

СПАНЬОЛО Д. * (<https://orcid.org/0000-0003-3236-6974>)

ДЖЕНОВЕЗЕ Г. (<https://orcid.org/0000-0002-4939-2442>)

Лабораторія фікології, кафедра хімічних, біологічних, фармацевтичних та
екологічних наук, Університет Мессіни,
Саліта Спероне 31, Мессіна 98166, Італія

*Адреса для листування: damiano.spagnuolo@unime.it

ПОРІВНЯЛЬНІ МЕТОДИ ЕКСТРАКЦІЇ ПОЛІСАХАРИДІВ УЛЬВАНІВ З *ULVA OHNOI* (*CHLOROPHYTA*): ПЕРЕВАГИ МІКРОХВИЛЬОВИХ МЕТОДІВ

Реферат. Проведено порівняння чотирьох загальноприйнятих методів екстракції полісахаридів з метою визначення найбільш ефективного та рентабельного методу. Макроводорості є цінним сировинним ресурсом і використовуються в різних галузях промисловості. Однак їхня біомаса іноді може зашкоджувати діяльності людини та сприяти евтрофікації водного середовища, оскільки водорості часто ростуть неконтрольовано. У даному дослідженні макроводорість *Ulva ohnoi* M.Hiraoka et S.Shimada (*Chlorophyta*), відома своєю здатністю до виробництва високої біомаси, була обрана та використана як джерело полісахаридів. Метою дослідження було порівняння різних методів екстракції полісахаридів для оцінки врожайності, витрат і потенційного впливу на навколишнє середовище. Дані, отримані в результаті порівняння чотирьох протоколів екстракції, розроблених для визначення найбільш ефективного та рентабельного методу екстракції з урахуванням впливу на навколишнє середовище та економіки, показують потенціал альтернативних протоколів вилучення. Екстракція за допомогою мікрохвиль має найвищий вихід і найнижче споживання енергії, а методи

Надійшла до редакції 01.07.2024. Після доопрацювання 21.10.2024. Підписана до друку 19.11.2024.
Опублікована 20.03.2025

Ц и т у в а н н я . Спаньоло Д., Дженовезе Г. 2025. Порівняльні методи екстракції полісахаридів
ульванів з *Ulva ohnoi* (*Chlorophyta*): переваги мікрохвильових методів. *Альгологія*. 35(1): 73–83.
<https://doi.org/10.15407/alg35.01.073>

This is open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

розчинників пропонують очевидні екологічні переваги. Отримані результати вказують на те, що метод мікрохвильової екстракції можна використовувати як альтернативу традиційному для вилучення ульванів з *U. ohnoi*.

Ключові слова: полісахариди водоростей, екстракція полісахаридів, мікрохвилі, звичайна екстракція полісахаридів, *Ulva ohnoi*, *Chlorophyta*

Вступ

Макроводорості є важливим джерелом численних сполук із широким спектром дії. Їхні клітинні стінки містять велику кількість структурних полісахаридів, необхідних для розвитку талому та підтримки потенціального водного балансу у відповідь на десикативний стрес. Ці структурні молекули додають текстуру та еластичність клітинним стінкам водоростей і захищають клітини від висихання. Варіабельність виробництва полісахаридів з різних видів водоростей може залежати від кількох екологічних факторів, таких як таксономічне положення, географічний розподіл, фізіологічні умови росту та фактори стресу (Ahmed et al., 2024).

Полісахариди водоростей є цінними продуктами, які комерційно використовують у всьому світі. Сьогодні світовий експорт морських водоростей поступово збільшується, приділяючи все більше уваги видобутку гідроколідів (Araújo et al., 2021). Завдяки своїй структурній і морфологічній універсальності вони застосовуються в різних галузях промисловості, таких як виробництво харчових добавок, фармацевтичних та косметичних продуктів. Найбільш економічно значущі полісахариди в основному отримують із видів *Rhodophyta* та *Phaeophyceae*, але останнім часом зростає частка представників *Chlorophyta* (Glasson et al., 2017; Kidgell et al., 2021). Зелені водорості виробляють сульфатовані полісахариди, які виявилися затребуваними в різних секторах економіки (Glasson et al., 2017; Bussy et al., 2022).

