

## **Revisió bibliogràfica sobre el cultiu de l'alga nori. Importància, història i mètodes de cultiu.**

---

Estudiant: Marina Hernández Barbancho

Grau en Biologia

Correu electrònic: hernandez.marina555@gmail.com

Tutora: Dra. M. Alba Vergés Guirado

Empresa/institució: Grup de recerca en Biodiversitat i Recursos Marins (GR MAR), Institut d'Ecologia Aquàtica (IEA), Universitat de Girona

Vistiplau tutora:

**MARIA  
ALBA  
VERGÉS  
GUIRADO**  Firmado  
digitalmente por  
MARIA ALBA  
VERGÉS GUIRADO  
Fecha: 2021.02.15  
19:41:17 +01'00'

Nom de la tutora: Dra. M. Alba Vergés Guirado

Empresa/institució: GR MAR, IEA, Universitat de Girona

Correu electrònic: alba.verges@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 15/02/2021

## **AGRAÏMENTS**

Principalment m'agradaria donar les gràcies a la meva tutora del Treball de Fi de Grau, la Dra. Alba Vergés Guirado, ja que la seva ajuda i atenció ha estat imprescindible per a la realització d'aquest projecte. Tot i les circumstàncies extraordinàries, la comunicació ha estat fàcil i hem pogut anar compartint idees de principi a fi. També agrair al Dr. Carles Borrego More, el meu tutor del grau, el seguiment i els consells al llarg de la carrera. Finalment a la meva família per el suport incondicional i la confiança, i a les meves amistats per tots els moments compartits i el recolzament durant els quatre anys de grau.

## Resum

Nori és el terme japonès que fa referència a diverses espècies d'algues vermelles comestibles de l'ordre de les Bangials laminars. Fins ara el gènere establert era *Porphyra*, però recentment s'ha dut a terme una revisió filogenètica en que la majoria d'espècies s'han transferit a gèneres com *Pyropia* i *Neopyropia*. Els principals països productors de nori són la Xina, Japó i Corea i la principal finalitat és la producció de làmines seques per a menjar com el "sushi" consumit a tot el món.

El descobriment de la fase esporofítica (conchocelis) per Kathleen Drew va suposar l'inici de la producció massiva de nori l'any 1960 al Japó, ja que amb aquest coneixement es va poder controlar el cicle de vida de les espècies. Va ser l'inici de l'aqüicultura moderna amb un gran impacte econòmic i social a nivell mundial. Aquesta va requerir un seguit de passos clau: el cultiu artificial del conchocelis en hivernacles, la recol·lecció de les zigotòspores, la sembra d'aquestes en xarxes, el cultiu de les làmines al mar, la collita i finalment el processament. També es van crear sistemes de congelació de xarxes i es van dur a terme processos de selecció genètica de soques per a millorar l'eficiència dels cultius. A més a més, avui en dia s'està investigant sobre els cultius en tancs terrestres i sobre la producció de làmines via reproducció asexual amb arqueòspores.

L'objectiu d'aquest projecte ha estat descriure des d'un punt de vista històric els diferents sistemes de cultiu de nori des de segles enrere fins a l'actualitat. S'han analitzat els diferents paràmetres a controlar en el cultiu del conchocelis i de les làmines. A més, s'han discutit els avantatges i inconvenients de les diferents tècniques enfront a diferents factors. Actualment el mètode de cultiu de làmines més utilitzat és el semi-flotant i les espècies més cultivades són *N. yezoensis* i *N. haitanensis*. A partir de tota la recopilació bibliogràfica s'ha elaborat un protocol per a una prova pilot de cultiu de *Neothemis ballesterosii* al Mediterrani conclouent que el mètode més eficient de cara a un futur és el cultiu en tancs terrestres via arqueòspores.

## Resumen

Nori es el término japonés que hace referencia a varias especies de algas rojas comestibles del orden de las Bangiales laminares. Hasta ahora el género establecido era *Porphyra*, pero recientemente se ha llevado a cabo una revisión filogenética en que la mayoría de especies se han transferido a géneros como *Pyropia* y *Neopyropia*. Los principales países productores de nori son China, Japón y Corea y la principal finalidad es la producción de láminas secas para comidas como el "sushi" consumido en todo el mundo.

El descubrimiento de la fase esporofítica (conchocelis) por Kathleen Drew supuso el inicio de la producción masiva de nori en 1960 en Japón, ya que con este conocimiento se pudo controlar el ciclo de vida de las especies. Fue el inicio de la acuicultura moderna con un gran impacto económico y social a nivel mundial. Esta requirió una serie de pasos clave: el cultivo artificial del conchocelis en invernaderos, la recolección de las zigotósporas, la siembra de estas en redes, el cultivo de las láminas en el mar, la cosecha y finalmente el procesamiento. También se crearon sistemas de congelación de redes y se llevaron a cabo procesos de selección genética de cepas para mejorar la eficiencia de los cultivos. Además, hoy en día se está investigando sobre los cultivos en tanques terrestres y sobre la producción de láminas vía reproducción asexual con arqueósporas.

El objetivo de este proyecto ha sido describir desde un punto de vista histórico los diferentes sistemas de cultivo de nori desde siglos atrás hasta la actualidad. Se han analizado los diferentes parámetros a controlar en el cultivo del conchocelis y de las láminas. Además, se han discutido las ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas frente a diferentes factores. Actualmente el método de cultivo de láminas más utilizado es el semi-flotante y las especies más cultivadas son *N. yezoensis* y *N. haitanensis*. A partir de toda la recopilación bibliográfica se ha elaborado un protocolo para una prueba piloto de cultivo de *Neothemis ballesterosii* el Mediterráneo concluyendo que el método más eficiente de cara a un futuro es el cultivo en tanques terrestres vía arqueósporas.

## Abstract

Nori is the Japanese term for several species of edible red algae of the order foliose Bangiales. Until now the established genus was *Porphyra*, but recently a phylogenetic revision has been carried out in which most species have been transferred to genera such as *Pyropia* and *Neopyropia*. The main nori producing countries are China, Japan and Korea and the main purpose is the production of dried sheets for foods such as "sushi" consumed worldwide.

The discovery of the sporophytic phase (conchocelis) by Kathleen Drew marked the beginning of mass production of nori in 1960 in Japan, since with this knowledge it was possible to control the life cycle of the species. It was the beginning of modern aquaculture with a great economic and social impact worldwide. It required a series of key steps: artificial cultivation of conchocelis in greenhouses, harvesting of zygospores, seeding them in nets, cultivation of foliose thallus in the sea, harvesting and finally processing. Systems for freezing nets were also created and genetic selection processes of strains were carried out to improve crop efficiency. In addition, research is currently being carried out on cultivation in terrestrial tanks and on the production of blades via asexual reproduction through archeospores.

The objective of this project has been describing from a historical point of view the different cultivation systems of nori from centuries ago to the present day. The different parameters to be controlled in the cultivation of conchocelis and blades have been analyzed. In addition, the advantages and drawbacks of the different techniques against different factors have been discussed. Nowadays, the most widely used method of cultivation of blades is the semi-floating method and the most cultivated species are *N. yezoensis* and *N. haitanensis*. From all the bibliographic compilation, a protocol for a pilot culture test of *Neothemis ballesterosii* in the Mediterranean has been elaborated, concluding that the most efficient method for the future is the culture in terrestrial tanks via archeospores.

## ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	1
1.1 Valor comercial.....	1
1.2 Distribució.....	2
1.3 Morfologia.....	3
1.4 Cicle vital.....	3
1.5 Usos.....	5
2. OBJECTIVES.....	6
3. METODOLOGIA.....	7
3.1. Ètica i sostenibilitat.....	7
4. RESULTATS.....	8
4.1 Tècniques de cultiu antigues.....	8
4.1.1 Tècnica de neteja de roques per a “xi hai” .....	8
4.1.2 Plantació de bambú-hibi.....	8
4.2 Sistemes moderns de producció de nori.....	9
4.2.1 Cultiu artificial de la fase conchocelis.....	10
4.2.2 Sembra artificial de xarxes.....	12
4.2.3 Tècniques de cultiu de les làmines al mar.....	13
4.2.4 Tècniques de cultiu de les làmines terrestres.....	15
4.2.4.1 Cultiu de flotació lliure en tancs terrestres.....	15
4.2.4.2 Cultiu en suspensió via arqueòspores.....	16
4.2.5 Congelació de xarxes.....	17
4.2.6 Selecció de soques.....	17
4.2.7 Collita.....	18
4.2.8 Processament.....	18
4.3 Prova pilot de cultiu de Bangiales laminars a les costes catalanes.....	19
4.3.1 Protocol de la prova pilot.....	20
5. DISCUSSIÓ.....	24
6. CONCLUSIONS.....	27
7. BIBLIOGRAFIA.....	27

## 1. INTRODUCCIÓ

---

Dins el grup de les Bangiales laminars (fílum Rhodophyta) hi pertanyen les diferents espècies de l'alga nori que es cultiven arreu del món. L'ordre prové d'un antic llinatge d'individus amb morfologia similar que abarca una distribució d'espècies genèticament molt àmplia (Ragan *et al.*, 1994). L'alga en qüestió es coneix popularment com "nori" al Japó, "zicai" a la Xina, "kim" a Corea, "laver" al Regne Unit, els Estats Units i Canadà, "purple laver" a la Gran Bretanya i Irlanda i "karengo" a Nova Zelanda i és reconeguda com una important font d'aliment i medicinal des del seu primer ús registrat a la Xina l'any 300 a.C (Levine & Sahoo, 2010).

