

УДК 594.124.191.1

Н. О. Ситник

Південний науково-дослідний інститут морського рибного господарства та океанографії, Керч

ПРО ВПЛИВ ДЕЯКИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ФІЛЬТРАЦІЇ УСТРИЦІ (*OSTREA EDULIS*)

Досліджено закономірності живлення фільтрації чорноморської устриці залежно від низки екологічних чинників. Розглянуто вплив концентрації їжі на активність фільтрації молюсків. Визначено залежності швидкості фільтрації від маси тіла устриць за різними температурними режимами та охарактеризовано сезонні зміни її інтенсивності в Керченській протоці та лимані Донузлав. Установлено вплив солоності води на активність фільтрації цього виду молюсків.

Н. О. Ситник

*Южный научно-исследовательский институт
морского рыбного хозяйства и океанографии, Керч*

ПРО ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ УСТРИЦЫ (*OSTREA EDULIS*)

Исследованы количественные закономерности питания фильтрации черноморской устрицы в зависимости от ряда экологических факторов. Рассмотрено влияние концентрации пищи на активность фильтрации моллюсков. Определены зависимости скорости фильтрации от массы тела устриц по разным температурным режимам и охарактеризованы сезонные изменения ее интенсивности в Керченском проливе и лимане Донузлав. Установлено влияние солености воды на активность фильтрации этого вида моллюсков.

N. A. Sitnik

Southern Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kerch

ON INFLUENCE OF SOME ECOLOGICAL FACTORS ON INTENSITY OF THE OYSTER FILTRATION (*OSTREA EDULIS*)

Quantitative regularities of the filtration feeding of the Black Sea oyster depending on some ecological factors were studied. Influence of food concentration on filtration activity of shellfish is described. Dependences of filtration speed are certain on the body mass of oysters under different temperature conditions were found. The seasonal changes of its intensity in the Kerch Strait and the Donuzlav Estuary are illustrated. Influence of water salinity on filtration activity of the oyster is established.

Вступ

Плоска (грядкова, європейська) устриця (*Ostrea edulis* L.) – один із найцінніших представників малакофауни Чорного моря [3; 4; 6; 8]. На початку минулого сторіччя популяції цього виду були значно поширені вздовж усього узбережжя чорноморського басейну, але потім чисельність і ареал устриць стали неухильно знижуватися [4; 7]. В 1960–1970-х роках через різні причини відбулася масова деградація природних поселень чорноморської устриці [4; 5–7], і в даний час цей вид у Чорному морі представле-

ний лише окремими мікропопуляціями. У зв'язку з цим і виникла необхідність штучного відновлення цього виду [3; 4; 6; 8], яке можливе лише на основі детальних досліджень різних боків життєдіяльності виду.

У даний час роботи з марікультури плоскої устриці в Чорному морі переважно пов'язані з ранніми стадіями онтогенезу – масовим отриманням личинок памолоді цього виду у штучних умовах [6; 8]. У той же час число досліджень, присвячених пізнішим стадіям онтогенезу, незначне [4; 9]. Зокрема, це торкається такого важливого напрямку як вивчення закономірностей фільтраційного живлення та трофічних потреб цього виду. Наразі у світовій літературі існує багато публікацій із цього питання [9–15], тоді як число вітчизняних робіт, присвячених раціону чорноморських устриць, незначне [2; 4].

Тим часом ці дослідження мають не тільки практичне значення, наприклад, для розрахунку оптимальної щільності в процесі вирощування молоді, при формуванні маткових стад і розробці біотехнології штучного відновлення в цілому, а й певний теоретичний інтерес для порівняльної та еволюційної екології та фізіології. Мета цієї роботи – охарактеризувати вплив ряду екологічних чинників (концентрація їжі, температура, солоність води) на інтенсивність фільтраційного живлення чорноморської устриці.

