

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАПРЯМ ВИКОРИСТАННЯ СУЛЬФАТОВАНОГО ГАЛАКТАНУ З ЧОРНОМОРСЬКОЇ ЧЕРВОНОЇ ВОДОРОСТІ «ФІЛОФОРА БРОДІ»

О. П. СУМСЬКА, Н. В. ПАНЧЕНКО

*Херсонський державний аграрно-економічний університет,
просп. Університетський, 5/2, Кропивницький, 25030, sumskaetdt@gmail.com*

Наведено відомості про динаміку розповсюдження чорноморської філофори, перспективи виробництва сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості філофора Броді, визначено основний напрям його використання у харчовій промисловості.

Вступ. В північно-західній частині Чорного моря розташоване так зване «філофорне поле Зернова» (ФПЗ) - унікальне скупчення червоної агароносної водорості роду філофора Броді. У період бурхливого розвитку евтрофування (1970 – 90 рр.) і, як наслідок, придонної гіпоксії, відбулася деградація поля, що відобразилось на скороченні біомаси та ареалу її розповсюдження. В останнє десятиліття відбувається відновлення філофорного поля та поліпшення його екологічного стану. Червоні водорості, що ростуть у водах Чорного моря, містять унікальні сульфатовані галактани, важливою властивістю яких, особливо з точки зору практичного використання, є їх здатність утворювати в'язкі та гелеві розчини у водних середовищах. На сьогодні сульфатовані галактани червоних водоростей, так само, як і бурих, є найважливішими продуктами, які одержують із морських водоростей. Знання про їхні властивості розширюються, що відкриває нові можливості їх застосування у харчовій, фармацевтичній, хімічній, текстильній, целюлозно-паперовій, парфумерно-косметичній промисловості, у біотехнології, медицині, мікробіології. Сульфатовані полісахариди, витягнуті з червоних морських водоростей є одними з ключових стабілізуючих, емульгуючих і структуроутворюючих добавок, які використовуються в харчовій промисловості. Наразі потреба харчової галузі України у регуляторах консистенції продуктів задовольняється практично повністю за рахунок імпорتنих поставок. Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на пошук перспективних регуляторів консистенції харчових продуктів вітчизняного виробництва та розроблення технології їх застосування.

Аналіз основних досягнень і літератури. Перші скупчення червоних водоростей на північнозахідному шельфі Чорного моря були зафіксовані в квітні 1909 року академіком С. А. Зерновим, які були названі на його честь «Філофорним полем Зернова». У 1950-х роках ФПЗ було найбільшим у світі скупченням червоноагароносних водоростей роду *Phyllophora* (*nervosa*, *hrodiaei*, *memhranifolia*, *pseudoceranoides*), займаючи площу 11 000 км². Загальна біомаса водоростей була за різними оцінками 7-10 мільйонів тонн. На початок 1980-х років водоростеве поле скоротилося до 3 000 км² і його біомаса до 1,4 млн. тон. На початку 1990-х років площа Поля становила лише 500 км², а біомаса не перевищувала 300 - 500 тис. тон [1]. На початку нового тисячоліття відзначено відновлення фітоценозів ФПЗ [2].

Угруповання ФПЗ населяють найбільш антропогенно завантажену частину Чорного моря, на яку впливає стік трьох великих європейських річок - Дунай, Дністер і Дніпро. Тому біота цієї акваторії є найбільш чутливим показником моніторингу, який використовують для оцінки всієї екосистеми Чорного моря.

