



Funded by  
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]  
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

## Модуль 4. Що слід змінити в кормах і годівлі в аквакультурі через глобальне потепління

**Prof. Dr. Ergün Demir**

**Asst. Prof. Dr. Muhittin Zengin**

**Balikesir University**

### Вступ

Аквакультура є одним із найбільш швидкозростаючих секторів сільського господарства в усьому світі, і він стає все більш важливим для виробництва сталого та здорового раціону з відносно низьким впливом на клімат. Прогнозується, що до 2030 року вирощування риби зросте на 32% (FAO, 2020). Ринкові сили погоджуються, що заохочення зростання європейської аквакультури є єдиним життєздатним способом задовольнити попит на збільшення поставок риби. Однак важко досягти сталого виробництва, яке сприяло б здоровому харчуванню, відповідало Цілям сталого розвитку та прагнуло до чистого нуля (Messeder, 2021). Згідно зі зміною клімату, за прогнозами, доступність поживних речовин зменшиться (Cheung, et al., 2023). Дефіцит високоякісних кормів і кормових інгредієнтів, а також безпечність і якість водних продуктів створює багато проблем для сталого розвитку цього сектора (Ma and Hu., 2023).

Вирощування риби створює 250 мільйонів тонн еквівалента CO<sub>2</sub> на рік у всьому світі (MacLeod et al., 2020). Вирощування лосося створює 10 мільйонів тонн CO<sub>2</sub>-еквівалента на рік. На корми припадає в середньому 75% викидів парникових газів (ПГ) лосося, вирощеного в Норвегії (Ziv-Douki, 2020). Порівняно з тваринництвом, особливо яловичини, виробництво морепродуктів має менші викиди вуглецю.

Зміни температури спричиняють поганий ріст і виживання холодоводних видів, погіршення якості води, ослаблення імунної системи холодоводних видів, ослаблення здатності поглинати вуглець в океані та підвищену вірулентність патогенів теплішої води. Оскільки корми роблять значний внесок у вуглецевий слід аквакультури, слід націлити на значне скорочення викидів у виробництві кормів (Zhang et al., 2024).



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]™**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

## **1. Потреби в харчуванні та зміни метаболізму**

### **1.1. Вплив температури на обмін речовин**

Аквакультура за своєю суттю більш чутлива до впливу зміни клімату через її сильну залежність від навколишнього середовища. Глобальне потепління підвищує температуру води, що може підвищити швидкість метаболізму видів аквакультури, що вимагає змін у складі корму для задоволення підвищених харчових потреб (Reid et al., 2019). Основні енергетичні потреби риб, які є пойкилотермними тваринами, безпосередньо залежать від температури води. У міру підвищення температури їхня стандартна швидкість метаболізму зростає, а також потреби в енергії та білку для підтримки. Крім того, ступінь впливу температур в межах оптимального діапазону на основний метаболізм залежить від виду. Зміни клімату є одним із найбільших факторів стресу в аквакультурі.

### **1.2 Ефективність кормів, перетравність поживних речовин і час проходження кормів через кишечник**

Спричинені температурою зміни швидкості метаболізму впливають не тільки на енергію раціону, але й на коефіцієнт ефективності корму (FER, приріст/корм) або коефіцієнт конверсії корму (FCR, корм/приріст). Різниця температури води в кілька градусів може спричинити значні відмінності в конверсії корму у деяких видів (Siikavuorio et al., 2012). Зміни FCR, викликані змінами температури води, також можуть спричинити зміни в засвоюваності певних категорій поживних речовин, таких як жирні кислоти в лососевих (Huguet et al., 2015). З іншого боку, можна сказати, що вплив температури води на засвоюваність поживних речовин у водних тварин, як правило, мінімальний. У цьому відношенні дослідження, проведені з лососем, показали, що засвоюваність білків і ліпідів може незначно змінюватися з температурою (Amin et al. 2014). Деякі дослідження показують, що «час проходження кормів через кишечник» може залежати від теплішої води залежно від виду. Дослідження підкреслюють, що висока температура води матиме мінімальний вплив на засвоюваність поживних речовин або енергії водними тваринами, доки не буде перевищено оптимальний діапазон (Reid et al., 2019).

### **1.3 Споживання корму та швидкість метаболізму**

Глобальне потепління та викликані ним кліматичні зміни призводять до нагрівання та підкислення водойм, зміни режиму опадів і вітру, а отже, впливають на водні течії, турбулентність і каламутність. Ці зміни викликають зміни в харчуванні та ендокринній системі водних тварин (Nadernann et al., 2019). Зміни клімату та зміни у водному середовищі, викликані викидом вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) і метану в атмосферу, також



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

можуть вплинути на фізіологію та поведінку риб, а також на годівлю та ендокринний контроль годівлі (Ahmed et al., 2019; Volkoff, 2019).

Риби, будучи ектотермними істотами, дуже чутливі до зміни температури води. Підвищення температури води збільшує споживання кисню та швидкість метаболізму, а отже, потреби в енергії (Sandblom et al., 2014). Незважаючи на те, що ці зміни залежать від виду, споживання корму збільшується з помірним підвищенням температури у риб (Sharma et al., 2017). Дослідження показують, що збільшення CO<sub>2</sub> і низький pH води зменшують споживання їжі рибою та порушують її здатність сприймати хімічні сигнали та їжу, порушуючи нюх (Porteus et al., 2018). Оскільки риби потребують посиленних м'язових рухів для підтримки балансу в бурхливій воді, риба також збільшує свою енергію, а умови поганої видимості також негативно впливають на годівлю риби.

### 1.4 Вплив зміни клімату на мікрофлору або мікробіоту риб

Морфологія травної системи риб безпосередньо впливає на здатність до травлення та імунний статус риб, але вони також вразливі до теплового стресу, що впливає на їх здоров'я (Geda et al., 2012). Відомо, що тепловий стрес може мати негативний вплив на ворсинки та зону всмоктування в травній системі різних видів тварин, таких як свині та кури. Однак вплив теплового стресу на морфологію кишківника риби до кінця не вивчено. Мікробіота кишечника зазвичай взаємодіє з кишечником хазяїна складним чином і бере участь майже у всіх фізіологічних процесах, включаючи метаболізм та імунітет (Gardiner et al., 2020; Yadav and Jha, 2019) і чутлива до змін температури. Доведено, що підвищення температури води призводить до зменшення кількості корисних молочнокислих бактерій і збільшення потенційно небезпечних *Vibrio* spp. у атлантичного лосося (*Salmo salar*) (Amin et al., 2016). Однак вплив теплового стресу на кишкову мікробіоту, здається, є видоспецифічним.

Мікробіом широко визнаний важливим компонентом у підтримці загального здоров'я риб, що підтверджено численними дослідженнями (Legrand та ін., 2020). Температура — важливий небіологічний фактор, що впливає на фізіологічний стан тварин; це особливо вірно для водних організмів, де температура тіла змінюється залежно від температури води (Sepulveda and Moeller, 2020). Стрес може порушити мікробну структуру кишківника і таким чином вплинути на фізіологічну та імунну системи риб (Blacher et al., 2017). Окрім зміни структури кишкової мікробіоти, температура також може впливати на метаболізм організму та призводити до змін у фенотипі (Guillen et al., 2019). Trinh та ін. (2017) виявили значні відмінності в кишковій мікробіоті молоді риби з різною швидкістю росту та припустили, що мікробіота може впливати на швидкість росту молоді риби шляхом посилення енергетичного метаболізму. Rimoldi та ін. (2020) показали, що домінуючу



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

кишкову мікробіоту можна використовувати для оцінки стану здоров'я європейського морського окуня.

## 2. Стійкі кормові інгредієнти в аквакультурі

Аквакультура може виробляти тваринний білок з меншими викидами парникових газів, ніж наземне тваринництво (Hilborn et al., 2018). Таким чином, аквакультура є більш сприятливим для клімату сектором виробництва білка, ніж інші види худоби (NOAA Fisheries, 2022). Корми для аквакультури використовують понад 70% світового рибного борошна та риб'ячого жиру (FMFO). У всьому світі з приблизно 30 мільйонів тонн дрібної риби, що виловлюється в океані щороку, приблизно 17 мільйонів тонн використовуються в кормах для аквакультури (Cottrell et al., 2020). Таким чином, використання альтернативних джерел білка для кормів для аквакультури може зменшити вплив аквакультури на навколишнє середовище, потенційно створюючи більш економічно ефективні корми та розвиваючи конкурентоспроможний сектор. Альтернативні джерела білка, такі як борошно з комах, не є чимось новим, але останні інвестиції в цей сектор наближають його до виходу на ринок. Хорошим прикладом цього є нові ініціативи, започатковані для того, щоб допомогти фермерам, які вирощують лосося, зменшити свій вплив на навколишнє середовище на 30% до 2030 року. Інші джерела корму, особливо морські водорості, слід розвивати далі. Дослідження кормів на основі промислової біотехнології є ще одним напрямком, що розвивається. Екструзія підвищує перетравність і засвоєння поживних речовин у кормі (Zhang et al., 2024).

### 2.1. Альтернативні корми/джерела протеїну

До 2050 року в ЄС виробництво протеїну повинно подвоїтися. Однак, оскільки ЄС не є самодостатнім у виробництві протеїну, близько 70% кормових білків імпортується. Таким чином, ЄС має знайти стійкі альтернативні джерела білка, які можна економічно виробляти в кількостях, які задовольняють зростаючий попит харчової та кормової промисловості (Smárason, 2023). Стійкість кормових ресурсів для аквакультури значною мірою залежить від наявності якісних кормових інгредієнтів, таких як FMFO. Ці традиційні кормові інгредієнти перебувають під зростаючим тиском через швидке розширення аквакультури для споживання людиною, зменшення кількості виловленої риби та зміни клімату (Idenyi та ін., 2022).

Понад 90% парникових газів в аквакультурі утворюється за рахунок корму для риб. Підхід циклічної економіки можна використовувати у виробництві кормів на рибних фермах з використанням нових біоматеріалів для досягнення цілей щодо зміни клімату (Tait, 2021).



Funded by  
the European Union



## **The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Сьогодні приблизно 70% загального світового виробництва аквакультури за вагою залежить від постачання зовнішнього корму. Ця ситуація є однією з найбільших проблем для майбутньої сталості аквакультури, яка вимагає розробки альтернативних кормових інгредієнтів (Reid et al., 2019).

Обмежений і скорочуваний глобальний вилов риби спричиняє зменшення світового виробництва рибного борошна (приблизно 5 мільйонів тонн на рік) і риб'ячого жиру (приблизно 1 мільйон тонн на рік). Тому що 60-80% цього рибного борошна і приблизно 70-80% риб'ячого жиру використовується в аквакультурі (FAO, 2022). Враховуючи зростаючий попит на FMFO внаслідок постійно зростаючої індустрії аквакультури, вкрай важливо знайти відповідні замітники FMFO для стійкої аквакультури.