S'han reconegut més de 133 espècies de nori distribuïdes arreu de les costes nord-atlàniques d'Europa i Amèrica, a la costa del Pacífic de Canadà i Estats Units i fins i tot algunes a les costes tropicals de l'Índia, entre d'altres (Baweja *et al.*, 2016). No obstant, només les sis espècies *P. yezoensis*, *P. tenera*, *P. haitanensis*, *P. pseudolinearis*, *P. seriata* i *P. kuniedai* són les més cultivades comercialment al sud-est asiàtic (Hafting, 1998).

En l'estudi de Sutherland *et al.* (2011) es va dur a terme una revisió filogenètica de l'ordre Bangiales. Moltes espècies prèviament catalogades com *Porphyra*, concretament 52, es van transferir al gènere *Pyropia*, com *P. yezoensis* i *P. tenera* de gran valor comercial esmentades anteriorment. Posteriorment, en l'estudi de Yang *et al.* (2020) s'ha redefinit el gènere *Pyropia* proposant els gèneres *Calidia*, *Neoporphyra*, *Neopyropia* i *Uedaea*. Conseqüentment, avui en dia es considera que *P. yezoensis* i *P. tenera* s'han transferit al gènere *Neopyropia*, *P. haitanensis* i *P. seriata* a *Neoporphyra* i *P. pseudolinearis* i *P. kuniedai* a *Pyropia*.

### 1.1 Valor comercial

Els tres principals països productors de nori són el Japó, la Xina i Corea, on s'ha cultivat i comercialitzat des de fa segles. A escala mundial es cullen aproximadament 1,8 milions de tones (pes humit) de nori amb un valor de mercat de més de 1.500 milions de dòlars l'any. Només el Japó produeix una mitjana de 400.000 tones (pes humit) de nori per any, que es processa en aproximadament 10.000 milions de làmines (Levine & Sahoo, 2010). El cultiu de nori s'ha anat expandint a altres continents tals com Amèrica del Nord,

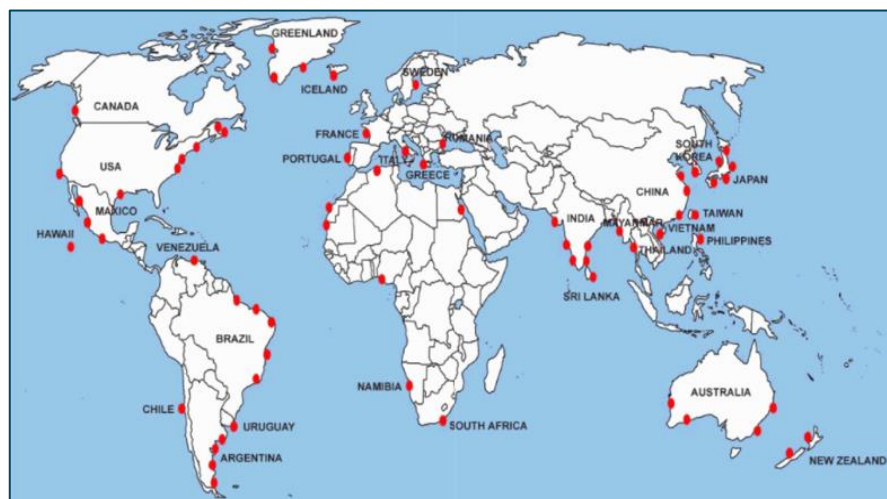
Europa i Àfrica representant així la indústria de maricultura d'algues més valorada del món (Sutherland *et al.*, 2011).

Actualment, *N. yezoensis* és la principal soca cultivada a la Xina (a les províncies de Jiangsu i Shandong) i la més utilitzada arreu del món per produir nori (Jiang *et al.*, 2020). El producte final és en forma de full sec semblant al paper, per utilitzar-lo en plats de menjar japonès (Oohusa, 1993). La major part del producte d'aquesta espècie (gairebé el 90%) és exportat al mercat internacional. En canvi, l'altra espècie principal *N. haitanensis* (cultivada a les províncies de Zhejiang i Fujian) s'asseca a granel per vendre-la al mercat intern del mateix país, exportant-ne només un 10% (FAO 2009). L'espècie *N. tenera* tradicionalment era la soca més utilitzada degut a la seva excel·lent qualitat, no obstant, avui en dia es considera en perill d'extinció (Boulin *et al.*, 2011).

## 1.2 Distribució

El nori es troba a la zona intermareal de les costes rocoses de tot el món (Fig.1), incloent també els pols i els tròpics. Algunes espècies representen les algues dominants en els hàbitats intermareals superiors, degut a la seva gran tolerància a la dessecació i algunes poden ser epífites (Holmes & Brodie, 2004). La major part de la diversitat es concentra a les regions fredes o temperades-fredes, incloent un gran grup d'espècies a l'hemisferi sud, majoritàriament encara no descrites, com a Amèrica de Sud, l'Atlàntic Sud, Sud-àfrica, Austràlia, Nova Zelanda i les illes subantàrtiques (Klein *et al.*, 2003). Cal esmentar que la distribució registrada d'algunes espècies és resultat del transport humà, com és el cas de *N. yezoensis* al Mediterrani (Sánchez *et al.*, 2014).

**Figura 1.** Mapa de la distribució mundial de les espècies de nori al planeta. Font: Levine & Sahoo, 2010.





### 1.3 Morfologia

Les Bangiales laminars presenten una morfologia simple. Les diferents espècies varien molt en la seva textura, color i mida (Fig 2). Aquests trets són determinants per a la qualitat de l'alga. El tal·lus és laminar i presenta diferents formes des d'orbicular fins a linear i amb petites particularitats, com denticulacions microscòpiques als marges de la làmina. El seu color varia des de rosat en espècies intermareals inferiors fins a marronoses/verdoses en espècies intermareals superiors (FAO 2009).

Els tal·lus laminars estan constituïts per 1 o 2 capes de cèl·lules de gruix (monostromàtiques o distromàtiques). Normalment, el marge estèril és més prim en comparació amb la porció basal més gruixuda. Pot mesurar des de 5 a 35 cm de longitud

(Levine & Sahoo, 2010). Les làmines sorgeixen individualment d'un petit disc discoidal i la fixació és per rizoides. Conté un o dos cloroplasts estelats amb gran pirenoide central per cèl·lula. El creixement és apical en les primeres etapes del desenvolupament i posteriorment canvia cap a un creixement difús. La fase esporofítica s'anomena conchocelis i és microscòpica. Presenta filaments ramificats curts i uniseriats i les seves cèl·lules tenen cloroplasts parietals de forma més allargada ([www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)).



**Figura 2.** *N. yezoensis* i *P. Narawaensis*.

Font: Christopher, 2008

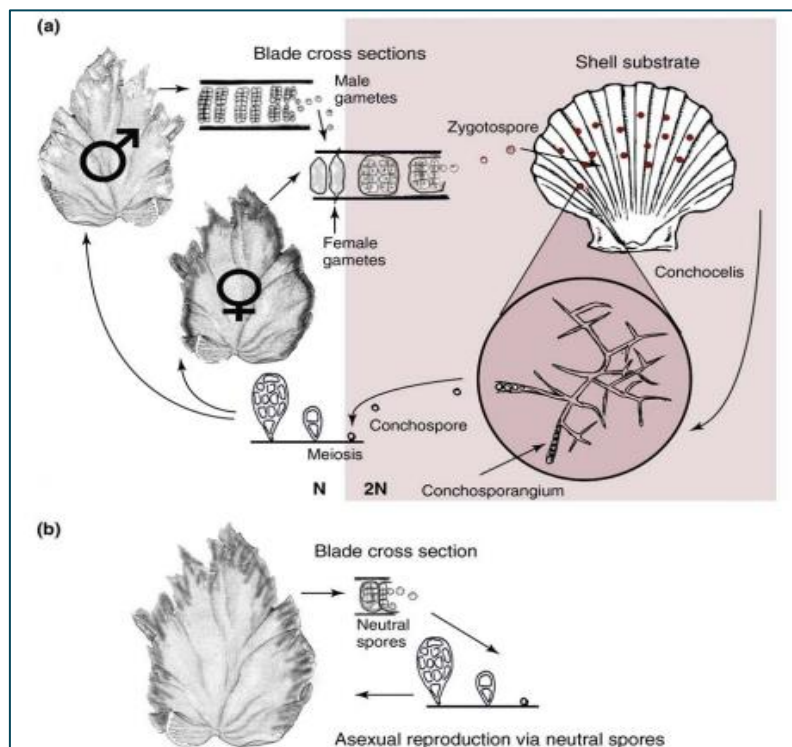
### 1.4 Cicle vital

Gran part de les espècies de nori són monoiques, com *N. yezoensis* i *N. tenera*. El tal·lus laminar és anual mentre que el conchocelis és perenne (Notoya, 1999).

Tal i com es pot observar en la Figura 3, l'alga presenta una alternança de generacions heteromòrfiques. El seu cicle de vida consisteix en una fase gametofítica en forma de làmina i una fase esporofítica en forma de branques ramificades i filamentoses de mida microscòpica que rep el nom de conchocelis. Abans que Kathleen Drew l'identifiqués com a esporòfit l'any 1949 (Oohusa, 1984) aquest es considerava una espècie a part anomenada *Conchocelis rosea* (Boulin *et al.*, 2011).

