariny slouží jako zásobní polysacharidy a mají především antioxidační a protizánětlivé účinky, můžou působit i protinádorově (Malyarenko et al., 2017).

4.2 Florotaniny

Florotaniny jsou fenolitické látky charakteristické pro hnědé řasy. U rodu *Fucus* jsou obsaženy hlavně fukoly a fukofloretholy. Obsah je ovlivňován salinitou, sezónností a intenzitou slunečního záření (Connan et al., 2004). Hlavním účinkem flurotaninů je antioxidační aktivita. Flurotaniny jsou schopny chránit buněčné struktury před oxidačním poškozením, jelikož

neutralizují volné radikály (Imbs et al., 2015). Vyznačují se také protizánětlivými účinky a mají potenciál v trávení sacharidů, což představuje i antidiabetický potenciál (Kellogg et al., 2014).

4.3 Karotenoidy

Hlavním karotenoidem zastoupeným u druhů rodu *Fucus* je fukoxantin. Slouží jako hlavní pigment hnědých řas a způsobuje tak jejich charakteristické zbarvení. Množství fukoxantinu ve stélce závisí na světlených podmínkách a hloubce výskytu (Mikami & Hosokawa, 2013). Fukoxantin zároveň ovlivňuje metabolismus lipidů a podporuje spalování tuků. Má tedy antiobezitní účinky, protizánětlivé, antidiabetické, antioxidační a antisklerotické účinky (Peng et al., 2011).

4.4 Minerální látky, bioakumulace a praktické využití

Druhy rodu *Fucus* jsou bohaté na minerální látky, zejména draslíku, sodíku, hořčíku, vápníku, jódu a železa. Vysoký obsah jódu byl v minulosti zásadní z hlediska využití v medicíně na léčbu strumy a obezity (Adrogué a Madias, 2014). U hnědých řas je zároveň charakteristická bioakumulace. Díky ní dokážou zástupci rodu *Fucus* hromadit i těžké kovy, zejména olovo, arsen a rtuť. Tato schopnost z nich dělá vhodné bioindikátory znečištěných oblastí a zástupce vhodné pro bioremediaci. Zároveň představují riziko při konzumaci surovin ze znečištěných oblastí z hlediska zdraví (Ahmady-Asbchin et al., 2009; Catarino et al., 2018).

Jejich široké spektrum významných složek činí z rodu *Fucus* surovinu pro využití v různých odvětvích. V potravinářství zastupuje složku funkčních potravin a přírodního stabilizátoru. Zajišťuje tak delší trvanlivost produktů a chrání je před oxidačnímu znehodnocení (Karadağ et al., 2017). Současně je rod *Fucus* v zájmu kosmetického a farmaceutického průmyslu, kde se zaměřují především na antioxidační, protizánětlivé a protinádorové účinky jeho bioaktivních složek (Catarino et al., 2018).

Celkově lze říci, že zástupci rodu *Fucus* představují významným zdroj bioaktivních látek s velmi širokou škálou účinků na lidské zdraví. O to závažnější je skutečnost, že jediný zástupce vyskytující se ve Středozemním moři, *Fucus virsoides,* je na pokraji vyhynutí. Jeho výskytu, aktuálnímu stavu populací, biologii a ekologii se věnují další kapitoly.

5 *Fucus virsoides* J. Agardh

Jediný zástupce rodu žijící ve Středozemním moři a endemit Jaderského moře nese název *Fucus virsoides* J. Agardh. Jeho omezený výskyt ve Středozemním moři je interpretován jako pozůstatek jeho širšího rozšíření v chladnějších obdobích minulosti, a druh je proto považován

za glaciální relikt (Munda, 1996). Toto označení vychází z předpokladu, že se druh do této oblasti rozšířil během chladných fází pleistocénu, staršího oddílu kvartéru (čtvrtohor). Jeho výskyt je vysvětlován geografickou izolací od jiných druhů, ke které v minulosti došlo. Tato izolace vedla k vývoji samostatného druhu. První rozšíření do Středozemního moře proběhlo už v pleistocénu, tedy v době ledové, ale po posledním ústupu ledovců zůstal tento druh oddělený od ostatních příbuzných. Po ústupu ledovců a následném oteplení došlo k ústupu většiny populací rodu *Fucus* z této oblasti zpět do oblastí Atlantského oceánu. Zatímco většina populací ustoupila, druh *Fucus virsoides* v Jaderském moři přetrval. Dlouhá izolace ho donutila přizpůsobit se místním podmínkám, čímž se vyvinul jako samostatný druh (Serrão et al., 1999). Tato oblast představuje nejchladnější část již zmíněného Středozemního moře a vyznačuje se specifickými hydrografickými podmínkami. Především snížená salinita v důsledku přítoku sladké vody. Dlouhodobá izolace vedla ke speciaci a evoluční diferenciaci *Fucus virsoides* (Munda, 1972; Serrão et al., 1999). Tato hypotéza naznačuje, že druh *Fucus virsoides* se vyvinul ve Středomoří díky dlouhodobé izolaci. Hypotézu podporuje i to, že oblast Středozemního moře mohla být během glaciálního maxima osídlena i druhem *Fucus vesiculosus,* který je dnes výhradně rozšířen v Atlantském oceánu. Z toho vyplývá, že po době ledové mohly některé druhy zůstat izolované od svých původních populací, což vedlo k jejich evolučním změnám a přizpůsobení místním podmínkám (Assis et al., 2014).

V minulosti byl druh rozšířen od Benátské laguny, situované v severní části Jaderského moře, až po pobřeží Albánie. V současnosti je druh rychle ubývá a hrozí mu vyhynutí (Descourvières et al., 2024a; Serrão et al., 1999).

Fucus virsoides se vyznačuje plochou, páskovitou stélkou s charakteristickým dichotomickým (vidličnatým) větvením, její délka se pohybuje v rozmezí 10-20 cm. Na rozdíl od *Fucus vesiculosus* nemá plynové měchýřky (aerocysty), které jsou typické pro atlantské druhy rodu *Fucus.* Dalším rozdílným znakem je hladký okraj stélky – na rozdíl od *Fucus serratus*, který má okraj zubatý. Jelikož se druh většinou nachází v oblastech vystavených silnému vlnění, tak je k substrátu připevněn pomocí příchytného terče, který zajišťuje mechanickou stabilitu řasy a pevné ukotvení. Stélka je tuhá a velmi odolná, což nasvědčuje adaptaci na dynamické prostředí přílivové zóny. Stélka je zpevněna výraznou střední žilkou, která prochází jejím středem. Na koncích se nacházejí zduřelá receptakula, která obsahují dutiny (konceptakula) nesoucí samčí nebo samičí pohlavní buňky (viz kapitola 5.1 Životní cyklus) (Bold & Wynne, 1985; Lüning, 1991).

Obr. 1 *Fucus virsoides* v přirozeném prostředí. Foto: Edi Gljušćić, iNaturalist, červenec 2016. Licence CC BY-NC. Dostupné z: https://www.inaturalist.org/photos/50148972

5.1 Životní cyklus

Životní cyklus u druhu *Fucus virsoides* je diplontní, což znamená, že dominantní fází je diploidní sporofyt (2n). Haploidní fáze, tedy fáze, kde se vyskytuje pouze jedna sada chromozomů (1n), se nachází pouze u samčích a samičích pohlavních buněk. Tyto buňky vznikají meiotickým dělením. Po jejich splynutí vzniká diploidní zygota, ze které vyroste nový sporofyt (Serrão et al., 1999). Tento životní cyklus je typický pro celý rod *Fucus*. Nedochází ke střídání gametofytu a sporofytu, gametofyt totiž neexistuje jako samostatná stélka, ale je součástí sporofytu (Brawley & Johnson, 1992).

Z evolučního hlediska je tento životní cyklus bez rodozměny považován za odvozený. Předpokládá se, že původním typem životního cyklu u hnědých řas byl haplodiplontní cyklus, který je charakterizován střídáním haploidní (gametofyt) a diploidní (sporofyt) generace (Clayton, 1988). V průběhu evoluce došlo u některých linií k redukci gametofytu nebo k jeho úplné ztrátě. Tato evoluční změna vedla ke vzniku diplontního cyklu (Phillips et al., 2008). Přechod

k tomuto typu reprodukce představuje adaptivní strategii v podmínkách pobřežního prostředí, které je charakteristické proměnlivými faktory, jako je vlnění, kolísání salinity či teploty (Silberfeld et al., 2010).

Rozmnožování probíhá pomocí oogamie. Tento pokročilý typ reprodukce je charakterizovaný výraznou diferenciací pohlavních buněk. Samičí gamety, jež nazýváme oosféry, jsou velké, nepohyblivé buňky obsahující zásobní látky potřebné pro další vývoj. Oproti tomu samčí gamety nazýváme spermatozoidy. Malé, pohyblivé pohlavní buňky vybavené bičíky, které umožňují jejich pohyb ve vodním prostředí. Pohyblivost spermií a jejich schopnost navigovat se pomocí feromonů uvolňovaných oosférami zvyšuje pravděpodobnost úspěšného oplození ve vodním prostředí (Bold & Wynne, 1985).