### **2.1.1. Рибне борошно та риб'ячий жир (FMFO) як основні кормові інгредієнти для аквакультури**

Аквакультура — це, в основному, виробнича лінія, в якій використовуються «годовані» види, такі як креветки, морський окунь і лосось, і «негодовані» види, такі як товстолобик, морська капуста, устриці. Традиційно відгодівля аквакультури покладалася на аквакорми, що містять високий рівень FMFO (Froehlich та ін., 2018). Однак використання FMFO вважається провідним нестійким фактором в аквакультурі, оскільки воно збільшує тиск на рибні запаси та порушує баланс водних харчових мереж (Hua et al., 2019). Залежність рибних кормів для аквакультури створює загрозу для морського біорізноманіття та продовольчої безпеки. Як відомо, зміна клімату та Ель-Ніньо негативно впливають на багато природних водних джерел їжі, особливо на фітопланктон. З цих причин кількість FMFO, що використовується у водних кормах, з роками зменшується. Ще однією проблемою, яку спричиняє рибне борошно, є підвищене накопичення важких металів, хімікатів і мікропластику в морській рибі (Hanachi et al., 2019).

### **2.1.2 Рослинні корми/олії та екологічні проблеми**

В останні роки виробники кормів для аквакультури звертаються до сільськогосподарських продуктів, таких як соя, кукурудза та ріпак, замість FMFO. Використання трансгенного насіння, води, пестицидів і добрив у виробництві цих продуктів негативно впливає на екологічну стійкість. Таким чином, заміна інгредієнтів FMFO на інгредієнти наземних продуктів, здається, далека від досягнення мети мати нульовий вуглецевий слід. Вони також мають низьку поживну якість, засвоюваність і недостатню кількість амінокислот, таких як лізин, треонін і триптофан. З цієї причини все ще неможливо замінити білок рибного борошна рослинним білком. Оскільки продукти аквакультури не можуть використовувати синтетичні амінокислоти, додані до корму в достатніх кількостях, у



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCā]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

навколишнє середовище виділяється більше метаболічних відходів азоту, що створює вплив на навколишнє середовище. Довголанцюгові ПНЖК, такі як докозагексаєнова кислота (DHA) і ейкозапентаєнова кислота (EPA), є основними обмежуючими жирними кислотами в оліях наземних рослин. Подібним чином рослинні кормові інгредієнти містять антипоживні речовини, які можуть змінювати структуру корисних бактерій у травній системі господаря та негативно впливати на метаболізм (Idenyi та ін., 2022). Ще одна проблема з рослинними кормами полягає в тому, що приблизно 70% фосфору в них пов'язано з фітатом, створюючи потенціал для евтрофікації, а також знижуючи засвоюваність білка та збільшуючи виведення азоту.

### 2.1.3 Побічні продукти як корм для аквакультури

#### *Субпродукти переробки риби*

Щороку викиди світового рибальства становлять суму, еквівалентну 25% від загального морського рибного виробництва. Ця кількість перевищує 20 мільйонів тонн у всьому світі та 5 мільйонів тонн на рік у ЄС (Shahin et al., 2023). Приблизно 25–35% рибного борошна отримують із субпродуктів переробки риби, а приблизно 70% — із рибальства. Збір побічних продуктів переробки риби зазвичай не вважається економічно життєздатним через логістичні та технічні обмеження (Sarker 2023).

Найважливішим методом утилізації цих побічних продуктів є використання їх у складі кормів для худоби та аквакультури. Відповідно до Регламенту ЄС 1069/2009, побічні продукти риби та аквакультури належать до побічних продуктів Категорії 3, які дозволено включати в раціони тварин, щоб відповідально сприяти навколишньому середовищу та здоров'ю населення (Gasco et al., 2020). Викинуті побічні продукти рибальства можна використовувати у виробництві FMFO (Li et al., 2019). Ферментативний гідроліз рибних відходів є ще одним методом переробки відходів у гідролізати рибного білка (Gasco та ін., 2020).

У дослідженні (Warwas, 2023) три різні побічні продукти переробки риби (філе та обрізки) використовувалися в кормах для райдужної форелі без поділу жирової та білкової фракцій, і результати показали, що можливість використання побічних продуктів як прямих інгредієнтів залежить від умов зберігання та обробки. Додавання в корм 50% свіжих обрізків анчоусів покращує ріст і споживання корму, а також покращує здоров'я кишечника. Однак використання цих побічних продуктів також має недоліки, такі як вміст білка та незамінних амінокислот, проблеми з гігієною, термін придатності продукту та





Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

заборона, накладена ЄС [Регламент (ЄС) № 1069/2009, що забороняє згодовування цих побічних продуктів тим самим видам аквакультури (Gasco et al., 2020).

### *Харчові відходи*

Харчові відходи також можна використовувати як джерело білка у виробництві кормів для аквакультури (Shahin et al., 2023). Харчові відходи включають сирі та приготовлені харчові матеріали та перероблені харчові залишки. Відомо, що щорічно виробляється приблизно 1,5 мільярда тонн харчових залишків людини, що відповідає приблизно 1/3 загального річного виробництва їжі людиною. Хоча ці харчові відходи не підходять для всіх видів аквакультури, вони можуть бути використані для деяких всеїдних видів, таких як тіляпія (Nasser та ін., 2018), а також інших видів з низьким трофічним рівнем, таких як білий амур і кефаль (Мо та ін., 2014). Однак у рамках принципу «запобіжних заходів», який застосовується в Політиці ЄС щодо безпечності харчових продуктів, використання харчових відходів для їжі риби або вирощування комах заборонено (Fowles and Nansen, 2020).

#### **2.1.4 Одноклітинні організми / білки (SCO/SCP)**

Мікроорганізми, такі як мікроводорості, морські водорості (макроводорості), дріжджі, гриби, бактерії та інші альтернативні компоненти становлять значний потенціал у кормах для аквакультури завдяки джерелам протеїну/амінокислот, ліпідів або омега-3. Зі збільшенням використання цих мікроорганізмів в аквакультурі разом із технологічними інноваціями також стане можливим зменшити екологічний слід кормів для аквакультури (Sarker, 2023). Ці SCO можна розглядати як стійке джерело корму, оскільки вони швидко ростуть, використовують дуже мало прісної води та не потребують сільськогосподарських угідь для свого відтворення (Albrektsen et al., 2022).

#### *Мікроводорості (фітопланктон)*

В аквакультурі мікроводорості відіграють важливу роль як через їх вплив на водне середовище, так і через їхню роль джерела поживних речовин (Wu and HU, 2023). Види мікроводоростей складають менше 1% фотосинтетичної біомаси Землі, але сприяють приблизно 50% глобальної біогенної фіксації вуглецю (Field et al., 1998). Це пояснюється тим, що глобальна популяція фітопланктону оновлюється в середньому кожні 2-6 днів (Behrenfeld et al., 2006). Крім того, мікроводорості багаті омега-3 ПНЖК, каротиноїдами, незамінними амінокислотами,  $\beta$ -1–3-глюканом, мінералами та вітамінами.



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Білок і масло мікроводоростей також можуть замінити FMFO в кормах для аквакультури. Вміст сирого білка в мікроводоростей становить 50-70% (Nagappan et al., 2021; Ma and Hu, 2023).

Оскільки мікроводорості можуть синтезувати всі амінокислоти *de novo*, їхні амінокислотні профілі були добре збалансовані для кормів для водних тварин (Becker et al., 2013). Загальний вміст ліпідів у мікроводоростей може досягати 45-60% у сухій масі клітин (Ahmad et al., 2022). Оскільки мікроводорості мають здатність синтезувати заново омега-3 жирні кислоти, які також можуть задовольнити основні потреби аквакультури в жирних кислотах.

З початком промислового виробництва мікроводоростей їх використання в кормах для аквакультури прискорилося. Серед морських мікроводоростей *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis* sp. і *Schizochytrium* sp. вважаються перспективними кормами для аквакультури. Встановлено, що *Isochrysis* sp. мікроводорості можуть бути хорошою альтернативою FMFO в дієтах райдужної форелі та можуть використовуватися як добавки омега-3 і DHA в дієтах (Sarker et al., 2020). Нещодавно деякі компанії, які займаються виробництвом кормів для аквакультури, почали виробляти багату DHA олію з *Schizochytrium* sp. на корм для лосося (Tocher та ін., 2020). Поточна надзвичайно висока вартість виробництва мікроводоростей перешкоджає їх широкому використанню в аквакультурі сьогодні (Nagappan et al., 2021).

### *Морські водорості (макроводорості)*

Майже половина світового виробництва морських водоростей (тобто макроводоростей) аквакультури коштує понад 11 мільярдів доларів США. Сьогодні понад 99% вирощування морських водоростей здійснюється в Азії, причому зростання зростає в Африці (FAO, 2020). Більшість морських водоростей, які виробляються, — це японська ламінарія (японська вакаме), яка використовується для споживання людиною.

В останні роки морські водорості набули важливості завдяки своїй властивості біоремедіації, що забезпечує стабільне виробництво. Вміст поживних речовин у морських водоростях змінюється залежно від типу водоростей, таких як червоні, зелені та коричневі, а також від пори року: вміст білка становить 6-38% у червоних водоростях, 3-35% у зелених водоростях і 2-17% у бурих водоростях. Рівні ліпідів також знаходяться в діапазоні <1-13%, <1-3% і <1-10% відповідно (Nagappan et al., 2021). Більшість видів мають білки, багаті незамінними амінокислотами, і містять велику кількість незамінних омега-3 ВНЖК і ПНЖК. Вміст вуглеводів зазвичай є найбільшим компонентом (15-65%), залежно від виду





Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

(Nagappan et al., 2021). Кількість сирової клітковини, тобто полісахариду, становить 25-75% від його сухої ваги і не може легко засвоюватися м'ясоїдними видами.

Загалом стверджується, що коли цілі морські водорості додають до корму для риб у низькій кількості (<10%) замість рибного борошна, спостерігається покращення продуктивності росту та пігментації риби (Ragaza et al., 2021). Однак, якщо його використовувати вище 10%, це негативно впливає на продуктивність росту та засвоюваність поживних речовин (Qiu et al., 2018). Для того, щоб морські водорості могли замінити рибне борошно як альтернативне джерело, їх слід піддати біоочищенню, щоб виділити та збагатити вміст білка (Aasen et al., 2022). Ферментація також вважається ще одним перспективним процесом біоочищення морських водоростей (Ang et al., 2021). Ці застосовні процеси все ще знаходяться на стадії розробки, і поточні правила ЄС (Регламент ЄС 68/2013) дозволяють використовувати лише біомасу морських водоростей, отриману шляхом сушіння та подрібнення, як інгредієнт корму без спеціального дозволу.