Majoritàriament, a la primavera, el gametòfit (tal·lus laminar) allibera a través dels espermatangis els gàmetes masculins, que fertilitzen els gàmetes femenins immòbils al tal·lus. Després de la fecundació, es produeixen les zigotòspores (clons del zigot fruit de les successives divisions cel·lulars) que s'alliberen i es dipositen sobre substrats calcaris com les closques d'ostres i percebes. Allà germinen donant lloc al conchocelis (esporòfit microscòpic). A la tardor els concosporangis ja han madurat i s'alliberen massivament les concòspores, les quals via meiosis formaran un nou gametòfit (noves làmines) sobre un nou substrat a l'hivern (Knoop *et al.*, 2020).

L'alga també es pot reproduir de manera asexual tant a la fase de la làmina com en la del conchocelis mitjançant arqueòspores o també anomenades espores neutres. Els cicles vitals varien segons les diferents espècies o poblacions. El més comú és que es doni en l'etapa jove dels tal·lus laminars, tot i que una minoria de tal·lus adults produeixen abundants arqueosporangis marginals. Per exemple, espècies com *P. umbilicalis* del nord-oest de l'Atlàntic només es reproduïxen asexualment (Boulin *et al.*, 2011) i espècies com *N. yezoensis* alternen les dues vies (Hafting, 1999).



**Figura 3.** Representació del cicle de vida de les Bangiales laminars. (a) Reproducció sexual amb alternança de gametòfit (tal·lus) i esporòfit (conchocelis microscòpic); (b) Reproducció asexual del tal·lus via espores neutres. Font: Boulin *et al.*, 2011.

## 1.5 Usos

El nori és cultivat principalment per finalitats alimentàries, concretament per l'elaboració del menjar japonès "sushi" que avui en dia es consumeix a escala mundial, en gran mesura al Japó i als Estats Units. A més, avui en dia a la Xina, Corea i altres pobles d'Àsia i del Pacífic occidental es segueix valorant el nori com a part integral de la dieta. També s'ha utilitzat des de segles enrere com a medicament i nutricional (Levine & Sahoo, 2010). A Amèrica del Nord, des de Washington fins al sud-est d'Alaska, s'hi cultiva *N. perforata* i es consumeix en forma de làmines seques. A Nova Zelanda és típica l'espècie *P. columbiana* de forma bullida i fregida (aliment anomenat karengo) i a la Gran Bretanya s'hi cultiva *P. lacinata*, consumida només en els llocs celtes més tradicionals (Hafting, 1998).

La demanda mundial del nori com a aliment principalment es deu al seu valor nutritiu, basat en un alt contingut en minerals (com calci, potassi i ferro), àcids grassos insaturats, vitamines (per exemple, B12 i C), proteïnes (25-50% del pes sec de la fulla) i una alta concentració d'antioxidants. També conté un total de 18 aminoàcids tals com l'alanina, l'àcid glutàmic i l'aspàrtic, la glicina i la taurina. Aquest últim controla els nivells de colesterol en sang (Noda, 1993).

Durant segles, el nori també s'ha utilitzat com a aliment per animals i com a fertilitzant. A més, conté agars i carragenines amb propietats gelificants que són extrets i utilitzats en la indústria alimentària (Tait et al., 1990).

D'altra banda, s'utilitza el seu pigment fluorescent, la ficoeritrina, com a fluorocrom per a l'etiquetatge de sondes (com anticossos) en estudis immunològics i per la detecció de components cel·lulars en altres estudis biomèdics. A més, s'està estudiant certs aminoàcids d'espècies de nori que podrien actuar com a protectors solars tòpics (Boulin et al., 2011).

Pel que fa a l'aplicabilitat farmacèutica, hi ha diverses investigacions sobre nous sistemes d'administració de fàrmacs o amb efectes directes contra les malalties obtinguts de pèptids presents en algunes espècies de nori (Hayashi et al., 2020).

Les Bangiales laminars també s'utilitzen en l'àmbit de la bioremediació per a la purificació d'aigües eutròfiques ja que presenten un elevada capacitat de captació de nutrients (Chopin et al., 1999). A propòsit, s'utilitza en l'aqüicultura integrada, en que

s'estableixen cultius de nori al costat de granges de peixos o mariscs. Allà s'hi creen altes concentracions de  $\text{NH}_4^+$  degut a les excrecions provinents dels animals i es necessita un sistema de depuració de nutrients. Les algues els assimilen per el seu òptim creixement i consegüentment també s'aconsegueix reduir l'impacte ambiental de la zona (He *et al.*, 2008).

## 2. OBJECTIVES

---

The main objective of this project is to achieve a bibliographic review of nori seaweed cultivation methods from the beginning of this industry to the present day, due to the economic and social importance of nori cultivation worldwide.

The specific objectives proposed are:

- To describe the evolution of the different systems of nori production from centuries ago to the present day and to discuss the advantages and drawbacks for all of them.
- To identify main parameters to be controlled to nori culture, for both laminar and microscopic phases.
- To select the most appropriate method of culture to ensure the greatest success.
- To define a protocol of nori cultivation in the Mediterranean coast with the native species *Neothemis ballesterosii*.

### 3. METODOLOGIA

---

Atès que es tracta d'un projecte bibliogràfic, la totalitat de la informació ha sigut extreta de les bases de dades Google Scholar i Scopus, les quals disposen d'articles publicats en diferents revistes d'interès com Journal of Applied Phycology. Les paraules clau principalment utilitzades per a la recerca d'aquest projecte han estat *Porphyra* spp., *Pyropia* spp., *Porphyra* life cycle, *Porphyra* aquaculture, *Porphyra* culture techniques, *Porphyra* modern cultivation techniques, *Porphyra* suspension cultures i *Porphyra* tank cultivation techniques. Concretament, amb una primera cerca amb la paraula *Porphyra* spp. es va obtenir un total de 12.000 resultats, que es van acotar afegint *Porphyra* modern cultivation techniques a un total de 2.500 articles. A més a més, afegint per exemple *Porphyra* tank cultivation techniques per a una recerca concreta d'un tipus de cultiu, es va reduir el resultat fins a 2.300 articles. S'ha extret informació publicada des de l'any 1982 fins el 2020, tenint en compte el punt de vista històric del projecte.

#### 3.1. Ètica i sostenibilitat

Al tractar-se d'un projecte de caràcter teòric, no s'hi contemplen processos ètics ni de sostenibilitat a valorar més enllà d'una recopilació i redacció adient de la informació. Cal esmentar que no hi ha hagut cap tipus de plagi i la totalitat de les dades utilitzades en el treball es troben citades indicant la font d'origen. Així doncs, totes les referències de la bibliografia s'indiquen adequadament conforme la Llei de la Propietat Intel·lectual, regulada per el Real Decret Legislatiu 1/1996, de 12 d'abril, publicada al Boletín Oficial del Estado (BOE) el 22 d'abril de 1996. D'altra banda, tota la informació s'ha consultat via on-line i en format digital sense l'ús de paper imprès per evitar la creació de residus.

## 4. RESULTATS

---

### 4.1 Tècniques de cultiu antigues

El cultiu del nori es va produir molt abans de l'establiment de la indústria moderna de l'aqüicultura: a la Xina (Pingtan) al segle X i al Japó (Tòquio i Hiroshima) a principis del segle XVII (Boulin *et al.*, 2011). No obstant, les tècniques de cultiu eren molt primitives. Els pescadors de l'època controlaven l'aparició de les làmines a les seves platges, i a propòsit augmentaven la quantitat de substrat dur a les costes per a facilitar el creixement de l'alga (Oohusa, 1984). L'alga era collida, processada a mà i posteriorment assecada de manera natural (Delaney, 2011).

#### 4.1.1 Tècnica de neteja de roques per a "xi hai"

Entre el 960 i el 1279 a la Xina es va dur a terme la primera tècnica de neteja de roques per a "xi hai" la qual consistia en dipositar calç a les roques per eliminar les algues i invertebrats adherits que servien de substrat per a l'alga (Fig. 4). Això donava lloc a un rendiment més estable a les algues. Es realitzava abans de la tardor, quan se sabia que arribaria la "llavor" (les concòspores). Aquest mètode es va dur a terme fins a l'inici de la maricultura moderna i es realitzava amb l'espècie *N. haitanensis* (Yang, Lu, & Brodie, 2017).



**Figura 4.** *Bangiales laminars* salvatges a les roques. Font: Yang *et al.*, 2017.

#### 4.1.2 Plantació de bambú-hibi

Des del 1650 al Japó i Corea es va dur a terme la "plantació de bambú-hibi" que tractava de col·locar branques de bambú a la sorra en zones intermareals, sobre les quals creixien les làmines a principis d'hivern que eren collits manualment. Aquests cultius es situaven a zones de desembocadures de rius on hi havia alts nivells de nutrients (Boulin *et al.*, 2011).

## 4.2 Sistemes moderns de producció de nori

Abans que Kathleen Drew-Baker (Fig. 5) descobrís la fase esporofítica (conchocelis) del nori l'any 1949, factors com l'abundància anual de les làmines eren un misteri. El coneixement del cicle vital va significar l'inici del cultiu massiu de l'alga ja que es va poder començar a sembrar artificialment les zigotòspores per a la formació de les làmines. Es va posar en pràctica per primera vegada al Japó el 1960 i va ser l'inici de l'aqüicultura moderna i del cultiu comercial de nori. A partir de llavors es van poder obtenir làmines a gran escala ja que el nou mètode permetia la sembra d'espores a qualsevol lloc possible i els camps de cultiu es van expandir molt (Oohusa, 1984).

Els passos clau de la nova indústria van suposar l'establiment d'hivernacles per el cultiu del conchocelis en closques de mol·lusc, la recol·lecció de les zigotòspores alliberades, la sembra de les zigotòspores en xarxes posteriorment col·locades al mar, la collita de les làmines i el processament d'aquestes fins a làmines seques (FAO, 2009).