Матеріал і методи досліджень

Роботу проводили в 2004–2006 рр. у Керченській протоці та лимані Донузлав (західне узбережжя Криму). Матеріалом для дослідження були індивіди різного розміру, заввишки 26–81 мм і масою (із раковиною) 0,4–73,9 г.

Молюсків, зібраних з обростань і колекторів, містили в акваріумах, температура води яких відповідала природному середовищу. Після вилову устриць звичайно тримали протягом доби в акваріумах із метою звільнення їх шлунково-кишкового тракту від вмісту. Як корм використовували одноклітинну водорість *Skeletonema sp.* (1 млн. клітин – 1,2 мг у сирій масі).

Досліди проводили в посудинах об'ємом 3–12 л, залежно від розміру та кількості індивідів у досліді. Для вибору методу розрахунку швидкості фільтрації (ШФ) проведено 3–4-годинні досліди з інтенсивності споживання водоростей молюсками. Встановлено, що зменшення концентрації корму в дослідних посудинах задовільно описувалося експоненціальним рівнянням:

$$K_t = K_o \cdot e^{-\rho t},$$

де K_o і K_t – відповідно початкова та кінцева концентрація (мгЧл⁻¹) суспензії за годину, ρ – питома швидкість зниження концентрації (год⁻¹), яка в дослідях дорівнювала 0,223–0,344. У зв'язку з цим швидкість фільтрації устриць визначали за формулою Голда [1; 12; 15]:

$$F = \frac{\ln K_o - \ln K_t}{n \cdot t} \cdot V,$$

де F – швидкість фільтрації (л·год⁻¹), K_o і K_t – концентрація суспензії на початку та наприкінці досліді (мг·л⁻¹), V – об'єм води у дослідній посудині (л), t – тривалість досліді (годин), n – кількість молюсків у досліді.

Початкову щільність водоростей визначали безпосередньо перед експериментом прямим підрахунком у камері Фокса–Розенталя. Після завершення досліді, щоб уникнути похибок під час підрахунку, водорості, що залишилися, концентрували за допомогою воронки зворотної фільтрації, після чого визначали їх щільність. Швидкість небіологічного осадження водоростей визначали шляхом визначення їх концентрації в контрольних посудинах за той же період часу, що і в досліді.

При аналізі отриманих даних використовували результати дослідів, де концентрація водоростей зменшилася не більше ніж на 25 % від початкової щільності суспензії, оскільки до цієї величини зниження концентрації в часі відповідало експоненціальному рівнянню. Тривалість дослідів варіювала в межах 2–4 годин, залежно від об'єму посудин і розміру молюсків.

Вивчення впливу різних концентрацій фітопланктону на ШФ і обсяг раціону молюсків проводили на двох розмірних групах (33–35 і 53–57 мм). Досліди проводили так, щоб в експериментах вони відповідали температурі природного середовища тварин. Залежно від сезону року температура води в дослідях варіювала в межах +10...+27 °С. Солоність у лимані Донузлав змінювалася від 17,2 до 18,1 ‰ (середня – 17,7 ‰), у Керченській протоці вона перебувала в межах 13,8–14,5 ‰ (середня – 14,2 ‰).

Після завершення досліду молюсків піддавали біологічному аналізу (визначали довжину тварини, загальну масу, масу м'яких тканин, стать, стадію зрілості). Для визначення сухої маси м'якої тканини її відділяли від стулок і висушували до постійної маси при температурі +70 °С протягом 3 діб [1].

Результати та їх обговорення

Вивчення фільтраційної активності показало, що в устриць розмірної групи 33–35 мм ($W = 2,5\text{--}3,6$ г) при впливі водоростей у широкому діапазоні концентрацій (1,1–12,1 мг·л⁻¹) відбуваються помітні зміни ШФ (рис. 1).