### Дріжджі

Дріжджі вважаються альтернативним джерелом корму для аквакультури через високий вміст сирового протеїну (30-60%). У кормах для аквакультури в основному *Saccharomyces cerevisiae*, різноманітні *Aspergillus* і *Fusarium venenatum*, а також інші штами, такі як *Candida utilis*, *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Torulopsis* і *Kluyveromyces marxianus*, можуть використовуватися як білкові компоненти (Jones та ін., 2020; Glencross та ін., 2020). Дріжджі, в основному *Saccharomyces cerevisiae*, показали позитивні результати, виробляючи корисну імуностимулюючу дію, переважно при частковій заміні рибного борошна в раціоні лосося. Морські дріжджі (*C. sake*) містять 55% білка та значні рівні омега-3 жирних кислот. Крім того, засвоюваність *C. sake* у райдужній форелі також висока, і його можна використовувати в дієтичних рецептах до 20% від загального вмісту без побічних ефектів (Warwas, 2023).

### Бактерії

Перевагою бактерій є те, що вони швидко ростуть на органічних субстратах, таких як метан, метанол, вуглекислий газ, водень і цукри (Matassa et al., 2020). Деякі штами бактерій можна використовувати для отримання дуже високого вмісту сирового протеїну (приблизно 60% до 82% сухої маси клітин) і рівнів незамінних амінокислот (Ritala et al., 2016). Бактеріальне борошно містить до 80% сирового протеїну (в середньому = 60%) і приблизно 10% жиру, подібно до рибного борошна (Albrektsen et al., 2022). Нещодавно було виявлено, що включення фіолетових несірчаних бактерій, таких як *Rhodopseudomonas*



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

*palustris* і *Rhodobacter capsulatus*, нового джерела мікробного білка, покращує продуктивність росту, коефіцієнт конверсії корму та стійкість креветок до хвороб і стресу (Alloul et al., 2021). Крім того, ці фіолетові фототрофні бактерії, що виробляються зі стічних вод, можуть використовуватися в кількості до 66% рибного борошна в раціонах морського окуня без будь-якого негативного впливу на продуктивність риб (Delamare-Deboutteville et al., 2019).

Хоча бактеріальні білки є привабливими для майбутніх кормів для аквакультури, вони мають труднощі, такі як витрати на виробництво та глобальне впровадження як корм для риб (Sarker et al., 2023)..

### 2.1.1. Годівля комах в аквакультурі

Індустрія кормів для аквакультури шукає альтернативи FMFO. У цьому контексті комахи можуть бути стійким джерелом білка для аквакультури з використанням харчових відходів. Було встановлено, що принаймні 16 з приблизно 1 мільйона відомих видів комах у світі можуть використовуватися як альтернативні джерела білка в аквакультурі (Guerreiro et al., 2020). Вісім видів комах показали дуже багатообіцяючі результати (Alfiko et al., 2022). Серед них найбільш важливими є такі види комах, як шовкопряд (*Bombyx mori*), *Hermetia illucens*, *Musca Domastica*, *Tenebrio molitor* і цвіркуни. Зазначається, що ці види комах мають високий вміст сирого протеїну в діапазоні від 42-60% і порівнюються з рибним борошном і соєвим борошном за вмістом незамінних амінокислот (Allegretti et al., 2017). Перевагою кормів на основі комах є не лише кількість поживних речовин, які вони містять, але й зменшений вплив на навколишнє середовище з точки зору високої ефективності перетворення відходів і перетворення побічних продуктів на цінні кормові ресурси.

Під час дослідження було встановлено, що водоростеву муху (*Coelopa frigida*) можна вирощувати в стічних водах водоростевої ферми, яка вирощує бурі водорості, і що личинки водоростевої мухи можуть замінити 40% рибного борошна в раціоні, не завдаючи негативного впливу на ріст і здоров'я кишечника райдужної форелі (Warwas, 2023). Дієти, створені на різних стадіях розвитку комах, таких як личинки, лялечки та дорослі особини, були перевірені в дослідженнях. Серед цих видів було визначено, що чорну солдатську муху можна використовувати як борошно для комах, особливо для райдужної форелі (*Onchorhynchus mykiss*) і атлантичного лосося (*Salmo salar*) (Lock et al., 2018).

Європейська комісія також схвалила включення комах у раціон водних організмів (Регламент 2017/893/ЕС, 2017). У результаті в Європі було створено багато підприємств з вирощування різних видів комах (Mancuso et al., 2019).



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

### **2.1.2. Малотрофні морські тварини**

Морські тварини, які представляють особливий інтерес через їх потенційне використання як заміники FMFO, включають мідії, бокоплавці та поліхети. Ці низькотрофні організми отримують поживні речовини з первинних виробників, таких як фітопланктон, бактерії та водорості, а також з органічних відходів у морському середовищі.

Мідії, такі як зелена (*Perna viridis*) і блакитна (*Mytilus edulis*), є молюсками, що живляться фільтрами, на частку яких наразі припадає приблизно 56% загального виробництва морських тварин в аквакультурі (FAO, 2020). Мідії можна описати як біоремедіатори, які процвітають у багатих поживними речовинами середовищах, перетворюючи відпрацьовані поживні речовини на білок без додаткового корму. Вони містять 50–70% білка та 5–16% ліпідів за сухою вагою, подібно до рибного борошна (Jusadi et al., 2021). Основним ризиком, пов'язаним з використанням мідій як корму, є високий вміст у них важких металів (Rasidi et al., 2021).

Морські амфіподи — це загін дрібних, здебільшого донних ракоподібних, із понад 10 000 зареєстрованих видів. Вони мають потенціал для використання як альтернативне джерело живого корму для аквакультури головоногих молюсків, креветок і морських коників, а також як часткова заміна рибного борошна в аквакультурі риби та молюсків (Ashour et al., 2021). Морські амфіподи містять високий рівень білка, ПНЖК (ЕРА, ДНА) і амінокислот.

Багатошестинкові черви (тобто кільчасті черви) — це глобально поширені донні живильники та біоремедіатори, які споживають водорості та гнилі або марнотрачені органічні речовини та перетворюють їх на цінні поживні речовини. Поліхети є важливою здобиччю для промислово важливих риб і ракоподібних (Khan et al., 2018). Традиційно їх використовують як живу рибальську наживку або як високоякісне джерело їжі для спеціальних дієт (Rombo et al., 2020). Вони містять велику кількість білка (55-60% сухої маси), ліпідів (12-28% сухої маси) і ПНЖК, а також добре збалансовані амінокислотні, вітамінні та мінеральні профілі (Wang et al., 2019).

## **2.2. Зменшення впливу кормів для аквакультури на навколишнє середовище**

У секторі аквакультури на корми припадає приблизно 40-60% витрат, а протеїн (рибне борошно) є найдорожчою поживною речовиною. 70% FMFO, що використовується для задоволення потреб водних організмів, надходить від вилову. Така ситуація чинить великий тиск на рибальство та негативно впливає на його сталість.

### **2.2.1. Питання аквакультури та сталого розвитку**



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Питання аквакультури та сталого розвитку можна згрупувати як економічну, екологічну та соціальну стійкість (Odeja, 2021). Ключові стратегії вимірювання харчової та екологічної стійкості в аквакультурі можуть ґрунтуватися на трьох основних критеріях (Sarker та ін., 2023).

1. Засвоюваність інгредієнтів корму: Засвоюваність інгредієнтів корму для аквакультури є важливим параметром для створення економічно життєздатних та екологічно стійких кормів. Необхідно визначити засвоюваність інгредієнтів. Таким чином можна зменшити витрати на корми, забруднення поживними речовинами, такі як викиди фосфору та азоту внаслідок евтрофікації, а також покращити коефіцієнти конверсії кормів.
2. Коефіцієнт конверсії корму (FCR): Економічна перевага сталого виробництва кормів з використанням альтернативних інгредієнтів головним чином пов'язана з нижчим FCR. FCR є гарним індикатором екологічної ефективності аквакультури, оскільки він дає вказівку на потенційні негативні наслідки відходів фосфору та азоту у водному середовищі, таких як евтрофікація, парникові гази, втрата біорізноманіття та вплив на інші екосистеми. Однак FCR в аквакультурі знизився з приблизно 3 до приблизно 1,35 в аквакультурі та з приблизно 2-2,25 до приблизно 0,9-1,2 у вирощуванні лосося, в основному завдяки кращим композиціям кормів з 1970 року (Sarker et al., 2023).

Оцінка життєвого циклу (LCA) для вимірювання екологічного впливу: LCA можна використовувати для вимірювання впливу харчових систем на навколишнє середовище для вимірювання впливу аквакультури на навколишнє середовище. Категорії впливу на навколишнє середовище можна оцінити, включаючи стійкий розвиток кормів, використання альтернативних інгредієнтів, ефективне використання ресурсів, таких як земля, вода та добрива, викиди глобального потепління, викиди евтрофікації, втрату біорізноманіття та негативні зовнішні ефекти, такі як підкислення океану (Sarker et al., 2011). Необхідно побачити вплив LCA виробництва високоякісного нового протеїну та жиру на FMFO в кормах.

### 2.2.2. Стійкість виробництва аквакормів

Виробництво кормів становить найбільшу частину як екологічного, так і економічного впливу сучасних аквакультурних операцій, і тому стійка аквакультура може бути досягнута лише за допомогою стійких кормів (Warwas, 2023). Нові керівні принципи Європейської комісії включають аквакультуру як частину стратегії ЄС «Від ферми до виделки», яка спрямована на прискорення переходу до сталої європейської харчової системи. Стратегія



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

підкреслює потенціал стійкої аквакультури для забезпечення продуктами харчування та кормами з низьким викидом вуглецю, а також для створення економічних можливостей і робочих місць (Odeja, 2021). Крім того, Комісія рекомендує виробникам кормів обмежити свою залежність від FMFO з диких запасів і натомість використовувати альтернативні білкові інгредієнти, такі як водорості чи комахи або відходи з інших галузей. Однак сьогодні більшість комерційних кормів для аквакультури складаються з FMFO. Очікується, що попит на FMFO може перевищити пропозицію меншої риби вже у 2037 році. Це означає, що промислові корми не є стійкими в комерційних масштабах у довгостроковій перспективі (Smáráson, 2023). Щоб захистити морські екосистеми та зменшити виснаження ресурсів океану, корм для аквакультури має бути стійким. Хоча основні альтернативні кормові інгредієнти в аквакультурі включають корми на основі сої та кукурудзи, їхнє виробництво піддається критиці через те, що вони є нестабільними та мають погану засвоюваність. Таким чином, циркулярна біоекономіка набуває все більшого значення для майбутнього індустрії кормів для аквакультури (Bunting, 2021).

