

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістра»

### Основи розмноження ламінарії японської як об'єкта марикультури

### Basics of reproduction of Japanese kelp as an object of mariculture

Виконала: студентка 2 курсу денної форми навчання спеціальності 207 Водні біоресурси та аквакультура Освітньо-професійна програма Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів

Дедескул Анастасія Юріївна

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник Лічна А.І.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент Рудей О.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:  
Протокол засідання кафедри  
водних біоресурсів та аквакультури  
№      від     .    . 2024 р.

Завідувачка кафедри  
БУРГАЗ Марина  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 7  
протокол №      від     .    . 2024 р.

Оцінка      /      /       
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК  
ГАЙДАШЕНКО Ірина  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

## Анотація

### **ОСНОВИ РОЗМНОЖЕННЯ ЛАМІНАРІЇ ЯПОНСЬКОЇ ЯК ОБ'ЄКТА МАРИКУЛЬТУРИ**

**Дедескул А.Ю., магістр кафедри Водних біоресурсів та аквакультури**

Ламінарія японська (*Laminaria japonica*) є одним із ключових видів морських водоростей, що активно використовуються в марикультурі завдяки її високій біопродуктивності та цінності для харчової, фармацевтичної й косметичної промисловості. Основи її розмноження включають як статеві, так і вегетативні процеси, які залежать від комплексу факторів, таких як температура, освітлення, солоність води та доступність поживних речовин. Ефективне культивування ламінарії потребує створення штучних плантацій, на яких оптимізуються умови для її зростання й розмноження. Розробка технологій управління цими процесами дозволяє підвищити продуктивність марикультури, сприяє сталому розвитку галузі та розширенню її економічного потенціалу.

Мета роботи полягала у дослідженні особливостей розмноження ламінарії японської (*Laminaria japonica*) та визначенні оптимальних умов для її культивування в марикультурі з метою підвищення продуктивності та сталого розвитку галузі.

Завданнями роботи передбачалось дослідити біологічні особливості статевого та вегетативного розмноження ламінарії японської, дослідити методи розмноження та вирощування ламінарії у промислових умовах, враховуючи різні біотичні та абіотичні фактори, що впливають на її ріст та розвиток, проаналізувати технології переробки ламінарії японської, зокрема методи, що забезпечують збереження біологічно активних речовин у кінцевих продуктах, та визначити економічну ефективність виробництва ламінарії у марикультурі, обґрунтувати доцільність впровадження різних технологій для забезпечення сталого виробництва.

В результаті проведених досліджень визначені біологічні особливості, методи розмноження та технологічні підходи до культивування ламінарії японської в умовах марикультури, включаючи управління її життєвим циклом, етапами вирощування та впливом екологічних факторів.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на 72 сторінках, містить 16 рисунків, 9 таблиць та 43 літературних джерела.

*Ключові слова:* аквакультура, Ламінарія японська, марикультура, розмноження, штучні плантації, культивування, морські водорості, сталий розвиток.

**SUMMARY**  
**BASICS OF REPRODUCTION OF JAPANESE KELP AS AN**  
**OBJECT OF MARICULTURE**

Dedeskul A, master of the Water bioresources and aquaculture department

Japanese kelp (*Laminaria japonica*) is one of the key species of seaweeds actively used in mariculture due to its high bioproductivity and value for the food, pharmaceutical and cosmetic industries. The basis of its reproduction includes both sexual and vegetative processes, which depend on a complex of factors, such as temperature, lighting, water salinity and nutrient availability. Effective cultivation of kelp requires the creation of artificial plantations, where conditions for its growth and reproduction are optimized. The development of technologies for managing these processes allows to increase the productivity of mariculture, contributes to the sustainable development of the industry and the expansion of its economic potential.

The aim of the work was to study the features of the reproduction of Japanese kelp (*Laminaria japonica*) and determine the optimal conditions for its cultivation in mariculture in order to increase productivity and sustainable development of the industry.

The objectives of the work were to investigate the biological features of sexual and vegetative reproduction of Japanese kelp, to investigate methods of reproduction and cultivation of kelp in industrial conditions, taking into account various biotic and abiotic factors that affect its growth and development, to analyze technologies for processing Japanese kelp, in particular methods that ensure the preservation of biologically active substances in final products, and to determine the economic efficiency of kelp production in mariculture, to substantiate the feasibility of implementing various technologies to ensure sustainable production.

As a result of the research, biological features, reproduction methods and technological approaches to cultivating Japanese kelp in mariculture conditions were determined, including management of its life cycle, stages of cultivation and the influence of environmental factors.

The qualification master's thesis is completed on 72 pages, contains 16 figures, 9 tables and 43 literary sources.

*Keywords:* aquaculture, Japanese kelp, mariculture, reproduction, artificial plantations, cultivation, seaweed, sustainable development.

**ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	<b>3</b>
<b>1 ВІДБІР ЗРІЛИХ РОСЛИН ЛАМІНАРІЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СОРУСІВ ТА ЇХ ВИРОЩУВАННЯ</b>	<b>6</b>
1.1 Відбір зрілих рослин ламінарії для вирощування	8
1.2 Підрахунок зооспор та розрахунок щільності заселення	19
1.3 Висаджування спорофітів	25
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНАРІЇ ЯПОНСЬКОЇ</b>	<b>28</b>
2.1 Технології вирощування ламінарії японської в Україні та різних країнах світу	28
2.2 Обсяги виробництва ламінарії японської в країнах Азії та Україні	36
2.3 Порівняння витрат та прибутковості при вирощуванні ламінарії	45
<b>3 ПЕРЕРОБКА МОРСЬКИХ ВОДРОСТЕЙ</b>	<b>53</b>
3.1 Типи водоростей, що використовуються для виробництва біопалива	59
3.2 Внесок у забезпечення продовольства, харчування та підтримання здоров'я людини	61
3.3 Внесок в аквакультуру	65
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>67</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b>	<b>69</b>

## ВСТУП

Термін «ламінарія» зазвичай використовується для позначення трохи більше 100 видів великолистих бурих морських водоростей, які утворюють середовище існування, що є одним із найпродуктивніших і найрізноманітніших на Землі. Ламінарія займає домінуюче становище приблизно на чверті світового узбережжя у всіх полярних і помірних регіонах, що робить її найбільшою морською рослинною екосистемою у світі. Ламінарія утворює масиви тривимірних підводних заростей з високим рівнем біорізноманіття. Це унікальне прибережне середовище забезпечує місця нагулу, укриття і годівлі молоді для широкого кола морських організмів, зокрема таких комерційно значущих видів риб, як тріска і сайда, а також інших біологічних видів, наприклад, крабів, восьминогів і омарів. Ламінарієві зарості можуть скорочувати викиди вуглецю, накопичуючи вуглець у стоячій біомасі та сприяючи довгостроковому видаленню двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) завдяки перенесенню й похованню вуглецю, уловленого ламінарією, у глибоководних районах моря. Корінні народи і жителі прибережних районів використовували ламінарію як лікарський засіб, їжу і сировинний матеріал упродовж багатьох поколінь, і ламінарія стала невід'ємною частиною їхньої самобутності і сприяла розвитку почуття взаємопов'язаності з природою і свого місця в ній. [1]

Однак за останні 50 років площа заростей ламінарії в усьому світі неухильно скорочується. Будучи холодноводними видами, бурі водорості піддаються впливу стресогенних чинників потепління океану, морських теплових хвиль та інших екстремальних кліматичних явищ, причому найзначніші втрати зареєстровано на кордонах їхніх порівняно тепловодних ареалів. Надмірний вилов риби, зниження якості води внаслідок надмірного скидання біогенних речовин, забруднення й осадових відкладень, а також

нерегульована та виснажувальна заготівля ламінарії становлять серйозну загрозу для ламінарієвих заростей. [1]

Ця глобальна узагальнювальна доповідь є найповнішим на сьогоднішній день оглядом стану наукових знань про ламінарію і світові ламінарієві зарості, що містить опис рекомендованих заходів щодо відновлення заростей ламінарії у світі за допомогою підвищення рівня обізнаності громадськості та надання інституційної підтримки в просуванні шляхом їх збереження, регулювання і відновлення. Поряд з цим у доповіді представлено низку заходів і варіантів політики та регулювання, які можуть бути використані в даний час і в майбутньому для збереження цих незвичайних екосистем, а також надання підтримки людям і країнам світу, які протягом багатьох поколінь від них залежать. [1-2]

Поточний стан заростей ламінарії, їхня цінність та основні проблеми, що потребують свого вирішення Ламінарієві зарості являють собою найбільшу морську рослинну екосистему у світі. Терміном «ламінарія» позначаються переважно холодноводні види великолистих бурих морських водоростей, які ростуть на скелястих рифах у помірному, арктичному і субантарктичному регіонах уздовж 25-30 відсотків світового узбережжя. Вони займають площу 1,5-2 млн км<sup>2</sup>, що в 5 разів перевищує площу коралових рифів. [1-2]

Ламінарієвим заростям загрожують як місцеві, так і глобальні стресогенні чинники. На більшій частині ареалу спостерігається значне зменшення запасів ламінарії, причому темпи скорочення її заростей по всьому світу становлять 1,8 відсотка на рік. Динаміка цих змін у різних регіонах відрізняється, що свідчить про різноманітність чинників, які впливають на ламінарієві екосистеми. За останні 50 років 40-60 відсотків заростей ламінарії зазнали деградації, основними причинами якої є зміна клімату, незадовільна якість води та надмірний вилов риби. У важких випадках ці стресогенні фактори можуть викликати значущі зміни в екосистемах, які важко повернути назад, перетворюючи зарості ламінарії з

різноманітного середовища існування на структурно прості рифи з переважанням дерну або малопродуктивні місця скупчення морських їжаків.

Зміна клімату являє собою серйозну загрозу для заростей ламінарії і вимагає вжиття термінових заходів. Прогнози впливу зміни клімату на зарості ламінарії вказують на значне зменшення запасів ламінарії в регіонах помірного поясу. [1-2]

Метою кваліфікаційної роботи магістра стало дослідження біологічних та технологічних аспектів вирощування ламінарії японської, її розмноження, виробництва та переробки для підвищення ефективності використання цієї водорості в марикультурі.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити біологічні особливості ламінарії японської (*Saccharina japonica*), включаючи її життєвий цикл, адаптаційні властивості до умов навколишнього середовища, специфічні для умов марикультури.

2. Дослідити методи розмноження та вирощування ламінарії у промислових умовах, враховуючи різні біотичні та абіотичні фактори, що впливають на її ріст та розвиток.

3. Проаналізувати технології переробки ламінарії японської, зокрема методи, що забезпечують збереження біологічно активних речовин у кінцевих продуктах.

4. Визначити економічну ефективність виробництва ламінарії у марикультурі, обґрунтувати доцільність впровадження різних технологій для забезпечення сталого виробництва.

Об'єкт дослідження: Ламінарія японська (*Laminaria japonica*) як представник морських водоростей, що вирощується в марикультурі.

Предмет дослідження: Біологічні особливості, методи розмноження та технологічні підходи до культивування ламінарії японської в умовах марикультури, включаючи управління її життєвим циклом, етапами вирощування та впливом екологічних факторів.

## 1 ВІДБІР ЗРІЛИХ РОСЛИН ЛАМІНАРІЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СОРУСІВ ТА ЇХ ВИРОЩУВАННЯ

Сахарину (ламiнарiю) зазвичай називають «ламiнарiєю». Це був не лише перший одомашнений вид водоростей, вiтчизняне виробництво якого розпочалося ще в 1950-х роках, але й найбільший обсяг виробництва у свiтi на сьогоднішній день. Як буру морську водорість помiрного поясу, сахарину вирощують лише в зимовi мiсяцi, проте швидкi темпи росту дозволяють отримувати високi врожаї з одної виробничої площi.

iншi назви: японська ламiнарiя, морський клубок, хайдай (в Китаї), дашима (в Кореї), комбу або макомбу (в Японії). Наукова назва: *Laminaria japonica* або *Saccharina japonica*. Група: Бурi водоростi (*Phaeophyceae*). [3]

Ламiнарiя японська росте в помiрно холодних водних зонах i походить з пiвнiчно-захiдного узбережжя Тихого океану. У природi вона добре росте на глибинах до 10 м i бiльше, залежно вiд проникнення свiтла в товщу води. У дикiй природi життя японської ламiнарiї триває 2 зими (2 роки), проте в умовах фермерських господарств її зазвичай вирощують лише одну зиму.

Сахарина вiдiграє дуже важливу роль у виробництвi морських водоростей в Китаї. Обсяги виробництва за останнi два десятилiття неухильно зростали, i, згiдно з даними ФАО, у 2020 році Китай виробив 11 мiльйонiв тонн сирої ваги (ФАО). У «Статистичному щорiчнику рибного господарства Китаю» вказанi обсяги виробництва лише в сухiй вазi (1 651 573 тонни у 2020 році), а для перерахунку в сиру вагу ФАО застосовує коефiцiєнт 15%. [3]

Хоча китайський уряд пiдтримував розширення галузi з початку 1950-х рокiв, сьогодні масштабна галузь перебуває пiд тиском суворих природоохоронних норм, що стосуються прибережної морської екологiї, загальної бiомаси, забруднення води та конфлiктiв з iншими офшорними галузями. У перiод з листопада 2021 року по квітень 2022 року червонi

припливи принесли токсичні рівні фосфору в основний сільськогосподарський регіон, спричинивши збитки на суму понад 30 мільйонів доларів США, з потенційними постійними втратами, оскільки деякі фермери вирішили не відновлювати сільськогосподарську діяльність.

Виробництво сахарини в Південній Кореї стабільно зростало протягом останніх 20 років, досягнувши щорічного обсягу 600 000-700 000 тонн свіжої ваги. Стабільне зростання виробництва пояснюється тим, що індустрія вирощування морських вушок зростає і потребує свіжого корму. Щонайменше 70% свіжої ламінарії в Південній Кореї згодовується безпосередньо морським вушкам. [3-4]

Обсяги виробництва будуть сильно залежати від зростання або занепаду сектору морських вушок. Крім того, фермери старіють, і не у багатьох з них є наступники, в той час як кількість фермерських ділянок обмежена, а ліцензії більше не видаються. Зростання фермерства повинно відбуватися далі від берега, а це дорого коштує.

Збір дикорослих рослин в Японії все ще залишається відносно високим, хоча загальний обсяг виробництва знижується. У 1992 році виробництво сахарини досягло 230 000 тонн, з яких 73 000 тонн було вирощено на фермах, а 157 000 тонн було зібрано в дикій природі. З того часу виробництво продовжує зменшуватись і становить приблизно 30 000 тонн вирощеної сахарини та 45 000 тонн зібраної в дикій природі (рис. 1.1).

Японська сахарина (королівська комбу) відома своєю високою якістю і продається як делікатесний продукт, а не як звичайний товар. Однак попит на комбу не зростає, а обсяги виробництва, ймовірно, скоротяться ще більше, враховуючи, що більшості фермерів вже за 70 років і вони не мають наступників. [3-4]

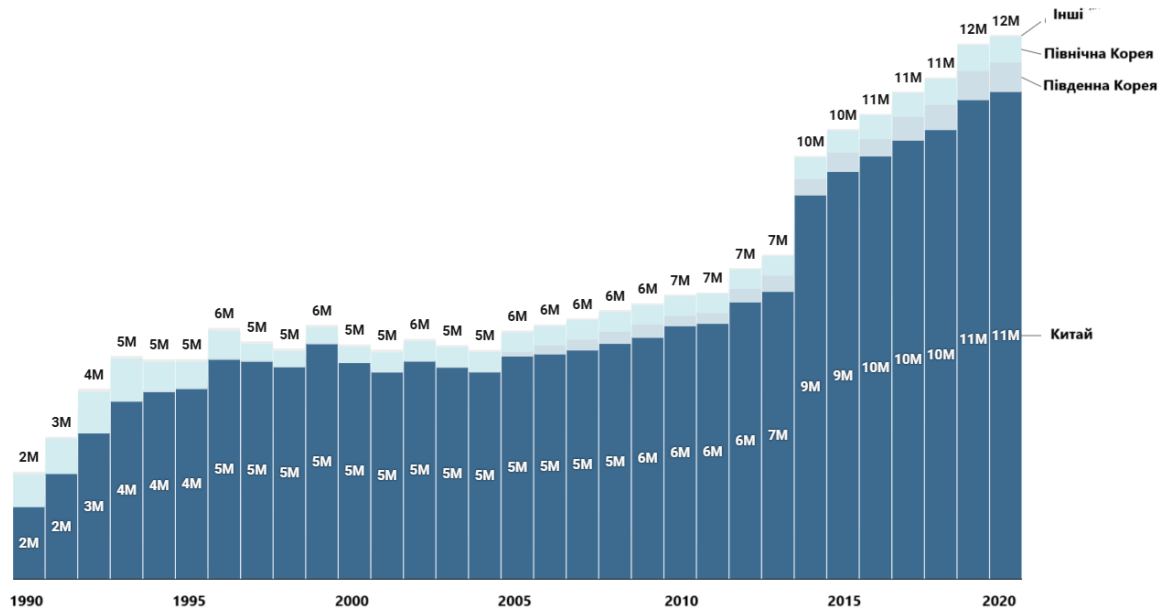


Рис. 1.1 - Світові обсяги виробництва сахарини 1990-2020 рр.

У Японії та Південній Кореї більшу частину вирощування сахарини ведуть сімейні фермери. В Японії членство в риболовецькому кооперативі є обов'язковим, а весь продаж продукції здійснюється через аукціони, організовані кооперативом.