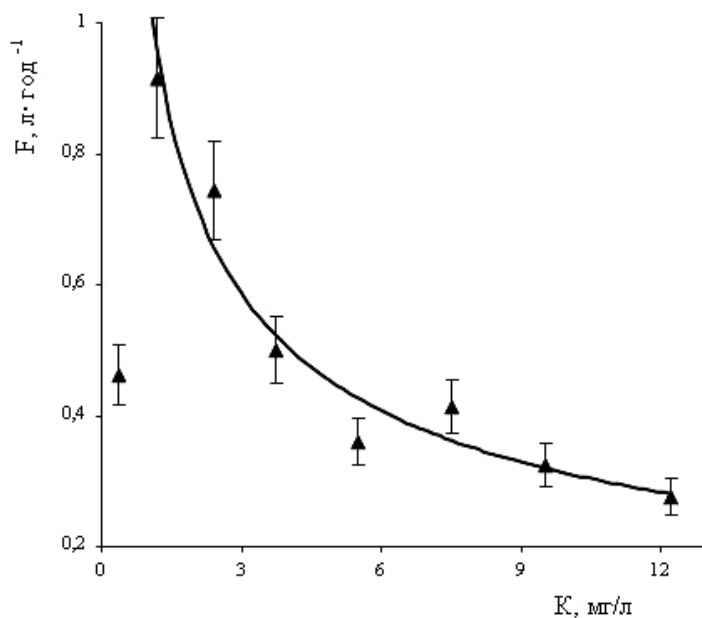


Рис. 1. Залежність швидкості фільтрації (F , л·год⁻¹) устриць (висота 33–35 мм) від концентрації фітопланктону (K , мг·л⁻¹): вертикальні лінії – 95 % довірчий інтервал

При низьких значеннях щільності альгофлори (0,2 мг·л⁻¹) ШФ устриць була порівняно невелика та складала 0,46 л·год⁻¹. Із підвищенням концентрації їжі до 1,2 мг·л⁻¹ ШФ значно збільшується (0,92 л·год⁻¹). При збільшенні щільності водоростей до 2,3 мг·л⁻¹ спостерігається порівняно незначне зниження ШФ (до 0,7 л·год⁻¹). Проте подальше зростання концентрації водоростей призводить до стійкого зниження фільтраційної активності молюсків. Залежність ШФ від концентрації їжі для цієї

розмірної групи молюсків задовільно апроксимується степеневим рівнянням, що має вигляд:

$$F = 1,04 \cdot K_o^{-0,52 \pm 0,051}, r = 0,95, \quad (1)$$

де F – швидкість фільтрації (л·год.⁻¹), K_o – початкова концентрація альгофлори (мг·л⁻¹), r – коефіцієнт кореляції.

Аналогічний характер змін ШФ залежно від концентрації їжі спостерігався й у більших устриць, розміром 53–57 мм ($W = 15,8$ – $17,2$ г). Для індивідів цієї групи зв'язок між указаними змінними мав вигляд:

$$F = 2,47 \cdot K_o^{-0,95 \pm 0,116}, r = 0,97. \quad (2)$$

Таким чином, залежність ШФ від щільності водоростей у різних розмірних групах устриць характеризується єдиною залежністю, відрізняючись лише кількісними значеннями параметрів.

Отримані дані свідчать, що устриці можуть регулювати ШФ залежно від концентрації трофічних частинок, що підтверджує раніше отримані матеріали на інших видах морських двостулкових [1; 2; 15; 17]. Відносно даних про низьку швидкість фільтрації устриць при малих концентраціях суспензії можна припустити, що це обумовлено меншою ефективністю виловлювання водоростей гідрокінетичним апаратом молюсків, тому розрахункова ШФ виходить дещо заниженою [1; 16].