### 3. Практики управління кормами

#### 3.1. Техніка точного годування

Інноваційні підходи, такі як гнучкі склади інгредієнтів, ферменти, оптимізовані мікробіоти та генетика, відіграють ключову роль у наближенні багатьох видів аквакультури до точного харчування. Прецизійне годування включає корми, розроблені для розкриття потенціалу ДНК риб і ракоподібних, мікробіотів і метаболічних реакцій для запобігання захворюванням і ефективного росту (Howell, 2022).

##### 3.1.1. Годування на основі мікробіому

Мікробіом все ще є чимось на зразок «чорної скриньки» в харчуванні аквакультури. За останні 5 років спостерігається збільшення наукових досліджень, що вивчають мікробіом кишечника в контексті аквакультури. Нові технології генетичного секвенування дозволили картографувати мікробні спільноти, що живуть у кишечнику понад 20 видів вирощуваної риби. У майбутньому профілювання членства кишкових мікробних спільнот, зокрема їх функцій або функціональних результатів у кишечнику, буде областю для подальших досліджень. Ця зміна проллє світло на поточні дослідницькі питання, такі як зв'язок між мікробним різноманіттям і виробництвом метаболітів, і дозволить промисловості встановити базові показники здоров'я кишечника. Зосередження уваги на функції кишкового мікробіому також призведе до покращення засвоюваності поживних речовин і продуктивності риб (Howell, 2022). У



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

межах перетину генетики та харчування генетична селекція в аквакультурі більше не спрямована лише на стійкість до хвороб чи покращення росту, а й на використання поживних речовин. Це зробить точні методи годування, засновані на їхніх генетичних характеристиках, ще важливішими.

### 3.1.2. Комбікорм на основі чистої енергії

Наступний етап у прецизійному харчуванні вийде за рамки заміни FMFO з рибальства на альтернативні та включатиме використання всіх кормових інгредієнтів гнучким та стійким способом. В аквакультурі рецептура корму в основному базується на перетравній енергії (DE). У цій системі передбачається, що енергія використовується стандартним чином для зростання. Основна причина цього полягає в тому, що важко точно виміряти нефекальну втрату енергії рибою порівняно з наземними тваринами. Тому, якщо це можна визначити, використання значень обмінної енергії (ME) і чистої енергії (NE) замість значень DE для кормів для аквакультури забезпечить значні переваги (Groot et al., 2021). Щоб здійснити цей перехід і використовувати кормові інгредієнти більш стійко, промисловість може прийняти композиції кормів, які зосереджені на чистій енергії, а не на перетравній енергії. Ключова відмінність між цими двома системами полягає в тому, що система перетравної енергії передбачає, що всі харчові макронутрієнти використовуються рибою однаково, тоді як система чистої енергії передбачає, що білки, жири та вуглеводи в раціоні риби використовуються по-різному. Останніми роками дієтологи аквакультури досягли відносного успіху в розробці моделей чистої енергії для різних видів риб (Howell, 2022).

Оскільки вплив кормів на навколишнє середовище значною мірою визначається їхніми інгредієнтами, існує можливість зменшити вплив аквакультури на навколишнє середовище шляхом створення кормів із меншим впливом на навколишнє середовище (Wilfart et al., 2023). У деяких дослідженнях потенційний вплив кормів на навколишнє середовище враховувався при складанні кормів (Mackenzie et al., 2016). Розробку кормів відповідно до екологічних та економічних критеріїв можна розглядати як інноваційний підхід до вирішення поточних проблем тваринництва (Garcia-Launay et al. 2018).

### 3.1.3. Багатоцільова (МО) комбікорм

Композицію корму МО, яка спрямована на компроміс між нижчими витратами та меншим впливом на навколишнє середовище, можна розглядати як багатообіцяюче рішення для зменшення екологічного сліду виробництва аквакультури (Wilfart et al., 2023). Нещодавно Garcia-Launay та ін. (2018) розробили багатоцільову формулу (МО),





Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

яка використовує обмеження формули з найменшими витратами (поживні речовини та норми додавання кормових інгредієнтів) і розраховує функцію МО, яка включає як вартість корму, так і показники впливу на навколишнє середовище, отримані LCA (тобто зміна клімату, використання невідновлюваної енергії, попит на Р, зайнятість землі). Однак на ріст риби може сильно вплинути тип кормових інгредієнтів. Наприклад, заміна всього FMFO сирими рослинними інгредієнтами зменшила ріст райдужної форелі на 30% (Lazzarotto та ін., 2018). Було розроблено багатоцільовий метод складання комбікорму, який враховує як вартість, так і вплив кормової суміші на навколишнє середовище (оцінений LCA). На першому етапі рецептура з найменшими витратами забезпечує базову лінію для вартості корму та потенційного впливу на кг корму. У другому випадку мінімізована функція МО включає нормалізовані значення вартості корму та впливає на зміну клімату, попит на фосфор, попит на невідновлювану енергію та зайнятість землі. Додатковий фактор зважає відносний вплив економічних і екологічних цілей.

Потенціал методу приготування комбікорму МО оцінювали за двома сценаріями комбікорму для свиней, бройлерів і молодняку. Порівняно з основними кормами, комбіновані комбікорми МО мали менший вплив на навколишнє середовище (від -2 до -48%) і помірно вищу вартість (1-7%) в обох досліджуваних сценаріях, за винятком використання кормів для бройлерів. Розроблений метод доповнює інші стратегії та має бути досліджений у майбутньому для оптимізації всієї системи тваринництва для значного зменшення пов'язаних з цим впливів (Garcia-Launay та ін. 2018). Рецептуру МО можна використовувати як корисний інструмент для зменшення впливу виробництва аквакультури на навколишнє середовище без шкоди для продуктивності тварин або обов'язкового збільшення витрат виробництва (Wilfart et al., 2023).

### **3.1.4. Технології попередньої обробки та ферментовані корми для годівлі аквакультури**

Рослинні корми часто використовуються як основне джерело білка в кормах для аквакультури через їх широку доступність і низьку вартість. Однак вони зазвичай містять високий рівень некрохмальних полісахаридів (NSP), що обмежує їх використання в кормах для аквакультури, особливо для хижих риб. Вони також мають низьку смакову привабливість, незбалансовані амінокислотні профілі та містять антихарчові фактори (ANF), які обмежують їх використання та збільшують утворення відходів. Тому ефективне використання цих інгредієнтів аквакультурою становить великий інтерес.



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ферментація кормів є економічно ефективним технологічним процесом, який може знизити рівень ANF, одночасно покращуючи засвоюваність поживних речовин і виробництво різноманітних біоактивних сполук, підвищуючи поживну цінність кормових інгредієнтів у кормах для аквакультури. Твердофазна ферментація в основному характеризується використанням мікроорганізмів, таких як нитчасті гриби, які ефективно проникають у субстрат через низький рівень вільної води та зростання гіф (Šelo та ін., 2021). Тому його можна ферментувати за допомогою таких мікроорганізмів, як *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Sacchromyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* і *Bacillus licheniformis*, і використовувати у твердому або вологому стані. Ці організми можуть впливати на корм, виробляючи різні ферменти, такі як фітази, ліпази, протеази та карбогідрази, такі як целюлази та ксиланази. Гриби, зокрема, визначаються як збагачення лігноцелюлозних матеріалів мікробними білками та ферментами. Таким чином, вміст сирової клітковини зменшується, а сирий протеїн, розчинність білка та засвоюваність білка та клітковини збільшуються (Godoy et al., 2018), що підвищує поживну цінність рослинних кормів для використання в аквакультурі. Якщо потрібно сформувати твердий ферментований корм, ферментовану суміш залишають для висихання при температурі та середовищі, які не пошкодять поживну речовину (Vieira та ін., 2023; Зенгін та ін., 2022).

### 4. Пом'якшення наслідків підкислення океану

Океани є природними карбонатними буферними системами і діють як поглинач вуглецю в навколишньому середовищі, набагато більший, ніж вміст вуглецю в атмосфері та на землі. Океан є чудовим буфером для нейтралізації невеликих змін у своєму складі. Оскільки більше атмосферного CO<sub>2</sub> розчиняється в океанській воді, вуглець вивільняється з поглинача вуглецю в океані, роблячи океани більш кислотними (Ebenezzar et al., 2023). Океани поглинають CO<sub>2</sub> з атмосфери, діючи як буфер для рівня CO<sub>2</sub> в атмосфері. Якщо океани поглинають більше CO<sub>2</sub>, це призводить до зниження рН морської води, концентрації карбонатних іонів і мінералів карбонату кальцію (CaCO<sub>3</sub>), створюючи ситуацію, яка називається «підкисленням океану» (Reid et al., 2019).

Оскільки одночасне підвищення CO<sub>2</sub> (зниження рН і насичення арагонітом) і температури відбуватиметься разом із змінами солоності та, в деяких випадках, зниженням кисню (Boyd et al. 2015). Підкислення океану і температура взаємопов'язані. Враховуючи потенціал негативної синергії, підвищення температури вважається «злим близнюком» підкислення океану. Підвищення рівня кислотності морської води також негативно впливає на фізіологію та метаболізм водних видів, порушуючи механізми міжклітинного транспорту. Повідомлялося, що личинки, які піддаються дії морської води з низьким рН, мають нижчий рН у шлунку, що призводить до зниження ефективності травлення та більшого споживання



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

їжі (Stumpp et al. 2013). Теплі кліматичні умови також призведуть до виснаження кисню у воді та призведуть до зменшення фітопланктону. Планктон відіграє важливу роль у пом'якшенні світового клімату, поглинаючи викиди CO<sub>2</sub>. На фітопланктон припадає половина глобального фотосинтезу та значною мірою запобігає глобальному потеплінню (Huertas et al., 2011).

#### **4.1. Буферні агенти для пом'якшення підкислення океану**

Включення буферних агентів у композиції кормів допомагає протидіяти впливу підкислення океану на фізіологію травлення видів аквакультури. Буферні агенти в комбікормах нейтралізують або стабілізують рН у травному тракті та забезпечують оптимальні умови для засвоєння поживних речовин.