Als anys seixanta també es van substituir les xarxes de tires de bambú i fibres naturals per xarxes sintètiques més eficients. Les xarxes estan fetes de fibres de polipropilè per a la resistència i de fibres de carboni a les quals s'adhereixen fàcilment les espores (Hafting, 1998). El desenvolupament de les tècniques modernes de sembra artificial de concòspores, l'emmagatzematge en fred de xarxes i els sistemes de cultiu flotant sumat del processament mecanitzat i l'adaptació de les varietats d'espècies de creixement ràpid, va fer que la producció de nori incrementés notablement. Abans de l'ús d'aquestes tècniques, només es podia sembrar xarxes de forma natural que es collia una única vegada durant una temporada.



**Figura 5.** *Kathleen Drew (1901-1957), científica descobridora de la fase esporofítica (conchocelis) del nori.*

La investigació sobre les temperatures específiques de les espècies i els fotoperíodes que afecten el creixement del conchocelis i l'alliberament de zigotòspores van ser crucials per al desenvolupament de la maricultura (Boulin *et al.*, 2011).

#### 4.2.1 Cultiu artificial de la fase conchocelis

El mètode modern de producció de nori utilitzat àmpliament a la Xina, el Japó i Corea comença amb el cultiu in-vitro del conchocelis, mitjançant la germinació de zigotòspores. Aquest procés es duu a terme a la primavera (principis de maig). Primerament, s'indueix l'alliberament de les zigotòspores mitjançant làmines que han estat assecades durant la nit i submergides en aigua de mar durant 4-5 hores l'endemà al matí, o bé esmicolant les làmines i filtrant la suspensió. Un cop obtingudes, es posen en contacte amb closques de mol·luscs per tal que germinin formant el conchocelis. Les closques de cloïsses més utilitzades són les de *Meretrix meretrix*, que un cop s'han netejat d'epífits i invertebrats, es disposen en safates o de manera que pegen suspeses en tancs (FAO, 2009). No obstant, actualment està demostrat que el substrat de closques de petxines no són necessaris per al desenvolupament de la fase conchocelis, ja que pot créixer eficientment de manera lliure en medis líquids (Iwasaki, 2016).

Les condicions òptimes per a la germinació de les zigotòspores són una alta intensitat de llum, una temperatura de l'aigua d'entre 10-15°C, una gravetat específica superior a 1,02 i un enriquiment de l'aigua amb N,P i K. Llavors, en el cas del cultiu de les closques penjants, les més properes a la superfície reben més llum i per tant presenten un major creixement de conchocelis. Per tal de mantenir el cultiu uniforme es capgiren les files una o dues vegades al mes. Els tancs poden mesurar fins a 3,6 x 1,8 x 0,6 m amb un contingut de fins a 10.000 petxines amb conchocelis (Hafting, 1998).

A l'estiu, la temperatura augmenta fins a 25 °C en els cultius i el fotoperíode s'allarga, condicions que indueixen el creixement del conchocelis (la germinació de les zigotòspores). En canvi, un fotoperíode curt indueix la formació dels concosporangis i la disminució de la temperatura de cultiu indueix l'alliberament massiu de les concòspores de Bangiales de làmina asiàtica (*Pyropia*) i en espècies de *Porphyra* de l'Atlàntic Nord (knoop *et al.*, 2020).



A la tardor, s'augmenta la temperatura de l'aigua dels tancs i es redueix la intensitat de llum diària per retardar la formació de les concòspores. Posteriorment, quan es vol induir l'esperulació per iniciar precoçment el creixement dels tal·lus laminars, els cultius il·luminats constantment es sotmeten a períodes de 8 hores de llum i 16 hores de foscor, la temperatura es disminueix fins a 10-15°C i s'augmenta la intensitat de llum diària. Amb la manipulació de la llum i la temperatura es poden ampliar els mesos de collita (Pérez *et al.*, 2017). Les condicions de llum i temperatura òptimes per al desenvolupament del cicle vital solen dependre de les condicions locals de les algues. És per això que la transferència de protocols de cultiu entre diferents espècies i poblacions de nori no és exitosa. Actualment, el control de l'alliberament massiu de concòspores és una etapa crítica per al cultiu. En espècies asiàtiques aquest procés es realitza amb gran èxit, però en el cas d'espècies europees no hi ha prou informació i resulta un problema per a la producció de làmines a gran escala (Knoop *et al.*, 2020).



**Figura 6.** Cultiu de *conchocelis* a l'interior d'un hivernacle mitjançant petxines. Font: Yang *et al.*, 2017.

A continuació (Taula 1) es pot observar les diferents condicions òptimes de temperatura per al desenvolupament de l'esperòfit i el gametòfit referents a diferents espècies de nori.

**Taula 1.** Condicions òptimes de temperatura per al creixement d'algunes espècies de nori; "L" indica dies llargs i "C" indica dies curts.

Espècies	Creixement del conchocelis (L)	Creixement de les làmines (C)	Lloc d'origen	Referències
<i>N. yezoensis</i>	23°C	15°C	Japó	Hong & Aruga, 1997
<i>N. haitanensis</i>	23-25°C	23-25°C	Japó	Yan & Zheng, 2010
<i>N. tenera</i>	18-20°C	14-19°C	Japó	Iwasaki, 2016
<i>P. pseudolinearis</i>	7°C	5°C	Alaska	Stekoll <i>et al.</i> , 1999
<i>N. seriata</i>	15-20°C	10-15°C	Japó	Hong & Aruga, 1997
<i>P. abbottae</i>	11°C	5°C	Alaska	Stekoll <i>et al.</i> , 1999
<i>P. dioica</i>	18°C	9°C	Illes Britàniques	Knoop <i>et al.</i> , 2020
<i>N. dentata</i>	10-25°C	10-20°C	Japó	Gakkaishi, 1993
<i>P. torta</i>	15°C	5°C	Alaska	Stekoll <i>et al.</i> , 1999

#### 4.2.2 Sembra artificial de xarxes

Un cop obtingudes les concòspores es realitza la sembra d'aquestes a les xarxes, per tal d'obtenir finalment les fulles. El procés s'inicia al setembre o a l'octubre. Per aconseguir la unió de les concòspores a la xarxa existeixen dos mètodes:

El mètode interior, que es basa en enrotllar xarxes en grans bobines i introduir-les en tancs que contenen petxines amb conchocelis. Quan s'alliberen les concòspores, es fan girar les bobines dins l'aigua de manera que es fixen les espores en suspensió a les xarxes. La intensitat de la llum s'augmenta per fomentar la germinació i s'agita l'aigua per facilitar el contacte de les espores amb la xarxa (FAO, 2009). El mètode exterior, es realitza disposant moltes capes de xarxes sobre les petxines col·locades horitzontalment en basses. Les espores alliberades suren i es fixen a la xarxa. Diàriament poden alliberar-se 50.000 espores i s'espera obtenir un total de 10-50 concòspores per cm de xarxa, ja

que valors superiors podrien perjudicar el cultiu (He *et al.*, 2008). Aquest procés de sembra pot trigar fins a 5 dies. Després, les xarxes es col·loquen al mar i es pot aplicar fertilitzant (600 mg per m<sup>2</sup>) fins a 3 dies per afavorir la supervivència i qualitat de les làmines. Als 15 dies aproximadament d’haver sembrat les xarxes ja es poden apreciar les algues joves en forma de punts negres (Hafting, 1998).

#### 4.2.3 Tècniques de cultiu de les làmines al mar

Avui en dia es duen a terme tres sistemes de cultiu a mar: el fixe (de pals), el flotant i el semi-flotant.

##### ➤ Sistema de xarxes fixes o de pals de cultiu

El sistema de xarxes fixes o sistema de pals de cultiu va ser de les primeres tècniques modernes que es van aplicar al Japó i va ser introduït a la Xina essent així àmpliament utilitzat. El cultiu de nori es limitava a badies poc profundes de zones intermareals amb fons sorrencs (Oohusa, 1993). Les xarxes de pesca realitzaven la funció de substrat per a l’alga i es fixaven a les branques de bambú inserides a la sorra. Inicialment les cordes que unien les branques amb les xarxes eren curtes i s’anomenava tipus “fixa”. Posteriorment, es va millorar canviant la longitud de les cordes d’unió de tal manera que les xarxes es podien moure amunt i avall amb la marea i es va anomenar tipus “lift” (Yang *et al.*, 2017). Més tard, encara es van allargar més les cordes per així poder posicionar les xarxes a l’aire o a l’aigua segons les necessitats del cultiu (Fig. 7). A la Xina es va seguir duent a terme per a *N. yezoensis* i *N. haitanensis* (Hafting, 98)



**Figura 7.** Sistema de pals de cultiu de Fujian. Font: Yang *et al.*, 2017.

➤ **Sistema de xarxes flotants o de la bassa flotant**

El 1967 es va descobrir que les làmines de més de 2-3 cm ja no necessitaven un període d'emersió. A partir de llavors, es va desenvolupar el sistema de xarxes flotants o de la bassa flotant mitjançant la fixació de boies a cada cantonada de la xarxa, de manera que la xarxa quedava horitzontalment en contacte constant amb l'aigua. Es podia dur a terme en qualsevol zona d'aigües profundes (10-20 m) (Oohusa, 1984). A la Xina i Corea, la introducció del sistema de cultiu flotant va esdevenir als anys vuitanta el qual va suposar un increment dràstic en la producció de nori. A Corea, a més, es van expandir els camps de cultiu a la zona nord de la regió a arrel d'aquest mètode, ja que prèviament l'alga només era cultivada al sud (Oohusa, 1993).