Вивчення ШФ устриць залежно від маси тіла в досліджених районах показало, що, як і у інших видів двостулкових молюсків [1; 2; 10; 17], ці показники тісно пов'язані між собою і добре апроксимуються степеневою функцією:

$$F = F_l \cdot W^n,$$

де F – швидкість фільтрації (л·год.⁻¹), W – суха маса тіла без раковини (г), F_l – коефіцієнт пропорційності, що чисельно дорівнює швидкості фільтрації при W (рівний 1 г), n – коефіцієнт регресії, значення якого характеризує питому швидкість фільтрації устриць при зміні маси тіла. У подвійній логарифмічній системі координат залежність швидкості фільтрації від маси тіла виражається прямою лінією з певним кутом нахилу (рис. 2).

Досліди, проведені в районах Керченської протоки та лимані Донузлав у різні сезони року та, відповідно, при різній температурі та солоності води показали істотні зміни швидкості фільтрації (табл.).

Аналіз отриманих даних з активності фільтрації чорноморської устриці показав, що, у цілому, вони добре відповідають роботам із цього виду інших авторів. Так, у статті Родхауза [14] залежність ШФ від сухої беззольної маси тіла при 20 °С описувалася рівнянням:

$$F = 1,63 \cdot W^{0,477}.$$

Оскільки відомо, що мінеральна фракція складає близько 10 % від сухої маси тіла устриць, отримані цим автором матеріали близькі до наших даних [14].

Подібні дані наведені у статті Гейра зі співавторами [11], які досліджуючи швидкість фільтрації в інтервалі температур +10...+30 °С, виявили максимальне значення F_l , що дорівнює 3,188 л·год.⁻¹ · г⁻¹, але при температурі +30 °С. Близькі до наших дані наведені у праці Шамвея та ін. [16]. Авторами показано, що у *Ostrea edulis* L. при +12 °С швидкість фільтрації складає 1594 мл·год.⁻¹. Можна також відзначити роботу Вінтера та ін. [17], де на спорідненому виді *O. chilensis* дослідники знайшли, що при температурі +13,5 °С і солоності 23,6 ‰ зв'язок ШФ із сухою масою тіла виражався алометричним рівнянням, коефіцієнти пропорційності та регресії якого, відповідно, склали 1,32 і 0,63, що зіставляно з отриманими нами даними.

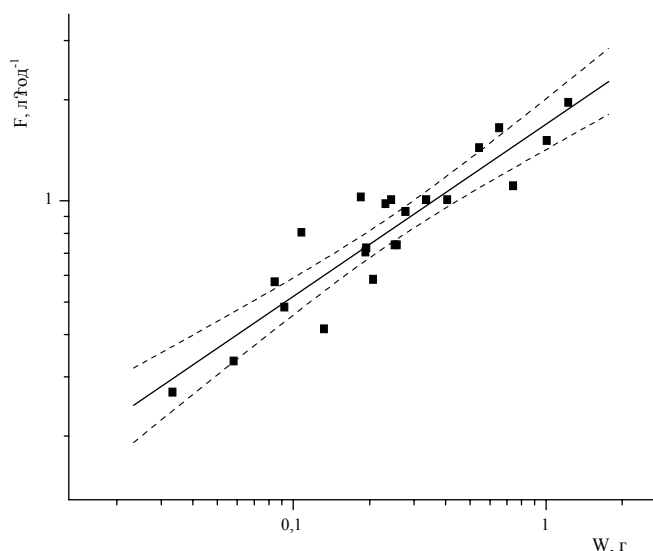


Рис. 2. Залежність швидкості фільтрації (F , л·год.⁻¹) від сухої маси тіла (W , г) устриць: лиман Донузлав, $T = +16$ °С, $S = 17,6$ ‰, штрихові лінії – 95 % довірчий інтервал

Найнижча активність (коефіцієнт F_I) фільтрації молюсків спостерігалася у Керченській протоці при $+7$ °С. Із підвищенням температури води відбувалося стійке зростання його значень. Максимального значення коефіцієнт пропорційності (F_I) молюсків досягав при $+23$ °С, при подальшому зростанні температури до $+27$ °С відбувалося зниження значень як коефіцієнта пропорційності, так і регресії.