Буферними агентами є:

- Водорості зменшують підкислення океану та компенсують викиди. Морські водорості, включаючи ламінарію, також зменшують підкислення океану, видаляючи вуглекислий газ з води, і діють як місцевий «буферний» агент, що приносить користь багатьом морським видам. Морські водорості також виробляють розчинений кисень, зменшуючи поширення «мертвих зон» у воді. Широкомасштабне вирощування морських водоростей також досліджується як засіб видалення та поглинання вуглекислого газу з глибин океану (NOAA Fisheries, 2022).
- Неорганічні буфери: зазвичай це такі сполуки, як бікарбонат натрію (NaHCO<sub>3</sub>), карбонат кальцію (CaCO<sub>3</sub>) або гідроксид магнію (Mg(OH)<sub>2</sub>), які зазвичай використовуються для підтримки стабільності рН.
- Органічні буфери: такі сполуки, як солі лимонної кислоти (такі як цитрат натрію) або органічні кислоти (такі як мурашина або молочна кислоти), також є потенційними буферними агентами. Вони, як правило, більш специфічні у своїй буферній здатності, а також можуть підтримувати здоров'я кишечника, впливаючи на мікробні спільноти.
- Фітохімічні речовини та рослинні буфери: деякі рослини виробляють сполуки, які можуть природним чином буферизувати рівень рН і надавати додаткові переваги, такі як антиоксидантні властивості або протизапальну дію. Вони можуть бути корисними в органічних або стійких системах аквакультури.

Підсумовуючи, додавання буферних агентів до складу кормів для аквакультури пропонує багатообіцяючу стратегію зменшення наслідків підкислення океану. Цей підхід не тільки



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

підтримує здоров'я та ріст видів, що вирощуються, але й підвищує стійкість систем аквакультури до зміни клімату.

#### **4.2. Стратегії харчування для пом'якшення підкислення океану**

В аквакультурі підвищення стійкості до кислих умов є важливим питанням, особливо в умовах закислення океану, для розробки кормів і стратегій годівлі для стійкої аквакультури (Parker et al., 2024). Це може негативно вплинути на морське життя, особливо види, для належного росту, розвитку та здоров'я яких потрібен стабільний рН, наприклад риба, молюски та ракоподібні. Необхідно розробити корми та стратегії годівлі, які збільшують витривалість, покращують здоров'я та підвищують стійкість до стресу.

Деякі стратегії годування для пом'якшення підкислення:

1. Використання мінералів: у кислих умовах доступність кальцію та магнію у воді може зменшитися, а ці мінерали необхідні для підтримки цілісності раковин молюсків і ракоподібних. Низький рН може вплинути на розчинність мікроелементів у воді, тому додавання їх до кормів може підтримувати здоров'я риб і молюсків. Таким чином, додавання до корму форм кальцію та магнію з високою біодоступністю може допомогти цим видам добре підтримувати свій панцир і правильно рости.
2. Використання вітамінів: в стресових умовах, таких як підкислення, риба та молюски можуть відчувати окислювальний стрес, і цього можна досягти шляхом адекватного доповнення кормів вітаміном С. Вітамін Е є потужним антиоксидантом, який допомагає захистити клітини від окисного пошкодження, спричиненого стресовими факторами навколишнього середовища, включаючи підкислення. Вітаміни групи В, такі як В1 (тіамін), В2 (рибофлавін) і В12 (кобаламін), відіграють важливу роль в енергетичному обміні, роботі нервової системи та загальній стресостійкості.
3. Незамінні амінокислоти та жирні кислоти: в умовах стресу, викликаного підкисленням океанів, метаболізм і синтез білка в організмі аквакультури можуть змінюватися. Додавання до раціону таких амінокислот, як метіонін, лізин і треонін, може допомогти підтримувати ріст, відновлення тканин і імунну відповідь за цих стресових умов, є важливими для зменшення запалення, підтримки імунної функції та сприяння загальному росту. Доповнення раціонів аквакультури ЕРА та ДНА може допомогти пом'якшити деякі негативні фізіологічні ефекти підкислення.



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

4. Пробиотики та пребіотики: додавання корисних мікроорганізмів прямого згодовування може бути особливо важливим у підкисленій воді, де стрес від змін рН може призвести до дисбалансу мікробіома кишечника або ослаблення імунітету. Пребіотики також можуть покращити травлення та загальний стан здоров'я, живлячи корисні бактерії в кишечнику. Сприяючи здоровим мікробіомам, види аквакультури можуть краще справлятися зі стресом навколишнього середовища.

5. Антиоксиданти та фітохімічні речовини: у підкисленому середовищі активні форми кисню мають тенденцію накопичуватися, викликаючи окислювальний стрес. Додавання природних антиоксидантів, таких як каротиноїди та поліфеноли, до кормів може допомогти пом'якшити окисне пошкодження та підвищити стійкість.

### 5. Підвищення ефективності корму та перетравності

#### 5.1. Обробка екструзією

Екструзійна обробка – це метод, який використовується для приготування та пастеризації компонентів корму або корму шляхом короткочасного впливу високих температур і тиску, таким чином усуваючи всі ANF і збільшуючи споживання корму, засвоюваність поживних речовин і, отже, ріст риби. Інгредієнти корму, екструдовані таким чином, сприяють підвищенню рівня ліпідів у кормі, желатинізації крохмалю та збільшенню протеїну та енергетичної засвоюваності корму. Екструзія також є важливою у виробництві аквакультури, оскільки вона позитивно впливає на такі фізичні властивості, як зменшення тонкості, плавучості та занурення.

#### 5.2. Використання ферментних добавок

Використання ферментних добавок для покращення засвоюваності кормових інгредієнтів і покращення засвоєння поживних речовин, таким чином максимізуючи ріст і здоров'я в мінливих умовах навколишнього середовища, має вирішальне значення для годівлі аквакультури. Зокрема, додавання ензимів до екструдованого рибного корму для покращення засвоюваності фосфору, вуглеводів і протеїну в кормах може покращити стійкість навколишнього середовища, гарантуючи, що риба виділяє менше сполук у воду. У цьому контексті також важливо розробляти корми, які зберігають свою засвоюваність, незважаючи на зміни температури води через високу або низьку температуру води з глобальним потеплінням.

Оскільки температура плавлення жирних кислот у кормі підвищується в умовах холодної води, засвоюваність знижується, що негативно впливає на FCR. Цей ефект набагато більш



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

виражений у холодній воді, ніж у теплій. Тому необхідно підвищити загальну засвоюваність жиру за допомогою ліпаз, зокрема (Howell, 2022). Ферменти протеази можуть стимулювати ендогенні пептидази, покращуючи засвоюваність білків і гідролізуючи білкові антипоживні речовини, такі як лектини, інгібітори трипсину, антигенні білки та антихарчові алергенні білки, такі як гліцинін,  $\beta$ -конгліцинін і каферин (Cowieson, 2008). Використання кормів на рослинній основі, багатих NSPs у травному тракті риб, ферментів, таких як ксиланази, глюканази та целюлази, може підвищити засвоюваність та використання поживних речовин, що забезпечуються альтернативними інгредієнтами (Sarker, 2023).

### 5.3. Кормові функціональні добавки

Функціональні кормові добавки – це кормові добавки, які вводяться в композиції кормів для забезпечення основних харчових потреб традиційних кормів, а також для покращення росту та здоров'я аквакультури. Їх використання у складі кормів для аквакультури забезпечує такі переваги, як покращення здоров'я кишечника та корисних кишкових бактерій, підвищення виробництва ферментів та стимулювання апетиту, що, у свою чергу, призводить до покращення продуктивності росту. Крім того, ці кормові добавки можуть зменшити негативний вплив аквакультури на навколишнє середовище за рахунок покращення якості води та використання альтернативних білків у кормах для аквакультури (Onomu and Okuthe, 2024).

Використання наземного рослинного білка як часткової або повної заміни рибного борошна потребує кормових добавок. Антибіотики та хіміотерапевтичні засоби, що використовуються в аквакультурі, викликають стійкі до антибіотиків штами бактерій і усувають небажані природні мікроорганізми, а також проблеми із залишками антибіотиків у продуктах для людей. З іншого боку, пробіотики, пребіотики та фітогенні речовини як функціональні кормові добавки можуть використовуватися для запобігання/зменшення захворювань і підвищення імунітету господаря (Van Doan et al., 2020). Проте інформації про функціональні кормові добавки менше, ніж про інших тварин, особливо щодо їх зв'язку зі стійкістю аквакультури (Onomu and Okuthe, 2024).

Роль функціональних кормових добавок у сталому розвитку базується на їх п'яти основних впливах на аквакультуру:

1. Підвищене використання корму
2. Покращене стале використання ресурсів





Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”**  
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

3. Підвищення стійкості до хвороб та імунітету
4. Підвищена паразитарна стійкість
5. Поліпшення якості води

**5.3.1. Пробіотики (мікробні речовини прямого годування: DFM), пребіотики та симбіотики**

Корисні мікроорганізми та пребіотичні сполуки в кормах підтримують здоров'я кишечника, зміцнюють імунітет і підвищують загальну ефективність корму в умовах стресу, пов'язаного з глобальним потеплінням.

**Пробіотики**

- Пробіотики були визначені як живі кормові добавки, які мають сприятливий ефект, покращуючи кишковий мікробний баланс у тварин-господарів (Fuller, 1989). Ці речовини сприяють росту або розвитку шляхом збільшення споживання корму, використання корму або впливу на імунну систему тварин (Demir et al., 2003). Пробіотики є всесвітньо визнаною функціональною кормовою добавкою в кормах для аквакультури. Хоча існує багато визначень пробіотиків, таких як «живі мікроорганізми, які при введенні в адекватних кількостях сприяють здоров'ю хазяїна», ці визначення підходять для наземних тварин і людей, але не для водних тварин. Це тому, що водні тварини та мікроорганізми співіснують в одному водному середовищі. Тому що у водних тварин взаємодія між мікроорганізмами (включаючи пробіотики) і хазяїном відбувається не лише в кишковому тракті, а й у воді (Opomtu and Okuthe, 2024).
- Бактеріальні збудники стають все більш і більш стійкими до антимікробних препаратів, пестицидів і дезінфікуючих засобів, які використовуються для боротьби з водними хворобами. З цієї причини дослідження пробіотиків в аквакультурі є зростаючим попитом для забезпечення екологічно чистої сталої аквакультури як альтернативи антибіотикам. На жаль, рослинні інгредієнти можуть мати декілька негативних впливів на живлення аквакультури (Nielsen та ін., 2022). Пробіотики стабілізують мікробну популяцію шлунково-кишкового тракту риби шляхом усунення патогенних мікробів і підвищення засвоюваності та біодоступності поживних речовин (Oscar et al., 2020).
- Бактерії, дріжджі та водорості широко використовуються як пробіотики в аквакультурі. Ефекти пробіотиків можна класифікувати на дві групи відповідно до мети лікування (Nathanailides et al., 2021):



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Параметри росту та добробуту риби, включаючи вплив на ріст риби та параметри конверсії корму, кишкову мікробіоту та анатомію, імунітет та стійкість до патогенів.
- Екологічні параметри, включаючи рибні ставки та/або резервуари (якість води, різноманітність водної мікробіоти).