Макроводорості, які ростуть в антропоізованих середовищах, часто утворюють велику кількість біомаси, яка, окрім зміни екологічного балансу, створює труднощі для діяльності людини (Milledge, Harvey, 2016). Тому водорості необхідно періодично видаляти з таких водойм (Spagnuolo et al., 2023), при цьому їхня утилізація призводить до витрат комунальних коштів. Виникла потреба в пошуку шляхів валоризації біомаси для перетворення її з відходів у ресурси.

Серед представників зелених водоростей, які продукують біомасу в антропоізованих середовищах (наприклад, у прибережній зоні середземноморських районів), інвазивна *Ulva ohnoi* є особливо важливою. Цей вид

утворює у водоймах велику кількість біомаси, яка перешкоджає діяльності людини та сприяє евтрофікації навколишнього середовища, тому її необхідно періодично вилучати. Зокрема, повідомлялося про інвазії *U. ohnoi* в різних регіонах світу, включаючи лагуну Капо Пелоро та оз. Ганзіррі на Сицилії (Італія). Ця територія характеризується специфічними умовами навколишнього середовища, які сприяють швидкому та надмірному росту цієї макроводорості (Armeli Minicante та ін., 2024). Даний вид спричиняє цвітіння і має значний вплив на місцеві екосистеми, виснажуючи кисень і змінюючи природне середовище існування. Талом ульви характеризуються сульфатованими структурними полісахаридами, а саме ульванами, які все частіше використовуються в харчовій і косметичній промисловості та мають декілька біологічно активних властивостей (Spagnuolo et al., 2022). Молекулярна структура ульванів є складною, до неї входять уронові кислоти (такі як глюкуронова та ідуоронова) та цукри у вигляді залишків рамнози, ксилози та глюкози (Kidgell et al., 2019, 2021). У деяких видів *Ulva* основний дисахарид включає два типи альдобіуронової кислоти, а саме 3-сульфат ульванобіуронової кислоти (тип А і В) (Lahaye, Robic, 2007), а в інших видів — два типи ульванобіозових кислот: ульванобіозова кислота 3-сульфат і 2,3-дисульфат ульванобіозової кислоти (Lakshmi et al., 2020).

Загальноприйняті методи екстракції полісахаридів базуються на серії етапів, спрямованих на перетворення нерозчинних сполук клітинної стінки на розчинні молекули. Цей процес потребує тривалого часу, використання гарячої води та розчинників у лужних умовах, що має небажані наслідки, пов'язані зі збільшенням екологічних факторів ризику та споживанням енергії (Neriyanto та ін., 2018). Луги (зазвичай, це гідроксид кальцію або натрію) виконують дві функції: сприяють набухання та мацерації водоростевих таломів для виведення ульванів у розчин і видаляють сульфатні групи з полісахаридних ланцюгів. Ці етапи необхідні для підвищення міцності гелю та реактивності ульванів. Наприкінці екстракції використовуються різні методи відновлення полісахаридів із розчинів, але високоякісні продукти отримують шляхом осадження в спиртах (Costa et al., 2012).

Ми проаналізували методи екстракції біоактивних полісахаридів, оскільки вибір протоколу може значно вплинути на кінцевий продукт та його використання. Особлива увага була приділена екстракції за допомогою мікрохвиль (MAE). Це відносно новий підхід до екстракції (Chen та ін., 2005; Garcia-Vaquero та ін., 2021; Spagnuolo та ін., 2022), у якому джерелом енергії служить мікрохвильовий аплікатор. Мета роботи полягала в порівнянні протоколів звичайної (CE) та мікрохвильової

екстракції (MAE), зосереджуючись на тривалості екстракції, виході полісахаридів і виробничих витратах, щоб оптимізувати процес щодо зберігання енергії та часу. Порівняння цих методів дозволить зрозуміти, яка комбінація техніки екстракції та розчинника дає найбільший вихід полісахаридів при мінімізації споживання енергії та часу виробництва. Цей комплексний аналіз необхідний для розробки стійкого та масштабованого процесу екстракції, який можна застосовувати в різних промислових цілях.