Posteriorment, el mètode va ser millorat ideant un sistema de boies més grans en que quan aquestes es trobaven per sobre les xarxes, hi havia contacte de les algues amb la superfície de l'aigua. Tanmateix, es podia capgirar el cultiu de manera que les boies es situaven sota les xarxes, proporcionant així una certa alçada de les xarxes per sobre l'aigua (Fig. 8). L'objectiu era sotmetre els tal·lus a períodes d'emersió per tal d'eliminar altres algues epífites de no-interès i es va anomenar mètode "raft turn-over". Aquest mètode es va introduir de Korea a la Xina l'any 2012 (Yang *et al.*, 2017).



**Figura 8.** Mètode flotant "raft turn-over" de cultiu a Zhejiang. Font: Yang *et al.*, 2017.

### ➤ Sistema semi-flotant o de la bassa semi-flotant

Els anys setanta, la costa sud de la província de Jiangsu (Xina) es va dissenyar el mètode de la bassa semi-flotant per *N. haitanensis*, que s'adequava al relleu de la zona en forma de dunes, per la presència de sediments provinents el riu. Les xarxes de cultiu es fixen amb pilars verticals curts, de manera que a la marea baixa les xarxes de cultiu queden exposades a l'aire i a la marea alta les xarxes suren a la superfície maximitzant la llum disponible per a les algues (Fig. 9). (Zhang *et al.*, 2017). Aquest mètode es va seguir utilitzant extensament a la Xina (He *et al.*, 2008).



Figura 9. Sistema de cultiu semi-flotant. Font: Yang *et al.*, 2017.

## 4.2.4 Tècniques de cultiu de les làmines terrestres

### 4.2.4.1 Cultiu de flotació lliure en tancs terrestres

El sistema de cultiu en tancs terrestres tracta de conrear les algues en dipòsits d'aigua mitjançant llum natural o artificial, nutrients i fitohormones. En el sistema de cultiu en tancs terrestres les làmines de nori creixen en suspensió a l'aigua rebuda a través de canonades provinents d'alta mar a grans profunditats (Hafting, 1998). El cultiu experimental d'algues en dipòsits es va iniciar el 1970 al Canadà i els Estats Units i s'aplica també a la Xina, Sud-Àfrica, Canadà i Israel (Hayashi *et al.*, 2020). L'objectiu és conrear les algues per purificar afluents de cultius d'animals, fer créixer plàntules per al seu posterior cultiu, obtenir productes com l'agarosa o obtenir aliments per organismes com mol·luscs (Titlyanov & Titlyanova, 2010). Aquest mètode encara no s'ha desenvolupat per a la producció d'algues com el nori a escala comercial (Hafting, 2012), però s'han realitzat investigacions a escala pilot molt prometedores com les següent:

En l'estudi de Mencher *et al.* (2009) a Hawaii, es va cultivar *N. tenera* en tancs rectangulars de 3 m de llarg x 1 m d'amplada x 1 m de profunditat, que rebien una barreja d'aigües corrents profundes i superficials. En l'inici de l'experiment els tal·lus importats de l'Àsia van haver de ser descongelats durant 3 dies. Un cop re-hidratats van créixer en suspensió a 15°C, en presència de N i P i un fotoperíode de 8 hores controlat per cobertures opaques (ja que del cicle de vida de *N. tenera* és una fase hivernal de dia curt al Japó). Van comprovar que un període de cultiu de 4 a 5 setmanes permet el creixement fins a la mida òptima sense un deteriorament de la qualitat. L'experiment va durar 39 dies.

D'altra banda, en l'estudi de Israel *et al.* (2006) a Israel, el procediment va constar de dues parts. En la primera es va dur a terme el cultiu in-vitro de concòspores de varies espècies per tal d'obtenir els tal·lus joves de les espècies en qüestió, fins que les algues van assolir uns 0,5 cm de longitud. En la segona part, els tal·lus joves van ser transferits en tancs de fibra de vidre ubicats a l'aire lliure. Un cop assolits els 2-3 cm es van traspassar a dipòsits de plàstic rebent així menys llum solar. Per últim, un cop les làmines van mesurar uns 5-12 cm, van passar a cultivar-se en basses de formigó molt més grans. Tots els tancs de cada etapa contenien aigua de mar corrent i nutrients per a les algues (NH<sub>4</sub>Cl i NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). El cultiu a l'exterior va durar fins a 6 mesos.

#### **4.2.4.2 Cultiu en suspensió via arqueòspores**

Un cop es van dur a terme cultius de làmines en suspensió a partir de concòspores, es va investigar un nou mètode mitjançant el qual es fessin créixer làmines en massa a partir d'arqueòspores (Notoya, 1999). Això és possible degut a que algunes espècies poden regenerar la fase laminar directament mitjançant la reproducció asexual amb espores neutres (Boulin *et al.*, 2007). El procediment consta de cultivar en tancs, seccions de teixit dels marges de les de làmines sota les condicions adequades per a l'espècie a cultivar. En el cas de *N. yezoensis*, a menys de 15°C i amb un fotoperíode curt de 8L:16F. Després de 2-3 setmanes, les seccions de teixits es desintegren per complet a mida que van alliberant les arqueòspores. Posteriorment s'obté un dens cultiu de fulles en suspensió. En la majoria d'espècies, les arqueòspores s'alliberen de fulles joves de només uns pocs mil·límetres de llargada (Hafting, 1999).

#### 4.2.5 Congelació de xarxes

L'ús de la tecnologia de congelació de xarxes es va utilitzar per primera vegada el 1965 al Japó i es va introduir a la Xina als anys noranta. Antigament, el creixement de les fulles de nori a mitjans de novembre es veia inhibit per les altes temperatures de l'aigua a la nit. Degut a aquest fet els cultius es malmetien i per evitar-ho es va crear un mètode de congelació de les xarxes (Oohusa, 1984).

Després d'uns 30 dies des que es fan visibles les làmines, aquestes presenten una longitud de 2-3 cm. En aquest punt de creixement, algunes xarxes s'assequen (durant 2-3 h fins que el contingut d'aigua disminueix fins al 20-40 %), s'enrotllen, es col·loquen en bosses i es congelen a -25 °C per tal de preservar-les i recol·locar-les al mar quan calgui (Hafting, 1998). És la manera d'assegurar el cultiu en cas que altres xarxes es malmetin a causa de malalties o condicions adverses del medi. A més, es poden buidar i substituir xarxes varies vegades durant la mateixa temporada de cultiu. Al Japó es du a terme principalment per la substitució àgil de xarxes i a la Xina el principal motiu és per l'adversitat del clima o factors biòtics que causen danys a les algues (Yang *et al.*, 2017).

#### 4.2.6 Selecció de soques

A principis dels anys setanta, la pràctica de la selecció de soques per millorar el creixement i la qualitat del nori es va fer habitual al Japó. Es seleccionaven exemplars amb atributs específics i es creaven cultius per a propagar-los. Entre els atributs seleccionats es van incloure la forma estreta i llarga (proporciona un rendiment més elevat a la xarxa), la maduració tardana (creixement prolongat), la producció d'arqueòspores i un alt contingut de ficobilina (Hafting, 1998). Actualment, es segueixen creant noves soques millorades a través de la tecnologia de mutació artificial. Es seleccionen, majoritàriament per *N. yezoensis*, els caràcters de creixement ràpid d'alta qualitat (propi de fulles allargades) i un color de tipus salvatge ja que el color vermell brillant no va ser ben rebut al mercat (Jiang *et al.*, 2020).

#### 4.2.7 Collita

Les fulles de nori es poden collir de les xarxes quan mesuren uns 20 cm. En general, la primera collita es realitza després dels 45-55 dies de cultiu (Jiang *et al.*, 2020) Concretament en el cas de *N. yezoensis* es realitza als 50 dies (FAO, 2009).

Antigament la collita era manual però avui en dia les tècniques modernes utilitzen segadores mecàniques. Una de les tècniques de collita utilitza una segadora amb un rodet giratori, que va tallant les fulles penjants per sota les xarxes a mida que els agricultors les va estirant cap a dalt del vaixell. Una altra tècnica utilitza una gàbia muntada en el vaixell amb un sol operador. El vaixell s'empeny sota les xarxes i la segadora talla les fulles. També hi ha segadores mecàniques que s'ubiquen davant d'un vaixell submergides a l'aigua, i a mida que van tallant les fulles aquestes són aspirades al vaixell. D'una sola xarxa es pot obtenir d'entre 35 i 105 kg de pes fresc d'algues (Hafting, 1998).

#### 4.2.8 Processament

La mecanització va proporcionar la possibilitat de processar nori amb maquinària semi-automatitzada, amb la qual es podia produir tanta quantitat de nori en una hora com abans la produïen en un dia sencer (Delaney, 2011). El cultiu collit es renta i es transfereix a una màquina de processament automàtic, que talla les fulles en petits trossos. El nori és processat normalment per una cooperativa pesquera, mitjançant una màquina que fabrica porcions rectangulars seques. El producte final és una làmina seca i negra semblant al paper de 18 × 20 cm aproximadament i 3 g de pes (Baweja *et al.*, 2016).



### 4.3 Prova pilot de cultiu de Bangials laminars a les costes catalanes

Actualment no hi ha cap cas de cultiu de Bangials laminars a les costes catalanes, probablement un dels motius és la manca de zones intermareals on es solen cultivar aquestes algues. No obstant, a continuació s'ha elaborat un protocol per a la realització hipotètica d'una prova pilot a petita escala d'un cultiu al Mediterrani, per a una espècie de Bangials present a les nostres costes.