Gamety zde vznikají ve specializovaných reprodukčních strukturách nazývaných konceptakula, která jsou uložena u koncových částech stélky v receptakulech. Reprodukční struktury představují morfologickou adaptaci, která zvyšuje efektivitu reprodukce a uvolňování gamet do okolního prostředí (Brawley & Johnson, 1992).

Proces rozmnožování je úzce vázán na podmínky prostředí, které ovlivňují uvolňování gamet i průběh oplození. Gamety jsou uvolňovány do vody, kde následně dochází k oplození. Efektivita oplození je ovlivněna koncentrací gamet v prostředí a pravděpodobností jejich vzájemného kontaktu (Bringloe et al., 2020). U rodu *Fucus* je uvolňování gamet synchronizováno mezi jedinci a často navázáno na environmentální signály, jako jsou světelné a teplotní podmínky či dynamika vodního prostředí (Brawley & Johnson, 1992).

Po spojení pohlavních buněk vzniká diploidní zygota, která se přichytí k substrátu a vyvíjí se v nový jedinec; setkání gamet je přitom usnadněno chemickou signalizací prostřednictvím feromonů uvolňovaných samičími gametami (Müller, 1986; Silberfeld et al., 2010).

Z evolučního hlediska představuje diplontní životní cyklus kompromis mezi haploidní a diploidní fází organismu. U hnědých řas je úzce propojena s reprodukčními strategiemi. Životní cyklus umožňuje maskování škodlivých mutací, což představuje významnou evoluční výhodu (Heesch et al., 2021).

6 Faktory ovlivňující rozšíření *Fucus virsoides*

Rozšíření *Fucus virsoides* je ovlivněno hned několika environmentálními faktory, které hrají klíčovou roli při jeho růstu a vývoji. Mezi tyto faktory patří typ a orientace substrátu, vystavení vlnám, salinita dostupnost živin, a antropogenní vlivy (Munda, 1996). *Fucus virsoides* je vázán na intertidální zónu. Rozšíření není náhodné a velmi úzce souvisí s kombinací různých faktorů,

jak už chemických, fyzikálních, či biologických. Kombinace těchto faktorů rozhoduje o tom, zda řasa vytvoří souvislé porosty či nikoliv (Descourvières et al., 2024a; Orlando-Bonaca et al., 2013).

Fucus virsoides je běžně vystaven velmi proměnlivým, a ne příliš stabilním podmínkám, díky kterým jeho populace upadá. Dochází k vysychání, změnám teploty vzduchu a vody, kolísání salinity, nedostatku živin, působení vln. Kromě toho je významným faktorem také světlo (kvalita, intenzita a úroveň UV záření). Největší hrozbou však zůstává tlak lidské činnosti (Falace et al., 2010).

V Jaderském moři došlo k mnoha změnám ve fyzikálních, chemických a ekologických vlastnostech, včetně oligotrofizace, tedy úbytku živin (dusíku a fosforu) a oteplování povrchové teploty. Tyto změny mají za následek změny v biodiverzitě, včetně struktury a funkce makrořas, rozšíření invazivních druhů a posuny v produktivitě rybolovu (Sfriso, 2020).

V posledních desetiletích došlo k velmi alarmujícímu úbytku jednotlivých zástupců *Fucus virsoides.* Z tohoto důvodu byl zařazen na „Seznam ohrožených nebo zranitelných druhů“ v rámci Barcelonské úmluvy (Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean and its Protocols), konkrétněji do přílohy II Protokolu o zvláště chráněných oblastech a biologické rozmanitosti ve Středozemním moři (*UNEP, 2019*).

Populace *Fucus* ubývají v důsledku několika negativních vlivů, což velmi zásadně ovlivňuje jejich fungování. Tyto změny mají řetězový dopad na produktivitu a ekosystémové služby. Úbytek *Fucus virsoides* je spojován se znečištěním, rozpadem habitatů a změnou klimatu (Casado-Amezúa et al., 2019).

V souvislosti s tím v posledních desetiletích dochází k výraznému ústupu populací *Fucus virsoides* a na některých lokalitách byl zaznamenán výrazný pokles hustoty porostů. Úbytek populací v pobřežních oblastech severního Jadranu je přisuzován znečištění a eutrofizaci vod (Descourvières et al., 2024a; Munda, 1972a).

Jednotlivým faktorům a jejich vlivu na rozšíření druhu jsou věnovány následující podkapitoly. Možné příčiny úbytku populací jsou podrobněji diskutovány v kapitole 9.

6.1 Substrát

Jedním z hlavních faktorů rozšíření *Fucus virsoides* je charakter substrátu. V rámci výzkumu rozšíření druhu byl substrát klasifikován a detailně hodnocen podle jeho původu. Substrát byl klasifikován podle typu horniny (např. vápenec, pískovec) a zároveň hodnocen z morfologického hlediska, zahrnujícího stěny, útesy, balvany a kameny různých velikostí (Ballesteros

et al., 2007). Studie ukazují, že se *Fucus virsoides* vyskytuje na pevných a stabilních substrátech, zejména na vápencových balvanech a betonových stěnách. Na pískovcových substrátech je jeho výskyt omezený (Rindi & Battelli, 2005).

Stabilita substrátu je zásadním faktorem ovlivňujícím výskyt druhu. Flyšové horniny (především pískovec a břidlice) podléhají snadné erozi vlivem hydrodynamických procesů, což vede k uvolňování jemných částic do vodního prostředí a následnému mechanickému poškození porostů řas (Airoldi, 2003; Sales & Ballesteros, 2009).

Rozdíly v hustotě populací na stabilních substrátech nebyly významné; klíčovým faktorem se však ukazuje mechanická stabilita substrátu spolu s expozicí vůči vlnám a vlivem sladkovodních přítoků (Falace et al., 2010).

6.2 Salinita

Salinita je další z mnoha významných faktorů ovlivňující rozšíření *Fucus virsoides*. Tento druh se hojně vyskytuje v oblastech s výrazným přítokem sladké vody, kde je salinita snížená, což může vytvořit vhodné podmínky pro jeho výskyt (Macic, 2006; Munda, 1972a).

Vysoká hojnost v oblastech nemusí být způsobena pouze salinitou, ale nepřímo i dalšími faktory. Nižší salinita může ovlivnit výskyt herbivorních organismů, jako jsou například přílipky (čeleď *Patellidae*). Tito herbivoři mohou regulovat růst řas jejich spásáním, což způsobuje velký herbivorní tlak a pokles populací řas (Jonsson et al., 2006).

6.3 Orientace stanoviště a vliv vln

Výskyt druhu *Fucus virsoides* je ovlivněn expozicí stanoviště vzhledem k převládajícímu směru vln. Dle pozorování stanovišť bylo zjištěno, že druh se nejčastěji vyskytuje na méně exponovaných lokalitách. Zatímco na lokalitách, které jsou silně exponovány může druh zcela chybět nebo vykazovat snížený růst (Munda, 1972a).

Vysoká exponovanost vůči vlnám může způsobovat mechanické narušení stélek, jejich odtržení od substrátu nebo případné narušování substrátu díky unášeným částicím (Blanchette, 1997). S tím souvisí i orientace stanoviště. Lokality, které jsou chráněné od přímého působení vln vykazují mnohem vyšší hustotu druhu (např. zátoky, přístavy). Oproti tomu lokality orientované k moři jsou pro druh méně vhodná (Munda, 1972a).

6.4 Teplota

Teplota patří mezi další faktory ovlivňující rozšíření druhu. *Fucus virsoides* je charakterizován jako eurytermní, tedy je schopný snášet vysoké rozmezí teplot (Serrão et al., 1999). Teplota Jaderské moře v průběhu roku kolísá. V zimě (v období od ledna do dubna) dosahuje teplota

nejnižších hodnot kolem 9 °C. Na jaře (květen-červen) se teplota pohybuje kolem 18 °C a podél východního pobřeží proudí voda směrem na západ (Lipizer et al., 2014). Viz kapitola 6.2 Hydrogeografická charakteristika Jaderského moře.

Severní část je nejchladnější částí Středozemního moře. Změny teplot zde proto výrazně ovlivňují rozšíření druhů, zejména umožňují šíření teplomilných druhů do těchto oblastí. *Fucus virsoides* je vázán na chladnější vody severního Jaderského moře. Zvýšené teploty, především v letním období, mohou představovat klíčový faktor, který ovlivňuje jeho růst, reprodukci a celkové rozšíření (Boero & Bonsdorff, 2007; Lüning, 1991).

Tato hnědá řasa je vysoce euryhalinní, což ji umožňuje růst ve vodách s velmi proměnlivou salinitou. Přestože je eurytermní a toleruje sezónní výkyvy teplot, dlouhodobé zvyšování průměrných teplot může překračovat meze její tepelné tolerance. Díky odolnosti dokáže přežít i několik dní vystavena na vzduchu (Munda, 1972; Serrão et al., 1999).

6.5 Antropogenní vlivy

Antropogenní vlivy, tedy činnost člověka, je faktor úzce spjat s výskytem druhu *Fucus virsoides.* V poslední desetiletích byly v oblasti Jaderského moře zaznamenány změny ve složení řasových společenstev, zejména úbytek. Úbytek *Fucus virsoides*.je přisuzován lidské činnosti, jako je vypouštění odpadních vod, bagrování, akvakultura, eutrofizace vod, průmyslové a zemědělské znečištění (Falace et al., 2010; Munda, 2000).