Матеріали та методи

Матеріалом для дослідження слугувала біомаса *U. ohnoi*, зібрана в солонуватому оз. Ганзіррі (природний заповідник «Мис Пелоро», Мессіна, Італія), яку використовували для екстракції ульванів та порівняння таких параметрів, як час екстракції, вихід полісахаридів і споживання енергії. Відбір матеріалу здійснювали в липні 2020 р. в оз. Ганзіррі, Мессіна (38°15'46.894" N 15°37'34.893" E). Зразки зберігали при 4 °C, а потім доставляли до лабораторії для повторного видалення епіфітного компонента. Усі зразки висушували для стабілізації та зберігали в герметичних пакетах із силікагелем при кімнатній температурі; кожен підзразок мав 100 г сухої ваги (CB).

Традиційний метод екстракції полісахаридів (CE) застосовували згідно описаному у літературі (Abdul Khalil et al., 2018; Zammuto et al., 2022) та порівнювали з методом екстракції за допомогою мікрохвиль (MAE) (Spagnuolo et al., 2022). Протокол із мікрохвильовою піччю був розроблений з використанням моделі Whirpool MWD 302/WH потужністю 140 Вт, модель конвекційної печі TCN 115 PLUS.

Було застосовано чотири протоколи. Два з них базувалися на загальноприйнятих методах екстракції полісахаридів з використанням дистильованої води (CEW) та розчину соляної кислоти (CEA), інші два були пов'язані з дією мікрохвиль при екстракції з використанням дистильованої води (MAEW) та розчину соляної кислоти (MAEA). Детальні протоколи екстракції ульванів представлені в табл. 1.

Усі варіанти екстракції проводили в трьох повторях. Для кожного повтору 100 г висушених водоростей суспендували в 1 л демінералізованої води або кислоти. Після екстракції вихід полісахаридів вимірювали шляхом зважування висушеного екстракту, отриманого після випаровування розчинника. Урожайність розраховували як вагу екстрагованих полісахаридів відносно початкової висушеної ваги біомаси водоростей. Дані були виражені як середні значення зі стандартними відхиленнями. Кожен експеримент з екстракції проводили в трьох

повторах, щоб забезпечити відтворюваність; стандартне відхилення було розраховано за цими повторами.

Таблиця 1. Протоколи екстракції полісахаридів

Звичайна екстракція водою (ЗЕВ)	Звичайна екстракція кислотою (ЗЕК)	Екстракція водою за допомогою мікрохвиль (ЕВМХ)	Екстракція кислотою за допомогою мікрохвиль (ЕКМХ)
Інкубація в дистильованій воді при 70 °С протягом 3 год у конвекційній печі	Інкубація в HCl (pH 2) при 70 °С впродовж 3 год у конвекційній печі	Інкубація в дистильованій воді при 140 Вт впродовж 10 хв (70 °С) в мікрохвильовій печі; повторити по досягненню суміші 30 °С перед другою інкубацією	Інкубація в HCl (pH 2) при 140 Вт впродовж 10 хв (70 °С) у мікрохвильовій печі; повторити по досягненню суміші 30 °С перед другою інкубацією

Провести гарячу фільтрацію за допомогою марлі, щоб видалити залишки талому.

Осадити об'ємом 94% етанолу при 25 °С протягом 24 год.

Відфільтрувати та центрифугувати при 4000×g, 25 °С протягом 15 хв.

Висушити осад при 40 °С протягом 48 год у конвекційній печі.

Результати

Екстракція фікоколоїдів із твердої матриці досягається за допомогою розчинників (метод екстракції тверде тіло – рідина). Методи екстракції включають різні фази: проникнення розчинника в біологічні матриці, розчинення та видалення структурних полімерів із біологічної матриці, відділення екстракту.

Результати екстракції ульванів з біомаси *Ulva ohnoi*, проведеної за різними протоколами (CEW, CEA, MAEW і MAEA) для того, щоб оцінити їхню продуктивність та споживання енергії, представлені в табл. 2.