У Південній Кореї приблизно 70% сахарини продається безпосередньо на сусідні ферми з розведення молюсків як свіжий корм. Решту продають переробникам, які перетворюють водорості на різні форми продуктів для споживання людиною через роздрібні магазини та оптові ринки споживачів.

В Японії роздрібні торговці та оптові торговці споживчими товарами беруть участь в аукціонах риболовецьких кооперативів, щоб забезпечити собі постачання продукції *Saccharina*, яку потім продають у ресторани або безпосередньо споживачам для споживання вдома. [3-4]

### 1.1 Відбір зрілих рослин ламінарії для вирощування

Виділення зооспор (тобто «спор») зі зрілих рослин ламінарії (спорофітів) є першим кроком у створенні культури в розсаднику. Спори

містяться у репродуктивних сорусах, які присутні в певній кількості лише кілька місяців щороку. Ці репродуктивні соруси дозрівають переважно під впливом температури та світла. Важливо розуміти життєвий цикл (рис. 1.2) видів водоростей, які використовуються для того, щоб максимізувати зусилля з ізоляції та вирощування спор. [5-7]

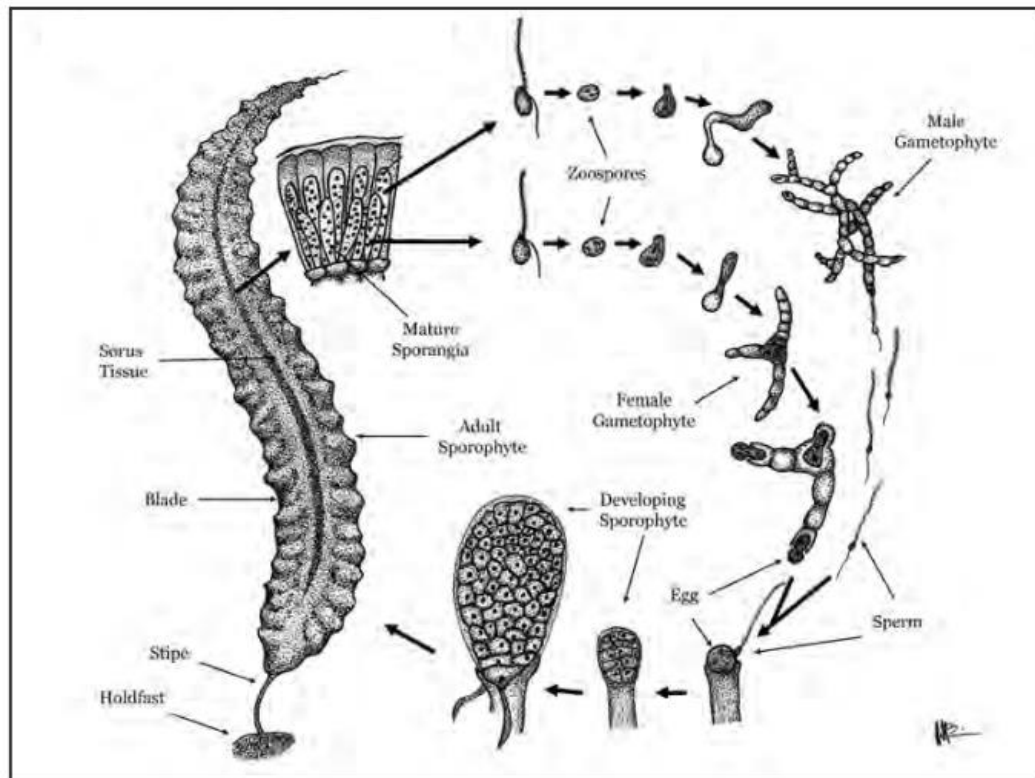


Рис. 1.2 - Життєвий цикл *Saccharina latissima*

Діяльність розплідника в першу чергу зосереджена на ізоляції спор і сприянні їх осіданню на нейлоновий шпагат, обмотаний навколо ПВХ-труби (котушки).

Після того, як поселення відбулося, через 24-36 годин, котушки поміщають в акваріуми в контрольованих умовах для завершення стадії росту мікроскопічного гаметофіту. Стадія гаметофіта швидко змінюється молодими спорофітами, які готові до після чотирьох-шести тижнів росту в

розсаднику, готові до перенесення на морську ділянку фермерського господарства.

Утримання цих культур у нерепродуктивній фазі протягом декількох місяців або років у розсаднику вимагає більш досконалого обладнання та навичок. Перевага полягає в тому, що можна ініціювати стадію молодого спорофіту в ті періоди року, коли в океані можуть бути відсутні фертильні сори. [5-7]

Рисунок 1.2 ілюструє життєвий цикл *Saccharina latissima* (тобто цукрової ламінарії), яку часто вирощують фермери, що займаються вирощуванням ламінарії. Він показує гетероморфне (різні форм) чергування поколінь між макроскопічною рослиною-спорофітом і мікроскопічною рослиною-спорофітом і мікроскопічною рослиною-гаметофітом. Цукрові водорості, разом з *Laminaria digitata* (тобто, ламінарією хвощеподібною (*Laminaria digitata*)) та аларією крилатою (*Alaria Esculenta*) є основними видами, які культивуються та вирощуються. Ці три водорості є членами порядку *Laminariales*, і всі вони мають схожий життєвий цикл, який включає гетероморфне чергування поколінь.

Збір здорової та зрілої тканини сорусу є першим кроком при запуску культури ламінарії в розсаднику. Сорусна тканина - це репродуктивна зона на листку ламінарії, яка містить спорангії, або клітини, які виробляють і розміщують спори. На рисунку 1.3 показано збільшений шматочок сорусу під мікроскопом, де видно спорангії та спори. [6]

Розуміння сезонних піків утворення сорусу та правильна ідентифікація зрілих сорусів є дуже важливими. З метою збору тканини сорусу для виділення спор у розсаднику, визначають та проводять моніторинг потенційних ділянок для збору сорусу *Saccharina latissima*. Ділянки з великою кількістю зрілої тканини сорусу *Saccharina latissima* мають кілька спільних характеристик. спільних рис. Ці водорості часто зустрічаються в захищених місцях зі швидкими течіями, трохи нижче середнього рівня води. *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata* та *Alaria esculenta* часто прикріплені

до певного субстрату, наприклад, до бруківки, і зустрічаються на ділянках з кам'янистим дном.

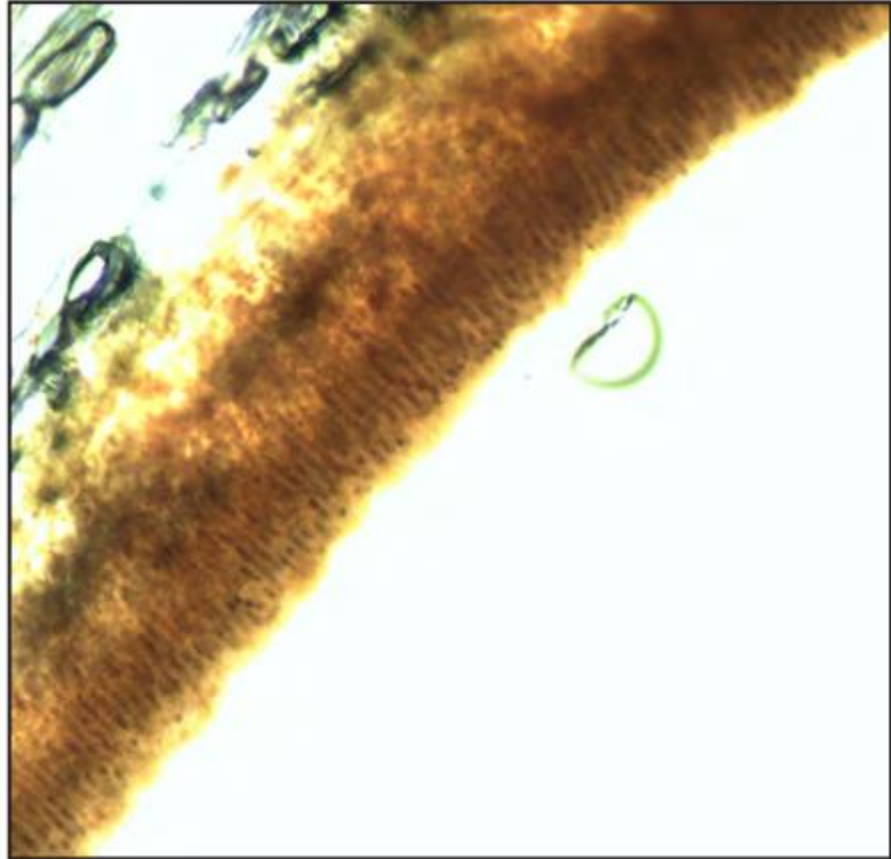


Рис. 1.3 - Поперечний зріз тканини сорусу тканини (440x), що показує зрілі спорангії зі спорами

*Saccharina latissima*, *Laminaria digitata* та *Alaria esculenta* мають схожий ріст впродовж року. Зимові місяці та перша половина року зазвичай характеризуються ростом лопатей, потім цей ріст сповільнюється протягом літніх місяців і супроводжується формуванням сорусу восени. Хоча основний пік утворення сору припадає на осінні місяці жовтень і листопад, існує другий пік припадає на весняні місяці квітень і травень. [6]

У *Saccharina latissima* зріла тканина сорусу зазвичай знаходиться біля центру листкової пластинки ламінарії, і її можна ідентифікувати як темнішу і злегка підняту порівняно з навколишньою тканиною пластинки (рис. 1.4).



Рис. 1.4 - Зріла тканина сорусу *Saccharina latissima*

Окремі рослини ламінарії, як і сорусна тканина, можуть відрізнятися за зовнішнім виглядом і структурою. Як правило, сорусна тканина простягається по всій довжині слані суцільною смугою суцільною смугою. Він також може з'являтися лише на частині леза або у вигляді розірваних ділянок. [6]

Соруси, що мають ознаки того, що вони вже випустили спори є хорошим показником зрілості. На рисунку 1.5, верхня стрілка вказує на ділянку в межах смужки сорусу яка випустила спори і має світліше забарвлення, ніж решти сорусу. Нижня стрілка вказує на темнозабарвлений зрілий сорус, який ще не випустив спори. Ця ділянка сорусу, що знаходиться нижче вивільненої ділянки, є чудовим кандидатом для вивільнення зооспор у розсаднику. [6]

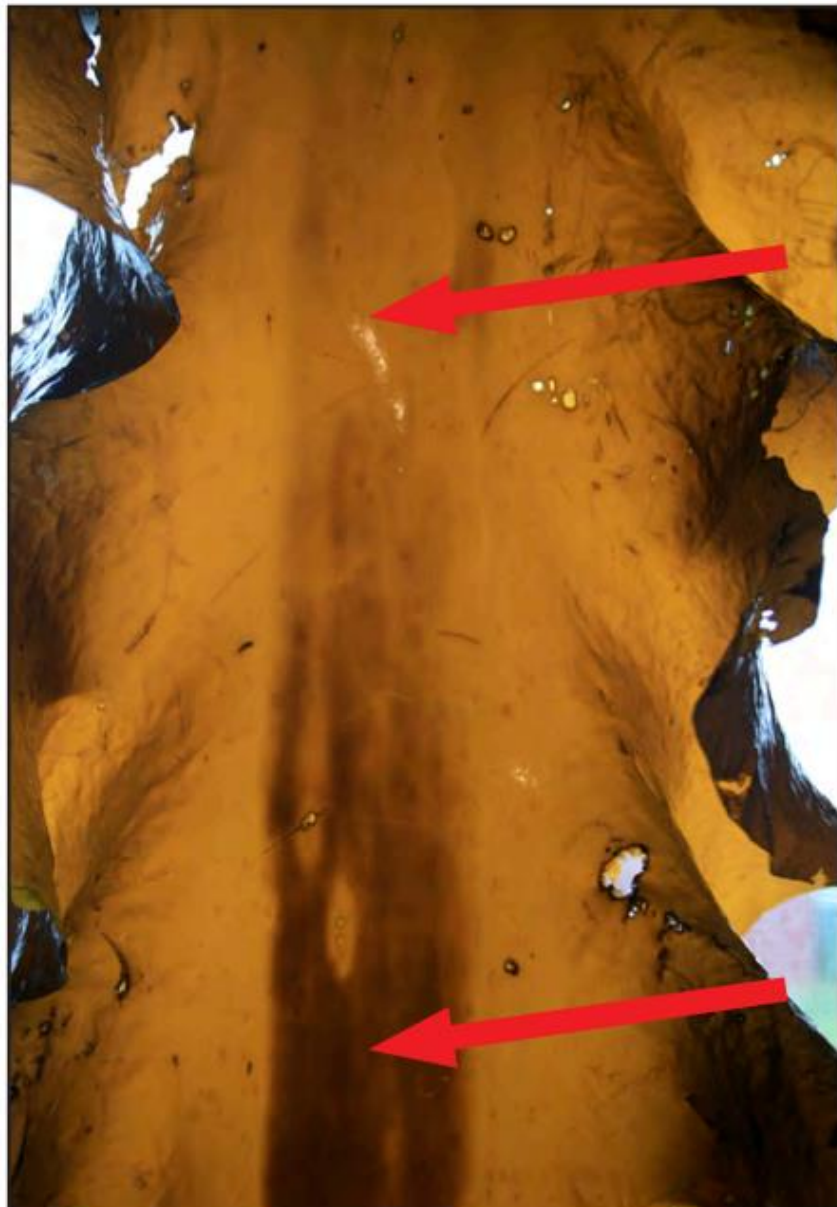


Рис. 1.5 - Верхня стрілка вказує на ділянку сорусу, яка випустила спори. Нижня стрілка вказує на ділянку зрілого сорусу, який ще не випустив спори.

Пластинки ламінарії з великою кількістю слизу (слизькі на дотик), темна смуга сорусу з рельєфною текстурою, а також ділянки сорусу, які вже випустили спори, зазвичай забезпечують успішні випуски в розсаднику.

Важливо збирати тканину сорусу, що містить найменшу кількість біобростання. з найменшою кількістю біобростань і плям. Це один крок до зменшення кількості забруднення, що потрапляє до розсадника. Сорус з великою кількістю біобростань, таких як моховатки (Рис. 1.6) та інші види водоростей, слід уникати, якщо це можливо. [7]



Рис. 1.6 - Тканина *Saccharina latissima* sorus з мохоподібними, що ростуть на поверхні

Збір сорусів з океану повинен здійснюватися вручну, а не механічно. Завжди важливо збирати лише ту кількість ламінарії, яка необхідна для вивільнення спор і мінімізації будь-якого впливу на середовище існування.

Важливо скласти карту припливів і відливів, а також зрозуміти течії і району збору. Після збору сорусів рекомендується охолодити їх до температури близько 10° C і негайно транспортувати для підготовки. [7]

Під час підготовки тканини сорусу для успішного виділення спор слід враховувати дві мети:

- 1) ідентифікація та ізоляція здорової тканини сорусу;
- 2) зменшення присутності забруднень (наприклад, бактеріальних, вірусних і біооброствань).

Збір зразків ламінарії слід проводити з ретельним урахуванням середовища існування та правильною ідентифікацією здорових і зрілих тканин сорусу (рис. 1.7).



Рис. 1.7 - Зріла тканина сорусу *Saccharina latissima*

Рекомендується обробляти сорус протягом декількох годин після збору, щоб зберегти його здоровим і життєздатним. Важливо зберігати тканину сорусу при прохолодній температурі (приблизно  $10^{\circ}\text{C}$ ) і подалі від прямих сонячних променів протягом усього процесу. Якщо готується велика кількість сорусу, знадобиться холодильник з пакетами льоду для зберігання полотен, які очікують на обробку. Після того, як тканина ретельно очищена і підготовлена, рекомендується залишити тканину для зневоднення в темному холодильнику ( $10^{\circ}\text{C}$ ) протягом приблизно 14-24 години. [5-7]

Сорус - це репродуктивна зона на листку ламінарії яка містить спорангії, або клітини, що виробляють і містять спори. У цукрових бурих водоростей зріла тканина сорусу зазвичай знаходиться біля центру листової пластинки водорості, і може бути ідентифікована як темніша і трохи піднята порівняно з навколишньою тканиною пластинки (рис. 1.7).

Окремі рослини ламінарії, а також тканина сорусу можуть відрізнитися за зовнішнім виглядом і структурою. Як правило, сорусна тканина проходить по всій довжині лопаті суцільною смугою, з'являється лише на частині лопаті або навіть у вигляді розірваних плям. [5-7]

Мета полягає в тому, щоб відокремити зрілу тканину сорусу з мінімальною кількістю забруднюючих організмів, прикріплених до її поверхні. Ламінарія часто містить велику кількість організмів, що обростають, таких як моховатки (рис. 1.8), мікроорганізми та інші види водоростей.

Ці джерела забруднення потенційно можуть витіснити ламінарію і поглинути зростаючі гаметофіти, що призведе до зниження загального врожаю. Щоб зменшити забруднення в розсаднику, рекомендується готувати тканину сорусу за межами розсадника або виробничої зони або подалі від неї. Також рекомендується використовувати оглядові рукавички протягом усього процесу. [5-7]



Рис. 1.8 - Мохоподібні покривають поверхню *Saccharina latissima*.

Існує кілька етапів, призначених для дезінфекції тканини сорусу (наприклад, йодні ванночки і вишкрібання тканини лезом бритви). Ці процеси слід виконувати з обережністю. Повторення цих методів дезінфекції частіше, ніж рекомендовано, може вплинути як на здоров'я, так і на продуктивність тканини сорусу. Рекомендується уникати або викидати шматки, які сильно забруднені, мають плями або знебарвлені. Залежно від від кількості зібраних водоростей і кількості сорусу, може виникнути необхідність використання сору з біообростанням. У такому випадку важливо зішкребти поверхню бритвою, щоб видалити прикріплені організми.