Významnou roli zde také hrají změny v koncentraci živin, které přímo ovlivňují chemismus vody. Zvýšený přísun látek, jako jsou dusičnany a fosforečnany, vede k eutrofizaci a následnému rozvoji konkurenčních druhů řas, které mohou *Fucus virsoides* vytlačovat. Naopak pokles živin může omezovat jeho růst a regeneraci. V oblasti Terstského zálivu byl zaznamenán pokles koncentrace chlorofylu a, který složí jako indikátor množství fytoplanktonu. Jelikož růst fytoplanktonu závisí na dostupnosti živin, tento pokles naznačuje snížení jejich koncentrace v prostředí (Solidoro et al., 2009).

Další výrazné změny byly zaznamenány ve stejné oblasti Terstského zálivu, kde dochází také k intenzivnímu antropogennímu ovlivnění v souvislosti s přístavní činností a urbanizací (Mozetič et al., 2010; Ogorelec et al., 1991).

Současně dochází ke kombinaci antropogenních vlivů s klimatickou změnou, zejména se zvyšováním teploty vod. Klimatická změna úbytek druhu posiluje a výsledkem je zmenšení prostoru rozšíření populací, což má za následek riziko jeho vyhynutí (Descourvières et al., 2024a).

Úbytek populací je spojen se všemi zmíněnými vlivy, zejména znečištění a ničení stanovišť, což zapříčiňuje fragmentaci druhu (Munda, 1996; Orlando-Bonaca et al., 2013). Podrobnější příčiny úbytku populací *Fucus virsoide*s jsou vedeny v kapitole 9.

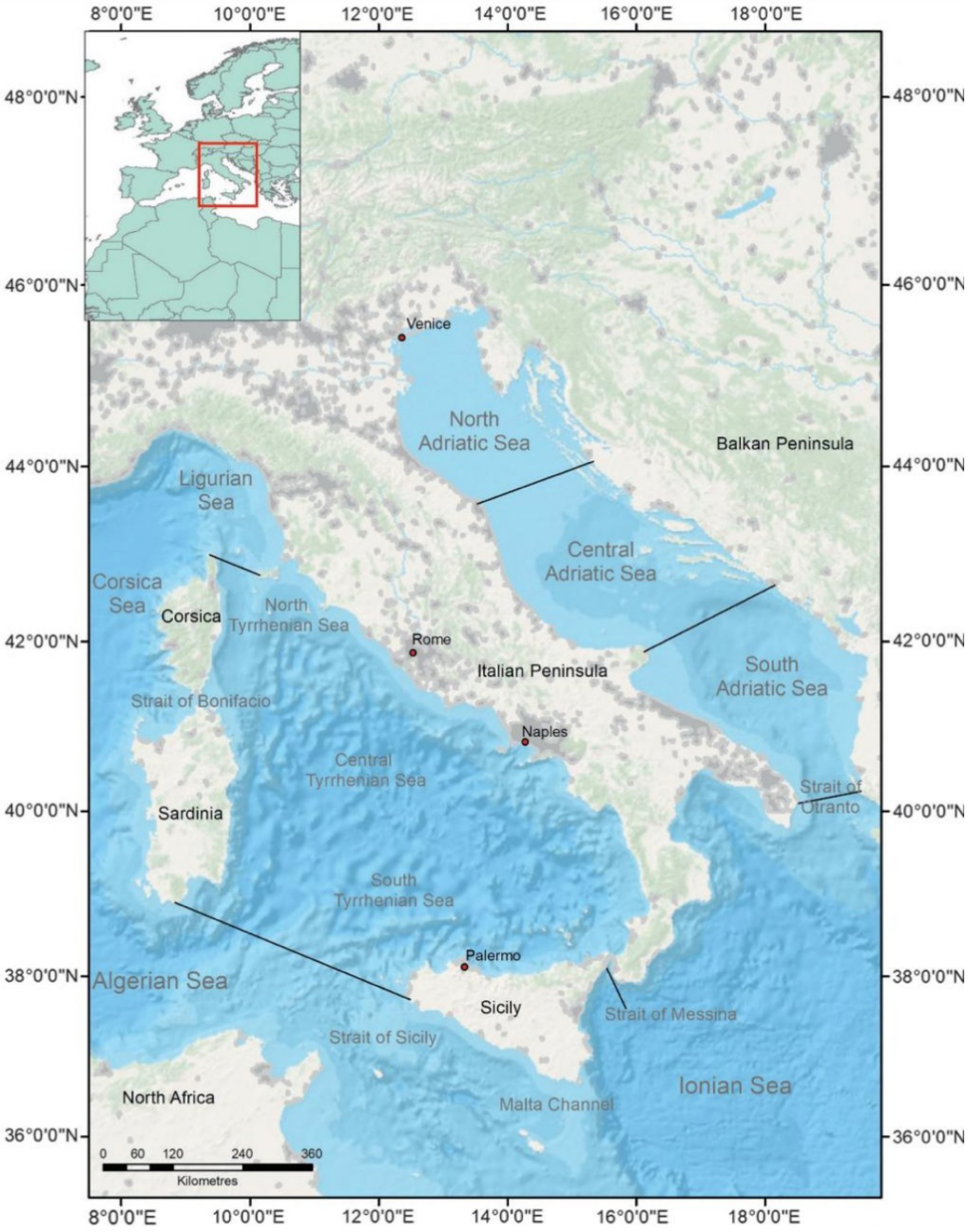
7 Jaderské moře

7.1 Charakteristika a geografické členění Jaderského moře

Jaderské moře či Jadran se rozkládá mezi Apeninským a Balkánským poloostrovem. Je dlouhé více než 800 km a široké přibližně 150–200 km a jeho rozloha dosahuje okolo 138 600 km^2. Vstup do Jaderského moře se nazývá Otrantský průliv a spojuje Jaderské moře s Jónským mořem (Zonn et al., 2021).

Jaderské moře je součástí moře Středozemního, konkrétně jeho severní částí. Pánev Jaderského moře lze rozdělit na tři části s rostoucí hloubkou od severu k jihu, z nichž každá má své specifické vlastnosti, šířku a topografický sklon. První část nazýváme Severní Jadran, která tvoří 5 % z celé rozlohy pánve, jeho hloubka dosahuje 75 m a je v této části zahrnut i zatopený pobřežní výběžek Pádské nížiny, tedy deltu řeky Pád. Oblast Jadranu dále klesá do hloubky přibližně 100 m k linii mezi Pescarem a Šibenikem, kde svah dosahuje centrální pánve v hloubkách 140–150 m. Centrální Jadran tvoří 15 % pánve a jeho šířka dosahuje až 220 km s průměrnou hloubkou v oblasti 130–150 km. Nejvíce charakteristickou oblastí pro centrální Jadran je 270 m hluboká prohlubeň Pomo, tvořící Středojaderskou pánev (Hamel, 2018)**.**

Poslední částí je Jadran jižní, který zaobírá 80 % celkového objemu, s celkovou plochou 57 000 km^2.



Obr. 2 Mapa moří obklopujících Apeninský poloostrov se znázorněným rozdělením Jaderského moře na severní, střední a jižní část. Jaderské moře se rozkládá mezi Apeninským a Balkánským poloostrovem a tvoří severovýchodní výběžek Středozemního moře. Vyznačeny jsou také klíčové geografické prvky oblasti, včetně Otrantského průlivu, který spojuje Jaderské moře s Jónským mořem. Převzato z Hamel (2018)

Průměrná hloubka se pohybuje kolem 450 m a maximální hloubka dosahuje 1 233 m. Jižní Jadran také obsahuje kontinentální šelf, který je omezen v Otrantském průlivu, hluboké 750 m a široké 72 km, kde dochází k důležitým výměnám vody s Jónským mořem, což ovlivňuje termohalinní cirkulaci (Kovačević et al., 1999).

7.2 Hydrogeografická charakteristika Jaderského moře

Cirkulace Jaderského moře je výrazně ovlivněna silnými větry, jejichž intenzita i směr se liší v průběhu roku. Významnou roli hraje zejména vítr Scirocco, který vane k jihovýchodu a způsobuje zvýšení hladiny moře v severní části pánve. Po odeznění této situace dochází ke změně proudění a Jaderské moře je vystaveno působení studeného a suchého větru Bora, vanoucího ze severu přes střední Evropu (Russo & Arteoiani, b.r.). .

Povrchové rozložení teplot se v průběhu roku mění. V zimě (v období od ledna do dubna) dosahuje teplota nejnižších hodnot kolem 9 °C. Na jaře (květen-červen) se teplota pohybuje kolem 18 °C, proudí podél východního pobřeží a šíří se západním směrem. Nejchladnější povrchové vody, které se pohybují pod hranicí 16 °C proudí podél severovýchodního okraje pánve. V létě jsou vody nacházející se podél východního pobřeží mírně chladnější - 23 °C. Teplota vodního sloupce s hloubkou klesá a ve 200 m má průměrnou teplotu kolem 13 °C (Lipizer et al., 2014).