Таблиця

Параметри рівняння зв'язку між швидкістю фільтрації (F , л·год.⁻¹) із сухою масою тіла (W , г) устриць у Керченській протоці ($S = 13,8$ – $14,5$ ‰) і лимані Донузлав ($S = 17,2$ – $18,1$ ‰)

Місце проведення досліджень	Період робіт (Т, °С)	N	W	F_I	S_r	n	S_n	r
Керченська протока	грудень (7)	18	0,017–0,930	0,54	0,079	0,443	0,138	0,797
	квітень (13)	21	0,027–0,970	1,20	0,214	0,583	0,108	0,836
	червень (20)	19	0,044–1,140	2,05	0,198	0,602	0,091	0,851
лиман Донузлав	листопад (10)	19	0,022–1,020	0,88	0,059	0,435	0,044	0,883
	травень (16)	23	0,033–1,230	1,69	0,203	0,512	0,049	0,918
	липень (23)	23	0,024–1,080	2,37	0,268	0,487	0,074	0,891
	серпень (27)	20	0,025–1,290	1,97	0,201	0,606	0,115	0,856

Примітки: N – кількість молюсків у досліді, W – граничні значення сухої маси молюсків у досліді, S_r – стандартна помилка F_I , S_n – стандартна помилка n , r – коефіцієнт кореляції.

Досліди в Керченській протоці та лимані Донузлав проводили при різних значеннях температури та солоності води, що зумовило різні значення коефіцієнтів пропорційності та регресії отриманих рівнянь. Це, у свою чергу, не дозволяє дати точне порівняння наявних даних. Для їх строгого зіставлення використовують два шляхи [1; 10; 13] – ухвалення однієї, вірогіднішої величини коефіцієнта регресії, із подальшою трансформацією матеріалів і знаходженням F_I для кожної серії дослідних даних або порівняння інтенсивності фільтрації (F/W) у тварин однакової маси.

Нами використаний другий варіант розрахунку. Для цього визначено середні геометричні значення маси молюсків для кожного ряду. Їх величини у різних

варіаційних рядах варіювали незначно (0,231–0,277 г). На основі цих даних прийнято середньгеометричне значення маси, що дорівнює 0,255 г, після чого знаходили F/W для кожного експериментального ряду. Результати порівняльного аналізу ранжовані в порядку зростання температури води окремо для кожного району (рис. 3).

Аналіз показав, що у досліджених районах паралельно зі зміною температури води відбувається істотна зміна значень F/W . Спостерігається добре виражена тенденція: зі зростанням температури води збільшується інтенсивність фільтрації молюсків, яка досягає максимуму при температурі, близькій до +23 °С (рис. 3).

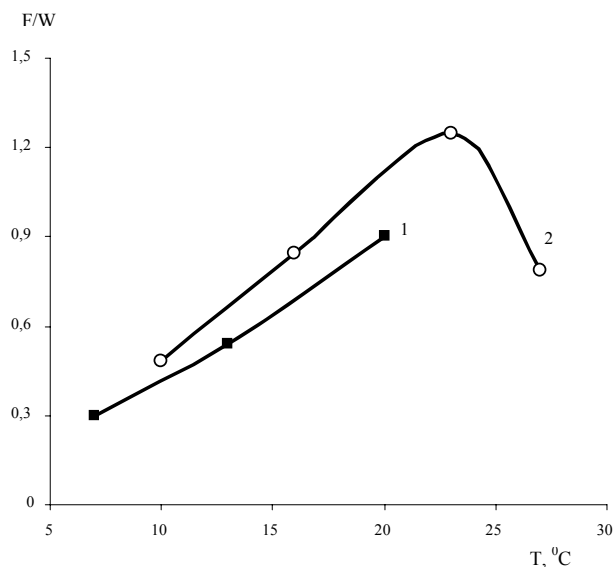


Рис. 3. Зміна інтенсивності фільтрації (F/W) устриць залежно від температури води у Керченській протоці (1) та лимані Донузлав (2)

Подальше підвищення температури до +27 °С приводить до зниження інтенсивності фільтрації.