Після підготовки сорусу важливо підготувати пробірки для відстоювання перед вивільненням спор. Вікно у 14-24 годин, коли підготовлений сорус знаходиться в холодильнику, є достатнім часом для того, щоб відфільтрована морська вода всередині відстійників охолола до 10° С. Метод вивільнення спор відомий як «водяна баня». Відстійники охолоджують, поміщаючи їх безпосередньо в холодильник або циркулюючу навколо них охолоджену деіонізовану воду у виробничих акваріумах. На

етапі охолодження пробірки повинні бути накриті алюмінієвою фольгою або кришкою з оргскла, щоб морська вода не містила забруднювачів. На цьому етапі не потрібно додавати поживні речовини для культури. Поживні речовини можна додавати до відстійників після оцінки та підрахунку спор, щоб зменшити втрату поживних речовин у разі, якщо успішного виділення не відбудеться. [8]

Для вивільнення зооспор рекомендується створення ідеальних умов у розсаднику для спонтанного вивільнення спор, що призведе до створення успішної культури. Шляхом регідrataції зневодненої тканини сорусу, підготовленої за 14-24 годин раніше, спори вивільняються зі спорангіїв у товщу води. На цьому етапі життєвого циклу спори рухаються у воді за допомогою джгутиків, або джгутиками, або батоговидними придатками. Спори вільно переміщуються у воді і осідають на відповідному субстраті. В океані це часто середовище проживання, яке складається з каміння та бруківки. У розпліднику нейлоновий шпагат на катушках з ПВХ забезпечує відповідний субстрат, який сприяє успішному розселенню.

Зволоження сорусної тканини, попередньо поміщеної в паперові рушники і охолодженої протягом 14-24 годин, призведе до вивільнення сорусних клітин, спровокує виділення спор. [8]

Успішне вивільнення, однак, залежить від відтворення умов навколишнього середовища або сигналів, які природно виникають в океані. Важливо зазначити, що хоча тканину сорусу можна збирати протягом усього року, кожен вид водоростей вивільняє спори в різний час.

Хоча багато факторів навколишнього середовища знаходяться поза межами контролю розплідника, два фактори, які сприяють вивільненню спор і культивуванню, - це зменшення забруднення та охолоджена, відфільтрована або стерилізована морська вода (приблизно 10° C), яка багата на поживні речовини.

Поживні речовини для культури (тобто живильні середовища) є важливими для «годівлі» культур ламінарії і додаються до кожного

контейнера, в якому вирощуються культури ламінарії від моменту вивільнення зооспор до моменту перенесення спорофітів до океану. Існує багато різних варіацій поживних речовин для культури. [8]

## 1.2 Підрахунок зооспор та розрахунок щільності заселення

Спори можна підраховувати за допомогою наявних у продажу автоматичних або ручних камер для підрахунку клітин. Хоча автоматизовані системи підрахунку клітин є точними, ці системи можуть бути непрактичними для дрібномасштабних операцій. Ручні камери для підрахунку клітин є менш дешевші і є точними та успішними для підрахунку спор. Хоча існує багато типів камер для ручного підрахунку, не всі камери для підрахунку клітин придатні для підрахунку спор ламінарії. Наприклад, як камери Седжвіка-Рафтера (S-R), так і гемоцитометр історично використовувалися для підрахунку клітин. Камери S-R призначені для підрахунку клітин для підрахунку більших і менш щільних популяцій клітин (наприклад, клітин водоростей і фітопланктону), менші і більш щільні концентрації клітин (наприклад, спори) більш точно підраховують за допомогою камери типу гемоцитометра. [9]

Гемоцитометричні камери для підрахунку клітин спочатку були розроблені для підрахунку клітин крові, і вони широко доступні на ринку. Ці лічильні камери виготовляються зі скла або пластику і мають витравлену сітку в основі лічильної камери (камер) для полегшення підрахунку клітинних популяцій. Хоча малюнок витравленої сітки може відрізнитися залежно від типу гемоцитометра, найчастіше використовується (і всесвітньо визнаний за надійність) шаблон сітки відома як «Покращена сітка Нойбауера». Ця сітка складається з дев'яти великих квадратів ( $1 \text{ мм}^2$ ), які далі поділяються на менші квадрати (рис. 1.9).

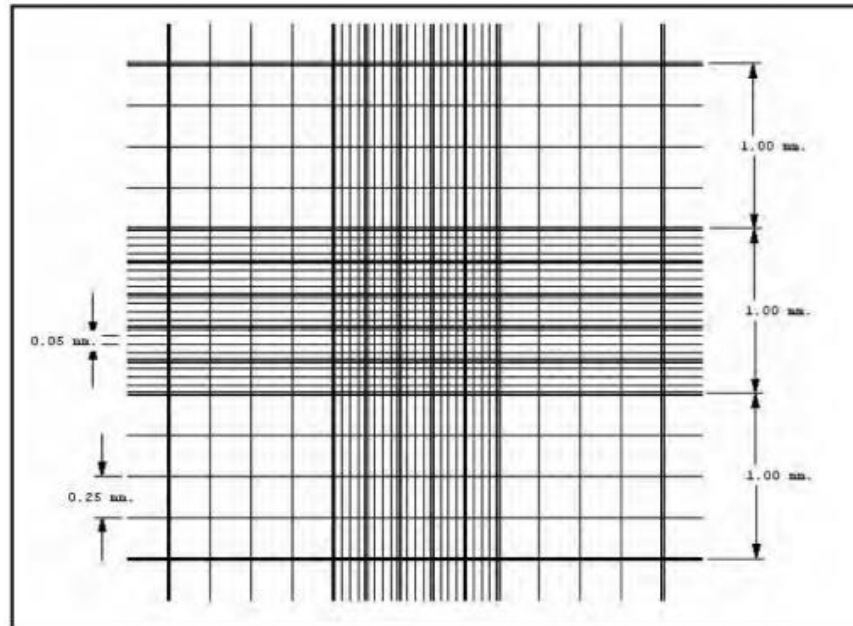


Рис. 1.9 - Приклад Покращена сітка лінійки Нойбауера

Кожна камера заповнюється за допомогою мікропіпеткою, і після заповнення об'єм, що міститься під кожним великим квадратом становить 1/10 000 мл (або 0,0001 мл). [9]

Перші 24 години після вивільнення є найбільш критичними для виживання зооспор. Відстійники містять катушки, в яких рухливі спори осідають і прикріплюються до нейлонового шпагату. Завдяки створенню дуже контрольованого середовища в пробірках для відстоювання спори осідають на шпагаті. Відстійники вже повинні бути заповнені охолодженою, відфільтрованою морською водою. Після того, як спори оцінені і розрахована щільність посіву, поживні речовини для культури додаються до кількості посівних пробірок, що засіваються. [9]

Для максимального заселення необхідно регулювати температуру, освітлення та аерацію під час перебування катушок у відстійниках. Температура всередині трубок повинна бути постійною - 10° С, а морська вода повинна залишатися охолодженою протягом усього процесу відстоювання, який триває 24 години. [10]

Процес вирощування в розсаднику починається після того, як спори прикріплюються до нейлонового шпагату на катушках. Ця фаза зазвичай займає від чотирьох до шести тижнів і є періодом управління, коли необхідно відстежувати і контролювати температуру, світло, рН, поживні речовини, аерацію та рівень забруднення. Протягом перших двох тижнів молоді рослини ламінарії, або спорофіти, занадто малі, щоб їх можна було побачити неозброєним оком. Однак спорофіти можна періодично перевіряти за допомогою мікроскопа. Зазвичай використовують 40-кратне і 100-кратне збільшення, щоб побачити, наскільки добре розвивається ріст на зразку шпагату. На третьому тижні на катушках має з'явитися коричневий колір, оскільки клітини діляться і перетворюються на багатоклітинні молоді рослини ламінарії. На рисунку 1.10 показано типовий розвиток росту від 48 годин після інокуляції до 40 днів росту в розсаднику. [10]



Рис. 1.10 - Спорофіти на 19-й день (100x)

Подібно до саду, який потребує певного ґрунту, світла та поживних речовин для певної рослини, розсадник ламінарії також потребує кількох ключових факторів навколишнього середовища для росту. Звертаючи пильну увагу на специфічні умови навколишнього середовища, можна успішно вирощувати ламінарію в розсаднику протягом багатьох років. Ці умови необхідні для оптимального росту, здоров'я та виживання культури ламінарії. Ламінарії можуть витримувати певні коливання солоності, але більш чутливі до незначних змін температури води та рН (табл.1.1).

Таблиця 1.1 - Діапазони параметрів у розсаднику

Параметри	Рекомендоване значення або діапазон	
Температура води	10° С	
Солоність	28-34	
рН	7.0-9.0	
Світло		
День 1-14	20 мкмоль $\cdot$ м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Екран з дрібною сіткою
День 15-28	55 мкмоль $\cdot$ м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Екран з широкою сіткою
День 29+	100 мкмоль $\cdot$ м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Без екрану

Морська вода замінюється в кожному акваріумі щотижня. Перед використанням морська вода повинна бути відфільтрована та стерилізована. Дуже важливо видалити небажані забруднювачі одним або кількома методами (наприклад, автоклавуванням, фільтрацією та/або УФ-стерилізацією). Солоність не потрібно перевіряти щодня, якщо вода зібрана з чистого і відносно стабільного океанічного джерела. [11]

Під час кожної щотижневої заміни води поповнюють запаси поживних речовин, вітамінів і діоксиду германію. Інтенсивність світла і фотоперіод (12 годин «світло ввімкнене»/12 годин «світло вимкнене») регулюють за

допомогою таймерів на лампах, а також екранів з дрібними і широкими сітками. Екрани слід вішати між акваріумом і джерелом світла, щоб створити відповідні рівні освітленості. Екрани розсіюють світло і рівномірно розподіляють його по поверхні акваріума. Екрани з дрібними осередками створюють в акваріумах рівень освітленості 20 мікромоль на квадратний метр за секунду ( $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ ), що підходить для початкового росту. Екрани з широкими сітками створюють рівень освітленості в акваріумах 55  $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ . На 4-й тиждень (або іноді раніше) екрани можна прибрати, забезпечивши повне освітлення 100  $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ . Слід зазначити, що це загальні рекомендації. Рішення про те, коли змінювати сітки з дрібними вічками на широкі, слід приймати на основі загального вигляду і росту спорофітів. [11-12]

Рослини ламінарії найкраще ростуть у воді, температура якої не перевищує  $10^{\circ} \text{C}$ . У розплідниках, які мають постійне постачання природної проточної морської води, охолоджувати воду не потрібно, але все одно необхідно запобігати потраплянню в акваріуми небажаних забруднювачів.

Індекс кислотності/лужності необхідно контролювати і підтримувати. Ламінарія найкраще росте в діапазоні рН 7,0-9,0 за шкалою рН від 0 до. Рівень рН можна виміряти за допомогою тест-наборів для акваріума або басейну «палички для занурення» або електронних портативних вимірювачів. рН природної морської води знаходиться в діапазоні від 7,8 до 8,2. У міру того, як рослини ламінарії ростуть в акваріумах, рН буде повільно підвищуватися. Це нормальне явище. Рівень рН можна контролювати і знижувати шляхом барботування газу  $\text{CO}_2$  через воду протягом коротких проміжків часу, щоб підтримувати рН близьким до 8,0. [11-12]

Повітря подається в акваріуми за допомогою повітряних насосів, трубок, стерильних піпеток і повітряних фільтрів. Повітряний насос забезпечує морську воду розчиненим киснем і рухом води. Важливо забезпечити достатнє надходження бульбашок повітря до зростаючих спорофітів для їх здорового росту і формування міцних прикріплень.

Швидкість потоку повітря має бути достатньо високою, щоб забезпечити циркуляцію води в акваріумах, але не такою, щоб переміщати котушки. [12]

Слід контролювати наявність забруднювачів у воді. Під забруднювачем розуміється будь-який організм (наприклад, бактерії, найпростіші, інші види водоростей), який негативно впливає на ріст водоростей. Забруднювачі зазвичай конкурують з ламінарією за світло, поживні речовини або простір. Дуже важливо їх видалити якомога більше та якомога раніше. Крім того, часті заміни води також ефективні для мінімізації конкуренції з боку цих організмів. Виявити забруднювачів можна за допомогою регулярних візуальних спостережень за акваріумами. Часто за наявності забруднення видимість в акваріумах швидко погіршується і вода в акваріумах стає каламутною. Можливе забруднення можна також оцінити, спостерігаючи за невеликою пробєю води під мікроскопом. Для більш точного аналізу зразки можна відправити в лабораторію, що спеціалізується на підрахунку та ідентифікації цих типів організмів. Повністю усунути забруднювачі в акваріумах може бути складно. За необхідності, використовують невеликий пристрій для ультрафіолетової (УФ) стерилізації окремих акваріумів. Ці системи відносно недорогі, їх легко встановити, і вони постійно обробляють морську воду ультрафіолетовим випромінюванням, коли вона циркулює через систему. [11-12]

Температура морської води в акваріумах є життєво важливою складовою успіху культури. Рекомендується часто перевіряти температуру води в акваріумах. Важливо зазначити, що чим тепліша температура в приміщенні розплідника, тим важче доводиться працювати охолоджувачам, щоб підтримувати температуру в акваріумах. Якщо температура в акваріумах підвищиться на кілька градусів за короткий проміжок часу, це, швидше за все, не вплине на спорофіти, але якщо температура підніметься вище 15,5° С, це може завдати шкоди.

Після перенесення спорофітів на ділянку частота відвідувань може скоротитися до одного разу на два тижні. Однак у міру зростання рослин

ламінарії відвідування мають бути частішими, аж до одного разу на тиждень, щоб зважити всі лінії, які можуть стати плавучими через збільшення кількості газу, що міститься в стеблах ламінарії. [12]

### 1.3 Висаджування спорофітів

Перед тим, як зрілі катушки зі спорофітами можна буде привезти з розсадника на ділянку вирощування, необхідно зробити кілька підготовчих заходів, таких як охолодження відфільтрованої морської води та збір матеріалів для перенесення. Для транспортування знадобляться такі матеріали: охолоджена відфільтрована морська вода, відстійники, пінопластові кільця, алюмінієва фольга, гумові стрічки, холодильник/сумка, лід, а також картон або інший пакувальний матеріал.

Транспортують спорофіти у відстійних пробірках, які використовували під час інокуляції спорами. Відстійники заповнюють охолодженою морською водою і додають кільце з пінополістиролу, щоб утримувати катушки у вертикальному положенні і запобігти їхньому тертю об стінки відстійника. Трубки вкриті алюмінієвою фольгою, яка закріплена гумовими стрічками. Кількість катушок, що перевозяться, визначає розмір холодильника або сумки для пакування. [13-15]

Температура є важливим фактором, який слід враховувати при транспортуванні катушок. Щоб запобігти надмірному стресу для катушок, температура води повинна залишатися якомога ближчою до температури у виробничих акваріумах. Цього можна досягти в теплі дні, обклавши лід навколо відстійних трубок в охолоджувачі. У прохолодні дні з температурою 10° C або нижче, наповнення льодом менш важливе і може не знадобитися. Чим менше часу катушки перебувають у відстійниках, тим краще. Транспортування до ділянки вирощування повинно відбуватися відразу після пакування, щоб забезпечити виживання спорофітів. [13-15]

Процес перенесення спорофітів на лінії вирощування має певні кроки:

Крок 1. Потрібно обрати навітряну або за течією сторону ділянки. Якщо вітер і течія рухаються в різних напрямках, обирають, виходячи з того, яка з них сильніша.

Крок 2. Вийняти катушку з насінням з транспортної трубки і протягнути один кінець відрізка довгої волосіні через катушку.

Крок 3. Зняти гумову стрічку з кінця катушки.

Крок 4. Надійно прив'язати кінець шпагату для насіння до довгого шнура в тому місці, де він стикається з фалом.

Крок 5. Обережно дістатися на дальню ділянку.

Крок 6. Натягнути довгий шнур.

Крок 7. Порожню катушку з насінням слід зсунути зі шнура.

Крок 8. Кінець довгого шнура слід протягнути через повну катушку з насінням. Потім цей кінець слід прикріпити до засіяної шпулі.

Крок 9. З одного боку від місця з'єднання двох відрізків ліній слід встромити крапельницю в лійку з одного боку.

Крок 10. Повторювати процес, поки не досягнете дальнього швартовного буя і фальшборта.

Після того, як всі ліски засіяні, їх слід відрегулювати таким чином, щоб натяг кожної з них був приблизно однаковим з сусідніми. Найлегше це зробити під час відпливу/спокою води в безвітряний день.

Протягом усього вегетаційного періоду є кілька важливих завдань з обслуговування. Спостереження та виправлення перехрещених ліній, додавання додаткових обважнювачів до ліній, коли ламінарія росте і розвиває позитивну плавучість. [13-15]

Відвідувати місце вирощування необхідно кожні два тижні, щоб перевіряти ріст ламінарії, виправляти плавучі або перехрещені лінії, а також виконувати інше технічне обслуговування за потребою. Бажано відвідувати ділянку після кожного значного шторму або вітру, щоб перевірити, чи не пошкоджено спорядження.