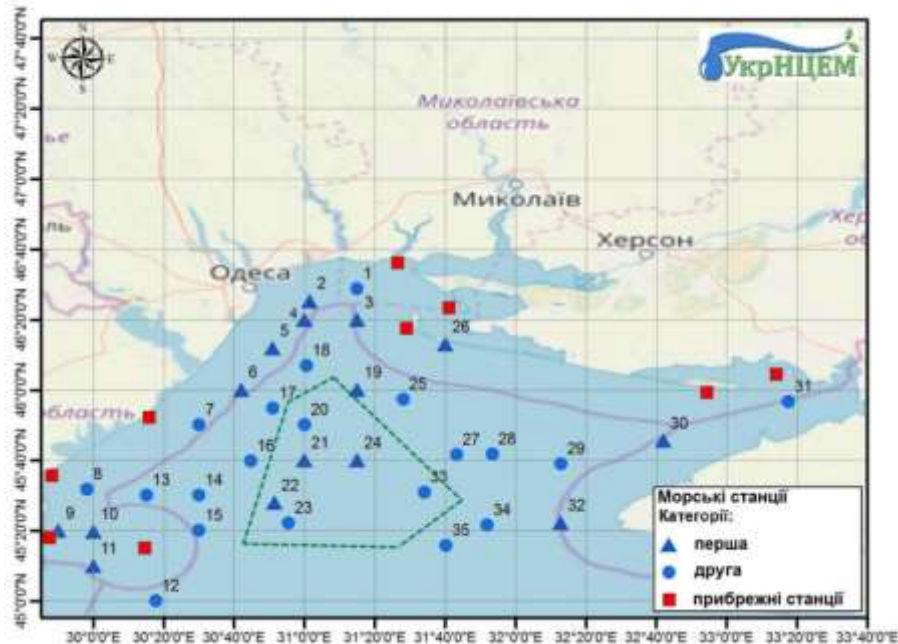


Рисунок 1 – На картосхемі зображено станції моніторингу ФПЗ [3]

Державний моніторинг вод здійснюється з метою забезпечення збирання, обробки, збереження, узагальнення та аналізу інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розроблення науково

обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі використання, охорони вод та відтворення водних ресурсів.

Значні розміри ФПЗ визначають просторову неоднорідність його біотопів, пов'язану з якістю донних відкладень, глибиною і ступенем впливу річкових вод. Відповідно до відмінностей якості біотопів ФПЗ показники фітоценозів мають різні значення на станціях. Більшість відмінностей спостерігається за індексом біомаси. Показники, які мають високий ступінь сезонності та просторової мінливості (тобто біомаса та індекс поверхні фітоценозів S_{Iph}), менш придатні для інтегрованої оцінки таких великих об'єктів, як ФПЗ. Низькі коефіцієнти коливань для показників S/W_x (індекс середньої питомої поверхні структурних елементів водоростей) та $S/W3Dp$ (індекс екологічної активності трьох домінантів) стали підставою для використання їх значень в інтегрованому порівняльному аналізі екологічного стану Філофорного поля. Середній показник відносної екологічної якості (EQR) для показників: S/W_x та $S/W3Dp$ відповідає єдиній категорії ESC (Ecological Status Class) – «Задовільний стан». Важливо, що на сучасному етапі «стійкої тенденції деєвтрофікації» Чорного моря, на Філофорному полі відбувається інтенсивне відновлення червоних водоростей, для яких глибини шельфу є сприятливими умовами – оскільки вони є сциафільними (тіньовитривалими) [3].

На підставі даних та інформації, отриманих в результаті здійснення державного моніторингу морських вод, визначено їх екологічний стан, відзначено прогрес у досягненні «доброго» екологічного стану морських вод в межах виключної морської економічної зони та територіального моря України. Вищевикладене дає підставу на сьогодні розглядати питання відновлення видобутку чорноморської червоної водорості філофори броді як промислової сировини для отримання сульфатованого галактану. За оцінками фахівців, переробка всього лише десятої частини водорості від теоретично можливого обсягу (тобто без будь-якої небезпеки підриву

сировинної бази), дозволить одержувати щороку близько 10 тис. тонн полісахариду.

Морські водорості викликають великий інтерес у різних галузях і мають численні комерційні застосування [4, 5]. Робота [6] пов'язана з хімічною та фізичною характеристикою, спектральним та термодинамічним дослідженням каррагінану, виділеного з *Nurpea musciformis* (червоних водоростей) узбережжя Карачі. Однак відомо, що лише обмежена кількість видів водоростей доступна для зручного застосування.

В останні десятиліття дослідження полісахаридів стали основною метою ряду досліджень. Вивчення властивостей полісахаридів важливо для розробки технологій їх використання в промисловості, вони є основою для застосування полісахаридів у функціональних харчових продуктах. Автори [7] досліджували реологічні властивості та інфрачервоний спектр полісахаридів, екстрагованих із водорості *Cystoseira myriophylloides* в діапазоні концентрацій від 3 до 9% (мас./об.) і при різних температурах. Результати реологічних характеристик при постійній швидкості зсуву показали псевдопластичні властивості, а динамічні реологічні властивості продемонстрували в'язкопружну поведінку. Текучість і в'язкопружні характеристики полісахаридів описані за допомогою степеневого закону (модель Оствальда). Автори дослідження дійшли до висновку, що полісахариди, витягнуті з *Cystoseira myriophylloides*, можуть мати інтерес як загусники.

Таким чином, досить перспективною є орієнтація на природні полісахариди, оскільки при раціональному підході рослинна сировина є практично невичерпним джерелом.

Метою даної роботи є визначення найбільш екологічного й технологічно обґрунтованого підходу до використання сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості філофора (СГЧЧВФ).

Методика досліджень. Сульфатований галактан, що використовується в цій роботі виготовлений на Одеському дослідно-експериментальному гідролізно-агароїдному заводі, ЧВОРП "Антарктика", має вигляд порошку кремового кольору. Вологість 11%, масова частка золи 25,5%. Вміст 3,6-ангідрогалактози - 21,3%, масова частка сульфоефірних груп (в перерахунку на SO₄) - 24,2%.