При оцінці енергоефективності зазначених методів екстракції встановлено, що за традиційними протоколами біомасу витримували в печі 3 год плюс період попереднього нагрівання (30 хв). Цей призвело до пов'язаних з потужністю витрат енергії в 1900 Вт, виражених формулою: $1,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 3,5 \text{ год} = 7,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

При використанні мікрохвильової печі час її роботи для екстракції ульванів становив 20 хв. Споживання енергії (кВт·год), необхідне для отримання потужності 140 Вт, становило 220 Вт і було виражено формулою: $0,22 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 0,333 \text{ год} = 0,073 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Таблиця 2. Час інкубації, температура та середня вага отриманих ульванів зі стандартним відхиленням за чотирма протоколами екстракції полісахаридів з використанням дистильованої води (CEW) та кислоти (CEA), а також води та мікрохвиль (MAEW) і кислоти та мікрохвиль (MAEA)

Метод	Температура, °C	Час, хв	Вихід ульванів, г
CEW	70	180	4,52 ± 0,72
CEA	70	180	4,75 ± 0,75
MAEW	70	20	13,20 ± 0,88
MAEA	70	20	7,27 ± 0,27

На рис. 1 наведено відношення сухої ваги полісахаридів (г), отриманих за кожним протоколом, до хвилин, витрачених на його екстракцію.

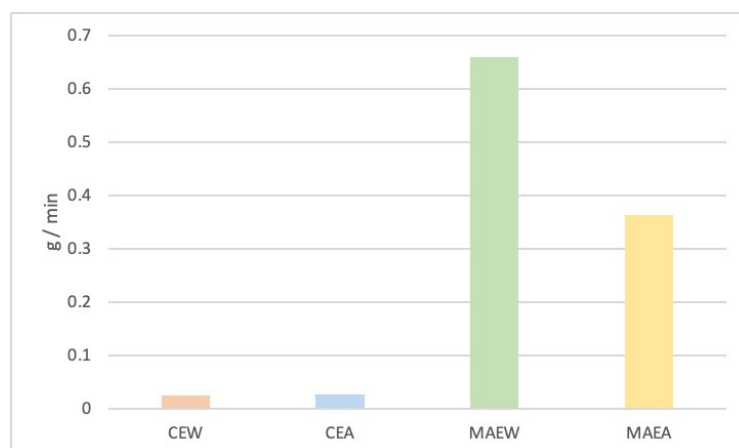


Рис. 1. Співвідношення між сухою вагою (г) отриманих полісахаридів та часом (хв), витраченим на виконання кожного протоколу. Суха маса (г), отримана з 100 г *Ulva ohnoi* за протоколами CEW (за допомогою дистильованої води), CEA (за допомогою розчину соляної кислоти), MAEW (за допомогою дистильованої води) та MAEA (за допомогою розчину хлористоводневої кислоти)

Обговорення

Пошук нових біоматеріалів із макроводоростей, що розвиваються в евтрофних середовищах, узгоджується з поточною європейською

політикою, спрямованою на розробку продуктів, отриманих із природних джерел, як альтернативи синтетичним і токсичним матеріалам (European Commission, 2021). Ці продукти використовують у різних біомедичних, косметичних, фармацевтичних, сільськогосподарських і харчових цілях (Armeli Minicante et al., 2022).

Одним з потенційних способів використання надлишкової біомаси макроводоростей є їхнє повторне комерційне використання для виробництва інноваційних біоматеріалів. Мета полягає в тому, щоб підвищити цінність відходів, мінімізуючи утилізацію та вплив на навколишнє середовище. З цієї точки зору, *Ulva ohnoi*, що мешкає в солонуватому оз. Ганзіррі природного заповідника «Капо Пелоро» (Мессіна, Італія), є дуже перспективним, але все ще недостатньо використовуваним джерелом багатьох біомолекул, у тому числі ульванів, що є сульфатованими полісахаридами клітинної стінки. *Ulva ohnoi* проявляє інвазивну поведінку та має тенденцію до поширення в прибережних екосистемах, завдаючи значної екологічної та економічної шкоди.