Відомо, що значення температурного оптимуму, найсприятливішого для життєдіяльності цього виду устриць, залежить від умов біотопу і може варіювати в межах +22...+30 °С [10; 11; 13]. У зв'язку з тим, що у Чорному морі цей вид мешкає на межі свого ареалу, деякий зсув оптимуму активності його фільтрації в область нижчих температур, імовірно, зумовлений адаптацією устриць до менших їх значень.

У зв'язку з одержаними даними цікаво було оцінити значення температурного коефіцієнта Вант-Гоффа (Q_{10}), що вказує на збільшення швидкості метаболічних процесів при підвищенні температури на 10 °С. У Керченській протоці при збільшенні температури води з +7 до +13 °С значення коефіцієнта Q_{10} складало 2,66, тоді як при зростанні з +13 до +20 °С його величина була значно меншою (–2,07).

У лимані Донузлав в інтервалі +10...+16 °С величина Q_{10} складала 2,57, тоді як при зростанні температури з +16 до +23 °С значення Q_{10} зменшилося до 1,75. Подальше збільшення температури до +27 °С спричинило різке зниження Q_{10} (до 0,40).

Отримані дані свідчать, що залежність інтенсивності фільтрації устриць від температури виявилася близькою до величини 2,25, запропонованої Г. Г. Вінбергом [1]. Звертає на себе увагу, що при низьких значеннях температури води її зміна на одну й ту саму величину сильніше відбивається на інтенсивності фільтрації, ніж при вищих.

Можливо, що це зумовлено не тільки температурою, а і різним фізіологічним станом моллюсків, зокрема їх репродуктивною активністю.

Верхня межа біокінетичної зони чорноморських устриць – температура, близька до +23 °С, вище якої фізіологічні процеси досліджуваних тварин помітно знижувалися. У той же час значення Q_{10} близькі і менші 2 свідчать про можливість часткових компенсаторних змін інтенсивності фільтрації.

Проведені дослідження також указують на те, що в умовах зниженої солоності вод Керченської протоки (13,8–14,5 ‰) інтенсивність фільтрації устриць помітно нижча, ніж у лимані Донузлав (див. рис. 3).

Для порівняння F/W у вказаних акваторіях для устриць лиману Донузлав залежність від температури води була апроксимована експоненціальною функцією:

$$F/W = 0,236 \cdot e^{0,075 \cdot T} \quad (3)$$

На основі цього рівняння розраховано теоретичні значення $F/W(0,255)$ відповідно при температурах +7, +13 і +20 °С, тобто за яких проводили досліди в Керченській протоці. Аналіз показав, що при такій самій температурі, але у воді різної солоності значення F/W в лимані Донузлав на 15,8–33,0 % вищі, ніж у Керченській протоці. Таким чином, при зниженні солоності на 3,5 ‰ інтенсивність фільтрації устриць зменшується в середньому на 22,1 %. Це підтверджує раніше отримані дані про вплив солоності на життєдіяльність цього виду моллюсків [5; 12; 15].

Висновки

Найвища активність фільтрації в устриць спостерігається при концентрації їжі 1,2–2,3 мг·л⁻¹, при її зростанні до 12,2 мг·л⁻¹ швидкість фільтрації у моллюсків стійко знижується. Зі зростанням температури води інтенсивність фільтрації чорноморської устриці збільшується, досягаючи максимуму при +23 °С; подальше її підвищення призводить до зниження активності фільтрації моллюсків. Інтенсивність фільтрації устриць залежить від солоності води: при її зниженні на 3,5 ‰ активність фільтрації моллюсків зменшується в середньому на 22,1 %.