Les dues espècies de mida més gran de Bangials laminars que habiten a les costes catalanes són *Neopyropia elongata* i *Neothemis ballesterosii*. La primera es troba més àmpliament distribuïda com ara a les Illes Fèroe (oceà Atlàntic), Gran Bretanya, Suècia, Illes Canàries i resta de la península Ibèrica (Sutherland *et al.*, 2011). En canvi, la segona només es troba a les costes catalanes (Sánchez *et al.*, 2014). Les dues espècies cohabituen en les mateixes zones i per tant es troben en les mateixes condicions ambientals. A l'hivern, apareix i es desenvolupa la fase laminar quan l'aigua del mar està entre els 12-14°C, la resta de l'any la fase conchocelis sobreviu també a baixes temperatures ja que es troba a molta més profunditat que les làmines. Per tal d'escollir amb més rigor l'espècie a cultivar s'haurien d'estudiar les propietats organolèptiques de les dues, i a partir d'això escollir la més idònia per a l'obtenció d'un producte òptim per al consum humà. Atès que mai abans s'ha realitzat aquest estudi i pressuposant que les propietats serien semblants per a les dues espècies, aquest projecte s'ha plantejat amb *Neothemis ballesterosii* per a la realització de la prova pilot de cultiu, amb l'objectiu de poder crear en un futur un producte local i de qualitat, tenint en compte que es tracta d'una espècie endèmica del Mediterrani. A més a més, tal i com s'esmenta anteriorment a l'apartat 4.2.6 les làmines seleccionades haurien de presentar una forma allargada i una maduració tardana per a un major èxit en el cultiu, i aquesta espècie compleix aquests requisits.

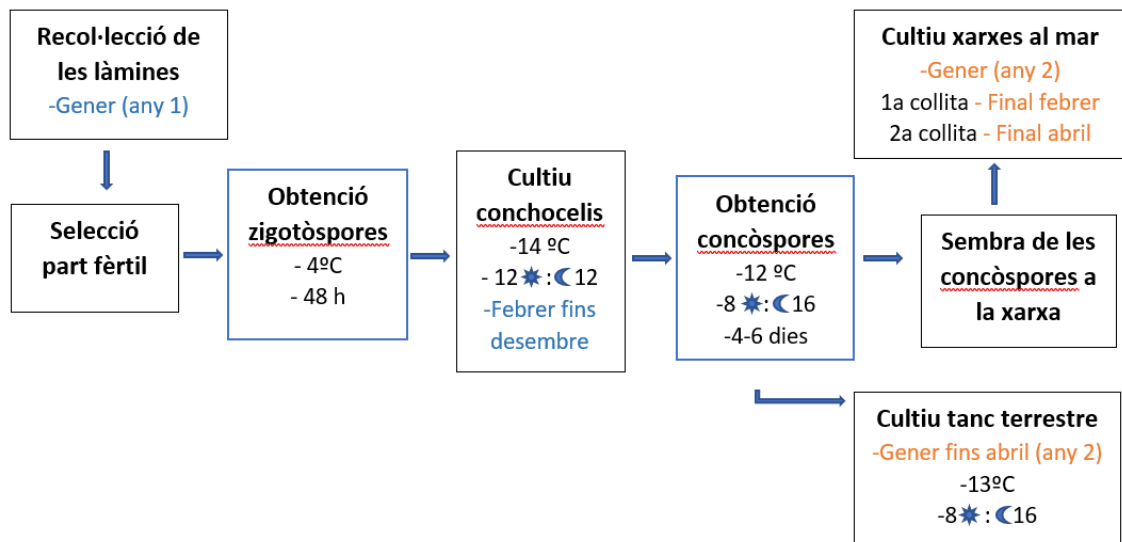
### 4.3.1 Protocol de la prova pilot

L'àrea de cultiu podria ubicar-se a la zona nord de la franja litoral, més exactament per les costes gironines de la Costa Brava (Fig. 10), on les aigües són més fredes.



**Figura 10.** Mapa topogràfic de la possible àrea de cultiu, assenyalada en vermell, situada a la zona nord de la franja litoral catalana (Costa Brava). Font: ICGC-Vissir3.

La prova pilot en qüestió presentaria dos tipus de cultius per a les làmines: un cultiu en xarxes i un cultiu a partir d'arqueòspores en un tanc terrestre. En total tindria una durada d'1 any i 4 mesos aproximadament. S'iniciaria el mes de gener quan es faria la recol·lecta de les làmines de *Neothemis ballesterosii* i un cop al laboratori s'obtidria i es cultivaria la fase conchocelis. El gener de l'any següent, es realitzaria el cultiu de la xarxa al mar a partir de les concòspores obtingudes fins a l'abril, ja que durant aquests mesos el mar es troba a la temperatura òptima per al creixement dels tal·lus, entre els 13-14°C (meteolestartit.cat). A mitjans de febrer aproximadament ja haurien crescut les làmines a la xarxa comptant que tardarien poc més de dos mesos en créixer (FAO, 2009). Així doncs, es colliria i es col·locaria una altra xarxa sembrada al mar preparada prèviament. A l'abril, ja es podrien tornar a collir les noves làmines crescudes a les xarxes. Just després de col·locar la primera xarxa al mar al gener, simultàniament s'iniciaria la segona part de la prova pilot amb el cultiu en un tanc terrestre (Fig. 11).



**Figura 11.** Esquema representatiu dels passos a seguir per a la realització de la prova pilot. Color blau=primer any; color taronja= segon any.

#### ❖ **Recol·lecció dels exemplars**

-En primer lloc, es recollirien tal·lus madurs de *Neothemis ballesterosii* a qualsevol zona rocosa de les platges de la costa catalana. Es duria a terme al gener, quan comença a ser-hi present la fase laminar (Sánchez *et al.*, 2014).

-Un cop al laboratori es rentarien les algues amb aigua de mar estèril per tal d'eliminar la contaminació superficial i altres espècies epífites.

#### ❖ **Selecció de la part fèrtil de les làmines**

-A continuació es seleccionarien unes 30 làmines d'individus femenins fèrtils ja que es tracta d'una espècie dioica. S'identifiquen mitjançant la tonalitat més rogenca del teixit del marge de les làmines.

-Seguidament es retallaria amb un bisturí aquestes parts fèrtils més fosques de cada exemplar (Gómez, 2019).

#### ❖ **Obtenció de les zigotòspores**

-Les parts fèrtils aïllades s'introduïrien en un recipient transparent de 27 cm x 11 cm aproximadament.

-El medi de cultiu comprès dins la caixa es formaria d'aigua de mar estèril, medi Von Stoch i enriquit amb minerals com N, P i K (Gómez, 2019). També diòxid de germani ( $\text{GeO}_2$ ) per inhibir el creixement de diatomees (Markham & Hagmeier, 1982).

-Un cop introduïdes les seccions en el medi s'introduiria el recipient a la nevera a una temperatura de  $4^\circ\text{C}$  per induir l'alliberament massiu de les zigotòspores.

-Al cap de 48 h si han alliberat zigotòspores s'observarien petites taques vermelloses distribuïdes sobre la superfície de la caixa, que indicarien acumulacions d'aquestes.

#### ❖ **Cultiu del conchocelis**

-Un cop obtingudes les zigotòspores es mantindria un cultiu de llarga durada a la cambra de cultiu que es mantindria fins el desembre, quan es començaria el procés de sembra a les xarxes per a l'obtenció de les làmines. Les condicions òptimes per al creixement del conchocelis serien:

- Temperatura de  $14^\circ\text{C}$
- Fotoperíode llarg (12 h de llum i 12 h de foscor)
- Intensitat lumínica de  $150 \mu\text{mol fotons m}^{-2} \text{s}^{-1}$

-Es cultivaria de forma continuada una mostra de conchocelis i es mantindria com a reserva enfront a qualsevol alteració en l'experiment i com a reservori per a la repetició del procés a finals de febrer per a la segona xarxa.

#### ❖ **Obtenció de les concòspores**

Al desembre, s'induiria l'alliberament de les concòspores sotmetent el cultiu a una temperatura més baixa, a una reducció del fotoperíode i a un augment en la intensitat de llum (Hafting, 1998). Les condicions adequades serien les següents:

- Temperatura de  $12^\circ\text{C}$
- Fotoperíode curt (8 h de llum i 16 h de foscor)
- Intensitat lumínica de  $200 \mu\text{mol fotons m}^{-2} \text{s}^{-1}$

-Després de 4-6 dies en aquestes condicions, hi hauria un alliberament massiu de les concòspores.

-Una part de la suspensió de concòspores seria aïllada per a la realització del segon experiment en el tanc terrestre aprofitant que començaria en aquestes mateixes dates.

-Aquest pas es repetiria a mitjans de febrer per a la sembra de la segona xarxa amb la mostra de conchocelis reservada anteriorment.

#### ❖ **Sembra de les concòspores a la xarxa**

-Un cop obtingudes les concòspores, es realitzaria la sembra artificial d'aquestes a la xarxa. S'abocaria la suspensió dins un tanc que contindria el mateix medi, on s'introduiria la xarxa.

-S'agitaria l'aigua del tanc per assegurar el contacte de les concòspores amb la xarxa.

-Aquest mateix procediment es tornaria a realitzar amb la segona xarxa a mitjans de febrer per a substituir la primera col·locada al gener.

#### ❖ **Col·locació de la xarxa al mar**

-Per últim, al gener es col·locaria la xarxa sembrada a l'àrea de cultiu adient. Es realitzaria a mode de xarxa semi-flotant.