Změna výšky hladiny Jaderského moře činila každoroční nárůst o + 1,22 mm během 20. století. Během 90. let došlo k nárůstu hladiny Středozemního moře oproti celosvětovému průměru. Od roku 2002 se hladina výrazně snížila. Každopádně budoucí vývoj hladiny moře je nejistý. Díky klimatickým modelů došlo k výpočtu rozdílů ve výšce hladiny Středozemního moře a závěrem odhady předpokládají, že celková hmotnost vody se výrazně nezmění. Další studie potvrdily velmi malý nárůst hladiny Jaderského moře, a to o méně než 5 cm. Měření hladiny probíhá na 7 stanicích, které zachycují rozdíly mezi přílivem a odlivem (Scarascia & Lionello, 2013).

Monitorování hladiny moře probíhá od 18. století, protože Jaderské moře je náchylné k záplavám způsobeným zejména přívalovými vlnami. Ty se nejčastěji vyskytují na podzim, především při silném větru Scirocco. Nejvyšší zaznamenaná hladina byla v Benátkách (167,5 cm), dále ve Splitu (85,4 cm) a Dubrovníku (74 cm) (Ruić, 2023).

Tsunami byly v Jaderském moři zaznamenány již od 1. století, přičemž nejvýznamnější události se odehrály v Garganu (1627), Dubrovníku (1667) a v Černé Hoře (1979) (Ruić, 2023).

7.3 Historie Jaderského moře

Geofyzikální a geologické informace nám udávají, že Jaderské moře a Pádská nížina jsou spojeny mikrodeskou, která se nazývá Apulská nebo také Jadranská. Během druhohor se tato deska oddělila od desky africké (před cca 220 miliony let). Přibližně před 70 miliony let byla Jadranská pánev širší a dosahovala na východ k Dinárským Alpám a na západ k Alpám

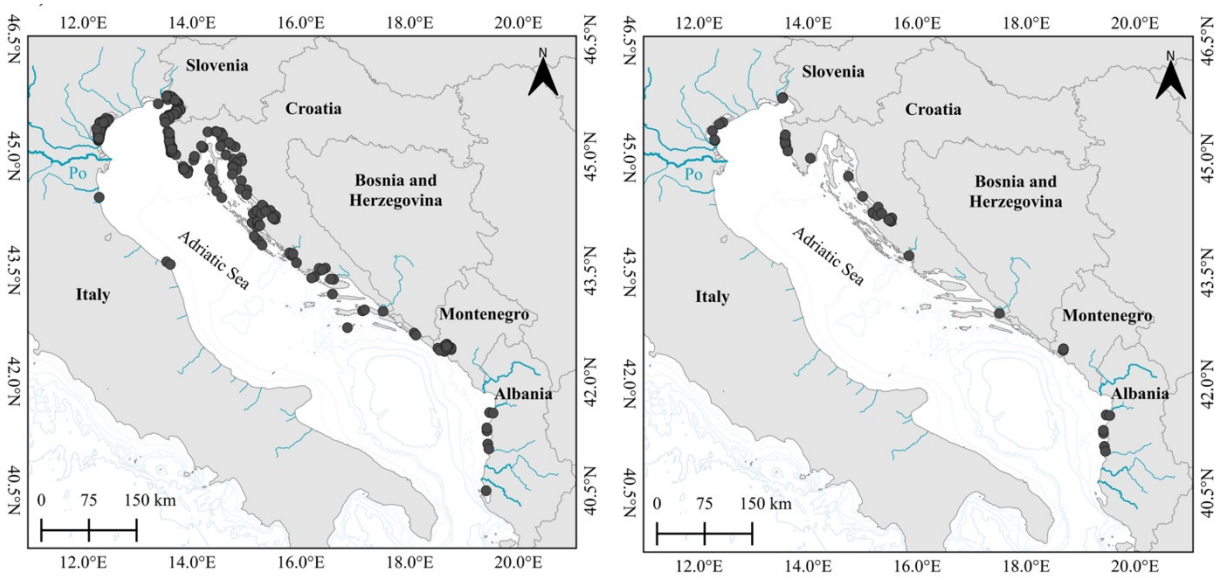
a Apeninám. Tato pohoří vznikla díky kompresním silám afrických a evropských desek. Vznik pohoří měl zásadní vliv na tvar (morfologii) a sedimentologii v této oblasti (Vlahović et al., 2002).

Východní pobřeží je předurčeno svou krasovou povahou, a to díky litologickému složení a aktivní tektonice. Současná struktura se začala formovat téměř před 240 miliony let, tedy během středního triasu se sedimentací na mikrodesce Adria. Během druhohor a raného paleogénu vedlo ukládání uhličitanu vápenatého ke vzniku silné karbonátové desky, která má mocnost 8 km je tvořena převážně vápenci a dolomity. K ukládání docházelo v mělkých vodách (Vlahović et al., 2005).

8 Historický a současný výskyt *Fucus virsoides* v Jaderském moři

Historické záznamy ukazují, že *Fucus virsoides* byl v minulosti rozšířen podél pobřeží severního a středního Jaderského moře, kde osidloval skalnatá stanoviště v přílivové zóně. Zde vytvářel souvislé a husté porosty a stal se významnou součástí pobřežních ekosystémů (Linardić, 1949; I. Munda, 1972a; Orlando-Bonaca et al., 2013).

V průběhu druhé poloviny 20. století začíná docházet k postupným změnám v rozšíření *Fucus virsoides*, které se výrazně prohlubují v posledních desetiletích. Současné studie ukazují na výrazné zmenšení areálu výskytu i pokles početnosti populací, přičemž tento trend je patrný napříč celým Jaderským mořem. Typickým znakem současného stavu je fragmentace populací a jejich omezení na izolované lokality s vhodnými podmínkami (Descourvières et al., 2024a).



Obr. 3 Historický (a) a současný (b) výskyt známých populací *Fucus virsoides* v Jaderském moři. Převzato z Descourvières et al. (2024a).

V severní části Jaderského moře, zejména v oblasti Benátské laguny a Terstského zálivu, byl druh ještě na počátku 21. století běžný. Vytvářel zde husté porosty v mělčinách, ostrovech, a dokonce i na zdech znečištěných kanálů města Benátek (Descourvières et al., 2024a; Sfriso & Curiel, 2007). V dalších studiích bylo ukázáno také to, že *Fucus virsoides* preferoval stanoviště s vyšší ekologickou variabilitou, konkrétně v blízkosti přístavů nebo v oblastech ovlivněných přítokem sladké vody (Orlando-Bonaca et al., 2013). V posledních letech však došlo k výraznému ústupu těchto populací a jejich výskyt je dnes omezen na jednotlivé, prostorově izolované lokality (Falace et al., 2018).

Podobný vývoj byl zaznamenán i na slovinském pobřeží. Ještě kolem roku 2010 se zde rozprostíraly souvislé pásy výskytu v délce několika kilometrů, zejména v oblastech mezi městy Koper a Izola a v okolí Sečoveljských solin (Batielli, 2016; Orlando-Bonaca et al., 2013). Následně však došlo k prudkému poklesu početnosti, který vedl k téměř úplnému vymizení *Fucus virsoides* podél slovinského pobřeží. Od poloviny druhého desetiletí 21. století jsou výskyty *Fucus virsoides*, zaznamenávány pouze ojediněle nebo zcela chybí (Batielli, 2016; Descourvières et al., 2024a).

Na chorvatském pobřeží, především v oblasti Istrie, byl druh hojně rozšířen a tvořil souvislé porosty od 19. století (Linardić, 1949; Munda, 2000). V posledních třiceti letech bylo podél istrijského pobřeží zaznamenáno ubývající populace *Fucus virsoides* (Zavodnik 1967; Munda, 1972b; Munda, 1980). Současný výskyt je omezen na několik izolovaných populací například v oblastech Lanterna, Bijela uvala a Uvala Blaž (Gljušćić et al., 2023). V některých oblastech, zejména v okolí Zadaru došlo k úplnému vymizení populací v relativně krátkém časovém období (Descourvières et al., 2024a).

V Černé Hoře první záznamy o *Fucus virsoides* pocházejí již z roku 1949 (Linardić, 1949), Pozdější výzkumy identifikovaly více lokalit, přičemž na počátku 21. století bylo zaznamenáno i dočasné rozšíření výskytu. V letech 2003–2004 bylo popsáno několik nových stanovišť, což naznačovalo relativně příznivý stav populací v daném období (Macic, 2006).

Tento stav nebyl však dlouhodobý. Populace krátce po zmapování začaly zanikat a aktuálně se v dříve zaznamenaných lokalitách nevyskytuje. Zachovány byly pouze populace v mělkých vodách průlivu Verige, kde se vyjímají vodné podmínky pro růst *Fucus virsoides* (Descourvières et al., 2024a).

Podobně omezený a nestabilní je výskyt *Fucus virsoides* i v Albánii, kde byl zaznamenán velmi vzácně. Nejvýznamnější lokalitou jeho výskytu byl Vlorský záliv, jenž byl považován za nejjižnější hranici rozšíření v Jaderském moři. V průběhu druhé poloviny 20. století však došlo k vymizení *Fucus virsoides* z této oblasti, což bylo potvrzeno opakovanými průzkumy

(Blanfuné et al., 2016). Novější výzkumy však ukazují, že se druh podél albánského pobřeží zcela nevytratil. Byly zde nalezeny nové a izolované populace, zejména v úseku mezi lagunou Patoku a oblastí Spille (Descourvières et al., 2024a).