У даному дослідженні проаналізовано вихід полісахаридів, екстрагованих із таломів цього виду, при цьому особливу увагу було приділено споживанню енергії лабораторними приладами та розчинникам, що використовуються для екстракції, з метою визначення найбільш екологічно чистого та ефективного протоколу для валоризації небажаної біомаси. Порівняння загальноприйнятих та мікрохвильових протоколів екстракції шляхом співвіднесення середньої ваги екстрактів із часом інкубації та енергоспоживанням залученого лабораторного обладнання дозволило підібрати методику з найкращою ефективністю екстракції (рис. 2).

Проведене дослідження показало, що критичними етапами процесу екстракції є використання кислоти та тепла, які по-різному сприяють вивільненню полісахаридів із водоростевої матриці у воду. Кислотну мацерацію, широко вживану в традиційних протоколах, можна замінити водою із нагрівом у мікрохвильовій печі, що забезпечує кращий вихід екстрагованих полісахаридів, як показано на рис. 1. Тривалу мацерацію в гарячій воді, характерну для традиційних методів, можна повністю замінити, якщо екстракція здійснюється за допомогою мікрохвиль як твердорідинного методу екстракції: у ньому для генерації тепла використовують неіонізуючі електромагнітні хвилі, що прискорює вилучення біополімерів з природних матриць. Крім того, хімічна структура ульванів, екстрагованих мікрохвильовою піччю, така ж, як при

вилученні звичайними методами (Costa et al., 2012; Yuan et al., 2018; Spagnuolo et al., 2022).

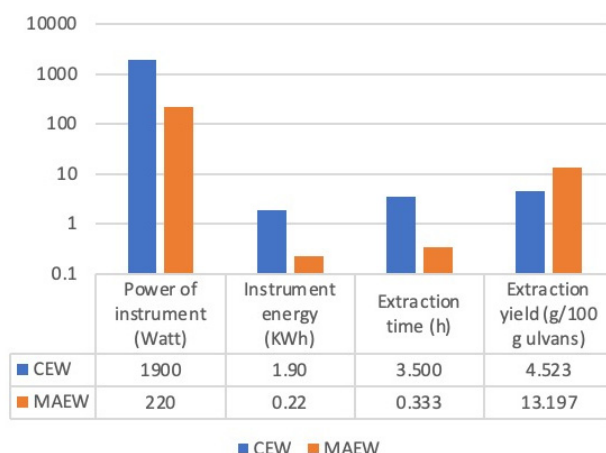


Рис. 2. Логарифмічна шкала порівняння даних традиційної екстракції водою в печі (CEW) і екстракції водою за допомогою мікрохвиль (MAEW) з точки зору потужності лабораторного приладу (ват); споживання енергії за годину (кВт-год); часу екстракції (год); виходу ульванів (г)

Мікрохвилі взаємодіють з полярними компонентами опромінених біологічних матеріалів, виробляючи тепло через тертя всередині водоростевої матриці (Heng et al., 2013). Навпаки, конвекційне нагрівання нагріває поверхню, яка потім передає тепло глибшим частинам шляхом провідності. З аналізу середнього виходу ульванів, екстрагованих у мікрохвильовій печі, можна побачити, що при екстракції традиційним методом використання кислоти не впливає на їхній вихід, натомість при використанні мікрохвиль ефективність вилучення ульванів вища (рис. 2).

Заключення

Дане дослідження спрямоване на практичне використання інвазивних водоростей, що розвиваються в евтрофних середовищах, таких як солонувате оз. Ганзіррі. У цьому контексті біомаса ульви, яка порушує рівновагу екосистеми та діяльності людини, зазвичай розглядається як відходи. Ми пропонуємо можливість використання небажаної біомаси макроводоростей, що передбачає їхню валоризацію, закладаючи таким чином основи для стійкого, економічного та ефективного процесу.

Порівняння чотирьох загальноприйнятих протоколів екстракції полісахаридів з метою визначення найбільш ефективного та рентабельного

методу з урахуванням впливу на навколишнє середовище та економіку показало потенціал альтернативних протоколів екстракції.

Кислотну мацерацію, поширену в звичайних протоколах, можна замінити використанням води в мікрохвильовій печі, що забезпечує кращий вихід екстрагованих полісахаридів. Метод екстракції за допомогою мікрохвиль може бути використаний як альтернатива традиційному методу для вилучення ульванів, що забезпечує очевидні екологічні переваги.