Бібліографічні посилання

1. **Алимов А. Ф.** Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. – Л. : Наука, 1981. – 248 с.
2. **Золотницкий А. П.** Исследование фильтрационного питания черноморской устрицы (*Ostrea edulis* L.) / А. П. Золотницкий, Л. С. Крук // Тез. докл. III съезда океанол. – Л. : Наука, 1987. – Ч. 2. – С. 23–30.
3. **К вопросу** организации крупномасштабного культивирования устриц в озере Донузлав / А. П. Золотницкий, А. Н. Орленко, В. Г. Крючков, Н. А. Сытник // Труды ЮгНИРО. – 2008. – Т. 46. – С. 48–54.
4. **Кракатица Т. Ф.** Биология черноморской устрицы в связи с вопросами ее воспроизводства // Биологические основы морской аквакультуры. – 1976. – Вып. 2. – 79 с.
5. **Кракатица Т. Ф.** Сокращение ареала и уменьшение численности устриц в Егорлыцком заливе // Моллюски. Основные результаты их изучения. – Л. : Наука, 1979. – С. 112–114.
6. **Монин В. Л.** Биологические основы разведения черноморской устрицы *Ostrea edulis* L.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1990. – 24 с.
7. **Переладов М. В.** Современное состояние популяции черноморской устрицы // Прибрежные гидробиологические исследования. Труды ВНИРО. – 2005. – Т. 144. – С. 254–274.
8. **Пиркова А. В.** Воспроизводство черноморской устрицы *Ostrea edulis* L. как исчезающего вида / А. В. Пиркова, Л. В. Ладыгина, В. И. Холодов // Рыбное хозяйство Украины. – 2002. – № 3–4. – С. 8–12.

9. **Супрунович А. В.** Культивируемые беспозвоночные / А. В. Супрунович, Ю. Н. Макаров. – К. : Наукова думка, 1990. – 264 с.
10. **Buxton C. D.** Response surface analysis of the combined effects of exposure and acclimation temperatures on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster *Ostrea edulis* / C. D. Buxton, B. C. Newell, J. G. Field // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1981. – Vol. 6. – P. 73–82.
11. **Influence** of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients / J. Haure, C. Penisson, S. Bougrier, J. P. Baud // Aquaculture. – 1998. – Vol. 169. – P. 211–224.
12. **Hutchison S.** Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity / S. Hutchison, L. E. Hawkins // J. Moll. Stud. – 1992. – Vol. 58. – P. 215–226.
13. **Newell K. C.** Adjustment of the components of energy balance in response to temperature change in *Ostrea edulis* / K. C. Newell, L. G. Johnson, L. H. Kofoed // Oecologia (Berl.). – 1981. – Vol. 7, N 30. – P. 97–110.
14. **Rodhouse P. G.** Energy transformations by the oyster *Ostrea edulis* L. in a temperature estuary // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1978. – Vol. 34, N 1. – P. 1–22.
15. **Roedstroem E. M.** Survival and feeding activity of oyster spat (*Ostrea edulis* L.) as a function of temperature and salinity with implications for culture policies on the Swedish west coast / E. M. Roedstroem, P. R. Jonsson // J. Shellfish Res. – 2000. – Vol. 19, N 2. – P. 799–808.
16. **Particle** selection, inception and absorption filter-feeding bivalves / S. E. Shumway, T. L. Cucci, K. C. Newell, C. M. Yentsch // J. Exp. Mar. Biol. – 1985. – Vol. 91, N 5. – P. 77–92.
17. **Winter J. E.** Quempillen estuary, an experimental oyster cultivation station in southern chili, energy balance in *Ostrea chilensis* / J. E. Winter, M. A. Acevedo, J. H. Navarro // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1984. – Vol. 20. – P. 151–164.

Надійшла до редколегії 15.10.2009