Z hlediska ochrany přírody je situace v Albánii vyhodnocena jako velmi závažná. Druh je zde klasifikován jako kriticky ohrožený, což odpovídá nízkému výskytu populací a omezené početnosti v oblasti (Descourvières et al., 2024a).

Současný výskyt druhu *Fucus virsoides* v Jaderském moři lze hodnotit jako nepříznivý a alarmující. Výskyt je v jednotlivých částích odlišný, avšak dochází k dlouhodobému ústupu. V Albánii je tento druh klasifikován jako kriticky ohrožený, v Istrii je *Fucus virsoides* považovaný za vyhynulý, v Itálii a v Černé Hoře je hodnocen jako kriticky ohrožený vyhynutím. Podél slovinského pobřeží je považován za lokálně vyhynulý (Descourvières et al., 2024a).

9 Možné příčiny úbytku populací *Fucus virsoides*

Úbytek populací *Fucus virsoides* v Jaderském moři je v současných publikacích přičítán jako důsledek kombinace více faktorů, přičemž nejvýznamnější roli přitom hrají změny prostředí způsobené lidskou činností a dlouhodobé změny podmínek v pobřežních ekosystémech (Descourvières et al., 2024a). Vedle antropogenních vlivů je v současnosti změna klimatu považována za jeden z hlavních faktorů ovlivňujících pobřežní ekosystémy. U druhu *Fucus virsoides* vede zejména ke změnám teploty vody a dalších podmínek prostředí, což může způsobovat ústup jeho populací (Assis et al., 2014; Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010).

V posledních 15 letech byly v Jaderském moři opakovaně zaznamenávány události hromadného úbytku způsobené klimatickými změnami, které postihly populace zde přítomné. V letech 1999 a 2003 dosahovala teplota moře o 4 °C více vzhledem k dlouhodobému průměru. Jaderské moře má škálu teploty vody v rozmezí od 8 do 29 °C. Průměrná teplota dosahuje od 18 °C v severní části moře a asi 25 °C v jižní části. Tyto události zasáhly přibližně 30 přisedlých mořských bezobratlých (Kružić et al., 2016). Zvýšené teploty představují velký stresový faktor pro populace druhu. Teplotní rozkolísanost může negativně populace ovlivňovat a přispívat k úbytku (Descourvières et al., 2024a). Současně dochází ke změnám v hydrologickém režimu, zejména ke snižování průtoku řek, což vede ke změnám salinity a dostupnosti živin v pobřežních oblastech. Tyto procesy jsou neustále zesilovány lidskou činností – například výstavba přehrad a eutrofizace (Marini & Grilli, 2023).

Další možnou příčinou úbytku populací je nadměrný přísun dusíku a fosforu z intenzivně využívané zemědělské krajiny, spolu s dalšími látkami jako pesticidy a herbicidy. Zvýšené

koncentrace dusičnanů a fosforečnanů v minulosti vedly v severní části Jaderského moře k zesílení eutrofizace, která podporovala rozvoj oportunních řas soutěžících o světlo a prostor a potenciálně vytlačujících *Fucus virsoides*. V současnosti je však v některých oblastech pozorován opačný trend – oligotrofizace. Ta má za následek pokles koncentrace živin a ovlivňuje jeho růst a regeneraci (Bensoussan et al., 2010; Cozzi & Giani, 2011). Pesticidy a herbicidy pak přímo poškozují fyziologické procesy řas – například fotosyntézu, buněčný metabolismus a reprodukční cykly. To má za následek ovlivňování schopnosti druhu regenerovat populace (Angeletti et al., 2014; Crisci et al., 2011; Burridge et al., 2010; Mozetič et al., 2010; Solidoro et al., 2009).

Antropogenní vlivy na pobřeží Jaderského moře dlouhodobě významně ovlivňují populace druhu. Na snižování populací se podílí i mechanické narušování stanovišť, například v důsledku kotvení lodí, rekreačních aktivit nebo sběru organismů. Výstavba přístavů a turistické infrastruktury vedou ke změně hydrodynamických poměrů, sedimentace a eroze. Toto narušení prostředí má za následek malou dostupnost vhodného substrátu na uchycení stélek. Dochází i k fragmentaci habitatů, což negativně ovlivňuje stabilitu populací a jejich schopnost regenerace (Airoldi & Beck, 2010; Perkol-Finkel & Airoldi, 2010).

Další příčinou úbytku může být i turismus a s tím spojené rekreační aktivity. Pobřeží jsou vysoce vystaveny návštěvnosti turistů, což vede k fyzickému poškozování substrátu, odstraňování organismů a zvýšené disturbanci (Airoldi & Beck, 2010; Perkol-Finkel & Airoldi, 2010).

10 Snahy o záchranu *Fucus virsoides*

Vzhledem k tomu, že populací druhu *Fucus virsoides* neustále ubývá bylo vhodné vyvinout metodu na rozšíření jedinců a zvýšit počet jedinců na území Jaderského moře. Dochází k obnovení druhu pomocí metody ex situ, tudíž mimo jejich přirozené prostředí. Bylo testováno, zda je možně *Fucus virsoides* vypěstovat v laboratorních podmínkách a následně jej vysazovat zpátky do jeho přirozeného prostředí pro další vývoj. První úspěšný experiment byl realizován na západním pobřeží Istrie (Gljušćić et al., 2023).

Základem experimentu bylo využití stávajících populací jako zdroje reprodukčního materiálu, což umožnilo aplikovat jednoduchou a efektivní metodu na pěstování jedinců mimo jejich přirozené prostředí. Plodné části stélek byly odebrány z přírodních populací a následně byly využity k výsevu v laboratorních podmínkách. Pro výsev bylo použito malé akvárium a do něj byly vloženy dlažební kostky, Přibližně 30 plodných receptakul bylo umístěno do síťky, která

byla položena na hladinu vody v akváriu. Oplodnění probíhalo ve vodním prostředí a zygoty se následně usazovaly na kamenech. Usazené stélky byly viditelné již několik hodin po výsevu. Experiment byl prováděn na osmi dlažebních kostkách (přibližně 200 cm²).

Během prvních čtyř měsíců jedinci nevykazovali žádný růst. Po přesunu do venkovní průtočné kultivační nádrže došlo k překvapivému nárůstu velikosti. Nádrže měly stálý přítok nefiltrované mořské vody a v těchto podmínkách byli jedinci *Fucus virsoides* pěstováni až do výsadby (Gljušćić et al., 2023).

Vypěstovaní jedinci byli vysazováni na lokalitě Muča u Rovinje, kde se v minulosti vyskytoval. Experimentální plochy byly chráněny klecemi, aby se zamezilo spásání herbivorů (např. přílipek, poustevníčků, ježovek, ryby *Sarpa salpa* a dalších druhů). Klece byly umístěny na horním a dolním okraji intertidálu, aby bylo možné posoudit vliv polohy na růst a přežívání stélek (Gljušćić et al., 2023).

Experiment zaměřený na kultivaci ex situ a následnou reinrodukci *Fucus virsoides* prokázal, že druh je chopen poměrně rychlého růstu po výsadbě. Na začátku byl růst stélek zrychlený, avšak po nějaké době se růst stabilizoval a ukázalo se, že významnou roli hraje poloha v rámci přílivové zóny (Gljušćić et al., 2023).

Důležitým zjištěním bylo také to, že jedinci zůstávají plodní i při nepříznivých podmínkách a ovlivňování gamet může být ovlivněno stresovými faktory, jako je intenzivní světlo, vysychání nebo teplotní změny (Descourvières et al., 2024b; Falace et al., 2018). Celkově výsledky naznačují, že využití ex situ kultivace a následné reintrodukce představuje potencionálně vhodný nástroj pro ochranu druhu. Pro jeho širší rozšíření je však nezbytné další výzkumy a upřesnění optimálních podmínek, zejména s ohledem na vliv stanoviště (Gljušćić et al., 2023; Descourvières et al., 2024a**)**.

11 Závěr

Druh *Fucus virsoides* představuje jedinečného zástupce hnědých řas ve Středozemním moři. Jeho výskyt se vymezuje zcela na oblast Jaderského moře. Jeho geografická omezenost je výsledkem dlouhodobé evoluční izolace. K izolaci došlo po ústupu ledovců v pleistocénu, kdy druh zůstal oddělen od zbylých atlantských populací a postupně se přizpůsobil specifickým podmínkám Jaderského moře (Assis et al., 2014; Serrão et al., 1999).

Tento druh byl v minulosti obvyklou součástí pobřežních ekosytémů, kde vytvářel hojné porosty. Na počátku 21. století byl běžným druhem v oblasti Benátské laguny a Terstského zálivu. Zde tvořil husté porosty v mělčinách a na skalnatých substrátech. Podél slovinského pobřeží

tvořil *Fucus virsoides* ještě kolem roku 2010 husté porosty v délce několika kilometrů (Batielli, 2016; Descourvières et al., 2024a).