Отримані результати вказують на те, що для вилучення ульванів з *U. ohnoi* можна використовувати метод мікрохвильової екстракції як альтернативу традиційному. Подальші дослідження в цій галузі необхідні для загального вдосконалення методології та методів вилучення полісахаридів. Це призведе до значного зниження споживання енергії та покращення виходу ульванів.

Дослідження фінансоване FFABR2022-UniMe (Міністерство університетів і досліджень Італії).

Список літератури

- Abdul Khalil H.P.S., Lai T.K., Tye Y.Y., Rizal S., Chong E.W.N., Yap S.W., Hamzah A.A., Nurul Fazita M.R., Paridah M.T. 2018. A review of extractions of seaweed hydrocolloids: Properties and applications. *Express Polym. Lett.* 12(4): 296–317.
- Ahmed N., Sheikh M.A., Ubaid M., Chauhan P., Kumar K., Choudhary S. 2024. Comprehensive exploration of marine algae diversity, bioactive compounds, health benefits, regulatory issues, and food and drug applications. *Meas. Food.* 14: 100163.
- Araújo R., Vázquez Calderón F., Sánchez López J., Azevedo I.C., Bruhn A., Fluch S., Garcia Tasende M., Ghaderiardakani F., Ilmjärv T., Laurans M., Mac Monagail M., Mangini S., Peteiro C., Rebours C., Stefansson T., Ullmann J. 2021. Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Front. Mar. Sci.* 7: 626389.
- Armeli Minicante S., Bongiorno L., De Lazzari A. 2022. Bio-Based Products from Mediterranean Seaweeds: Italian Opportunities and Challenges for a Sustainable Blue Economy. *Sustainability.* 14(9): 5634.
- Armeli Minicante S., Melton J.T., Spagnuolo D., Manghisi A., Genovese G., Morabito M., Lopez-Bautista J. 2024. A DNA barcode inventory of the genus *Ulva* (Chlorophyta) along two Italian regions: Updates and considerations. *Bot. Mar.* <https://doi.org/10.1515/bot-2023-0071>
- Bussy F., Rémy S., Le Goff M., Collén P.N., Trapp-Fragnet L. 2022. The sulphated polysaccharides extract ulvans from *Ulva armoricana* limits Marek's disease virus dissemination in vitro and promotes viral reactivation in lymphoid cells. *BMC Veter. Res.* 18(1): 155.