СГЧЧВФ утворюються із дисахаридних ланок, що повторюються [A→B]_n, при цьому у положенні А — завжди є 3-зв'язана β-D-галактопіраноза, а у положенні В — 4-зв'язана α-галактопіраноза чи 3,6-ангідрогалактопіраноза, яка має L- або D-конфігурацію.

Розчини з СГЧЧВФ готують шляхом внесення порошку в холодну воду, з наступним нагріванням суміші до 80-85°C, витриманням при цій температурі протягом 10 хв і охолодженням при постійному перемішуванні зі швидкістю 90-100 хв⁻¹.

Розчинення СГЧЧВФ контролювали рефрактометричним методом.

Ефективну в'язкість зсуву розчинів СГЧЧВФ вимірювали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2», Німеччина.

Результати досліджень. Встановлено залежності в'язкості розчинів СГЧЧВФ від градієнта швидкості зсуву в інтервалі 3 -1312 с⁻¹. Як і для більшості високомолекулярних систем зі збільшенням швидкості зсуву відбувається аномальне зниження в'язкості. Отримані залежності є, мабуть, ділянками "структурних гілок" повних реологічних кривих, оскільки будь-яких ознак переходу до режимів перебігу з найбільшою або найменшою в'язкістю не спостерігається.

У дослідженому інтервалі швидкостей зсуву, в'язкість розчинів підпорядковується степеневому закону і описується рівнянням Оствальда-Вейля:

$$\eta = \frac{P}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{n-1}$$

Значення констант k та n рівняння для 1-3 % - них розчинів СГЧЧВФ наведені в таблиці.

Таблиця – Значення констант рівняння Оствальда-Вейля

Концентрація СГЧЧВФ, %	k , Па·с	n
1,0	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,950
1,5	0,234	0,609
2,0	5,320	0,420
2,5	7,467	0,411
3,0	10,43	0,403

Зі збільшенням концентрації СГЧЧВФ від 1 до 2% індекс течії розчину різко зменшується, що свідчить про зростання структурованості системи. Розчини, що містять більше 2% сульфатованого галактану, мають досить розвинену просторову структуру.

Отримані дані реологічних властивостей розчинів СГЧЧВФ дають можливість спрогнозувати властивості гелів для структурованих продуктів харчування з розширенням їх функціонального призначення.

Висновки

Обговорено екологічні аспекти виробництва сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості «філофора Броді». Показано, що застосування такого препарату доцільно для розширення асортименту регуляторів консистенції продуктів харчової промисловості України.

Література

1. Zaitsev, Yu.; Mamaev, V. Biological Diversity in the Black Sea: A Study of Change and Decline. United Nations Publications Sales: New York, 1998, Volume 3. No. 95. III.B.6: Black Sea Environmental Series, 92-94.
2. Берлінський, М. А.; Деньга, Ю. М.; Матвеев, А. В.; Подуст, О. С.; Попов, Ю. І.; Третьяк, І.П. Вплив мінливості умов морського

середовища на динаміку розповсюдження чорноморської філофори (поля Зернова). *Вісник ОНУ*. 2015, 19, 40-57.

3. Коморін, В. М.; Трет'як, І. П.; Грандова, М. О.; Наболін, М. В.; Чужекова, Т. О. Науково-методичне забезпечення створення та розвитку мереж охоронюваних морських акваторій та приморських територій. Том 2. Базова оцінка стану ботанічного заказника загальнодержавного значення «Філофорного поля Зернова», розробка проекту системи постійного моніторингу; Звіт про науково-дослідницьку роботу: Український науковий центр екології моря, Одеса, січень 2019.
4. Volery, P., R. Besson and C.S. Lequart, 2004. Characterization of commercial carrageenans by fourier transform infrared spectroscopy using single reflection attenuated total reflection. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 7457-7463.
5. Hussain, S.A., V.A. Saeed and A. Masood, 2001. Economic seaweeds of pakistan coast. *Pak. J. Mar. Biol.*, 7: 281-290.
6. Fatima Bi, Muhammad Arman, Mahmood-ul-Hassan and Seema Iqbal, 2007. Chemical and Thermodynamic Studies of K-carrageenan Isolated from *Hypnea musciformis* (Red Algae) of Karachi Coast. *Trends in Applied Sciences Research*, 2: 395-403.
7. Zaim S, Cherkaoui O, Rchid H, Nmila R, El Moznine R. Rheological investigations of water-soluble polysaccharides extracted from Moroccan seaweed *Cystoseira myriophylloides* algae. *Polymers from Renewable Resources*. 2020;11(3-4):49-63