Водорості набувають позитивної плавучості в міру дозрівання стебла. Воно стає порожнистим і наповнюється газом. Цей газ піднімає водорості вгору. У певний момент плавучості буде достатньо, щоб підняти довгу волосінь. Як тільки це станеться, слід додати додаткову вагу, щоб занурити волосінь на потрібну глибину. [13-15]

Перехрещених ліній слід уникати і виправляти їх одразу після виявлення. Якщо залишити ліски перехрещеними, збільшується ризик пошкодження ламінарії внаслідок стирання, оскільки дві або більше лісок труться одна об одну. Крім потенційного пошкодження водоростей і втрати біомаси, перехрещені лінії складно збирати ефективно, що збільшує витрати і час, необхідні для збору врожаю.

Також необхідно проводити моніторинг водних умов і швидкості росту. Хоча це не є обов'язковим для вирощування ламінарії, моніторинг водних умов протягом вегетаційного періоду надасть корисні дані, які можуть бути використані для прийняття сільськогосподарських рішень у майбутньому. Параметри для моніторингу: - Температура води - Солоність - Каламутність - Рівень азоту/ [15]

Вимірювання швидкості росту (як біомаси, так і розміру) ламінарії також може надати цінні дані. Одним з методів вимірювання приросту біомаси є періодичне відрізання репрезентативного метра лінії та зважування водоростей. Метод вимірювання розміру полягає у відборі п'яти репрезентативних рослин з метра та вимірюванні їхньої довжини.

Залежно від використання ламінарії, збір врожаю на фермі може тривати від кількох днів до кількох місяців. Якщо ламінарію збираються переробляти на екстракти або для іншого промислового використання, її можна зібрати за день (або кілька днів), залежно від розміру ділянки вирощування. Якщо ламінарія буде використовуватися для цілей, що вимагають рослин певного розміру, лінії можна збирати кілька разів протягом останньої частини вегетаційного періоду, відбираючи лише ті рослини, які відповідають певному розміру. Це дозволяє меншим рослинам, які були затінені, вирости до достатнього розміру. [15]

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНАРІЇ ЯПОНСЬКОЇ

### 2.1 Технології вирощування ламінарії японської в Україні та різних країнах світу

Сучасні технології вирощування ламінарії японської включають - морські плантації, автоматизовані системи годівлі та освітлення та застосування біотехнологій при вирощуванні.

Так, морські плантації полягають у закріпленні ламінарії на підводних конструкціях, таких як канати, сітки чи троси. Водорості закріплюють на певній глибині, де забезпечується достатнє освітлення та циркуляція води.

Автоматизовані системи годівлі та освітлення – це коли в лабораторіях використовують спеціальні джерела світла та добрива, що забезпечують постійний доступ до поживних речовин.

Сучасні дослідження включають використання біотехнологій для підвищення стійкості ламінарії до змін температури та солоності, а також для прискорення росту і підвищення врожайності. [16]

#### *Технології вирощування ламінарії японської в азіатських країнах*

В азіатських країнах, зокрема в Китаї, Японії та Кореї, технології вирощування ламінарії японської (*Laminaria japonica*) набули широкого розвитку та вдосконалення, що забезпечує стабільну врожайність і значні обсяги виробництва для місцевого та міжнародного ринків. Основними методами вирощування є морські плантації на канатах, рециркуляційні системи (ЗРС) у закритих аквакультурних установках, а також вдосконалені технології генетичної селекції, які підвищують стійкість і продуктивність ламінарії. [16-19]

1. Морські плантації на канатах та тросах. У прибережних водах Китаю, Японії та Кореї найбільш поширеним методом вирощування є

морські плантації, де ламінарія вирощується на закріплених під водою канатах або тросах. Ця технологія включає кілька ключових етапів:

- ✓ Посів спор на спеціальні канати, тобто на ранніх стадіях розвитку спори ламінарії закріплюються на канатах у лабораторних умовах, після чого їх переносять у прибережні райони.
- ✓ Закріплення канатів на підводних фермах, тобто канати з ламінарією кріплять до поплавків та якорів на відстані 1–2 метрів від поверхні води, де вони отримують достатню кількість світла.
- ✓ Моніторинг умов росту, тобто контроль температури, солоності води та рівня освітлення дозволяє забезпечити оптимальні умови для розвитку ламінарії. Ідеальна температура для росту — 5–20°C, тому вирощування зазвичай проводиться у прохолодний сезон. [17]

Цей метод забезпечує високий рівень врожайності і широко використовується в Китаї, що є найбільшим виробником ламінарії у світі.

2. Закриті системи рециркуляційної аквакультури (ЗРС). У районах з нестабільними кліматичними умовами в Японії та Китаї використовуються закриті системи рециркуляційної аквакультури для вирощування ламінарії. Основні аспекти цієї технології наступні:

- ✓ Контроль умов середовища - в ЗРС можна підтримувати постійну температуру, рівень освітлення і якість води, що дозволяє уникнути сезонних обмежень і вирощувати ламінарію цілий рік.
- ✓ Фільтрація та очищення води - для підтримання здоров'я ламінарії в замкнених системах встановлюються фільтри, що видаляють відходи і надлишкові поживні речовини.
- ✓ Автоматизована годівля - за необхідності застосовується додаткове постачання мікроелементів і поживних речовин, які сприяють швидкому зростанню ламінарії.

Ця технологія хоч і має вищу вартість, однак підвищує врожайність і дозволяє уникнути залежності від природних умов. [16-19]

3. Селекція та генетичне вдосконалення

З метою підвищення врожайності і стійкості до хвороб у Китаї та Японії активно розвиваються методи селекції та генетичної модифікації ламінарії японської. До основних напрямків відносяться:

Розробка швидкорослих штамів – тобто селекція дозволяє створювати різновиди ламінарії, що ростуть на 20-30% швидше, ніж дикі форми, що підвищує продуктивність марикультури.

Покращення стійкості до стресових умов – тобто спеціальні штами, стійкі до підвищеної температури або низької солоності, дозволяють вирощувати ламінарію в нестабільних водних умовах. [18]

Біотехнологічні методи – це коли генетичне втручання дозволяє збільшити вміст поживних речовин, зокрема йоду і альгінатів, що робить продукт більш конкурентоспроможним на ринку.

4. Інтегровані ферми морепродуктів. У Китаї популярні інтегровані системи аквакультури, де ламінарія вирощується поряд із молюсками, креветками або рибою. До переваг даного методу відносяться:

- ✓ Зниження забруднення - ламінарія поглинає надлишок азоту і фосфору, що виділяються іншими морськими організмами, тим самим очищуючи воду.
- ✓ Екологічна сталість – це така система, яка імітує природну екосистему і забезпечує більш стабільні врожаї без необхідності інтенсивного втручання.

Інтегровані ферми знижують витрати на виробництво, сприяють екологічній стійкості та покращують умови вирощування ламінарії.

#### 5. Використання автоматизованих технологій

У сучасних марикультурних господарствах Китаю і Японії активно використовуються автоматизовані системи контролю для управління умовами росту ламінарії:

- ✓ Автоматичне регулювання температури та солоності – дозволяє використання датчиків для моніторингу умов дозволяє точно регулювати параметри середовища.

- ✓ Автоматичний збір врожаю- використання механічних засобів допомагають зменшити витрати на ручну працю, підвищуючи ефективність виробництва.

Отже, завдяки розвитку різних технологій вирощування, азіатські країни займають провідні позиції у виробництві ламінарії японської для світового ринку. Використання сучасних методів, таких як морські плантації, рециркуляційні системи та генетична селекція, забезпечує стабільну врожайність, високу якість продукції та знижує негативний вплив на довкілля. Ці технології є основою для подальшого розширення ринку ламінарії як цінного харчового і промислового продукту. [18]

#### *Технології вирощування ламінарії японської в країнах Америки*

У країнах Америки, зокрема у США та Канаді, технології вирощування ламінарії японської (*Laminaria japonica*) ще перебувають на стадії розвитку порівняно з країнами Азії, однак інтерес до цієї галузі швидко зростає. Це зумовлено популярністю ламінарії як джерела йоду, альгінатів, корисних поживних речовин та перспективами її використання в біопаливній індустрії. Вирощування ламінарії в Америці орієнтоване на сталий розвиток та інтеграцію з іншими аквакультурними системами, що допомагає оптимізувати ресурсне використання та мінімізувати вплив на екосистеми.

До основних технологій вирощування ламінарії японської в країнах Америки відносяться: морські плантації на канатах, інтегровані системи аквакультури, застосування закритих систем рециркуляції (ЗРС), культивування ламінарії для виробництва біопалива, використання автоматизованих систем контролю та роботизація процесів. [19]

1. Морські плантації на канатах. Ця технологія є однією з основних у країнах Америки для вирощування ламінарії в прибережних водах. Метод передбачає вирощування ламінарії на закріплених у воді канатах і подібний до підходів, які застосовуються в Азії. Закріплення спорового матеріалу на канатах – це коли спори ламінарії, вирощені в лабораторіях, закріплюють на канатах, які потім переносять у прибережні води. Розміщення канатів на

морських фермах - ці ферми облаштовуються у відкритих прибережних водах, де природна циркуляція забезпечує ламінарію поживними речовинами, зокрема нітратами та фосфатами. [19]

У США та Канаді проводяться регулярні моніторингові перевірки щодо чистоти води, температури та рівня освітленості, що допомагає досягти високої якості продукції.

Плантації зазвичай розміщуються на глибині до 2 метрів, що забезпечує оптимальне отримання сонячного світла. Важливу увагу приділяють енергоефективності, впроваджуючи екологічно безпечні практики. [19]

2. Інтегровані системи аквакультури, де ламінарію вирощують у поєднанні з іншими морськими організмами (риби, молоски, устриці), набувають все більшої популярності в Америці завдяки їх екологічним та економічним перевагам. Зниження впливу на екосистеми - ламінарія абсорбує надлишок поживних речовин, зокрема азоту і фосфору, що виділяються морськими організмами, тим самим очищуючи воду і сприяючи збереженню екологічного балансу. Інтегровані системи знижують виробничі витрати та забезпечують стабільну врожайність без значного збільшення ресурсів.

У Канаді такі системи активно розвиваються, особливо у провінції Британська Колумбія, де інтеграція ламінарії з аквакультурою молосків дає відчутні результати. [19]

3. Застосування закритих систем рециркуляції (ЗРС). Для підтримання стабільної якості ламінарії та уникнення сезонних обмежень у деяких регіонах США використовуються закриті системи рециркуляції, а саме контрольована температура і світло, тобто закриті системи дозволяють підтримувати оптимальні умови, необхідні для росту ламінарії, зокрема в зимовий період, коли температура у відкритих водоймах знижується. Рециркуляція і фільтрація води - вода в таких системах постійно очищується та циркулює, що створює стабільне середовище для розвитку ламінарії та

знижує ризик забруднення. Датчики та автоматичні регулятори відстежують рівні освітлення, температуру та хімічний склад води, що знижує вплив людського фактора на процес вирощування. Хоча цей метод є вартісним, він забезпечує високу якість продукції та контроль над умовами вирощування.

4. Культивуація ламінарії для виробництва біопалива. У США ламінарія японська розглядається як перспективний ресурс для виробництва біопалива, особливо біоетанолу та біогазу. Дослідницькі центри Каліфорнії та інших прибережних штатів активно розробляють методи вирощування ламінарії на великих площах із застосуванням наступних технологій. Для ефективного перероблення ламінарії у біопаливо створюються штами з підвищеним вмістом вуглеводів, що підвищує вихід біоетанолу. Дослідники застосовують методи добору для розробки більш швидкорослих штамів ламінарії, що дозволяє зменшити період вирощування та прискорити виробництво біопалива. Відходи ламінарії після ферментації можуть бути використані для виробництва біогазу або як добрива. [19-21]

Вирощування ламінарії для біопалива допомагає знижувати викиди CO<sub>2</sub> та забезпечує альтернативне джерело енергії.

5. Використання автоматизованих систем контролю та роботизація процесів

В американських фермах ламінарії все частіше застосовуються автоматизовані системи для контролю процесів вирощування, а саме: автоматизовані збиральні машини знижують потребу в ручній праці і дозволяють ефективніше обробляти плантації ламінарії, сучасні датчики та аналітичні системи забезпечують моніторинг температури, рівня освітлення, солоності, що дозволяє фермерам вчасно коригувати параметри середовища, а за допомогою штучного інтелекту та алгоритмів аналізу даних фермери отримують прогнози щодо росту ламінарії і можливих ризиків, що допомагає планувати виробництво (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Основні технології вирощування ламінарії в різних країнах світу

Країна	Основні технології вирощування
Китай	Морські плантації на канатах, інтегровані системи
Японія	Морські плантації, закриті системи, селекція
Південна Корея	Канати, інтеграція з моллюсками та рибою
США	Морські ферми, рециркуляційні системи
Канада	Інтегровані ферми, закриті системи
Індонезія	Морські плантації
Філіппіни	Морські плантації, інтеграція з іншими видами
Норвегія	Закриті системи, дослідні ферми
Франція	Морські ферми, інтегровані системи
Великобританія	Морські плантації, рециркуляційні системи

Отже, технології вирощування ламінарії японської в Америці продовжують розвиватися завдяки екологічним, економічним та енергетичним перспективам цієї водорості. Морські плантації, інтегровані системи аквакультури, рециркуляційні системи, виробництво біопалива та автоматизація процесів забезпечують сталість та ефективність виробництва ламінарії, роблячи її перспективним ресурсом для задоволення зростаючих потреб у харчовій, фармацевтичній та енергетичній промисловостях. [19-21]

*Основні технології вирощування ламінарії японської в Україні.*

Вирощування ламінарії японської в Україні - це перспективний напрямок розвитку аквакультури, що обіцяє значні економічні та екологічні переваги. Ламінарія японська широко використовується в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості. Чорне море має ділянки з відповідними гідрологічними умовами для культивування цієї водорості, а

зростаючий інтерес до здорового харчування та натуральних продуктів стимулює попит на ламінарію.

Таблиця 2.2 – Обсяги вирощування ламінарії японської

Рік	Обсяг вирощування (тонн)	Регіон	Кліматичні умови
2020	100	Одеська область	Помірно-середземноморський
2021	150	Херсонська область	М'який, морський клімат
2022	120	Запорізька область	Помірний, вологий

До основних етапів вирощування відносяться наступні:

– перший - вибір локації, тобто оптимальна глибина для вирощування ламінарії становить 3-10 метрів, м'який мулистий ґрунт сприяє закріпленню рослин, помірні течії забезпечують доступ кисню та поживних речовин, вибрана ділянка має бути захищена від сильних штормів.

– Другий - підготовка посадкового матеріалу, а саме спори збираються зі здорових рослин і вирощуються в лабораторних умовах до стадії мікроскопічних рослин. Саджанці вирощені з спор саджанці закріплюються на спеціальних лініях або конструкціях.

– Третій - розміщення саджанців. Саджанці закріплюються на довгих лініях, які опускаються у воду на необхідну глибину, можуть використовуватись різноманітні конструкції, такі як рами або сітки.

– Четвертий етап – догляд. Регулярно проводяться обстеження для оцінки стану рослин та виявлення хвороб, лінії та конструкції періодично очищаються від нарослів, застосовуються біологічні методи боротьби зі шкідниками. І, останній етап – збір врожаю, що є сезонним фактором. Збір

врожаю проводиться в оптимальний період, коли рослини досягають максимальної біомаси, в якості методів збору використовуються спеціальні інструменти для обережного зрізання рослин. [20-21]

До технологій, що застосовуються в Україні включають в себе: підводні ферми - це сучасні конструкції, які дозволяють оптимізувати процес вирощування та збору врожаю; лінійні систем –це більш традиційний метод, який широко використовується в багатьох країнах; комбіновані системи, тобто поєднання різних технологій для підвищення ефективності виробництва.

Вирощування ламінарії японської в Україні має великі перспективи. Завдяки сприятливим природним умовам та зростаючому попиту на цю продукцію, цей напрямок може стати одним з провідних сегментів української аквакультури.

Важливо зазначити, що успішне вирощування ламінарії вимагає комплексного підходу, який включає наукові дослідження, інвестиції в сучасне обладнання та підготовку кваліфікованих кадрів. [19-21]

## **2.2 Обсяги виробництва ламінарії японської в країнах Азії та Україні**

Ламінарія японська, відома як *Laminaria japonica* або комбу, є одним з найпоширеніших видів морських водоростей, вирощуваних в Азії. Вона широко застосовується в харчовій промисловості, а також у медицині та косметології завдяки високому вмісту йоду, вітамінів і мінералів. Основні країни-виробники ламінарії японської включають Китай, Південну Корею, Японію, Росію та Північну Корею. [23]

До основних виробників ламінарії японської відносяться: Китай, Південна Корея, Японія, Росія, Північна Корея, Індонезія, Чілі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Основні виробники ламінарії у світі

Країна	Основні регіони виробництва	Обсяги виробництва (тонн на рік)	Примітки
Китай	Шаньдун, Ляонін, Фуцзянь	~7-8 мільйонів	Найбільший виробник у світі.
Південна Корея	Південне узбережжя, о. Чеджу	~1,5 мільйона	Основний постачальник Азії.
Японія	Хоккайдо, Сікоку	~600 тисяч	Високоякісна продукція.
Індонезія	Сулавесі, Малуку	~500 тисяч	Значний обсяг для експорту.
Чилі	Північне узбережжя	~200 тисяч	Найбільший постачальник для США

1. Китай є провідним виробником ламінарії японської у світі, що забезпечує понад 80% світового виробництва цієї водорості. За останніми даними, обсяг виробництва ламінарії в Китаї становить близько 10 мільйонів тонн на рік. Вирощування ламінарії сконцентроване переважно в провінціях Шаньдун та Ляонін. Високий попит на внутрішньому ринку та сприятливі природні умови сприяють стабільному зростанню обсягів виробництва.