Багато пробіотичних мікроорганізмів було виділено та оцінено для використання в аквакультури для профілактики та боротьби з інфекційними захворюваннями видів аквакультури. Результати двох досліджень з використанням двох комерційних пробіотиків для оцінки впливу пробіотиків на самок плідника райдужної форелі (Akbari Nargesi та ін., 2020) і нільської тилії (Oreochromis niloticus) (El-Kady та ін., 2022) показали, що пробіотики можуть покращити репродуктивні параметри, зменшити загальний вміст аміачного азоту та аміаку та підвищити продуктивність росту та використання корму. порівняно з контролем.

### *Пребіотики та симбіотики*

Пребіотики – це неперетравні кормові добавки, які складаються переважно з олігосахаридів, які стимулюють і метаболізують корисні мікроорганізми в шлунково-кишковому тракті, одночасно покращуючи здоров'я господаря (Bozkurt et al., 2014). Для того, щоб кормову добавку можна було класифікувати як пребіотик, вона повинна досягати товстої кишки без перетравлення, бути стійкою до кислотності шлункового соку, гідролізуватися травними ферментами та засвоюватися шлунково-кишковим трактом (Davani-Davari et al., 2019). Корисність пребіотиків як кормових добавок пов'язана з побічними продуктами, отриманими під час бродіння бактеріями в кишечнику. Основними типами пребіотиків, які використовуються в аквакультури, є манновий олігосахарид (MOS), фруктоолігосахарид (FOS), галактоолігосахарид (GOS), арабіноксилановий олігосахарид (AXOS), інулін і  $\beta$ -глюкан.

Пробіотики, змішані з різними штамми пробіотиків або пребіотиками (симбіотиками), дають кращі переваги з точки зору росту та здоров'я порівняно з пробіотиками/пребіотиками окремо. Це пов'язано з тим, що вважається, що використання кількох штамів або синбіотиків доповнює один одного, таким чином розширюючи спектр їх впливу на господаря (Puvanendram et al., 2021). Widanarni та ін. (2019) показали, що харчові добавки маннолігосахаридів (MOS) через *Artemia* sp. може значно покращити постличинкову активність травних ферментів, ріст, виживання та стійкість до інфекції *Vibrio harveyi*. Дієтична добавка 1,5 г кг<sup>-1</sup>  $\beta$ -1,3 глюкану та фруктоолігосахаридів у тихоокеанських білих креветках (*Litopenaeus vannamei*) може бути ефективною для



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

підвищення продуктивності росту та антиоксидантної активності, а також покращення неспецифічного імунітету та стійкості до хвороб (Eissa et al., 2023).

### *Фітогенія*

Фітогенні – це група кормових добавок, отриманих із листя, стебел, коренів, насіння, бульб, фруктів, кушів і прянощів. Фітогенні препарати зазвичай стимулюють апетит, зміцнюють корисні кишкові бактерії та використовуються у сільськогосподарських тварин через їх антиоксидантну, антимікробну, антиканцерогенну, безпечну та протипаразитарну дію. Оскільки вони містять активні сполуки, вони також можуть мати токсичну дію. Їх властивості та ефективність дуже різноманітні та залежать від використовуваної частини рослини, використовуваної техніки екстракції та концентрації, сезону збору врожаю та географічного розташування (Onomu and Okuthe, 2024).

У дослідженні дві фітогенні кормові добавки, одна багата карвакром, а інша багата тимолом, покращили ефективність корму порівняно з контрольним раціоном і підвищили антиоксидантну захисну здатність райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss*) (Giannenas et al., 2012). Він також регулював кишкові мікробні спільноти шляхом негативного впливу на загальні анаероби. Дослідження Abdel-Latif et al. (2020) досліджували застосування дієтичної ефірної олії чебрецю (ОЕО) для коропа (*Cyprinus carpio* L.). Порівнюючи рибу, яку годували ОЕО, з контрольною групою, вони показали помітне покращення кишкових морфометричних параметрів. Ghafarifarsani та ін. (2022) досліджували вплив кверцетину, ефірної олії чебрецю та вітаміну С на раціон звичайного коропа (*Cyprinus carpio*). Вони виявили, що риба, яку годували кверцетином, мала більш високий рівень антиоксидантів у сироватці крові та печінці, включаючи каталазу, супероксиддисмутазу, глутатіонпероксидазу та глутатіонредуктазу, наприкінці 60-денного випробування годування. Вплив екстракту майорану на звичайну коропову рибу *Cyprinus carpio* досліджували Юсефі та ін. (2021). Максимальна кінцева вага, приріст ваги та питома швидкість росту, а також найнижчий FCR спостерігалися при додаванні до раціону 200 мг кг<sup>-1</sup> екстракту майорану.

### *Антистресові кормові добавки*

Найважливішим наслідком зміни клімату є стрес, який він створить для аквакультури через джерела навколишнього середовища. Останніми роками зростає кількість досліджень щодо зниження стресу у риб. На додаток до розробки нових технологій для покращення умов навколишнього середовища аквакультури, важливо включати деякі корисні добавки в їхні корми для зменшення стресової реакції на типові стресові фактори. Використання різних



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

добавок у рибних раціонах для зменшення реакції на стрес було детально вивчено. У цих дослідженнях повідомлялося про імунологічні, харчові та метаболічні зміни, завжди пов’язані з ендокринними процесами. Біохімічна природа та фізіологічна функціональність цих кормових добавок сильно впливають на реакцію на стрес, і фактично вони можуть діяти як нейромедіатори або попередники гормонів, енергетичні субстрати, кофактори та інші важливі елементи, які, у свою чергу, створюють мультисистемні та мультиорганічні реакції (Herrera et al., 2019).

Деякі з кормових добавок для зменшення фізіологічного впливу стресу включають ліпіди та жирні кислоти, вітаміни, мінерали, амінокислоти, нуклеотиди, пребіотики та антиоксиданти. Ding та ін. (2022) досліджували вплив синтетичних ПНЖК на зниження впливу температури на корали. Вони виявили, що як розвиток личинок, так і розселення личинок помітно посилилися в групі дієтичних добавок, тоді як рівень супероксиддисмутази, каталази та смертності коралів під впливом стресу знизився. Інше дослідження вивчало можливі імуномодуючі ефекти *Astragalus membranaceus* (AM) і *Glycyrrhiza glabra* (солодки) на жовтого окуня (*Perca flavescens*), де вплинули значення параметрів стресу (Elabd et al., 2016). Під час експерименту вони повідомили, що додавання дієти з AM і лакрицею значно покращило ріст, антиоксидантну та імунну реакцію — усі вони є корисними як природні засоби для зняття стресу.

### Резюме

Глобальне потепління може підвищити температуру води, збільшуючи швидкість метаболізму видів аквакультури, що вимагає змін у складі кормів для задоволення підвищених потреб у поживних речовинах. Необхідно регулювати співвідношення білків, ліпідів і вуглеводів у кормах, щоб адаптуватися до мінливих метаболічних потреб і забезпечити оптимальний ріст і здоров’я виду. Оскільки зміна клімату впливає на рибні запаси, які використовуються для рибного борошна та рибачого жиру, альтернативні джерела білка, такі як борошно з комах, водорості та білки рослинного походження, стають важливими для сталого корму для аквакультури. Для зменшення впливу на навколишнє середовище потрібні інновації у складі кормів, наприклад, використання інгредієнтів із відходів та оптимізація коефіцієнтів конверсії корму. Застосування передових технологій годівлі, таких як автоматичні годівниці та моніторинг у реальному часі, є важливим для оптимізації розподілу кормів, зменшення відходів та забезпечення ефективного використання ресурсів. Частота та кількість годівлі повинні бути змінені відповідно до мінливого апетиту та темпів росту видів за мінливих температурних умов. Буферні агенти слід додавати до складу кормів, щоб допомогти компенсувати вплив підкислення океану на фізіологію травлення видів аквакультури. Корисно розробляти кормові стратегії, які підвищують стійкість видів аквакультури до кислих умов, наприклад включати мінерали та вітаміни, які підтримують стійкість до стресу. Використання ферментних добавок для



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

покращення засвоюваності кормових інгредієнтів і покращення засвоєння поживних речовин є життєво важливим, таким чином максимізуючи ріст і здоров'я в мінливих умовах навколишнього середовища. Додавання корисних мікроорганізмів і пребіотичних сполук до кормів для підтримки здоров'я кишечника, підвищення імунітету та підвищення загальної ефективності корму в умовах стресових факторів, пов'язаних з глобальним потеплінням, підвищить ефективність.

### Список літератури

Aasen, I. M., Sandbakken, I. S., Toldnes, B., Roleda, M. Y., & Slizyte, R. (2022). Enrichment of the protein content of the macroalgae *Saccharina latissima* and *Palmaria palmata*. *Algal research*, 65, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102727>

Abdel-Latif, H. M., Abdel-Tawwab, M., Khafaga, A. F., & Dawood, M. A. (2020). Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 526, 735432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735432>

Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: Food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4), 9521-9547. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>

Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental management*, 63, 159-172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>

Akbari Nargesi, E., Falahatkar, B., & Sajjadi, M. M. (2020). Dietary supplementation of probiotics and influence on feed efficiency, growth parameters and reproductive performance in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Aquaculture Nutrition*, 26(1), 98-108. <https://doi.org/10.1111/anu.12970>

Albrektsen, S., Kortet, R., Skov, P. V., Ytteborg, E., Gitlesen, S., Kleinegris, D., ... & Øverland, M. (2022). Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in aquaculture*, 14(4), 1790-1812. <https://doi.org/10.1111/raq.12673>

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and fisheries*, 7(2), 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Allegretti, G., Schmidt, V., & Talamini, E. (2017). Insects as feed: species selection and their potential use in Brazilian poultry production. *World's poultry science journal*, 73(4), 928-937. <https://doi.org/10.1017/S004393391700054X>

Amin, M. N., Barnes, R. K., & Adams, L. R. (2014). Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal feed science and technology*, 193, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.016>

Amin, M. N., Carter, C. G., Katersky Barnes, R. S., & Adams, L. R. (2016). Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. *Aquaculture nutrition*, 22(3), 527-540. <https://doi.org/10.1111/anu.12274>

Alloul, A., Wille, M., Lucenti, P., Bossier, P., Van Stappen, G., & Vlaeminck, S. E. (2021). Purple bacteria as added-value protein ingredient in shrimp feed: *Penaeus vannamei* growth performance, and tolerance against *Vibrio* and ammonia stress. *Aquaculture*, 530, 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>

Ang, C. Y., Yong, A. S. K., Azad, S. A., Lim, L. S., Zuldin, W. H., & Lal, M. T. M. (2021). Valorization of macroalgae through fermentation for aquafeed production: A review. *Fermentation*, 7(4), 304. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040304>

Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. K. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., Mansour, A. T. (2021). Valorization use of amphipod meal, *Gammarus pulex*, as a fishmeal substitute on growth performance, feed utilization, histological and histometric indices of the gut, and economic revenue of grey mullet. *Journal of marine science and engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>

Becker, E. W. (2013). Microalgae for aquaculture: nutritional aspects. *Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology*, 671-691. ISBN:9780470673898.

Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752-755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>





Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Blacher, E., Levy, M., Tatirovsky, E., & Elinav, E. (2017). Microbiome-modulated metabolites at the interface of host immunity. *The journal of immunology*, 198(2), 572-580. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1601247>

Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food security*, 14(3), 805-827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>

Bozkurt, M., Aysul, N., Küçükyılmaz, K., Aypak, S., Ege, G., Catli, A. U., ... & Çınar, M. (2014). Efficacy of in-feed preparations of an anticoccidial, multienzyme, prebiotic, probiotic, and herbal essential oil mixture in healthy and *Eimeria* spp.-infected broilers. *Poultry science*, 93(2), 389-399. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03368>

Bunting, M., 2021. Making fish feed greener: by-products the key to a sustainable aquaculture industry. 22 September 2021. <https://disruptr.deakin.edu.au/environment/making-fish-feed-greener-by-products-the-key-to-a-sustainable-aquaculture-industry/>

Cheung, W.W:L., Maire, E., Oyinlola, MA., Robinson, J.P.W., Graham, N.A.J., Lam, V.W.Y., McNeil, M.A., Hicks, C.C. (2023). Climate change exacerbates nutrient disparities from seafood. *Nature Climate Change*, 13: 1242–1249. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01822-1>

Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature food*, 1(5), 301-308. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x>

Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British poultry science*, 49(1), 37-44. <https://doi.org/10.1080/0007166070181298>

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>

Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D. J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., Hülsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water research X*, 4, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100031>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Demir, E., Sarica, Ş., Özcan, M. A., & Sui Mez, M. (2003). The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. *British poultry science*, 44(S1), 44-45. <https://doi.org/10.1080/713655288>

Ding, D. S., Wang, S. H., Sun, W. T., Liu, H. L., & Pan, C. H. (2022). The effect of feeding on *briareum violacea* growth, survival and larval development under temperature and salinity stress. *Biology*, 11(3), 410. <https://doi.org/10.3390/biology11030410>

Ebenezzar, S., Singh, D. K., Sahoo, S., Prabu Linga, D., & Pal, A. K. (2023). Outlook of Climate Change and Fish Nutrition. Editors: Archana Sinha, Shivendra Kumar, Kavita Kumari. Springer, ISBN 978-981-19-5499-3, (eBook).

Eissa, E. S. H., Ahmed, R. A., Abd Elghany, N. A., Elfeky, A., Saadony, S., Ahmed, N. H., Sakr, S. E. S., Dayrit, G. B., Tolenada, C. P. S., Atienza, A. A. C., Mabrok, M., & Ayoub, H. F. (2023). Potential symbiotic effects of  $\beta$ -1,3 glucan, and fructooligosaccharides on the growth performance, immune response, redox status, and resistance of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei* to *Fusarium solani* infection. *Fishes*, 8(2), 105. <https://doi.org/10.3390/fishes8020105>

Elabd, H., Wang, H. P., Shaheen, A., Yao, H., & Abbass, A. (2016). Feeding Glycyrrhiza glabra (liquorice) and Astragalus membranaceus (AM) alters innate immune and physiological responses in yellow perch (*Perca flavescens*). *Fish & shellfish immunology*, 54, 374-384. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.04.024>

El-Kady, A. A., Magouz, F. I., Mahmoud, S. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>

FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action; FAO: Rome, Italy, 2020; ISBN 978-92-5-132692-3.

Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374), 237-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Fowles, T. M., & Nansen, C. (2020). Insect-based bioconversion: value from food waste. *Food waste management: solving the wicked problem*, 321-346. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12)

Froehlich, H. E., Jacobsen, N. S., Essington, T. E., Clavelle, T., & Halpern, B. S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nature sustainability*, 1(6), 298-303. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0077-1>

Garcia-Launay, F., Dusart, L., Espagnol, S., Laisse-Redoux, S., Gaudre, D., Meda, B., Wilfart, A., (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British journal nutrition*, 120, 1298–1309. <https://doi.org/10.1017/s0007114518002672>.

Gardiner, G. E., Metzler-Zebeli, B. U., & Lawlor, P. G. (2020). Impact of intestinal microbiota on growth and feed efficiency in pigs: A review. *Microorganisms*, 8(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121886>

Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P. P., De Angelis, A., ... & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian journal of animal science*, 19(1), 360-372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>

Geda, F., Rekecki, A., Decostere, A., Bossier, P., Wuyts, B., Kalmar, I. D., & Janssens, G. P. J. (2012). Changes in intestinal morphology and amino acid catabolism in common carp at mildly elevated temperature as affected by dietary mannanoligosaccharides. *Animal feed science and technology*, 178(1-2), 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.09.008>

Ghafariarsani, H., Hoseinifar, S. H., Javahery, S., & Van Doan, H. (2022). Effects of dietary vitamin C, thyme essential oil, and quercetin on the immunological and antioxidant status of common carp (Cyprinus carpio). *Aquaculture*, 553, 738053. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738053>

Giannenas, I., Triantafyllou, E., Stavrakakis, S., Margaroni, M., Mavridis, S., Steiner, T., & Karagouni, E. (2012). Assessment of dietary supplementation with carvacrol or thymol containing feed additives on performance, intestinal microbiota and antioxidant status of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Aquaculture*, 350, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.027>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Glencross, B. D., Huyben, D., & Schrama, J. W. (2020). The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds-a review. *Fishes*, 5(3), 22. <https://doi.org/10.3390/fishes5030022>

Godoy M.G., Amorim G.M., Barreto M.S., Freire D.M.G. (2018). Chapter 12—Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. In: Pandey A., Larroche C., Soccol C.R., editors. *In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. pp. 235–256. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8>

Groot, R., Lyons, P., & Schrama, J. W. (2021). Digestible energy versus net energy approaches in feed evaluation for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 274, 114893. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114893>

Guillen, A. C., Borges, M. E., Herrerias, T., Kandalski, P. K., de Arruda Marins, E., Viana, D., ... & Donatti, L. (2019). Effect of gradual temperature increase on the carbohydrate energy metabolism responses of the antarctic fish *notothenia rossii*. *Marine environmental research*, 150, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104779>

Guerreiro, I., Castro, C., Antunes, B., Coutinho, F., Rangel, F., Couto, A., ... & Enes, P. (2020). Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. *Aquaculture*, 516, 734613. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734613>

Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*, 66(5), 365-378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>

Herrera, M., Mancera, J. M., & Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in endocrinology*, 10, 447. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>

Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S. J., Pucylowski, T., & Walsworth, T. E. (2018). The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 329-335. <https://doi.org/10.1002/fee.1822>

Hanachi, P., Karbalaie, S., Walker, T. R., Cole, M., & Hosseini, S. V. (2019). Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental science and pollution research*, 26, 23777-23787. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Howell, M. (2022). An insider's view of advances in aquaculture nutrition. 23 September 2022. <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>

Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., ... & Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One earth*, 1(3), 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>

Huertas, I. E., Rouco, M., Lopez-Rodas, V., & Costas, E. (2011). Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1724), 3534-3543. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0160>

Huguet, C. T., Norambuena, F., Emery, J. A., Hermon, K., & Turchini, G. M. (2015). Dietary n-6/n-3 LC-PUFA ratio, temperature and time interactions on nutrients and fatty acids digestibility in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 436, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.011>

Idenyi, J. N., Eya, J. C., Nwankwegu, A. S., & Nwoba, E. G. (2022). Aquaculture sustainability through alternative dietary ingredients: Microalgal value-added products. *Engineering microbiology*, 2(4), 100049. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100049>

Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current opinion in biotechnology*, 61, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>

Jusadi, D., Ekasari, J., Suprayudi, M. A., Setiawati, M., & Fauzi, I. A. (2021). Potential of underutilized marine organisms for aquaculture feeds. *Frontiers in marine science*, 7, 609471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.609471>

Khan, M. A., Das, S. K., & Bhakta, D. (2018). Food and feeding habits, gastro-somatic index and gonado-somatic index of *Scylla serrata* from Hooghly-Matlah estuary of West Bengal, India. *Journal of the marine biological association of india*, 60(1), 14. <https://doi.org/10.6024/jmbai.2018.60.1.1994-02>

Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L., & Corraze, G. (2018). Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PLoS One*, 13(1), e0190730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190730>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Legrand, T. P., Wynne, J. W., Weyrich, L. S., & Oxley, A. P. (2020). A microbial sea of possibilities: current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Reviews in aquaculture*, 12(2), 1101-1134. <https://doi.org/10.1111/raq.12375>

Li, Y., Kortner, T. M., Chikwati, E. M., Belghit, I., Lock, E. J., & Krogdahl, Å. (2020). Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 520, 734967. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967>

Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. *Edible insects in sustainable food systems*, 263-276. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16)

Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818-835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>

Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Ferguson, N., & Kyriazakis, I. (2016). Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *British journal of nutrition*, 115(10), 1860-1874. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000763>

Mancuso, T., Pippinato, L., & Gasco, L. (2019). The European insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply. *Calitatea*, 20(S2), 374-381. <https://www.researchgate.net/publication/332504133>

Messeder, T., 2021. Innovation opportunities in European Aquaculture. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.

Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818-835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>

MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>





Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Matassa, S., Papirio, S., Pikaar, I., Hülsen, T., Leijenhurst, E., Esposito, G., ... & Verstraete, W. (2020). Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the “full gas” route to single cell protein. *Green chemistry*, 22(15), 4912-4929. <https://doi.org/10.1039/D0GC01382J>

Mo, W. Y., Cheng, Z., Choi, W. M., Man, Y. B., Liu, Y., & Wong, M. H. (2014). Application of food waste-based diets in polyculture of low trophic level fish: Effects on fish growth, water quality and plankton density. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 803-809. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.020>

Nadermann, N., Seward, R. K., & Volkoff, H. (2019). Effects of potential climate change-induced environmental modifications on food intake and the expression of appetite regulators in goldfish. *Comparative biochemistry and physiology part a: molecular & integrative physiology*, 235, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.06.001>

Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... & Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of biotechnology*, 341, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>

Nasser, N., Abiad, M. G., Babikian, J., Monzer, S., & Saoud, I. P. (2018). Using restaurant food waste as feed for Nile tilapia production. *Aquaculture research*, 49(9), 3142-3150. <https://doi.org/10.1111/are.13777>

Nathanailides, C., Kolygas, M., Choremi, K., Mavraganis, T., Gouva, E., Vidalis, K., & Athanassopoulou, F. (2021). Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms. *Fishes*, 6(4), 76. <https://doi.org/10.3390/fishes6040076>

Nielsen, T. B., Würtz, A. M. L., Tjønneland, A., Overvad, K., & Dahm, C. C. (2022). Substitution of unprocessed and processed red meat with poultry or fish and total and cause-specific mortality. *British Journal of Nutrition*, 127(4), 563-569. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001252>

NOAA Fisheries, (2022). Climate Resilience and Aquaculture. Fact Sheet 2022. [www.fisheries.noaa.gov/aquaculture](http://www.fisheries.noaa.gov/aquaculture)



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ojeda, J., 2021. Can sustainable aquaculture help to achieve the UN SDGs? <https://www.eitfood.eu/blog/can-sustainable-aquaculture-help-to-achieve-the-un-sdgs> 17 August, 2021. Officials.

Onomu, A. J., & Okuthe, G. E. (2024). The Role of Functional Feed Additives in Enhancing Aquaculture Sustainability. *Fishes*, 9(5), 167. <https://doi.org/10.3390/fishes9050167>

Oscar, E. V., Joshua, E. O., Felix, E., & Eyerituvie, A. F. (2020). A Review on the Application and Benefits of Probiotics Supplements in Fish Culture. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 11(4), 62-65. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2020.11.555817>

Parker, L. M., Scanes, E., O'Connor, W. A., Dove, M., Elizur, A., Pörtner, H. O., & Ross, P. M. (2024). Resilience against the impacts of climate change in an ecologically and economically significant native oyster. *Marine pollution bulletin*, 198, 115788. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115788>

Pombo, A., Baptista, T., Granada, L., Ferreira, S. M., Gonçalves, S. C., Anjos, C., ... & Costa, J. L. (2020). Insight into aquaculture's potential of marine annelid worms and ecological concerns: a review. *Reviews in aquaculture*, 12(1), 107-121. <https://doi.org/10.1111/raq.12307>

Porteus, C. S., Hubbard, P. C., Uren Webster, T. M., van Aerle, R., Canário, A. V., Santos, E. M., & Wilson, R. W. (2018). Near-future CO<sub>2</sub> levels impair the olfactory system of a marine fish. *Nature climate change*, 8(8), 737-743. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0224-8>

Puvanasundram, P., Chong, C. M., Sabri, S., Yusoff, M. S., & Karim, M. (2021). Multi-strain probiotics: Functions, effectiveness and formulations for aquaculture applications. *Aquaculture reports*, 21, 100905. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100905>

Qiu, X., Neori, A., Kim, J. K., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., ... & Davis, D. A. (2018). Evaluation of green seaweed *Ulva* sp. as a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of applied phycology*, 30, 1305-1316. <https://www.researchgate.net/publication/320042463>

Ragaza, J. A., Hossain, M. S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Kotzamanis, Y., ... & Kumar, V. (2021). Brown seaweed (*Sargassum fulvellum*) inclusion in diets with fishmeal partially replaced with soy protein concentrate for Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) juveniles. *Aquaculture nutrition*, 27(4), 1052-1064. <https://doi.org/10.1111/anu.13246>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin Jr, M., & Sugama, K. (2021). Dietary Supplementation of humic acid in the Feed of juvenile asian seabass, *Lates calcarifer* to counteract possible negative effects of Cadmium Accumulation on Growth and Fish Well-being when Green Mussel (*Perna viridis*) is used as a Feed ingredient. *Aquaculture research*, 52(6), 2550-2568. <https://doi.org/10.1111/are.15104>

Reid, G.K., Gurney-Smith, H., Marcogliese, D.J., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A.F., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R.D., Flaherty, M.S., Smith, C.T., de Silva, S., (2019). Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture environment interactions*, 11, 569-602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>

Rimoldi S, Torrecillas S, Montero D, Gini E, Makol A, Valdenegro V. V, et al. (2020). Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phytogenics on gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PLoS ONE* 15(4): e0231494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231494>

Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, 8, 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>

Sandblom, E., Gräns, A., Axelsson, M., & Seth, H. (2014). Temperature acclimation rate of aerobic scope and feeding metabolism in fishes: implications in a thermally extreme future. *Proceedings of the royal society b: biological sciences*, 281(1794), 20141490. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1490>

Sarker, P. K., Fournier, J., Boucher, E., Proulx, E., de la Noüe, J., & Vandenberg, G. W. (2011). Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 168, 241-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.086>

Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific reports*, 10(1), 19328. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75289-x>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Sarker, P. K. (2023). Microorganisms in fish feeds, technological innovations, and key strategies for sustainable aquaculture. *Microorganisms*, 11(2), 439. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>

Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>

Sepulveda, J., & Moeller, A. H. (2020). The effects of temperature on animal gut microbiomes. *Frontiers in microbiology*, 11, 384. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384>

Shahin, S., Okomoda, V. T., Ma, H., & Ikhwanuddin, M. (2023). Sustainable alternative feed for aquaculture: state of the art and future perspective. *Planetary sustainability*, 1(1), 62-96. <https://www.researchgate.net/publication/373874626>

Sharma, J., Singh, S. P., & Chakrabarti, R. (2017). Effect of temperature on digestive physiology, immune-modulatory parameters, and expression level of Hsp and LDH genes in *Catla catla* (Hamilton, 1822). *Aquaculture*, 479, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.031>

Siikavuopio, S.I., James, P., Lysne, H., Saather, B.J. (2012). Effects of size and temperature on growth and feed conversion of juvenile green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 354–355:27–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.036>

Smárason, B.Ö., 2023. Why are sustainable feed need? Eit Food. <https://www.eitfood.eu/blog/fish-feed-why-we-need-sustainable-alternatives>, 01.07.2023.

Stumpp, M., Hu, M., Casties, I., Saborowski, R., Bleich, M., Melzner, F., & Dupont, S. (2013). Digestion in sea urchin larvae impaired under ocean acidification. *Nature climate change*, 3(12), 1044-1049. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2028>

Tait, J. (2021). New approach to feed production can transform climate impact of industries including fish farming. <https://www.sps.ed.ac.uk/news-events/news/new-approach-feed-production-can-transform-climate-impact-industries-including>

Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1), 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>



Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Trinh, L. T., Bakke, I., & Vadstein, O. (2017). Correlations of age and growth rate with microbiota composition in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Scientific reports*, 7(1), 8611. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09073-9>

Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Tapingkae, W., Seel-Audom, M., Jaturasitha, S., Dawood, M. A., Esteban, M. Á. (2020). Boosted growth performance, mucosal and serum immunity, and disease resistance Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings using corncob-derived xylooligosaccharide and *Lactobacillus plantarum* CR1T5. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 400-411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100953>

Vieira, L., Filipe, D., Amaral, D., Magalhães, R., Martins, N., Ferreira, M., ... & Peres, H. (2023). Solid-state fermentation as green technology to improve the use of plant feedstuffs as ingredients in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Animals*, 13(17), 2692. <https://doi.org/10.3390/ani13172692>

Volkoff, H. (2019). Feeding and its regulation. In *Climate change and non-infectious fish disorders* (pp. 87-101). Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393982.0087>

Warwas, N., (2023). Novel Marine Ingredients for Aquaculture - Fish Nutrition, Physiology and Intestinal Health. Doctoral thesis, University of Gothenburg Faculty of Science, Department of Biological and Environmental Sciences; Institutionen för biologi och miljövetenskap, ISBN 978-91-8069-513-8 978-91-8069-514-5

Widanarni, W., Taufik, A., Yuhana, M., & Ekasari, J. (2019). Dietary mannan ligosaccharides positively affect the growth, digestive enzyme activity, immunity and resistance against vibrio harveyi of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 19, 271-278. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19\\_4\\_01](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_01)

Wilfart, A., Garcia-Launay, F., Terrier, F., Soudé, E., Aguirre, P., & Skiba-Cassy, S. (2023). A step towards sustainable aquaculture: Multiobjective feed formulation reduces environmental impacts at feed and farm levels for rainbow trout. *Aquaculture*, 562, 738826.

Yadav, S., & Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>



Funded by  
the European Union



## The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Yousefi, M., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Rashidian, G., & Van Doan, H. (2021). Effects of dietary marjoram, *Origanum majorana* extract on growth performance, hematological, antioxidant, humoral and mucosal immune responses, and resistance of common carp, *Cyprinus carpio* against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & shellfish immunology*, 108, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.019>

Zengin, M., Sur, A., İlhan, Z., Azman, M. A., Tavşanlı, H., Esen, S., Bacaksız, O.K., Demir, E. (2022). Effects of fermented distillers grains with solubles, partially replaced with soybean meal, on performance, blood parameters, meat quality, intestinal flora, and immune response in broiler. *Research in veterinary science*, 150, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.027>

Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Zhu, X., Han, D., & Xie, S. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water biology and security*, 3: 1-15, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290>

Ziv-Douki, H., (2020). Combining strengths for greater impact. *Cargill aqua nutrition sustainability report 2020. Healthy seafood for future generations*. <https://www.cargill.com/doc/1432196768685/cargill-aqua-nutrition-sustainability-report-2020.pdf>

### Список скорочень

**Аквакультура:** розведення, вирощування та збір риби, молюсків і водних рослин. По суті, це фермерство у воді.

**DFM:** мікроорганізми прямого годування, такі як пробіотики та дріжджі

**DHA:** докозагексаєнова кислота

**EPA:** Ейкозапентаєнова кислота

**ПГ:** Парникові гази

**FER:** Коефіцієнт ефективності корму (приріст/корм)

**FCR:** Коефіцієнт конверсії корму (корм/приріст)

**МО дієта:** багатоцільова оптимізація харчових, екологічних та економічних аспектів дієт

**NE:** чиста енергія

**Чистий нуль:** баланс між кількістю виробленого парникового газу (ПГ) і кількістю виведеного з атмосфери.





Funded by  
the European Union



**The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCā]”**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

**LCA:** *Оцінка життєвого циклу*

**Пребіотична добавка:** *їжа (зазвичай їжа з високим вмістом клітковини), яка є їжею для мікрофлори тварин*

**Пробіотична добавка:** *харчові продукти або добавки, що містять живі мікроорганізми.*

**ПНЖК:** *поліненасичені жирні кислоти*

**SCO:** *одноклітинні організми*