-La primera xarxa romandria al mar de gener a mitjans-finals de febrer, quan les làmines ja haurien arribat al màxim creixement i es podria realitzar la collita. Llavors és quan es col·locaria la segona xarxa amb la qual s'obtindrien les làmines a l'abril.

#### ❖ **Cultiu en suspensió al tanc terrestre**

-Simultàniament al període de les xarxes al mar (de gener a abril), es duria a terme el segon experiment del cultiu de les làmines de *Neothemis ballesterosii* via arqueòspores en un tanc terrestre.

-Les suspensió de concòspores aïllada anteriorment seria introduïda en el tanc terrestre de plàstic, el qual contindria el mateix medi de cultiu anteriorment utilitzat (d'aigua de mar estèril, medi Von Stoch i minerals com N, P i K i GeO<sub>2</sub>).

-Les condicions òptimes a les qual hauria d'estar sotmès el tanc per a la germinació de les concòspores en suspensió serien:

- Temperatura de 13°C
- Fotoperíode curt (8 h de llum i 16 h de foscor)
- Intensitat lumínica de 200  $\mu\text{mol fotons m}^{-2} \text{s}^{-1}$

-Per tal de modificar artificialment el fotoperíode s'utilitzarien cobertes opaques.

-Un cop crescudes les làmines es seleccionarien 30 exemplars i es realitzarien seccions petites en forma de disc (uns 8 mm de diàmetre) que s'introduirien de nou al tanc.

-Després de 2-3 setmanes les seccions s'haurien desintegrat a mida que haurien anat alliberant arqueòspores (Hafting, 1999). Aquestes arqueòspores són les que germinarien fins a formar un dens cultiu de làmines en suspensió. A mida que s'anés formant la biomassa s'aniria retirant i comptabilitzant les làmines, fins a l'abril.

## 5. DISCUSSIÓ

---

L'espècie més cultivada a dia d'avui per a la producció de nori és *Neopyropia yezoensis* (Jiang *et al.*, 2020). El principal país productor d'aquesta és la Xina, seguit del Japó i Corea, i la tècnica de cultiu més utilitzada és la del tipus semi-flotant (Zhang *et al.*, 2017). El sistema de xarxes fixes resulta l'adient per els cultius en badies de poca profunditat, en zones intermareals i fons sorrencs per a una bona subjecció dels pals que sustenten les xarxes (Oohusa, 1993). En canvi, el sistema de xarxes flotants s'ubica en zones més llunyanes a la costa amb profunditats de 10 a 20 metres. En aquest mètode a diferència del primer, la marea no n'és un factor determinant i suposa el gran avantatge d'evitar la contaminació present a les aigües costaneres des de la industrialització massiva a la Xina i Corea els anys seixanta (Oohusa, 1984). D'altra banda, el sistema de xarxes semi-flotants s'utilitza en sòls sedimentaris amb relleu irregular en alguns casos. Aquest mètode combina exitosament els sistemes de xarxa fixa i xarxa flotant obtenint així els avantatges d'ambdós i per aquest motiu és àmpliament utilitzat (He *et al.*, 2008). Respecte els cultius en xarxes, la millor opció és dur-los a terme mitjançant l'aqüicultura

integrada. S'ha comprovat que aquest sistema comporta una reducció substancial de la contaminació ambiental i paral·lelament les algues implicades produeixen una biomassa més elevada i un contingut més alt de proteïnes que les algues cultivades en monocultius (Titlyanov & Titlyanova, 2010).

Pel que fa al sistema de cultiu en tancs terrestres, el qual substitueix els cultius de xarxes a mar, presenta nombrosos avantatges per a la producció de nori. En primer lloc, tot i que les tècniques generals de cultiu no han canviat molt al llarg dels segles encara hi ha molts problemes associats al mètode de les xarxes (Examiner & Valenti, 2006). Alguns d'ells són la contaminació de les aigües costaneres a causa de la industrialització, les condicions abiòtiques com les tempestes i les condicions biòtiques com els brots de malalties, invasions d'herbívoros o fixació d'epífits (Hayashi *et al.*, 2020). Un altre problema associat són les restes flotants que poden quedar atrapades a les xarxes. Aquests residus poden ser algues, peixos, plàstics i altres elements flotants que degraden les làmines i les xarxes. D'altra banda, hi ha una gran conflicte relacionat amb la repartició de l'espai entre els altres sectors marins com la pesca comercial o els navegants ja que el mètode tradicional de cultiu requereix grans superfícies marines (com a mínim de 0,20 a 0,25 km<sup>2</sup>) (Hafting, 1998). El cultiu en tancs terrestres és un mètode que evita tots aquests inconvenients esmentats. D'altra banda, amb aquest mètode les condicions del medi es mantenen òptimes ja que l'aigua proporcionada és neta, rica en nutrients i es troba a temperatura constant. Les condicions del medi poden ser regulades artificialment el qual proporciona un gran control sobre el cultiu i consegüentment s'observen taxes de creixement més altes en comparació amb el mètode tradicional de cultiu (Israel *et al.*, 2006).

A més a més, un altre factor de força major que provoca grans pèrdues de producció en el cultiu a mar són els efectes del canvi climàtic com l'elevació del nivell del mar, l'escalfament de l'aigua, els canvis de CO<sub>2</sub>/pH de l'aigua, els terratrèmols, els tsunamis, els períodes prolongats de pluja, els tifons i les fortes corrents (Hayashi *et al.*, 2020). A més, la presència de microplàstics al mar és cada vegada superior i pot afectar a la qualitat del nori i consegüentment a la salut humana (Li *et al.*, 2020). No obstant, el cultiu terrestre en tancs també presenta una sèrie d'inconvenients que dificulten molt el seu desenvolupament a escala comercial. La principal és l'alt cost econòmic que suposa obtenir les infraestructures i els recursos energètics necessaris per realitzar els

cultius. S'ha de considerar rigorosament els requisits com la topografia, el clima, la irradiació, etc. A més a més, atès que el cultiu en tancs terrestres és encara una raresa, hi ha poca investigació sobre l'enginyeria i la construcció necessàries (Hafting, 2012).

D'altra banda, la investigació sobre els cultius en suspensió via arqueòspores és essencial per al desenvolupament de la maricultura terrestre en tancs. El sistema de propagació de làmines mitjançant espores asexuals presenta grans avantatges en la indústria del nori. És un mètode fàcil i eficaç ja que evita tot el procés de cultiu del conchocelis amb tot el que aquest requereix (instal·lacions, personal, temps, material, etc.) (Boulin *et al.*, 2007). Amb un estoc inicial de làmines es poden produir cultius en sèrie, augmentant així la producció i reduint els costos de producció associats al cultiu de tancs (Hafting, 1999). La problemàtica d'aquest sistema és la falta d'investigació sobre els elements reguladors que controlen la producció d'espores asexuals en les diferents espècies (Boulin *et al.* 2011).

Cal esmentar també que gràcies als procediments de selecció de soques ha millorat molt el rendiment i la qualitat del nori produït, tan com l'emmagatzematge en fred de xarxes sembrades que ha permès la prolongació de l'estació de cultiu i el restabliment de cultius en cas de perdre'ls per malalties o altres (Boulin *et al.*, 2007).

Finalment, respecte la prova pilot al Mediterrani s'haurien d'avaluar els dos experiments (cultiu en xarxa i cultiu en tanc) un cop realitzats. Es faria una comparació de les làmines resultants dels dos mètodes de cultiu. La hipòtesi de la prova pilot assenyalaria una major producció i qualitat de les làmines obtingudes del mètode del tanc terrestre, degut a la possibilitat de controlar les condicions del cultiu (Titlyanov & Titlyanova, 2010). Per tant, de cara a realitzar un cultiu a gran escala de *Neothemis ballesterosii* al Mediterrani, es consideraria més eficient la utilització del mètode de tancs terrestres via arqueòspores per totes les avantatges anteriorment esmentades que aquest mètode comporta. Tal i com demostren els estudis de Hafting *et al.* 1999 i Israel *et al.* 2006 els cultius terrestres són el futur degut a l'estalvi de recursos i l'eficiència que presenten. D'aquesta manera es podria crear un producte de valor per al consum a nivell local que podria resultar un èxit dins la indústria alimentària de la nostra regió.



## 6. CONCLUSIONS

---

The following conclusions are drawn from all the bibliographic research on the different nori production systems:

- The main nori producing countries are China, Japan and Korea. Since Drew's discovery on the conchocelis stage, modern cultivation techniques began to develop as it allowed to completely manage all the phases of cultivation.
- The artificial cultivation of the conchocelis phase requires mostly a higher temperature than the cultivation of the foliose phase, and constant exposure of light or a 12L:12D photoperiod is needed. To induce mass release of the conchospores, the temperature of the conchocelis culture must be lowered by about 5 degrees and the photoperiod must be reduced to 8L:16D.
- Nowadays, the semi-floating method is the most successful for blades culture in intertidal zones, combining the strong points of pillar and the floating methods, with the most cultivated species being *N. yezoensis*.
- The cultivation of *Neothemis Ballesterosii* in the Mediterranean is considered viable and the most appropriate system is the land-based tank mariculture via archeospores rather than net cultivation, since recent studies suggests that the development of a large-scale industry of nori products requires this type of cultivation to be successful.