Na základě dostupné literatury je evidentní, že v poslední době dochází k markantnímu úbytku populací *Fucus virsoides* napříč celým Jaderským mořem. Ve většině původních lokalit byl zjištěn úplný zánik nebo výskyt pouze v malých a izolovaných populacích (Descourvières et al., 2024a). Z toho vyplývá, že druh je velmi citlivý na změnu prostředí, což potvrzuje jeho zařazení mezi ohrožené druhy. Závažnost situace dokládá i jeho zařazení do přílohy II Protokolu Barcelonské úmluvy o zvláště chráněných oblastech a biologické rozmanitosti v oblasti Středozemního moře (UNEP, 2019).

Úbytek nelze hodnotit izolovaně, ale jako součást globálního trendu ústupu ekosystémotvorných makrofyt v důsledku klimatické změny. Modelové studie naznačují pokles druhové rozmanitosti do konce 21. století, přičemž právě středomořská oblast patří mezi nejohroženější (Manca et al., 2024). Předpokládá se snížení diverzity o 3-4 %, přičemž velká část lokalit může ztratit více než 10 % svých druhů. (Manca et al., 2024). Případ *Fucus virsoides* představuje konkrétní příklad procesů, které lze pozorovat napříč celým světem (Casado-Amezúa., 2019; Poloczanska et al., 2013).

Hlavní příčinu úbytku není možné jednoznačně určit, neboť se jedná o souhru více faktorů. Mezi nejzásadnější faktory patří antropogenní činnost, jako je znečištění, eutrofizace a nárůst turismu, které spolu s pobřežní výstavbou vedou k mechanickému narušování stanovišť (Airoldi & Beck, 2010; Falace et al., 2010). Změny v koncentraci živin jsou protichůdné. Historicky eutrofizace podporovala rozvoj konkurenčních (oportunních) řas, které mohly *Fucus virsoides* vytlačovat v důsledku kompetice o světlo a prostor. Současná oligotrofizace omezuje růst a regeneraci (Descourvières et al., 2024b; Solidoro et al., 2009). Pesticidy a herbicidy ze zemědělské krajiny poškozují přímo fyziologické procesy řas, včetně fotosyntézy a reprodukce (Falace et al., 2018). Roli zde hraje také změna klimatu – zvyšování teploty mořské vody a změny v hydrologických poměrech, jež mohou dále ovlivnit salinitu prostředí (Kružić et al., 2016; Marini & Grilli, 2023). Tyto faktory vedou ke zhoršení podmínek pro růst, reprodukci a dlouhodobé přežívání druhu.

Rozšíření druhu je navíc silně závislé na stabilním substrátu, vhodné salinitě, omezené expozici vln a dostupnosti světla a živin (Munda, 1996; Orlando-Bonaca et al., 2013). Každý z těchto faktorů může způsobit rychlejší ústup populací, což se v mnoha oblastech potvrzuje. Přestože je druh eurytermní a euryhalinní (schopný snášet přirozené výkyvy teplot a salinity), dlouhodobé zvyšování průměrných teplot vody může překračovat jeho meze v tepelné toleranci

a ohrožovat jeho přežití zejména v letních obdobích (Serrão et al., 1999; Boero & Bonsdorff, 2007).

Fucus virsoides představuje významný habitatotvoný druh, který poskytuje refugium pro epifyty, epifaunu a slouží jako líhniště pro některé druhy ryb a bezobratlých, což jeho ústup činí obzvláště závažným z hlediska integrity pobřežních ekosystémů Jaderského moře (Wernberg & Filbee-Dexter, 2019; Descourvières et al., 2024a).

Pozitivním přínosem jsou první pokusy o obnovu druhu prostřednictvím ex situ kultivace a následné reintrodukce do jeho přirozeného prostředí. Experiment, který byl proveden na západním pobřeží Istrie prokázal, že druh dosáhl pohlavní zralosti již devět měsíců po výsadbě a byl schopen rychlého růstu. Zároveň bylo zjištěno, že jedinci zůstávají plodní i za nepříznivých podmínek. Studie potvrzují, že tento způsob obnovy je jednoduchým a lehce realizovatelným nástrojem pro obnovu populací. Dlouhodobá úspěšnost závisí na stabilitě prostředí a ustálení podmínek, jako jsou teplota vody, salinita a dostupnost živin (Gljušćić et al., 2023).

Celkově lze říci, že budoucí vývoj druhu *Fucus virsoides* je nejistý a závisí především na schopnosti omezit antropogenní tlak na pobřeží. Spojuje se s tím i porozumění ekologických nároků tohoto druhu. Kombinace ochrany přirozených stanovišť, usměrnění lidské činnosti a dalších opatření představuje klíčovou roli pro zachování *Fucus virsoides* v Jaderském moři.

12 Seznam literatury

Adrogué, H. J., & Madias, N. E. (2014). The impact of sodium and potassium on hypertension risk. *Seminars in Nephrology*, 34(3), 257–272. https://doi.org/10.1016j.semnephrol.2014.04.003

Ahmady-Asbchin, S., Andres, Y., Gerente, C., & Le Cloirec, P. (2009). Natural seaweed waste as sorbent for heavy metal removal from solution. *Environmental Technology*, 30(7), 755–762. https://doi.org/10.1080/09593330902919401

Airoldi, L. (2003). The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. In R. N. Gibson & R. J. A. Atkinson (Eds.), *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* (Vol. 41, pp. 161–236). CRC Press.

Airoldi, L., & Beck, M. W. (2010). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45, 345–405.

Angeletti, L., Taviani, M., Canese, S., Foglini, F., Mastrototaro, F., Argnani, A., Trincardi, F., Bakran-Petricioli, T., Ceregato, A., Chimienti, G., Mačić, V., & Poliseno, A. (2014). New deep-water cnidarian sites in the southern Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), 263–273. https://doi.org/10.12681/mms.558

Assis, J., Serrão, E. A., Claro, B., Perrin, C., & Pearson, G. A. (2014). Climate-driven range shifts explain the distribution of extant gene pools and predict future loss of unique lineages in a marine brown alga. *Molecular Ecology*, 23(11), 2797–2810. https://doi.org/10.1111/mec.12772

Assis, J., Serrão, E. A., Duarte, C. M., Fragkopoulou, E., & Krause-Jensen, D. (2022). Major expansion of marine forests in a warmer Arctic. *Frontiers in Marine Science*, 9, 850368. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.850368

Ballesteros, E., Torras, X., Pinedo, S., García, M., Mangialajo, L., & de Torres, M. (2007). A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55(1–6), 172–180. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.038

Battelli, C. (2016). Disappearance of *Fucus virsoides* J. Agardh from the Slovenian coast (Gulf of Trieste, Northern Adriatic). *Acta Adriatica*, 57(2), 313–322.

Bensoussan, N., Romano, J.-C., Harmelin, J.-G., & Garrabou, J. (2010). High resolution characterization of northwest Mediterranean coastal waters thermal regimes: To better understand responses of benthic communities to climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(3), 431–441. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.01.008

Blanchette, C. A. (1997). Size and survival of intertidal plants in response to wave action: A case study with *Fucus gardneri*. *Ecology*, 78(5), 1563–1578. https://doi.org/10.2307/2266149

Blanfuné, A., Boudouresque, C. F., Verlaque, M., Thibaut, T., & Ruitton, S. (2016). The fate of *Fucus virsoides* in the Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 17(2), 442–449.

Boero, F., & Bonsdorff, E. (2007). A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning. *Marine Ecology*, 28, 134–145. https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2007.00171.x

Bold, H. C., & Wynne, M. J. (1985). *Introduction to the algae: Structure and reproduction* (2nd ed.). Prentice-Hall.

Brawley, S. H., & Johnson, L. E. (1992). Gametogenesis, gametes and zygotes: An ecological perspective on sexual reproduction in the algae. *British Phycological Journal*, 27(3), 233–252. https://doi.org/10.1080/00071619200650241

Bringloe, T. T., Starko, S., Wade, R. M., Vieira, C., Kawai, H., De Clerck, O., Cock, J. M., Coelho, S. M., Destombe, C., Valero, M., Neiva, J., Pearson, G. A., Faugeron, S., Serrão, E. A., & Verbruggen, H. (2020). Phylogeny and evolution of the brown algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(4), 281–321. https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1787679

Burridge, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J., & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1), 7–23. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020

Casado-Amezúa, P., Araújo, R., Bárbara, I., Bermejo, R., Borja, Á., Díez, I., Fernández, C., Gorostiaga, J. M., Guinda, X., Hernández, I., Juanes, J. A., Peña, V., Peteiro, C., Puente, A., Quintana, I., Tuya, F., Viejo, R. M., Altamirano, M., Gallardo, T., & Martínez, B. (2019). Distributional shifts of canopy-forming seaweeds from the Atlantic coast of Southern Europe. *Biodiversity and Conservation*, 28(5), 1151–1172. https://doi.org/10.1007/s10531-019-01716-9

Catarino, M. D., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2018). Phycochemical constituents and biological activities of *Fucus* spp. *Marine Drugs*, 16(8), 249. https://doi.org/10.3390/md16080249

Clayton, M. N. (1988). Evolution and life histories of brown algae. *Botanica Marina*, 31(5), 379–388. https://doi.org/10.1515/botm.1988.31.5.379

Connan, S., Goulard, F., Stiger, V., Deslandes, E., & Gall, E. A. (2004). Interspecific and temporal variation in phlorotannin levels in an assemblage of brown algae. *Botanica Marina*, 47(5), 410–416. https://doi.org/10.1515/BOT.2004.057

Cozzi, S., & Giani, M. (2011). River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. *Continental Shelf Research*, 31(18), 1881–1893. https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.08.010

Crisci, C., Solidoro, C., Salon, S., & Cossarini, G. (2011). Decadal variability of the Adriatic Sea ecosystem. *Journal of Geophysical Research*, 116(C9), C09008.