2. Південна Корея займає друге місце за обсягами виробництва ламінарії, забезпечуючи близько 1,5-2 мільйонів тонн на рік. Основні регіони виробництва – південні узбережжя, зокрема провінція Чолла. Ламінарія широко використовується в корейській кухні та експортується до інших країн.

3. Японія є третім найбільшим виробником ламінарії японської, з обсягом виробництва близько 1 мільйона тонн на рік. Основні зони виробництва розташовані на півночі, в префектурах Хоккайдо і Аоморі. Ламінарія японська є важливим компонентом японської кухні, де вона відома як комбу.

4. На Далекому Сході Росії також активно вирощують ламінарію, хоча її обсяги значно менші порівняно з іншими країнами Азії. Росія виробляє приблизно 200-300 тисяч тонн ламінарії японської, основним регіоном виробництва є узбережжя Приморського краю. Російська ламінарія експортується до Китаю та інших азійських країн.

5. Північна Корея. Точні дані про виробництво ламінарії в Північній Кореї є обмеженими через відсутність офіційної статистики. Однак, за оцінками експертів, країна вирощує близько 100-200 тисяч тонн ламінарії, яка використовується як для внутрішнього споживання, так і для експорту.

Останні 10 років відзначилися значними обсягами виробництва ламінарії японської (*Laminaria japonica*), особливо в Азії, зокрема в Китаї, Південній Кореї та Японії, де її інтенсивно культивують для харчової та фармацевтичної промисловості. Китай є найбільшим виробником цього виду водоростей у світі — на нього припадає близько 60–70% світового виробництва морських рослин, зокрема ламінарії. Після Китаю великі обсяги виробництва також зафіксовані в Японії та Кореї, де ламінарію вирощують як традиційний харчовий продукт (комбу) з використанням морських ферм та на глибоководних платформах. [24]

Обсяги виробництва в Китаї значно зросли, перевищуючи мільйон тонн щорічно. В Японії та Кореї виробництво залишалося стабільним або дещо знижувалося через обмеження на природні ресурси та зміну клімату, що вплинуло на зростання попиту на ламінарію як продукт харчування та джерело йоду для фармацевтики. У світовому масштабі, завдяки попиту на азійські ринки та зростаючій популярності водоростей у Західній Європі та

Північній Америці, загальний обсяг виробництва ламінарії японської також продовжує зростати. [23-24]

Китай є найбільшим світовим виробником, забезпечуючи значну частину глобального постачання як для внутрішнього ринку, так і на експорт. У 2021 році Китай виробив близько 8,3 мільйона тонн мокрої ваги ламінарії (рис. 2.11 ). Японія, з іншого боку, зосереджується на менших обсягах, але надає пріоритет якості продукції для використання в харчовій промисловості. Південна Корея також підтримує значні обсяги виробництва, значно збільшивши обсяги вирощування за останні роки через зростання попиту на здорове харчування. [23-24]

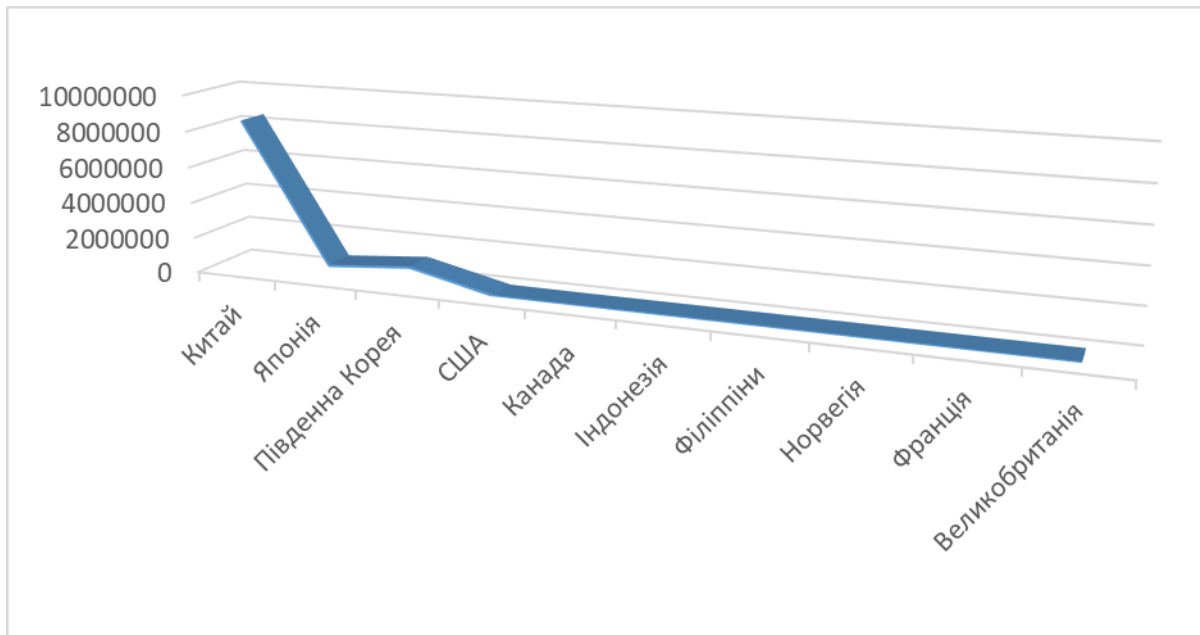


Рис. 2.11 - Обсяг вирощування ламінарії японської (тонн/рік)

Інші країни, такі як Росія та Франція, здійснюють виробництво на набагато меншому рівні (рис. 2.12 ). Наприклад, Росія, переважно з прибережних регіонів Приморського краю, використовує ламінарію для медичних потреб та як джерело йоду. [23-24]

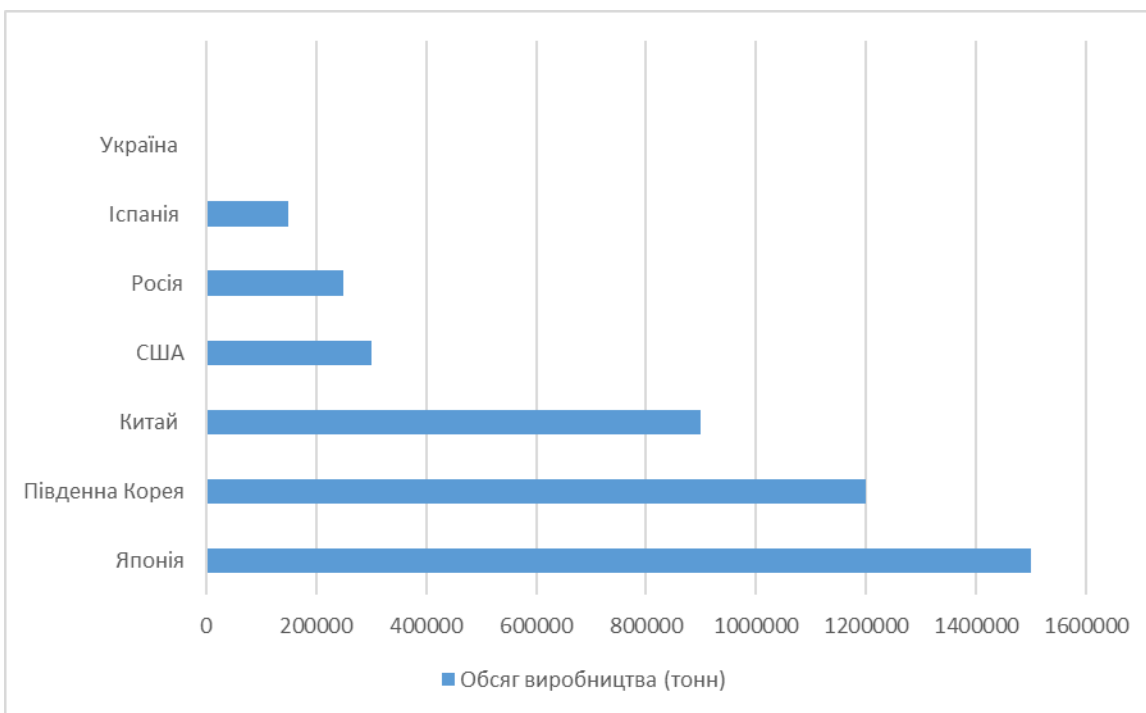


Рис. 2.12 - Обсяги виробництва ламінарії японської в різних країнах світу у 2023 р.

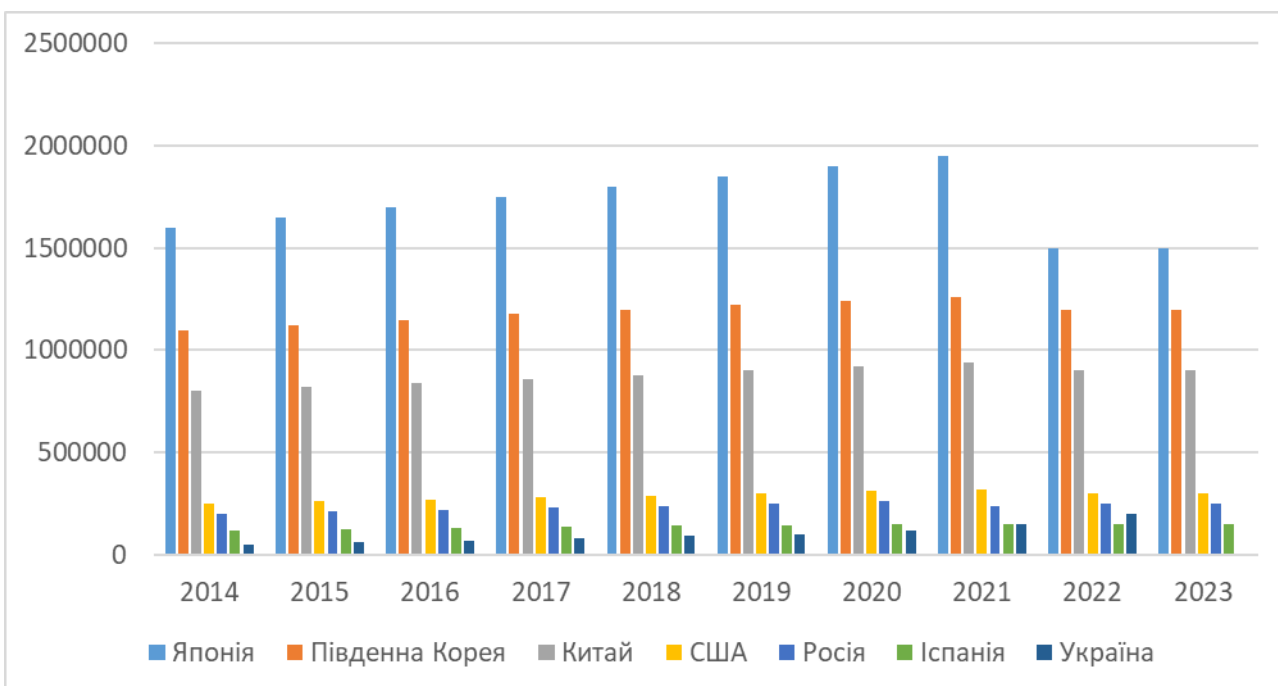


Рис. 2.13- Обсяги виробництва ламінарії японської (тонн) за період з 2014 по 2023 рр.

Загалом обсяги світового виробництва ламінарії японської продовжують зростати, оскільки ламінарія використовується не лише у харчовій промисловості, але й в фармацевтичному секторі, а також як кормова добавка та джерело біоактивних речовин. [25]

В Україні ламінарію японську (*Laminaria japonica*) вирощують здебільшого в Чорному та Азовському морях. Хоча Україна не є великим виробником ламінарії порівняно з азійськими країнами, у приморських районах південного регіону, де є сприятливі умови для культивування морських водоростей, ведуться проекти з її вирощування.

На півдні Одеської області та на узбережжі Миколаївської області вирощування водоростей ведеться на малих фермах. Тут наявні сприятливі умови для вирощування ламінарії, хоча через екологічні особливості та температуру води продуктивність нижча, ніж у країнах Азії. [25]

В Азовському морі також є можливості для вирощування водоростей, хоча воно має менш сприятливі умови через високий рівень солоності та більш різкі коливання температури, тому вирощування тут обмежене (табл. 2.4).

Деякі українські підприємства, агрокомпанії та фермерські господарства експериментують із вирощуванням ламінарії в умовах аквакультури. Також здійснюються спроби вирощування в умовах штучних морських ферм, де забезпечуються більш контрольовані умови. [25]

Таблиця 2.4 - Обсяги виробництва та методи вирощування ламінарії японської в Україні

Рік	Обсяг виробництва (тонн)	Регіон	Метод вирощування
2020	120	Одеська область	Природне вирощування
2021	180	Херсонська область	Гідропоніка
2022	220	Запорізька область	Вільне морське вирощування

Загалом в Україні вирощування ламінарії японської є новим напрямом, і його розвиток залежить від інвестицій, технологій, а також підтримки з боку держави. Наразі основні проекти знаходяться на етапі досліджень та пілотного впровадження. [25]

Щодо основних трендів у виробництві та експорті слід відзначити, що попит на продукти з ламінарії для дієтичного харчування та косметики значно зріс, що робить Китай та Південну Корею провідними постачальниками. Японія та Південна Корея фокусуються на високоякісних закусках з ламінарії, що особливо цінуються на ринках США та ЄС (табл. 2.5). Індонезія є лідером з експорту агар-агару, ключового продукту в кондитерській і фармацевтичній промисловості. [26]

Таблиця 2.5 - Основні експортери ламінарії та продуктів на її основі

Країна	Основні продукти для експорту	Основні ринки експорту	Примітки
1	2	3	
Китай	Сушена ламінарія, добавки, косметика	США, ЄС, Південна Корея	Китай є основним експортером.
Південна Корея	Закуси з ламінарії, косметика, фукус	Японія, США, ЄС	Високоякісні закуски з ламінарії
Японія	Норі, додаткові добавки	США, Південна Корея, Китай	Високий попит на японську якість
Індонезія	Сушена	ЄС, США, Китай	Великий ринок

Країна	Основні продукти для експорту	Основні ринки експорту	Примітки
1	2	3	
	ламінарія, агар-агар		агар-агару
Чилі	Сушена ламінарія, біо-добавки	США, ЄС	Експортує до країн Північної Америки

Останніми роками попит на ламінарію японську стабільно зростає завдяки її корисним властивостям і широкому застосуванню. Це сприяло збільшенню обсягів виробництва у більшості країн Азії, особливо в Китаї та Південній Кореї (табл. 2.6). Проте, зростання виробництва супроводжується екологічними викликами, такими як забруднення вод, яке негативно впливає на якість ламінарії. [26]

Таблиця 2.6 - Частка різних країн у загальносвітовому виробництві ламінарії японської за останні 10 років (%)

Рік	Китай	Японія	Південна Корея	Росія	Індонезія	Чилі
1	2	3	4	5	6	7
2013	73,8	12,8	7,1	4,3	1,4	0,7
2014	73,0	12,4	8,3	4,1	1,4	0,8
2015	69,5	12,9	9,0	5,1	2,6	0,8
2016	69,3	12,4	9,9	4,9	2,5	0,9
2017	66,8	12,7	10,4	5,8	3,5	0,9
2018	66,7	12,2	11,1	5,6	3,3	1,0

Рік	Китай	Японія	Південна Корея	Росія	Індонезія	Чилі
1	2	3	4	5	6	7
2019	64,7	12,5	11,5	6,2	4,1	0,9
2020	65,7	12,1	11,1	6,1	4,0	1,0
2021	63,8	12,4	11,4	6,7	4,8	0,9
2022	64,2	11,9	11,9	6,4	4,6	1,0
2023	63,0	11,4	11,4	7,0	5,2	1,1

Серед факторів, що впливають на обсяги виробництва ламінарії, слід відзначити наступні:

1. Кліматичні умови та забруднення. Вирощування ламінарії японської вимагає певних кліматичних умов, таких як стабільна температура води. У Китаї, Японії та Південній Кореї розвиток водорослевих ферм найбільше залежить від якості морської води, тому збільшення забруднення морів є серйозною загрозою для стабільності виробництва.

2. Технології вирощування. Високі технології вирощування в Китаї та Південній Кореї дозволяють підвищити якість продукції і знизити витрати на її виробництво. У Японії розвиток інноваційних методів культивування також підвищує ефективність вирощування.

3. Попит на внутрішньому та міжнародному ринках. Високий попит на ламінарію японську в країнах Азії, таких як Китай і Південна Корея, сприяє стабільному зростанню обсягів виробництва. Експортні можливості також є важливим фактором для виробників.

4. Екологічна стабільність та сталий розвиток. Деякі країни, наприклад Японія та Південна Корея, активно впроваджують принципи сталого розвитку, намагаючись зменшити негативний вплив виробництва ламінарії на екосистему. [27-28]

Отже, ламінарія японська є важливим економічним і культурним ресурсом для багатьох країн Азії. Найбільшим виробником є Китай, який постачає на світовий ринок близько 80% всієї продукції. Південна Корея та Японія також є значними виробниками, забезпечуючи внутрішній попит і експорт. У майбутньому можна очікувати подальше зростання виробництва ламінарії в регіоні, але при цьому важливо враховувати екологічні виклики, що стоять перед галуззю. [28]

Ламінарія японська має велике значення не тільки як економічний продукт, а й як важливий екологічний об'єкт. Її вирощування сприяє зниженню рівня CO<sub>2</sub> у морській воді, що допомагає боротися з кислотністю океанів. У галузях промисловості вона використовується для виробництва біоактивних добавок, харчових продуктів, добрив, косметичних засобів та у фармацевтиці.