- Chen X., Liu Q., Jiang X.-Y., Zeng F. 2005. Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Solanum nigrum*. *J. Centr. South Univ. Technol.* 12(5): 556–560.
- Costa C., Alves A., Pinto P.R., Sousa R.A., Borges da Silva E.A., Reis R.L., Rodrigues A.E. 2012. Characterization of ulvan extracts to assess the effect of different steps in the extraction procedure. *Carbohydr. Polym.* 88(2): 537–546.
- European Commission. Joint Research Centre. 2021. *Algae as food and food supplements in Europe*. Publ. Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/049515>
- Garcia-Vaquero M., Ravindran R., Walsh O., O'Doherty J., Jaiswal A.K., Tiwari B.K., Rajauria G. 2021. Evaluation of Ultrasound, Microwave, Ultrasound–Microwave, Hydrothermal and High Pressure Assisted Extraction Technologies for the Recovery of Phytochemicals and Antioxidants from Brown Macroalgae. *Mar. Drugs*. 19(6): 309.
- Glasson C.R.K., Sims I.M., Carnachan S.M., de Nys R., Magnusson M. 2017. A cascading biorefinery process targeting sulfated polysaccharides (ulvan) from *Ulva ohnoi*. *Algal Res.* 27: 383–391.
- Heng M.Y., Tan S.N., Yong J.W.H., Ong E.S. 2013. Emerging green technologies for the chemical standardization of botanicals and herbal preparations. *TrAC Trends Anal. Chem.* 50: 1–10.
- Heriyanto H., Kustiningsih I., Sari D.K. 2018. The effect of temperature and time of extraction on the quality of Semi Refined Carrageenan (SRC). *MATEC Web. Conf.* 154: 01034.
- Kidgell J.T., Carnachan S.M., Magnusson M., Lawton R.J., Sims I.M., Hinkley S.F.R., de Nys R., Glasson C.R.K. 2021. Are all ulvans equal? A comparative assessment of the chemical and gelling properties of ulvan from blade and filamentous *Ulva*. *Carbohydr. Polym.* 264: 118010.
- Kidgell J.T., Magnusson M., De Nys R., Glasson C.R.K. 2019. Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Res.* 39: 101422.
- Lahaye M., Robic A. 2007. Structure and Functional Properties of Ulvan, a Polysaccharide from Green Seaweeds. *Biomacromolecules*. 8(6): 1765–1774.
- Lakshmi D.S., Sankaranarayanan S., Gajaria T.K., LiG., Kujawski W., Kujawa J., Navia R. 2020. A Short Review on the Valorization of Green Seaweeds and Ulvan: Feedstock for Chemicals and Biomaterials. *Biomolecules*. 10(7): 1–20.
- Milledge J., Harvey P. 2016. Golden Tides: Problem or Golden Opportunity? The Valorisation of *Sargassum* from Beach Inundations. *J. Mar. Sci. Eng.* 4(3): 60.
- Spagnuolo D., Di Martino A., Zammuto V., Armeli Minicante S., Spanò A., Manghisi A., Gugliandolo C., Morabito M., Genovese G. 2022. Conventional vs. Innovative Protocols for the Extraction of Polysaccharides from Macroalgae. *Sustainability*. 14(10): 5750.
- Spagnuolo D., Iannazzo D., Len T., Balu A.M., Morabito M., Genovese G., Espro C., Bressi V. 2023. Hydrochar from *Sargassum muticum*: A sustainable approach for high-capacity removal of Rhodamine B dye. *RSC Sustainability*. 6: 1–12.

Yuan Y., Xu X., Jing C., Zou P., Zhang C., Li Y. 2018. Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*: Functional properties and bioactivities. *Carbohydr. Polym.* 181: 902–910.

Zammuto V., Rizzo M.G., Spano A., Spagnuolo D., Di Martino A., Morabito M., Manghisi A., Genovese G., Guglielmino S., Calabrese G. 2022. Effects of crude polysaccharides from marine macroalgae on the adhesion and biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Algal Res.* 63: 102646.

Spagnuolo D. (<https://orcid.org/0000-0003-3236-6974>)

Genovese G. (<https://orcid.org/0000-0002-4939-2442>)

Phycological Laboratory, Department of Chemical, Biological, Pharmaceutical and Environmental Sci.,
31 Salita Sperone, University of Messina, Messina 98166, Italy

Comparative polysaccharides extraction methods ulvans from *Ulva ohnoi* (Chlorophyta): advantages of microwave-assisted techniques

Macroalgae represent a valuable resource due to their potential applications in various sectors. However, their biomass can sometimes interfere with human activities and contribute to the eutrophication of aquatic environments, as algae often grow uncontrollably. In this study, *Ulva ohnoi* M.Hiraoka et S.Shimada, a macroalga known for its tendency to produce a high biomass, was chosen, and used as a source of polysaccharides. The objective of this study was to compare different polysaccharide extraction methods to evaluate yield, costs, and potential environmental impact. Data obtained comparing four extraction protocols finalized to determine the most efficient and cost-effective method considering both environmental and economic impacts, show the potentiality of an alternative extraction protocols. The microwave-assisted extraction has the highest yield and lowest energy consumption and solvent methods offering clear environmental benefits. The obtained results indicate that the microwave-assisted extraction method could be used as an alternative to the conventional one for extracting ulvans from *U. ohnoi*.

Key words: algal polysaccharides; microwave-assisted polysaccharide extraction; conventional polysaccharide extraction, *Ulva ohnoi*, *Chlorophyta*

Citation. Spagnuolo D., Genovese G. 2025. Comparative polysaccharides extraction methods ulvans from *Ulva ohnoi* (Chlorophyta): advantages of microwave-assisted techniques. *Algologia*. 35(1): 73–83. <https://doi.org/10.15407/alg35.01.073>