Descourvières, E., Bandelj, V., Sfriso, A., Orlando-Bonaca, M., Mačić, V., Iveša, L., Kipson, S., Gljušćić, E., Battelli, C., Moro, I., Solidoro, C., & Falace, A. (2024a). Toward the first documented extinction of a marine macroalga in the Mediterranean Sea? *Regional Environmental Change*, 24(3), 132. https://doi.org/10.1007/s10113-024-02297-2

Descourvières, E., Mulas, M., Natale, S., de Pedro, R. S., Alboresi, A., Solidoro, C., Bandelj, V., & Falace, A. (2024b). Ecophysiological responses of *Fucus virsoides* (Phaeophyceae, Fucales) to past and present nutrient conditions in the northern Adriatic. *Marine Biology*, 171(11), 205. https://doi.org/10.1007/s00227-024-04523-1

Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3(11), 961–968. https://doi.org/10.1038/nclimate1970

Duffy, J. E., Benedetti-Cecchi, L., Trinanes, J., Muller-Karger, F. E., Ambo-Rappe, R., Boström, C., Buschmann, A. H., Byrnes, J., Coles, R. G., Creed, J., Cullen-Unsworth, L. C., Diaz-Pulido, G., Duarte, C. M., Edgar, G. J., Fortes, M., Goncalves, G., Gucu, A.-C., Harvell, C. D., Hereu, B., … Yaakub, S. M. (2019). Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science*, 6, 317. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00317

Falace, A., Alongi, G., Cormaci, M., Furnari, G., Curiel, D., Cecere, E., & Petrocelli, A. (2010). Changes in the benthic algae along the Adriatic Sea in the last three decades. *Chemistry and Ecology*, 26(sup1), 77–90. https://doi.org/10.1080/02757541003689837

Falace, A., Tamburello, L., Guarnieri, G., Kaleb, S., Papa, L., & Fraschetti, S. (2018). Effects of a glyphosate-based herbicide on *Fucus virsoides* (Fucales, Ochrophyta) photosynthetic efficiency. *Environmental Pollution*, 243, 912–918. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.053

Gljušćić, E., Bilajac, A., Smith, S. M., Najdek, M., & Iveša, L. (2023). First restoration experiment for endemic *Fucus virsoides* on the Western Istrian Coast – Is it feasible? *Plants*, 12(7), 1445. https://doi.org/10.3390/plants12071445

Hamel, J.-F. (Ed.). (2018). *World seas: An environmental evaluation: Volume I: Europe, the Americas and West Africa*. Academic Press.

Heesch, S., Serrano-Serrano, M., Barrera-Redondo, J., Luthringer, R., Peters, A. F., Destombe, C., Cock, J. M., Valero, M., Roze, D., Salamin, N., & Coelho, S. M. (2021). Evolution of life cycles and reproductive traits: Insights from the brown algae. *Journal of Evolutionary Biology*, 34(7), 992–1009. https://doi.org/10.1111/jeb.13880

Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523–1528. https://doi.org/10.1126/science.1189930

Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597. https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5

Imbs, T. I., Skriptsova, A. V., & Zvyagintseva, T. N. (2015). Antioxidant activity of fucose-containing sulfated polysaccharides obtained from *Fucus evanescens* by different extraction methods. *Journal of Applied Phycology*, 27(1), 545–553. https://doi.org/10.1007/s10811-014-0293-7

Jonsson, P. R., Granhag, L., Moschella, P. S., Aberg, P., Hawkins, S. J., & Thompson, R. C. (2006). Interactions between wave action and grazing control the distribution of intertidal macroalgae. *Ecology*, 87(5), 1169–1178. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1169:ibwaag]2.0.co;2

Karadağ, A., Hermund, D. B., Jensen, L. H. S., Andersen, U., Jónsdóttir, R., Kristinsson, H. G., Alasalvar, C., & Jacobsen, C. (2017). Oxidative stability and microstructure of 5% fish-oil-enriched granola bars added natural antioxidants derived from brown alga *Fucus vesiculosus*. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(4), 1500578. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500578

Kellogg, J., Grace, M. H., & Lila, M. A. (2014). Phlorotannins from Alaskan seaweed inhibit carbolytic enzyme activity. *Marine Drugs*, 12(10), 5277–5294. https://doi.org/10.3390/md12105277

Kovačević, V., Gačić, M., & Poulain, P.-M. (1999). Eulerian current measurements in the Strait of Otranto and in the Southern Adriatic. *Journal of Marine Systems*, 20(1), 255–278. https://doi.org/10.1016/S0924-7963(98)00086-4

Krause-Jensen, D., Archambault, P., Assis, J., Bartsch, I., Bischof, K., Filbee-Dexter, K., Dunton, K. H., Maximova, O., Ragnarsdóttir, S. B., Sejr, M. K., Simakova, U., Spiridonov, V., Wegeberg, S., Winding, M. H. S., & Duarte, C. M. (2020). Imprint of climate change on pan-Arctic marine vegetation. *Frontiers in Marine Science*, 7, 617324. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.617324

Krause-Jensen, D., & Duarte, C. M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, 9(10), 737–742. https://doi.org/10.1038/ngeo2790

Kružić, P., Rodić, P., Popijač, A., & Sertić, M. (2016). Impacts of temperature anomalies on mortality of benthic organisms in the Adriatic Sea. *Marine Ecology*, 37(6), 1190–1209. https://doi.org/10.1111/maec.12293

Kwiatkowski, L., Torres, O., Bopp, L., Aumont, O., Chamberlain, M., Christian, J. R., Dunne, J. P., Gehlen, M., Ilyina, T., John, J. G., Lenton, A., Li, H., Lovenduski, N. S., Orr, J. C., Palmieri, J., Santana-Falcón, Y., Schwinger, J., Séférian, R., Stock, C. A., … Ziehn, T. (2020). Twenty-first century ocean warming, acidification, deoxygenation, and upper-ocean nutrient and primary production decline from CMIP6 model projections. *Biogeosciences*, 17(13), 3439–3470. https://doi.org/10.5194/bg-17-3439-2020

Linardić, J. (1949). Studies on the Adriatic *Fucus* (*Fucus virsoides*). *Acta Botanica Croatica*, 12–13(1), 7–131.

Lipizer, M., Partescano, E., Rabitti, A., Giorgetti, A., & Crise, A. (2014). Qualified temperature, salinity and dissolved oxygen climatologies in a changing Adriatic Sea. *Ocean Science*, 10(5), 771–797. https://doi.org/10.5194/os-10-771-2014

Lüning, K. (1990). *Seaweeds: Their environment, biogeography and ecophysiology*. Wiley-Interscience.

Mačić, V. (2006). Distribution of seaweed *Fucus virsoides* J. Agardh in Boka Kotorska Bay (South Adriatic Sea). *Annales: Series Historia Naturalis*, 16(1), 1–4.

Maier, I., & Müller, D. G. (1986). Sexual pheromones in algae. *The Biological Bulletin*, 170(2), 145–175. https://doi.org/10.2307/1541801

Malyarenko, O. S., Usoltseva, R. V., Shevchenko, N. M., Isakov, V. V., Zvyagintseva, T. N., & Ermakova, S. P. (2017). *In vitro* anticancer activity of the laminarans from Far Eastern brown seaweeds and their sulfated derivatives. *Journal of Applied Phycology*, 29(1), 543–553. https://doi.org/10.1007/s10811-016-0915-3

Manca, F., Benedetti-Cecchi, L., Bradshaw, C. J. A., Cabeza, M., Gustafsson, C., Norkko, A. M., Roslin, T. V., Thomas, D. N., White, L., & Strona, G. (2024). Projected loss of

brown macroalgae and seagrasses with global environmental change. *Nature Communications*, 15(1), 5344. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48273-6

Marini, M., & Grilli, F. (2023). The role of nitrogen and phosphorus in eutrophication of the Northern Adriatic Sea: History and future scenarios. *Applied Sciences*, 13(16), 9267. https://doi.org/10.3390/app13169267

McHugh, D. J. (2003). *A guide to the seaweed industry* (FAO Fisheries Technical Paper No. 441). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/3/y4765e/y4765e00.htm

Mikami, K., & Hosokawa, M. (2013). Biosynthetic pathway and health benefits of fucoxanthin, an algae-specific xanthophyll in brown seaweeds. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(7), 13763–13781. https://doi.org/10.3390/ijms140713763

Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Socal, G., Precali, R., Francé, J., Bianchi, F., De Vittor, C., Smodlaka, N., & Fonda Umani, S. (2010). Recent trends towards oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from chlorophyll *a* time series. *Estuaries and Coasts*, 33(2), 362–375. https://doi.org/10.1007/s12237-009-9191-7

Munda, I. M. (1972). The production of biomass in the settlements of benthic marine algae in the Northern Adriatic. *Botanica Marina*, 15(4), 218–244. https://doi.org/10.1515/botm.1972.15.4.218

Munda, I. M. (1980). Survey of the algal biomass in the polluted area around Rovinj (Istrian coast, north Adriatic). *Acta Adriatica*, 21(2), 333–354.