Розмноження ламінарії японської як об'єкта марікультури є перспективним напрямком розвитку аквакультури. Використання сучасних методів і технологій дозволяє збільшити продуктивність і стабільність виробництва цієї водорості. Незважаючи на існуючі труднощі, ефективне вирощування ламінарії японської може стати основою для створення стійких і прибуткових підприємств у сфері марікультури. [28]

### **2.3 Порівняння витрат та прибутковості при вирощуванні ламінарії**

Ламінарія, відома також як морська капуста, є одним із найперспективніших видів морських водоростей для комерційного вирощування.

Вирощування ламінарії потребує значних початкових інвестицій та постійних витрат на обслуговування виробничих потужностей. Основні витрати можна поділити на кілька груп:

1. Стартові інвестиції – це закупівля обладнання для посадки та збору урожаю (сітки, кріплення, контейнери тощо); вартість субстратів, насіння ламінарії та спеціальних сіток; будівництво або оренда аквакультурних площ та їх підготовка.

2. Операційні витрати – це заробітна плата працівників для обслуговування ферми та збору ламінарії; витрати на енергопостачання та транспорт; лабораторний контроль якості води та моніторинг стану ламінарії; витрати на захист рослин від шкідників та хвороб.

3. Логістичні витрати – це витрати на перевезення готової продукції до місця переробки або зберігання та зберігання та упаковка для збереження якості ламінарії при транспортуванні на ринки збуту. [29]

Прибутковість бізнесу з вирощування ламінарії залежить від низки факторів, зокрема, від регіону, обсягу виробництва, ринку збуту та ефективності виробничого процесу.

Попит на продукцію відбувається тому, що ламінарія широко використовується в харчовій промисловості (для виробництва харчових добавок), а також у косметичній та фармацевтичній галузях. У зв'язку з цим попит на неї стабільно зростає. Підвищений інтерес до здорового харчування та органічних продуктів також сприяє зростанню попиту на ламінарію.

Вартість ламінарії може варіюватися залежно від її якості та місця збуту. У Європі ціна за 1 кг сухої ламінарії може досягати від 5 до 15 євро. У країнах Азії ціна нижча через велику кількість місцевих виробників, проте попит все одно значний. [30]

Обробка ламінарії (наприклад, сушка, подрібнення, упаковка) підвищує вартість готової продукції і дозволяє збільшити прибуток.

Продукти переробки ламінарії мають значний попит, зокрема, альгірати (застосовуються в харчовій та фармацевтичній промисловості) можуть принести додатковий дохід. [30]

Таблиця 2.7 - Середньорічний приріст обсягів виробництва ламінарії японської у різних країнах світу за останні 10 років

Країна	Початковий обсяг (2013), млн тонн	Кінцевий обсяг (2023), млн тонн	Приріст, млн тонн	Середньорічний приріст (%)
Китай	5,2	7,2	2,0	+3,3
Японія	0,9	1,4	0,5	+4,5
Південна Корея	0,5	1,3	0,8	+8,7
Росія	0,3	0,8	0,5	+9,8
Індонезія	0,1	0,6	0,5	+15,0
Чилі	0,05	0,12	0,07	+10,5

Якщо порівняти витрати та прибутковості, то слід відмітити наступне:

1. При достатньому обсязі виробництва та якісному менеджменті ферма з вирощування ламінарії може мати високу рентабельність. Навіть враховуючи витрати на початкові інвестиції, чистий прибуток може досягати 30–50% від загальних доходів, особливо при експорті продукції до країн з високим попитом.

2. Залежно від масштабів та ринкових умов, окупність проекту з вирощування ламінарії може становити від 2 до 5 років. Успішне планування з урахуванням сезонності та ринкових цін дозволяє скоротити цей термін.

3. Ламінарія росте переважно в холодній воді, тому для оптимального врожаю важливо враховувати температуру води та умови середовища. Інвестиції в моніторинг умов середовища можуть підвищити загальні витрати, але зменшують ризик втрати врожаю.

4. У деяких країнах існують програми підтримки аквакультурних ферм, що дозволяє знизити податковий тягар та отримати дотації на закупівлю

обладнання чи добрив. В Україні ця сфера ще не має широкої підтримки, однак перспективи розвитку аграрних програм можуть підвищити економічну вигоду. [30]

Вирощування ламінарії є економічно привабливим напрямом, оскільки попит на органічні морські продукти продовжує зростати. Основні витрати пов'язані з придбанням обладнання, підготовкою площ для вирощування, оплатою праці та збереженням продукції, тоді як основними джерелами прибутковості є продаж готової продукції та продуктів переробки. Незважаючи на ризики, такі як коливання цін та погодні умови, бізнес з вирощування ламінарії має значний потенціал для зростання і розвитку. [31]

У таблиці 2.8 порівняння витрат та прибутковості при вирощуванні ламінарії (морських водоростей) у різних країнах враховують регіональні економічні умови, витрати на робочу силу, інфраструктуру та відмінності в методах вирощування.

Таблиця 2.8 - Середньорічний приріст витрат на виробництво ламінарії японської у різних країнах світу за останні 10 років

Країна	Початкові витрати (2013), тис. доларів	Кінцеві витрати (2023), тис. доларів	Загальний приріст, тис. доларів	Середньорічний приріст (%)
1	2	3	4	5
Китай	1200	1700	500	+3,6
Японія	450	640	190	+3,7
Південна Корея	300	510	210	+5,8
Росія	100	200	100	+7,2
Індонезія	40	90	50	+9,6

Країна	Початкові витрати (2013), тис. доларів	Кінцеві витрати (2023), тис. доларів	Загальний приріст, тис. доларів	Середньорічний приріст (%)
1	2	3	4	5
Чилі	25	50	25	+7,2

Основними країнами-виробниками є Китай, Південна Корея, Японія, Індонезія, та Філіппіни, де витрати на робочу силу часто є низькими, що дозволяє скоротити операційні витрати. Наприклад, у Китаї та Індонезії витрати на робочу силу та матеріали є мінімальними, що сприяє прибутковості, особливо в традиційних формах вирощування поблизу берега.

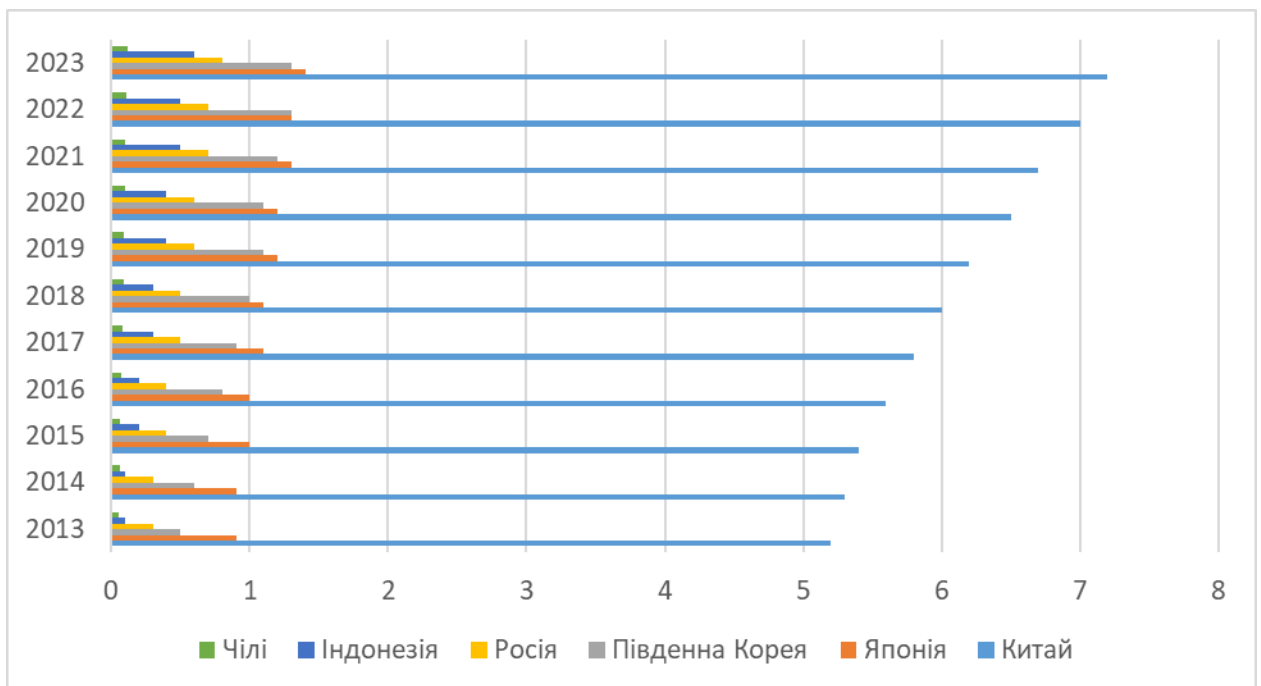


Рис. 2.14 - Обсяги виробництва ламінарії японської (млн тонн) у різних країнах світу за останні 10 років

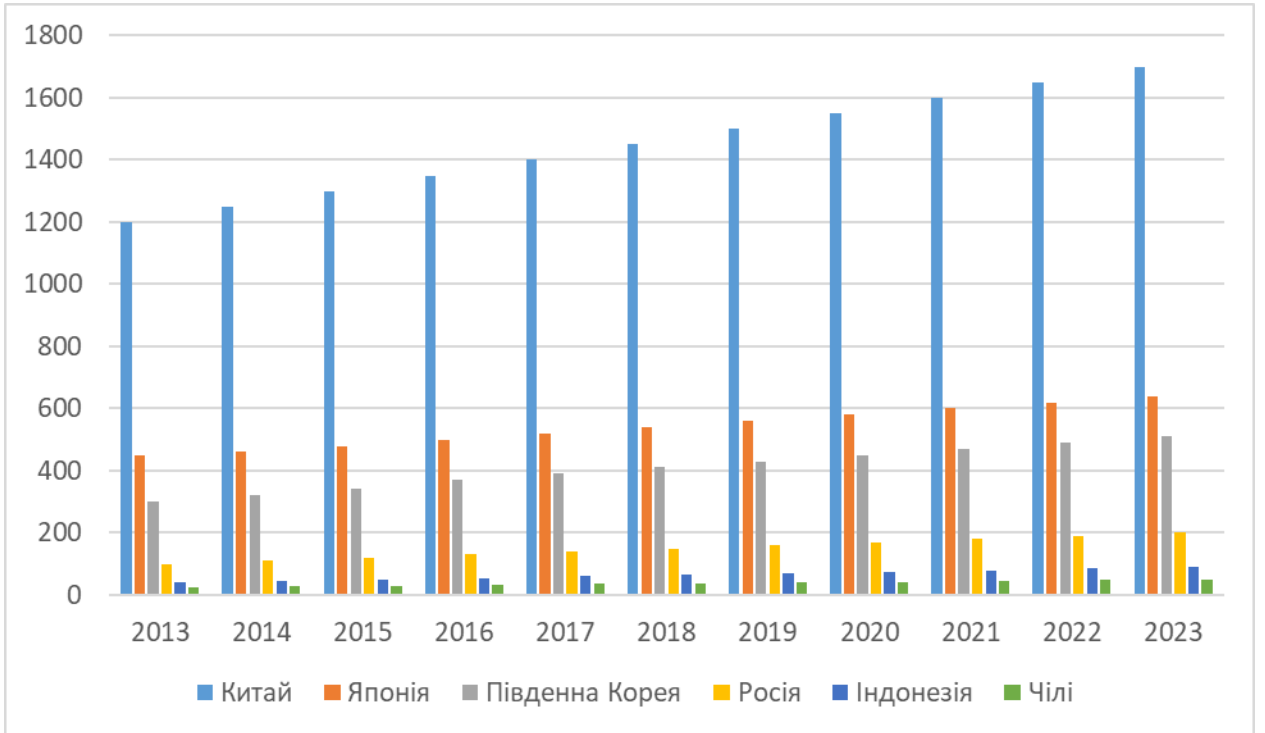


Рис. 2.15 - Витрати на виробництво ламінарії японської (тис. доларів США на рік) у різних країнах світу за останні 10 років

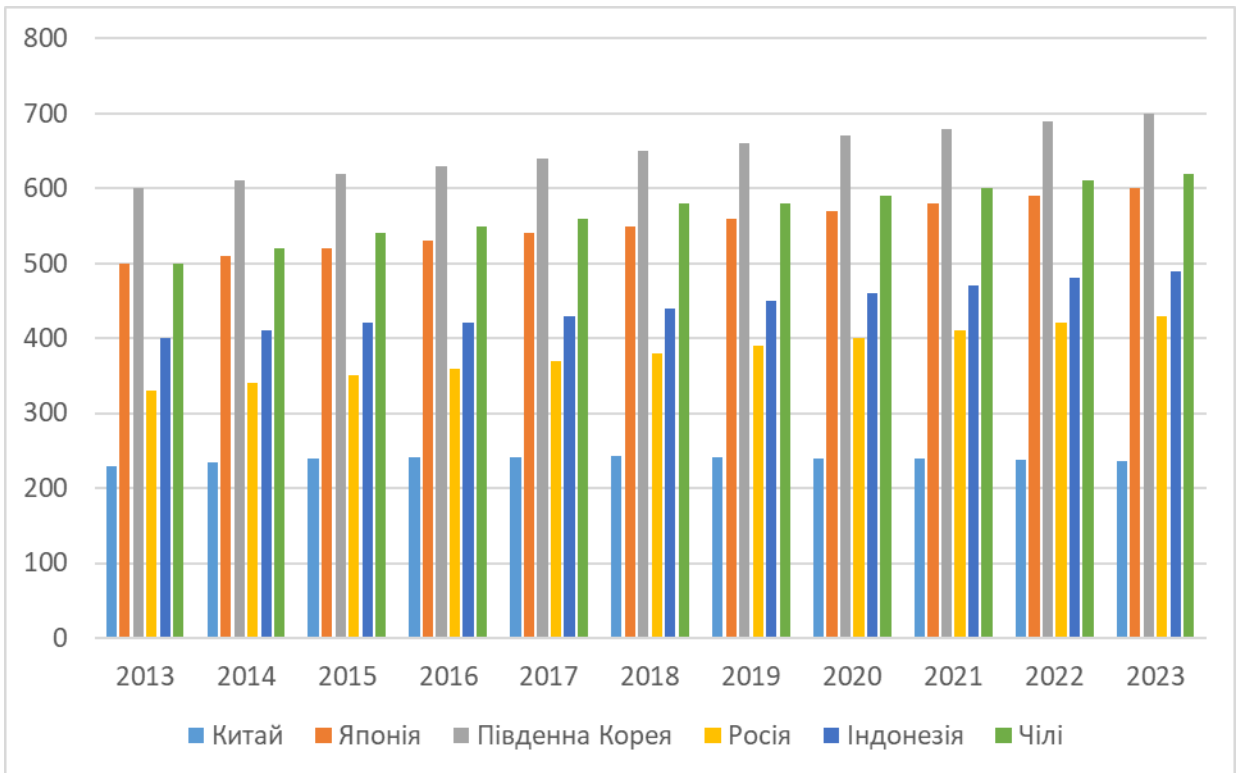


Рис. 2.16 - Витрати на виробництво ламінарії японської (тис. доларів на рік) на 1 млн тонн продукції у різних країнах

У країнах з високими витратами на робочу силу, таких як Японія та Корея, застосовують більш автоматизовані та технічно просунуті методи, щоб знизити залежність від працівників, що збільшує витрати на початкове обладнання, але забезпечує стабільний прибуток у довгостроковій перспективі. Використання інтегрованих систем аквакультури, які поєднують вирощування морських водоростей із іншими видами аквакультури, наприклад, з рибою або моллюсками, також значно покращує ефективність ресурсів, збільшуючи прибутковість за рахунок використання спільних ресурсів та скорочення витрат на добрива і воду. [32]

У цілому, порівняння показує, що морське господарство, яке застосовує сучасні методи вирощування ламінарії з низькими витратами та високою продуктивністю, забезпечує конкурентні переваги в таких регіонах, як Південно-Східна Азія, що становить майже 97% світового виробництва водоростей. Однак зростаюча потреба в екологічно чистих та відновлювальних продуктах робить вирощування водоростей перспективним і для інших регіонів світу, хоча ці країни можуть потребувати початкових інвестицій у технології та зменшення витрат на масштабування виробництва (наприклад, Європа та Америка). [31]

Дані щодо витрат та прибутковості вирощування ламінарії японської показують значні варіації залежно від країни, внаслідок відмінностей у методах вирощування, трудових витратах та природних умовах. Наприклад, у Китаї, який є одним із найбільших виробників ламінарії, основні витрати включають витрати на розсаду (близько \$0,50-0,60 на одну насадку), трудові витрати для збору та сушіння, а також витрати на обробку та транспортування. Завдяки низькій вартості робочої сили та великим обсягам виробництва, вирощування ламінарії тут є досить рентабельним. Однак загальні виробничі витрати можуть різнитися залежно від регіональних умов, технологічного рівня та техніки вирощування. [31]

У Японії та Кореї методи вирощування дещо інші, що також впливає на витрати. Наприклад, японські виробники часто використовують більш

складні технології для забезпечення оптимальних умов, таких як контроль температури та інтенсивності світла, що може підвищувати витрати, але також підвищує якість кінцевого продукту.