## 7. BIBLIOGRAFIA

---

- Baweja, P., Kumar, S., Sahoo, D., & Levine, I. (2016). *Biology of Seaweeds*. In *Seaweed in Health and Disease Prevention.*, New Delhi, India, Academic Press.
- Blouin, N. A., Brodie, J. A., Grossman, A. C., Xu, P., & Brawley, S. H. (2011). *Porphyra*: marine crop shaped by stress. *Trends in Plant Science*, *16*(1), 29–37.
- Blouin, N., Xiugeng, F., Peng, J., Yarish, C., & Brawley, S. H. (2007). Seeding nets with neutral spores of the red alga *Porphyra umbilicalis* (L.) Kützinger for use in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Aquaculture*, *270*(1–4), 77–91.
- Chopin, T., Yarish, C., Wilkes, R., Belyea, E., Lu, S., & Mathieson, A. (1999). Developing *Porphyra*/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*, *11*(5), 463–472.
- Delaney, A. E. (2011). Transition in nori cultivation: Evolution of household contribution and gendered division of labor. *Cahiers de Biologie Marine*, *52*(4), 527–533.
- Estacions meteorològiques de l'Estartit i de Torroella de Mongrí (2019). Recuperat de <http://meteolestartit.cat/resums/>.
- Examiner, P., & Valenti, A. M. (2006). Technology for cultivation of *Porphyra* and other seaweeds in land-based sea water ponds. *United States Patent*, *2*(12), 1-5.
- FAO, Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2009). The State of the World Fisheries and Aquaculture 2009. *Porphyra spp.* (Bangiaceae). Recuperat de [http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_nori.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_nori.htm)
- Gakkaishi, S. (1993). Culture Studies of Four Species of *Porphyra* ( Rhodophyta ) from Japan. *J-Stage*. *59*(3), 431–436.
- Gómez, C. (2019). *Cultiu in vitro de Bangials de la costa catalana* (Treball final de grau. Universitat de Girona, Catalunya). Recuperat de <http://hdl.handle.net/10256/16867>
- Hafting, J. T. (1998). *Strategies for growth management of Porphyra yezoensis (Ueda) blades in suspension cultures : a step towards land-based mariculture* (Thesis. University of British Columbia).
- Hafting, J. T. (1999). A novel technique for propagation of *Porphyra yezoensis* Ueda blades in suspension cultures via monospores. *Journal of Applied Phycology*, *11*(4), 361–367.
- Hafting, J. T., Critchley, A. T., Cornish, M. L., Hubley, S. A., & Archibald, A. F. (2012). On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. *Journal of Applied Phycology*, *24*(3), 385–392.
- Hayashi, L., de J. Cantarino, S., & Critchley, A. T. (2020). Challenges to the future domestication of seaweeds as cultivated species: understanding their physiological processes for large-scale production. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 95).
- He, P., Xu, S., Zhang, H., Wen, S., Dai, Y., Lin, S., & Yarish, C. (2008). Bioremediation efficiency in the removal of dissolved inorganic nutrients by the red seaweed, *Porphyra yezoensis*, cultivated in the open sea. *Water Research*, *42*(4–5), 1281–1289.
- Holmes, M. J., & Brodie, J. (2004). Morphology, seasonal phenology and observations on some aspects of the life history in culture of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta) from Devon, UK. *Phycologia*, *43*(2), 176–188.

- Hong, X., & Aruga Y. (1997). Induction of pigmentation mutants by treatment of monospores germlings with NNG in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *The Korean Journal of Phycology*, 12(1), 39-52.
- Israel, A., Levy, I., & Friedlander, M. (2006). Experimental tank cultivation of *Porphyra* in Israel. *Journal of Applied Phycology*, 18(3-5), 235-240.
- Jiang, H., Ding, H., Zhang, P., Wang, T., & Yan, X. (2020). Selection and characterization of an improved strain (A-13) of *Pyropia yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta). *Aquatic Botany*, 163, 1-6.
- Klein, A. S., Mathieson, A. C., Neefus, C. D., Cain, D. F., Taylor, H. A., Teasdale, B. W., ... Wallace, A. L. (2003). Identification of north-western Atlantic *Porphyra* (Bangiaceae, Bangiales) based on sequence variation in nuclear SSU and plastid *rbcl* genes. *Phycologia*, 42(2), 109-122.
- Knoop, J., Griffin, J. N., & Barrento, S. (2020). Cultivation of early life history stages of *Porphyra dioica* from the British Isles. *Journal of Applied Phycology*, 32(1), 459-471.
- Levine, I.A., Sahoo, D.B. (2010). *Porphyra: Harvesting Gold From the Sea.*, New Delhi, India, I. K. International Pvt Ltd.
- Li, Q., Feng, Z., Zhang, T., Ma, C., & Shi, H. (2020). Microplastics in the commercial seaweed nori. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 1-8.
- Life-cycle, T., Author, V., Source, H. I., & Biological, M. (2016). *Biological Bulletin*, 121(1), 173-187.
- Markham, J. W., & Hagmeier, E. (1982). Observations on the effects of germanium dioxide on the growth of macro-algae and diatoms. *Phycologia*, 21(2), 125-130.
- M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2021. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperat de <http://www.algaebase.org>
- Mencher, F. M., Spencer, R. B., Woessner, J. W., Katase, S. J., & Barclay, D. K. (2009). GROWTH OF NORI (*Porphyra tenera*) IN AN EXPERIMENTAL OTEC-AQUACULTURE SYSTEM IN HAWAII. *Journal of the World Mariculture Society*, 14(1-4), 458-470.
- Nam-gil, K. (1999). Culture studies of *Porphyra dentata* and *P. pseudolinearis* (Bangiales, Rhodophyta), two dioecious species from Korea. *International Seaweed Symposium*, 398/399, 127-128.
- Neefus, C. D., Mathieson, A. C., Bray, T. L., & Yarish, C. (2008). The distribution, morphology, and ecology of three introduced asiatic species of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) in the northwestern Atlantic. *Journal of Phycology*, 44(6), 1399-1414.
- Nelson, W. A., & Conroy, A. M. (1989). Effect of harvest method and timing on yield and regeneration of Karengo (*Porphyra* spp.) (Bangiales, Rhodophyta) in New Zealand. *Journal of Applied Phycology*, 1(3), 277-283.
- Noda, H. (1993). Health benefits and nutritional properties of nori. *Journal of Applied Phycology*, 5(2), 255-258. Notoya, M. (1999). "Seed" production of *Porphyra* spp. by tissue culture. *Journal of Applied Phycology*, 11(1), 105-110.
- Oohusa, T. (1984). Utilization of seaweeds and their products Technical aspects of noní (*Porphyra*) cultivation and quality preservation of noní products in Japan today. *Hydrobiologia*, 14(116/117), 95-101.
- Oohusa, T. (1993). Recent trends in nori products and markets in Asia. *Journal of Applied Phycology*, 5(2), 155-159.

- Pérez, A., Santamaria, E. K., Operario, D., Tarkang, E. E., Zotor, F. B., Cardoso, S. R. de S. N., ... Volk, J. E. (2017). 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析. *BMC Public Health*, 5(1), 1–8.
- Ragan, M. A., Bird, C. J., Rice, E. L., Gutell, R. R., Murphy, C. A., & Singh, R. K. (1994). A molecular phylogeny of the marine red algae (Rhodophyta) based on the nuclear small-subunit rRNA gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(15), 7276–7280.
- Reddy, M. (2019). *Taxonomy and Systematics of the Bangiales versus ity e To w*. (February 2018).
- Sánchez, N., Vergés, A., Peteiro, C., Sutherland, J. E., & Brodie, J. (2014). Diversity of bladed Bangiales (Rhodophyta) in Western Mediterranean: Recognition of the genus Themis and descriptions of *T. ballesterosii* sp. nov., *T. iberica* sp. nov., and *Pyropia parva* sp. nov. *Journal of Phycology*, 50(5), 908–929.
- Stekoll, M. S., Lin, R., & Lindstrom, S. C. (1999). Porphyra cultivation in Alaska: Conchocelis growth of three indigenous species. *Hydrobiologia*, 398–399, 291–297.
- Sutherland, J. E., Lindstrom, S. C., Nelson, W. A., Brodie, J., Lynch, M. D. J., Hwang, M. S., ... Müller, K. M. (2011). A new look at an ancient order: Generic revision of the bangiales (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, 47(5), 1131–1151.
- Tait, M. I., Milne, A. M., Grant, D., Somers, J. A., Staples, J., Long, W. F., ... Wilson, S. B. (1990). Porphyra cell cultures: isolation, growth and polysaccharide production. *Journal of Applied Phycology*, 2(1), 63–70.
- Titlyanov, E. A., & Titlyanova, T. V. (2010). Seaweed cultivation: Methods and problems. *Russian Journal of Marine Biology*, 36(4), 227–242.
- Yan, X. H., Lv, F., Liu, C. J., & Zheng, Y. F. (2010). Selection and characterization of a high-temperature tolerant strain of *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, 22(4), 511–516.
- Yang, L. E., Deng, Y. Y., Xu, G. P., Russell, S., Lu, Q. Q., & Brodie, J. (2020). Redefining *Pyropia* (Bangiales, Rhodophyta): Four New Genera, Resurrection of *Porphyrella* and Description of *Calidia pseudolobata* sp. nov. From China. *Journal of Phycology*, 56(4), 862–879.
- Yang, L. E., Lu, Q. Q., & Brodie, J. (2017). A review of the bladed Bangiales (Rhodophyta) in China: history, culture and taxonomy. *European Journal of Phycology*, 52(3), 251–263.
- Zhang, J., Zhao, P., Huo, Y., Yu, K., & He, P. (2017). The fast expansion of *Pyropia* aquaculture in “Sansha” regions should be mainly responsible for the *Ulva* blooms in Yellow Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 189, 58–65.