Munda, I. M. (1996). The Northern Adriatic Sea. In W. Schramm & P. H. Nienhuis (Eds.), *Marine benthic vegetation: Recent changes and the effects of eutrophication* (pp. 369–402). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61398-2_17

Munda, I. M. (2000). Long-term marine floristic changes around Rovinj (Istrian coast, North Adriatic) estimated on the basis of historical data from Paul Kuckuck's field diaries from the end of the 19th century. *Nova Hedwigia*, 71, 1–36. https://doi.org/10.1127/nova/71/2000/1

Ogorelec, B., Mišič, M., & Faganeli, J. (1991). Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Sedimentological aspects. *Marine Geology*, 99(1), 79–92. https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90084-H

Orlando-Bonaca, M., Mannoni, P.-A., Poloniato, D., & Falace, A. (2013). Assessment of *Fucus virsoides* distribution in the Gulf of Trieste (Adriatic Sea) and its relation to environmental variables. *Botanica Marina*, 56(5–6), 451–459. https://doi.org/10.1515/bot-2013-0027

Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M., & Williams, S. L. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987–996. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2

Patarra, R. F., Paiva, L., Neto, A. I., Lima, E., & Baptista, J. (2011). Nutritional value of selected macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 205–208. https://doi.org/10.1007/s10811-010-9556-0

Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I.-C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., … Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214. https://doi.org/10.1126/science.aai9214

Peng, J., Yuan, J.-P., Wu, C.-F., & Wang, J.-H. (2011). Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: Metabolism and bioactivities relevant to human health. *Marine Drugs*, 9(10), 1806–1828. https://doi.org/10.3390/md9101806

Perkol-Finkel, S., & Airoldi, L. (2010). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(3), 431–441.

Phillips, N., Burrowes, R., Rousseau, F., de Reviers, B., & Saunders, G. W. (2008). Resolving evolutionary relationships among the brown algae using chloroplast and nuclear genes. *Journal of Phycology*, 44(2), 394–405. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00473.x

Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., Brander, K., Bruno, J. F., Buckley, L. B., Burrows, M. T., Duarte, C. M., Halpern, B. S., Holding, J., Kappel, C. V., O'Connor, M. I., Pandolfi, J. M., Parmesan, C., Schwing, F., Thompson, S. A., & Richardson, A. J. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10), 919–925. https://doi.org/10.1038/nclimate1958

Powell, H. T. (1957). Studies in the genus *Fucus* L. I. *Fucus distichus* L. emend. Powell. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 36(2), 407–432. https://doi.org/10.1017/S002531540001688X

Radwan, A., Davies, G., Fataftah, A., Ghabbour, E. A., Jansen, S. A., & Willey, R. J. (1996). Isolation of humic acid from the brown algae *Ascophyllum nodosum*, *Fucus*

vesiculosus, *Laminaria saccharina* and the marine angiosperm *Zostera marina*. *Journal of Applied Phycology*, 8(6), 553–562. https://doi.org/10.1007/BF02186335

Rindi, F., & Battelli, C. (2005). Spatio-temporal variability of intertidal algal assemblages of the Slovenian coast (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea). *Botanica Marina*, 48(2), 96–105. https://doi.org/10.1515/BOT.2005.022

Rioux, L.-E., Turgeon, S. L., & Beaulieu, M. (2007). Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 530–537. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.01.009

Rodriguez-Jasso, R. M., Mussatto, S. I., Pastrana, L., Aguilar, C. N., & Teixeira, J. A. (2014). Chemical composition and antioxidant activity of sulphated polysaccharides extracted from *Fucus vesiculosus* using different hydrothermal processes. *Chemical Papers*, 68(2), 203–209. https://doi.org/10.2478/s11696-013-0430-9

Ruić, K., Šepić, J., Mlinar, M., & Međugorac, I. (2023). Contribution of high-frequency (T < 2 h) sea level oscillations to the Adriatic sea level maxima. *Natural Hazards*, 116(3), 3747–3777. https://doi.org/10.1007/s11069-023-05834-0

Sales, M., & Ballesteros, E. (2009). Shallow *Cystoseira* (Fucales: Ochrophyta) assemblages thriving in sheltered areas from Menorca (NW Mediterranean): Relationships with environmental factors and anthropogenic pressures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(4), 476–482. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.07.013

Scarascia, L., & Lionello, P. (2013). Global and regional factors contributing to the past and future sea level rise in the Northern Adriatic Sea. *Global and Planetary Change*, 106, 51–63. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.03.004

Serrão, E. A., Alice, L. A., & Brawley, S. H. (1999). Evolution of the Fucaceae (Phaeophyceae) inferred from nrDNA-ITS. *Journal of Phycology*, 35(2), 382–394. https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520382.x

Sfriso, A. (2020). Invasion of alien macroalgae in the Venice Lagoon, a pest or a resource? *Aquatic Invasions*, 15(2), 245–270. https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.2.03

Sfriso, A., & Curiel, D. (2007). Check-list of seaweeds recorded in the last 20 years in Venice Lagoon, and a comparison with the previous records. *Botanica Marina*, 50(1), 22–58. https://doi.org/10.1515/BOT.2007.004

Silberfeld, T., Leigh, J. W., Verbruggen, H., Cruaud, C., de Reviers, B., & Rousseau, F. (2010). A multi-locus time-calibrated phylogeny of the brown algae (Heterokonta, Ochrophyta, Phaeophyceae): Investigating the evolutionary nature of the "brown algal crown

radiation". *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 56(2), 659–674. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.04.020

Smale, D. A. (2020). Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, 225(4), 1447–1454. https://doi.org/10.1111/nph.16107

Solidoro, C., Bandelj, V., Bernardi Aubry, F., Camatti, E., Ciavatta, S., Cossarini, G., & Fonda Umani, S. (2009). Response of the Adriatic Sea to nutrient reduction: A modelling study. *Marine Chemistry*, 113(3–4), 253–264. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2009.01.003

UNEP/MAP. (2019). *Barcelona Convention for the protection of the marine environment and the coastal region of the Mediterranean and its protocols*. United Nations Environment Programme – Mediterranean Action Plan. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31970

Unsworth, R. K. F., Nordlund, L. M., & Cullen-Unsworth, L. C. (2019). Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 12(1), e12566. https://doi.org/10.1111/conl.12566

Van Der Strate, H. J., Boele-Bos, S. A., Olsen, J. L., Van De Zande, L., & Stam, W. T. (2002). Phylogeographic studies in the tropical seaweed *Cladophoropsis membranacea* (Chlorophyta, Ulvophyceae) reveal a cryptic species complex. *Journal of Phycology*, 38(3), 572–582. https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.01170.x

Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I., & Matičec, D. (2002). The Karst Dinarides are composed of relics of a single Mesozoic platform: Facts and consequences. *Geologia Croatica*, 55(2), 171–183. https://doi.org/10.4154/GC.2002.15

Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I., & Matičec, D. (2005). Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220(3–4), 333–360. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.01.011

Wernberg, T., & Filbee-Dexter, K. (2019). Missing the marine forest for the trees. *Marine Ecology Progress Series*, 612, 209–215. https://doi.org/10.3354/meps12867

Zavodnik, N. (1967). Contribution to the knowledge of *Fucus virsoides* (Don.) J. Ag. in the Northern Adriatic Sea. *Thalassia Jugoslavica*, 3(1–6), 105–113.

Zonn, I. S., Kostianoy, A. G., Semenov, A. V., Joksimović, A., & Đurović, M. (2021). Adriatic Sea. In I. S. Zonn, A. G. Kostianoy, A. V. Semenov, A. Joksimović, & M. Đurović (Eds.), *The Adriatic Sea Encyclopedia* (pp. 9–14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50032-0_15

13 Seznam obrázků

Obr. 1 Fucus virsoides v přirozeném prostředí. Foto: Edi Gljušćić, iNaturalist, červenec 2016. Licence CC BY-NC. Dostupné z: https://www.inaturalist.org/photos/50148972

Obr. 2 Mapa moří obklopujících Apeninský poloostrov se znázorněným rozdělením Jaderského moře na severní, střední a jižní část. Jaderské moře se rozkládá mezi Apeninským a Balkánským poloostrovem a tvoří severovýchodní výběžek Středozemního moře. Vyznačeny jsou také klíčové geografické prvky oblasti, včetně Otrantského průlivu, který spojuje Jaderské moře s Jónským mořem. Převzato z Hamel (2018).

Obr. 3 Historický (a) a současný (b) výskyt známých populací *Fucus virsoides* v Jaderském moři. Převzato z Descourvières et al. (2024).