У країнах з менш розвиненою аквакультурною інфраструктурою, таких як В'єтнам або деякі європейські країни, вирощування ламінарії японської може бути менш прибутковим через вищі витрати на імпортоване обладнання та логістику, а також більш складний доступ до внутрішніх ринків. [32]

### 3 ПЕРЕРобКА Морських водоростей

Незважаючи на те, що це відносно нова галузь сільського господарства, вирощування водоростей часто розглядають як розв'язання багатьох проблем, пов'язаних із продовольчою безпекою, як-от брак землі, зміна клімату, неефективне та нестійке використання добрив, а також пов'язані з цим витік поживних речовин і забруднення води. Водорості можна вирощувати незалежно від орних земель і, особливо у випадку багатьох мікроводоростей, виробляти багату олією та/або білком біомасу з просторовою ефективністю, що набагато перевищує ефективність наземних рослин. Проте водорості і продукти, отримані з водоростей, майже виключно виробляються для дорогих і дрібнооптових ринків і далекі від того, щоб конкурувати з дешевими товарами, такими як рослинні білки або викопне паливо. [32]

Основною причиною цього вважаються високі інвестиційні та виробничі витрати. Розробка нових технологій виробництва; монетизація екосистемних послуг, таких як очищення води, секвестрація CO<sub>2</sub> і повторне використання поживних речовин; а також одночасне виробництво та збут «дорогих, малих об'ємів» і «малоцінних, великих об'ємів» продуктів з однієї й тієї самої біомаси водоростей є найобіцяючішими шляхами вперед. Стійка «індустрія водоростей» може стати невід'ємною частиною біоекономіки майбутнього, забезпечуючи більш ресурсоефективне виробництво харчових продуктів і палива та створення нових продуктів, компаній і робочих місць.

Водорості являють собою поліфілетичну групу організмів з чотирьох різних біологічних царств: бактерії, рослини, хромісти і найпростіші. Близько 44 000 видів було науково описано, але реальна кількість, хоча і залежить від того, яке визначення «водоростей» використовується, буде набагато вищою, а за деякими оцінками вона досягає мільйона різних видів. Будучи фотоавтотрофними організмами, водорості є відправною точкою більшості

харчових мереж у водних екосистемах. Продуктивність біомаси багатьох видів водоростей набагато вища, ніж у наземних рослин, і їх можна ефективно культивувати без антибіотиків і пестицидів у прісній або морській воді. Ці фактори, а також високий вміст у них вітамінів, поліненасичених жирних кислот та інших корисних сполук призвели до збільшення споживчого попиту і комерційного інтересу до виробництва водоростей протягом останніх десятиліть. [32]

Великомасштабне вирощування мікроводоростей і морських водоростей - це абсолютно нова галузь аквакультури, що виникла тільки в середині двадцятого століття, коли світове промислове виробництво водоростей було близьким до «нуля» тонн. Першим комерційним культивуванням мікроводоростей було *Chlorella vulgaris*, яке почалося в Японії в 1960-х роках. Згідно з оцінкою, у 2004 році світове виробництво мікроводоростей становило близько 5000 тонн (суха вага) і 1,25 мільярда доларів США на рік. Відтоді виробництво, ймовірно, значно збільшилося; проте напрочуд важко знайти надійні дані про це. Виробництво морських водоростей також швидко зростало: за оцінками ФАО, світове виробництво збільшилося більш ніж удвічі, з 14,7 млн тонн (сирої ваги) у 2005 році до 30,4 млн тонн у 2015 році, що становить приблизно 6 млрд доларів США. Порівняно зі світовим сільськогосподарським виробництвом, що становить приблизно 1,6 трлн тонн, це, як і раніше, вкрай мало. [33]

З 220 видів морських водоростей, які використовуються в комерційних цілях, більшість вирощують на шельфі, в морському середовищі, в той час як в дикій природі видобувають лише близько 1,1 мільйона тонн - число, яке в останні роки не змінювалося. Більша частина вироблених морських водоростей використовується або в їжу людиною (приблизно 47%), або для виробництва гідролоїдів (понад 50%), таких як агар, карагенан і альгінат. Продуктивність різних морських водоростей на прибережних фермах у Японії становить від 1,3 кг/м<sup>2</sup> для *Laminaria angustata* до 8,3 кг/м<sup>2</sup> для *Sargassum macrocarpum* і, таким чином, порівнянна з

продуктивністю наземних культур. За оцінками Світового банку, 5 млн квадратних кілометрів площі вирощування морських водоростей - приблизно 0,3% поверхні океану - було б достатньо для виробництва такої самої кількості біомаси, яка щороку виробляється в усьому світовому сільському господарстві. [34]

Незважаючи на те, що мікрководорості просторово більш продуктивні, ніж наземні рослини і макрководорості - наприклад, спіруліна виробляє приблизно в 10 разів більше біомаси на гектар, ніж високоврожайні гібриди кукурудзи, - їхнє виробництво все ще дорожче, особливо через високі початкові капіталовкладення і виробничі витрати. З цієї причини виробництво мікрководоростей здебільшого зосереджене на виробництві «малих об'ємів, але цінних» продуктів, таких як  $\beta$ -каротин, астаксантин, докозагексаєнова кислота, докозапентаєнова кислота, фікобілінові пігменти та екстракти водоростей, для використання у косметичці, а не «великих об'ємів, але малоцінних» продуктів, таких як біопаливо, харчові продукти або корми. [34]

Те ж саме стосується морських водоростей, які дехто також вважає ідеальною культурою для виробництва біопалива через високий вміст вуглеводів, що становить приблизно 50%. За таких низьких цін на викопне паливо нині мало шансів на конкурентоспроможність. Одним із способів подолання цієї проблеми в разі виробництва мікрководоростей є або розробка масштабованої технології фототрофного виробництва, або розробка переконливої концепції біопереробки для багаторазового використання біомаси водоростей. Обмеження світла і технологічні обмеження є найбільш складними завданнями. Інший підхід орієнтований на монетизацію екосистемних послуг, які можуть надати водорості: очищення води, пом'якшення наслідків зміни клімату тощо. Цей підхід, хоча й багатообіцяючий, вимагає значних змін у законодавчому устрої економічної системи і, таким чином, є досить суперечливим.

Ідеальна виробнича система для вирощування водоростей не орієнтована лише на виробництво одного продукту. Натомість вона використовує переваги екосистемних послуг, які можуть надавати водорості, і витягує кілька продуктів з однієї й тієї ж біомаси. Це має як економічні, так і екологічні переваги. Сьогодні встановлено три різні методи виробництва: системи відкритого басейну, фотобіореактори та ферментери. Кожна технологія має свої переваги та недоліки. Рішення про те, яку з них обрати, має сильно залежати від кінцевого продукту та/або застосування, видів мікродоростей і виробничих витрат. Поряд із доступністю води (особливо для вирощування прісноводних видів) і високим рівнем сонячної радіації важливими факторами, які слід враховувати, є витрати на робочу силу та енергію, оскільки вони є основними факторами виробничих витрат. Однак це було б занадто просто. Прісноводні водорості можна, наприклад, використовувати для обробки стічних вод або в районах з надлишком прісної води. З іншого боку, ферментація легко масштабується, відносно дешева і цікава для «переробки» органічних сполук вуглецю, таких як декстроза або кислота, в біомасу, яка багата на такі сполуки, як омега-3 або антиоксиданти. Крім того, CO<sub>2</sub> від ферментації можна використовувати для підвищення продуктивності фотобіореакторів. [35]

Пігменти, такі як хлорофіл, каротиноїди або фікобіліпротеїни, а також біологічно активні сполуки, що використовуються для фармакологічного застосування, можуть бути витягнуті з водоростей як побічні продукти екстракції олії або білка. Це може допомогти компенсувати високі витрати на вирощування і збір врожаю і, таким чином, зробити і водоростеві білки більш конкурентоспроможними. Однак у цьому методі екстракції використовуються хімічні речовини, такі як метанол і гексан, які можуть збільшити вплив на навколишнє середовище.

Оскільки для виробництва водоростей потрібна не тільки вода і вуглекислий газ, а й низка макроелементів, таких як азот і фосфор, це може бути ідеальною виробничою системою для виробництва біомаси з певних

потоків відходів. Значна кількість цих поживних речовин використовується в сільському господарстві і потрапляє в моря та озера, що часто призводить до шкідливого цвітіння водоростей. Вирощування морських водоростей у дельтах, гирлах річок або затоках може не тільки принести прибуток від цього ресурсу, а й допомогти зменшити вплив на навколишнє середовище біогенних стоків, що утворюються внаслідок сільськогосподарської діяльності. Ще одне питання, яке набуває дедалі більшого значення, полягає в тому, як переробляти потоки міських відходів. За оцінками, до 2050 року 68% населення світу житиме в містах. Потенційним рішенням для повторного використання поживних речовин за таких обставин може бути міське/вертикальне вирощування водоростей, потенційно в приміщенні, наприклад, під теплицями на дахах, з використанням закритих або напівзакритих реакторних систем. Уже є кілька реалізованих концепцій, як-от «Algenhaus» у Гамбурзі, Німеччина, і безліч теоретичних концепцій про те, як інтегрувати ферми водоростей у сучасну архітектуру. [35]

Біоочищення стічних вод набуває дедалі більшого значення, особливо в міських умовах, і тому це одне із застосувань мікробіології, що викликало найбільший інтерес. Використовуючи фототрофні водорості в процесі біоремедіації, витрати на енергію та викиди парникових газів під час очищення стічних вод можуть бути знижені, оскільки створюватиметься біомаса, яку можна переробляти на біогаз або паливо, а кисень, який виробляють водорості, потенційно можна використати для інших етапів обробки, як-от аеробна ферментація, щоб підвищити їхню ефективність. І навпаки, CO<sub>2</sub>, який утворюється під час спалювання біогазу, можна подавати в біореактори для збільшення росту водоростей. На додаток до виробництва питної води та зв'язування невідновлюваних поживних речовин, таких як фосфати, і поновлюваних поживних речовин, таких як азот, водорості як частина очищення стічних вод, таким чином, зменшать вплив цього процесу на навколишнє середовище. Ймовірним недоліком порівняно з «традиційним» очищенням стічних вод буде потреба в більшому просторі.

Близько 100 га відкритих ставкових біореакторів буде достатньо для очищення стічних вод від 165000 до 235000 осіб. Територія такої станції очищення стічних вод/водорослевої ферми не повинна обмежувати сільськогосподарські угіддя або житловий простір міського населення. [35]

Азотфіксувальні ціанобактерії (синьо-зелені водорості) довгий час використовували як інокулянт на рисових полях для підвищення врожайності. Подібні ціанобактерії є природними симбіонтами деяких бобових і відомі своїм потенціалом N-фіксації. Ці ціанобактерії можуть фіксувати азот як макроелемент з повітря і одночасно витягувати фосфор зі стічних вод, що було б цікавим застосуванням і розширенням традиційного використання цих видів. [35-37]

Промисловість водоростей не старша за 70 років і в даний час в основному виробляє екстракти для харчових продуктів та інших галузей, таких як косметика і медицина. Високі темпи зростання в цих секторах, а також нові інновації, як-от стійке пакування з морських водоростей, що замінює пластмасу на масляній основі, вселяють оптимізм щодо майбутнього вирощування водоростей. Але крім виробництва чистої біомаси існує величезний потенціал для розвитку стійкої індустрії водоростей по всьому ланцюжку створення вартості, підтримуваної сильними прикладними дослідженнями та підвищенням цінності колекцій штамів і генетичних ресурсів, а також патентами, новими додатками, технологіями, і розробкою продуктів. Це може стати важливим кроком на шляху до розвитку біоекономіки при створенні нових можливостей для освіти, інновацій, послуг і робочих місць. [35-37]

Людина використовує морські водорості здавна. В Азії (Китай, Японія, Корея, В'єтнам, Філіппіни) культура використання водоростей налічує століття: вже у VIII столітті їх застосовували в медицині, вживали в їжу, а як добриво вони використовувалися, мабуть, ще до Нової Ери. У XVII столітті в Японії та Китаї вже було налагоджено виробництво агар-агару. У приморських країнах Європи (Франція, Ірландія, Шотландія, Норвегія) з XII

століття водорості застосовували як добрива на городах і виноградниках, додавали до корму домашнім тваринам, а з XVII століття з їхньої золи (що називалася «keļp», звідки термін перейшов на зарості ламінарієвих) почали отримувати соду для скляного і керамічного виробництва. У 1811 році з водоростей було вперше отримано йод, що поклало початок промислового використанню водоростевої сировини. [36]

Бурі та червоні водорості - незамінне джерело фікоколоїдів, головна властивість яких - здатність утворювати стійкі гелі. Синтезувати такі речовини як агар-агар, карагенан і альгірати (солі альгінової кислоти) не вдається. Фікоколоїди широко використовують у безлічі галузей промисловості: харчовій, мікробіологічній, фармакологічній, текстильній, лакофарбовій тощо. Їх щорічне виробництво оцінюють у 650-1002 млн.доларів США. Водоростеві продукти застосовують у косметології та медицині, зокрема як радіопротектори, протиракові та протиопікові засоби.

У світі щорічно видобувають понад 19 млн тонн (сира маса) морських водоростей, причому видобуток із природних заростей становить 0,9 - 1 млн тонн, а решту виробляє марікультура. Найбільше вирощують бурі та червоні водорості: по 6,5 млн тонн. Найпотужніше розвинена марікультура водоростей у Китаї, що виробляє щороку до 10 млн тонн бурих альгінофітів ламінарії та ундарії, червоних агарофітів грацилярії та еухеуми, їстівної багрянки порфіри тощо. Виробництво водоростевої сировини розвинене також у Японії, Південній Кореї, Індонезії, на Філіппінах - тобто скрізь, де є тепле море, яке ніколи не замерзає, і дешева місцева робоча сила. [35-37]

### **3.1 Типи водоростей, що використовуються для виробництва біопалива**

Біопаливо можна отримати з морських водоростей методом піролізу. Цей процес передбачає нагрівання морських водоростей за відсутності кисню

для виробництва біонафти, біовугілля і синтез-газу, які можна використовувати як поновлюване джерело енергії, знижуючи залежність від викопного палива і скорочуючи викиди парникових газів.

Водорості є універсальним джерелом біопалива, пропонуючи стійку альтернативу традиційному викопному паливу. Існує кілька типів водоростей, які використовуються для виробництва біопалива, кожен з яких має свої унікальні характеристики, які роблять його відповідним вибором для різних застосувань. [38]

1. Мікрowodорості є найбільш часто використовуваним типом водоростей для виробництва біопалива. Це невеликі, одноклітинні організми, які можуть швидко рости і виробляти високу кількість ліпідів, що можуть бути перетворені в біодизель. Мікрowodорості можна вирощувати у відкритих ставках або закритих фотобіореакторах, що робить їх гнучким варіантом для виробництва біопалива. Крім того, мікрowodорості можуть бути використані для захоплення вуглекислого газу з промислових процесів, що робить їх стійким вибором для скорочення викидів.

2. Макрowodорості, також відомі як морські водорості, являють собою тип водоростей, які можна використовувати для виробництва біопалива. Вони більші, ніж мікрowodорості, і можуть вирощуватися на океанських фермах або на суші. Макрowodорості можуть бути перетворені в біоетанол, біогаз або інші форми біопалива. Вони також багаті на полісахариди, що робить їх цінним джерелом біологічних хімічних речовин і матеріалів.

3. Ціанобактерії, також відомі як синьо-зелені водорості, є типом бактерій, які можна використовувати для виробництва біопалива. Вони фотосинтетичні та можуть рости в широкому спектрі середовища, включно з прісною водою, солоною водою та ґрунтом. Ціанобактерії можуть виробляти велику кількість водню, який можна використовувати як паливо або перетворити в інші форми біопалива. Вони також є стійким варіантом для скорочення викидів вуглекислого газу.

4. Діатомові - це тип водоростей, які мають унікальну клітинну структуру, що робить їх цінним джерелом біопалива. Вони одноклітинні та мають клітину-кремнетичну стінку, яку можна використовувати для отримання біологічних матеріалів. Діатоми також можуть виробляти велику кількість ліпідів, що робить їх потенційним джерелом біодизеля.

5. Зелені водорості - це тип водоростей, які схожі на рослини в їхній клітинній структурі та фотосинтетичному процесі. Їх можна вирощувати в прісній воді або солоній воді та можуть виробляти велику кількість ліпідів, що робить їх потенційним джерелом біодизеля. Крім того, зелені водорості можуть бути використані для захоплення вуглекислого газу з промислових процесів, що робить їх стійким варіантом для скорочення викидів. [39]

Існує кілька типів водоростей, які можна використовувати для виробництва біопалива, кожен з яких має свої унікальні переваги. Мікрowodорості є найбільш часто використовуваними типами водоростей, але макрowodорості, ціанобактерії, діатомові та зелені водорості також є життєздатними варіантами. Вибір водоростей, які використовуються для виробництва біопалива, залежатиме від таких факторів, як доступність ресурсів, бажаний кінцевий продукт і вплив на навколишнє середовище. Незалежно від типу використовуваних водоростей, біопалива на основі водоростей пропонують стійку альтернативу традиційному викопному паливу, скорочення викидів і просування більш стійкого майбутнього. [40]

### **3.2 Внесок у забезпечення продовольства, харчування та підтримання здоров'я людини**

Ламінарія, або морська капуста - корисна бура водорість, відома в усьому світі своїми лікувальними та омолоджувальними властивостями. Однак, незважаючи на нескінченні оди і велике розмаїття товару на полицях супермаркету, зелена закуска так і не увійшла в щоденний і звичний раціон

росіян. Багато хто воліє обходити стороною цей продукт через специфічний смак, забуваючи про довгий список вітамінів і мікроелементів у його складі.

На найвищій сходинці рейтингу - йод, необхідний щитовидній залозі для нормального функціонування. Його кількість залежить від сорту ламінарії, технології видобутку та обробки сировини. Всього 100 г корисної капусти здатні забезпечити добову норму мікроелемента для дорослої людини. [41]

Також бурі водорості славляться високим вмістом калію, натрію, сірки, міді, магнію, заліза, фосфору і вітамінів: А, В1, В2, В12, С, D, Е. Завдяки такому багатству ламінарія має попит як інгредієнт для біологічно активних добавок, а також у галузі фармакології та інших промислових сферах.

Водорості за своєю продуктивністю значно перевершують дерева і трави, синтезують значну кількість біомаси та різноманітні біологічно активні речовини, що виконують певні фізіологічні функції. Найбільшими представниками водоростей, до кількох метрів завдовжки, є бурі водорості - ламінарієві (Laminariales) і деякі фукусові (Fucales). У промисловості основними компонентами, що видобуваються з ламінарії, є альгінова кислота і маніт. Наразі решту компонентів водоростей класифікують як відходи. Однак після додаткової обробки вони можуть бути використані в біотехнології [41].

Збільшення захворювань населення в усьому світі в останні десятиліття фахівці пов'язують як із порушенням екології через безконтрольне використання отрутохімікатів, мінеральних добрив, забрудненням середовища промисловими, транспортними відходами тощо, так і з незбалансованим харчуванням. У зв'язку з цим дедалі більше зростає необхідність використання в їжу натуральних продуктів, збалансованих за мікронутрієнтами, які містять біологічно активні речовини (БАР), що позитивно впливають на функції органів і тканин людини. До харчових продуктів стали ставитися як до ефективного засобу, що поліпшує фізичне і психічне здоров'я, знижує ризик виникнення багатьох захворювань.

У цій ситуації морські водорості та їхні біологічно активні компоненти можуть бути використані для профілактики і лікування низки «хвороб цивілізації», а також з метою усунення наслідків впливу отруйних речовин на організм людини. Біокомпоненти бурих водоростей мають безсумнівні фармакологічні властивості - це альгірати, фукоїдан, фукоїдан, ламінаран, маніт, мікро- і макроелементи, вільні амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти, вітаміни тощо. Останніми роками зростає розуміння необхідності використання в їжу натуральних продуктів, що не містять хімічних домішок, тому неважко передбачити, що серед них водоростям, з огляду на їхній унікальний хімічний склад, належатиме особливе місце. Нині, коли стали відомі фармакологічні властивості багатьох біокомпонентів водоростей, науковці всього світового співтовариства приділяють підвищену увагу розробці технологій одержання функціональних харчових продуктів із водоростей та їхніх БАР. При цьому в одних випадках водорості можна використовувати як сировину для приготування самостійних продуктів. В інших випадках використовувати їхні похідні як харчові добавки, що підвищують якість основних продуктів шляхом збереження або поліпшення їхньої структури, смаку, зовнішнього вигляду та подовження термінів зберігання. [41]

Промислові ламінарієві водорості - *Laminaria japonica*, *Laminaria angustata*, *Laminaria digitata*, *Laminaria sac-charina* - в основному використовують для виробництва харчових продуктів, маніту та альгіратів, фукусові - для технічних цілей. До теперішнього часу фукусові водорості не використовують у харчовій промисловості, хоча їхній якісний хімічний склад ідентичний такому ламінарієвих водоростей, але в кількісному відношенні дещо відрізняється.

Харчові продукти з морських водоростей, які випускають нині, доволі одноманітні - салати або консерви. Для цих цілей здебільшого використовують бурі водорості сімейства ламінарієвих або, як її називають, «морська капуста».

У харчовій промисловості широко застосовується полісахарид бурих водоростей - альгінат, який має структуроутворювальні властивості. Процес виділення альгінату складається з безлічі операцій, які потребують точного їх проведення і потребують складного дорогого устаткування (особливо на стадії сушіння), і у зв'язку з цим, ця технологія є енерго- і металомісткою, що вимагає значних витрат. Отримання водоростевих гелів або неочищеного від клітковини альгінату значно спрощує і здешевлює технологію.

Розробка і впровадження комплексної технології переробки бурих водоростей є актуальною та економічно доцільною, у зв'язку з можливістю одержання широкого спектра продуктів і напоїв, які містять біологічно активні речовини водоростей, з лікувально-профілактичними та фармакологічними властивостями. [41-42]

Нині понад вісімдесят видів водоростей вживають у їжу. З червоних водоростей переважно застосовують порфіру (*Porphyra tenera*), яку вважають делікатесом у багатьох країнах. Порфіру головним чином використовують для приготування сухих пластинок «норі» з різноманітними смаками, що користуються великою популярністю в цих країнах. У їжу також використовують червоні водорості каппафікус (*Gracilaria*), геледіум (*Gelidium*), хондрус (*Chondrus*), гігартіна (*Gigartina*) і деякі інші. Із зелених найбільшим успіхом користуються ентероморфа (*Enteromorpha*) і ульва (*Ulva*).

Із численних видів бурих водоростей як харчові використовують ламінарієві (*Laminariales*) і алярієві (*Alaria*).

Лікувально-профілактична дія продуктів із бурих водоростей зумовлена присутністю в них БАР: альгінатів, фукоїдану, ламінарану, а також макро- і мікроелементів, вітамінів та інших речовин.

Нині широке застосування, як у харчовій промисловості, так і у фармакології знайшли харчові добавки та біологічно активні добавки до їжі (БАД) з морських водоростей. Їх застосовують не тільки для корекції структурно-механічних властивостей їжі, але також і як активні лікувально-

профілактичні засоби. Для цих цілей широко застосовують ламінарієві водорості та продукти їхньої переробки (альгінова кислота, альгінати, маніт, ламінаран та ін.). [41]

Більша частина *Laminaria japonica* використовується в їжу. Крім своєї ролі як «здорового» овоча, *Laminaria* також важлива як сировина для утримання в ній альгіну, маніту і йоду в спеціальній програмі з комплексного використання *Laminaria*. Нещодавно водорості були використані в переробці синтетичних кормів, що використовуються в марикультурі. Раніше водорості продавали на ринку тільки в сирому сушеному вигляді, але нещодавно на ринку з'явилися невеликі пакування подрібнених і приправлених форм із різними смаками, і їх дуже добре сприйняли люди. [41-42]

### 3.3 Внесок в аквакультуру

Крім безпосереднього внеску у виробництво продукції аквакультури, морські водорості та мікрowodорості мають важливе значення для розвитку інших видів діяльності в цьому секторі. Завдяки здатності морських водоростей поглинати вуглекислий газ і витягувати неорганічні поживні речовини (азот і фосфор) з води, в якій вони перебувають, спільне вирощування морських водоростей і розведення тварин у рамках єдиної системи виробництва видається перспективним напрямком, адже дає змогу збільшити екологічні й економічні вигоди завдяки оптимальнішій рециркуляції поживних речовин та ефективнішому використанню рибницьких площ. [42-43]

Система інтегрованої мультитрофічної аквакультури (ІМТА) дає змогу отримувати не тільки екологічні, а й економічні вигоди. Існують різні види систем ІМТА, наприклад:

- вирощування водоростей роду *Gracilaria* у ставках для розведення креветок або риб;

- спільне вирощування у відкритому океані ламінарієвих водоростей і двостулкових молюсків (мідій, устриць або гребінців), до яких іноді додають детритофагів, таких як морські огірки.

Морські водорості використовуються як основний кормовий матеріал при вирощуванні в аквакультурі морських вушок, морських їжаків і морських огірків. Вони також використовуються як добавка до корму для риб, будучи джерелом необхідних амінокислот, корисних полісахаридів, жирних кислот, антиоксидантів, вітамінів і мінералів. [42-43]

Мікрowodорості з високим вмістом ліпідів можуть застосовуватися для виробництва водоростевих олій як замітник риб'ячого жиру. Для всіх водних тварин мікрowodорості слугують основним джерелом корисних довголанцюгових омега-3 жирних кислот. Астаксантин, який отримують із зелених мікрowodоростей виду *Haematococcus pluvialis*, використовують як підсилювач пігментації в лососеводстві. Багато розплідників займаються вирощуванням мікрowodоростей для забезпечення живого корму, прямо або опосередковано (наприклад, шляхом розведення зоопланктону), як стартового корму і для годівлі личинок риб, молюсків, ракоподібних або інших водних тварин. Мікрowodорості, що вирощуються для цих цілей, є проміжним продуктом аквакультури, який зазвичай не враховується в офіційній статистиці. [43]

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра розглянуті та проаналізовані наступні питання: досліджено біологічні особливості ламінарії японської (*Saccharina japonica*), включаючи її життєвий цикл, адаптаційні властивості до умов навколишнього середовища, специфічні для умов марікультури та досліджені методи розмноження та вирощування ламінарії у промислових умовах, враховуючи різні біотичні та абіотичні фактори, що впливають на її ріст та розвиток, також розглянуті технології переробки ламінарії японської, зокрема методи, що забезпечують збереження біологічно активних речовин у кінцевих продуктах та визначена економічна ефективність виробництва ламінарії у марікультурі.

Отже, встановлено:

1. Біологічні особливості ламінарії японської (*Saccharina japonica*) обумовлюють її високу адаптивність до умов морського середовища та сприятливі перспективи для культивування в марікультурі. Життєвий цикл цієї водорості дозволяє застосовувати як природні, так і штучні методи розмноження, що є основою для ефективного відтворення ресурсів.

2. Оптимізація абіотичних умов, таких як температура, світло та солоність води, сприяє покращенню показників росту і продуктивності водорості, що забезпечує стабільний урожай високоякісної сировини для подальшої переробки.

3. Аналіз технологій переробки ламінарії японської виявив, що найбільш ефективними є методи, які зберігають вміст біологічно активних речовин (полісахаридів, йоду, мінералів та вітамінів). Це підвищує цінність продуктів на основі ламінарії для харчової промисловості, медицини, косметології та інших галузей.

4. Використання сучасних методів і технологій дозволяє збільшити продуктивність і стабільність виробництва цієї водорості. Незважаючи на

існуючі труднощі, ефективне вирощування ламінарії японської може стати основою для створення стійких і прибуткових підприємств у сфері марікультури.

5. Високий попит на продукти з ламінарії та порівняно низькі виробничі витрати свідчать про перспективність цієї галузі марікультури. Це сприяє подальшому розвитку технологій вирощування та переробки, зокрема для внутрішнього ринку та експорту.

6. Використання ламінарії японської у харчовій промисловості та медицині довело її значний потенціал як джерела біологічно активних речовин, що сприяють зміцненню здоров'я та запобіганню ряду захворювань. Її продукти можуть бути важливим компонентом функціонального харчування, що відповідає сучасним вимогам споживачів до якості та натуральності харчових продуктів.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Белінський, А. В., та ін. (2018). Технології аквакультури: теорія і практика. Київ: Видавництво Наукова думка.
2. Козлов, А. В. (2020). Ламінарія: біологічні та економічні аспекти вирощування. Журнал морських досліджень , 45(2), 120-134.
3. Алієва, О. С., Якушев, М. В. (2019). Переробка морських водоростей та перспективи використання ламінарії. Одеса: Морський університет.
4. Біоремедіація водойм URL: [https://www.darg.gov.ua/\\_bioremediacija\\_vodojm\\_247\\_1\\_0\\_9376\\_1.html](https://www.darg.gov.ua/_bioremediacija_vodojm_247_1_0_9376_1.html)
5. Важливість добрив у сільському господарстві URL: <https://prometeyagro.com.ua/2018/10/29/vazhlivist-dobriv-u-silskomu-gospod/>
6. Федорова, Н. І., Сидоренко, А. Л. (2021). "Фізіологія та екологія морських водоростей: приклад ламінарії японської". Науковий журнал аквакультури , 32(3), 215-230.
7. Важливість добрив у сільському господарстві URL: <https://prometeyagro.com.ua/2018/10/29/vazhlivist-dobriv-u-silskomu-gospod/>
8. Чен, Ю., Лі, Дж. (2020). Марікультура ламінарії в Азії: теоретичні основи та практичне застосування. Токіо: Азіатська Академія Рибальства.
9. Вирощування морських водоростей URL: <http://vismar-aqua.com/viroshhuvannya-morskih-vodorostej.html>
10. Карасьов, І. М. (2017). Водорості та їх біотехнологічне використання у промисловості та харчуванні . Харків: Біотехнологія.
11. Lee, S., Kim, J. (2019). Growth and reproduction of Japanese kelp (*Laminaria japonica*) under different environmental conditions. Journal of Marine Science and Technology , 27(4), 485-495.
12. Водорості (зелені, бурі, червоні, діатомові) URL: <https://vseosvita.ua/blogs/vodorosti-zeleni-buri-chervoni-diatomovi-84914.html>

13. Петрова, Т. П. , Михайлова, В. А. (2022). Перспективи розвитку марікультури в Україні. Журнал біоресурсів та технологій , 6(1), 58-65.
14. Водорості як природні концентрати функціональних інгредієнтів та їх використання URL:  
<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/32e6e4be-797b-4043-8873-50d549da99b4/content>
15. Енциклопедична стаття. Альгологія URL:  
<https://esu.com.ua/article-43891>
16. Yoshikawa, T., Mori, H. (2018). Industrial Processing of Seaweed: Focus on *Laminaria japonica* . Kyoto: Seafarm Press.
17. Мартиненко, О. В., Кириченко, Н. О. (2020). Економічна ефективність виробництва ламінарії японської. Економіка і менеджмент аквакультури, 11(2), 97-104.
18. Значення водоростей у природі та житті людей Електронний ресурс. URL:[https://sm.darg.gov.ua/\\_znachennja\\_vodorostej\\_u\\_0\\_0\\_0\\_1370\\_1.html](https://sm.darg.gov.ua/_znachennja_vodorostej_u_0_0_0_1370_1.html)
19. Shao, L., Wang, Q. (2022). Environmental impacts of Japanese kelp mariculture and sustainable practices. Environmental Science and Aquaculture , 13(1), 120-130.
20. Культивування водоростей URL:  
<https://studfile.net/preview/7402012/page:19/>
21. Кунцевич, І. Г. (2021). Біологія та екологія морських водоростей. Львів: Університетські Видавництва.
22. Григор'єв, Д. О. (2020). Аквакультура морських водоростей: від теорії до практики . Одеса: Вид. центр Чорномор'я.
23. Моисеев И.И., Тарасов В.Л., Трусов Л.И. Эволюция биоэнергетики, час водоростей. 2009. № 12. - С. 24-29.
24. Біоремедіація, використання URL: <https://latifundist.com/blog/read/3060-shcho-kriyetsya-za-modnim-slovom-bioremediatsiya-abo-yak-biotehnologi-btu-tsentr-rozroblyali-sposobi-vidnovlennya-gruntiv-porushenih-voyennimi-diyami>  
<https://uk.quanaobio.com/fertilizer-materials/59550574.html>

25. Бобров, А. А., & Чугунов, Д. В. (2018). Марикультура ламінарії: біологічні аспекти та методи вирощування . Київ: Наукова думка. 254 с.
26. Петров, І. В. (2017). Технології вирощування ламінарії у промислових масштабах/ Вісник аграрної науки, 10(2), 75–83.
27. Сидоров, О. Ю. (2020). Переробка водоростей: ламінарія та її біологічно активні речовини . Харчова промисловість і переробка, 15(3), 102–108.
28. О.О. Тітлова ВОДРОСТІ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ
29. Chapman, V. J., & Chapman, D. J. (1980). *Seaweeds and Their Uses* . 3rd ed. London: Chapman and Hall. – 334 p.
30. Особливості біології водоростей та їх значення для людини URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/biolog/23084/>
31. Dawes, C. J. (1998). *Marine Botany*. New York: John Wiley & Sons. – 480 p.
32. FAO. (2018). *The global status of seaweed production, trade and utilization* . Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 640.
33. Сучасний стан вивчення водоростей URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/8049>
34. Казанцева, О. Г., & Михайленко, Ю. П. (2021). Економічна ефективність культивування ламінарії у відкритих морських акваторіях . Економіка природокористування, 4(1), 54–60.
35. Морозова, Т. С., & Овчинникова, А. І. (2016). Перспективи використання ламінарії японської в медицині та косметології . Журнал біології та екології моря, 11(2), 85–92.
36. Critchley, A. T., Ohno, M., & Largo, D. B. (2006). *World Seaweed Resources* . London: Taylor & Francis. – 450 p.
37. Шекк П. В., Шевченко В. Ю., Орленко А. М. Марикультура: підручник. П. В. Шекк, В. Ю. Шевченко, А. М. Орленко. – Стереотип. вид. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. – 328с

38. Tseng, C. K. (2001). Algal Biotechnology Industries and Research Activities in China. *Journal of Applied Phycology*, 13(4), 375–380.
39. Бондаренко, М. С. (2020). Методи забезпечення екологічної безпеки марікультури ламінарії японської . *Екологія та природокористування*, 25(5), 115–122.
40. A.S. Buchalo, O.B. Mykchaylova, Lomberg M.L., Wasser S.P. Microstructures of vegetative mycelium of macromycetes in pure cultures. Kiev. Alterpress. 2009. 224p. S.T. Chang, W.A. Hayes. The biology and cultivation of edible mushrooms. New York . Academic press. 1978. 819p
41. Павленко, О. В. (2019). Вплив факторів навколишнього середовища на продуктивність ламінарії в умовах аквакультури . *Вісник біологічних досліджень*, 8(1), 33–39.
42. Мартиненко, П. Ю., & Коваль, А. І. (2021). Інноваційні технології в переробці ламінарії для отримання біологічно активних добавок . *Наукові записки біотехнології*, 12(3), 200–207.
43. Ющенко, Н. І. (2022). Ламінарія як джерело йоду в харчовій промисловості: перспективи застосування . *Харчова наука і промисловість*, 7(1), 58–65.