

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

Тема: Біопродукційний процес в екосистемі.

Мета: Оволодіти методикою постанови розрахунку вторинної продукції за вегетаційний сезон та інтенсивності продукування тварин «фізіологічним» методом.

Обладнання та матеріали: таблиці з енергетичними параметрами гідробіонтів – використання асимільованої їжі на ріст (K_2), споживання кисню твариною масою, рівній одиниці (Q_1) та кількість калорій на 1 г тіла для водних тварин; визначники організмів зоопланктону, калькулятор, роздатковий матеріал.

Теоретичні відомості

Процеси конструктивного та енергетичного обміну у екосистемі засновані на першому законі термодинаміки, у відповідності з котрим енергія при перетворенні не зникає, а переходить з однієї форми в іншу, утворюючи потік енергії. Це надає можливість оцінювати роль, яку грає в біоценозі той чи інший організм чи популяція у вигляді балансової моделі, або елементів, пов'язаних потоками енергії.

Для кожного елементу моделі існує два види потоків:

1) Вхідні потоки ззовні (сонячна енергія, алохтонні речовини, детрит, продукція нижчих трофічних рівнів) або потоки, що потрапляють із інших елементів моделі.

2) Вихідні потоки, які є результатом продукційного процесу усередині блоку або пов'язані з виносом речовини, деструкцією енергії до мінеральної форми чи розсіюванням енергії.

Для коректного побудування балансу необхідні дві умови:

1) Всі матеріальні потоки повинні виражатись у схожих одиницях (тонах, джоулях, калоріях);

2) Сума вхідних та вихідних потоків для кожного блоку повинна дорівнювати нулю.

Біотичний баланс не може бути стаціонарним, тому його важливішою характеристикою є час, за котрий він складений. Структура основних матеріальних потоків біотичного балансу особин чи популяцій представлена на рис. 1.

В термінах енергії процес продукування можна визначити як сумарний процес накопичення організмами у вигляді біомаси (**B**) та продукції, що відривається **O**, яка включає статеві продукти, екскрети та інші продукти.

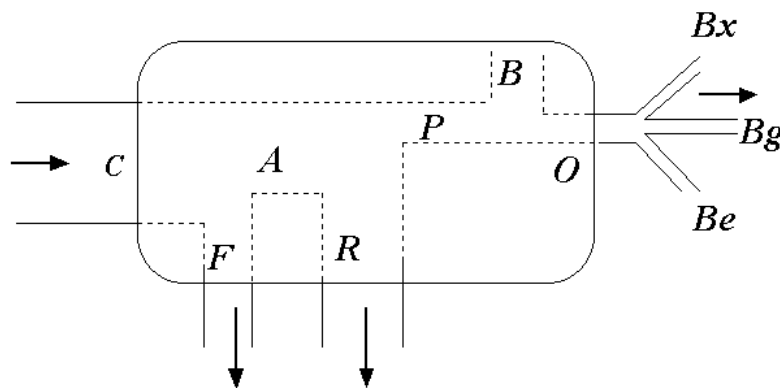


Рис. 1 – Структура головних потоків обміну речовиною та енергією з зовнішнім середовищем організму чи популяції. С – раціон, А – асиміляція, F – незасвоєна їжа, R – витрати на обмін, O – продукція, що відривається, Vg – статеві продукти, Vx – екскрети, Ve – екзувії, B – приріст біомаси.

Мірою інтенсивності продукування є питома продукція – кількість синтезованої популяцією органічної речовини за одиницю часу розраховуючи на одиницю біомаси популяції. Відношення приросту продукції (**P**) популяції до її середньої біомаси (**B**) за певний проміжок часу (рік, сезон, місяць, добу, день), або продукційно-біомасовий коефіцієнт (**P/B**-коефіцієнт), є

показником питомої біопродуктивності популяції. Для різних тварин добові Р/В – коефіцієнти значно різняться (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення продукційно-біомасового коефіцієнту (Р/В) деяких систематичних груп гідробіонтів

Систематична група гідробіонтів	Р/В-коефіцієнт
Інфузорії	0,5–1,0
Нижчі ракоподібні	0,02–0,45
Вищі ракоподібні	0,0014–0,05
Молюски	0,0001–0,0003
Голкошкірі	0,0007–0,0022
Риби	0,001–0,008

При оцінці ролі, яку організм чи популяція грає у кругообігу речовин у гідробіоценозі потрібно враховувати не тільки біомасу, але й чисельність та розмір особин, їх калорійність та рівень доступності для консументів. Наприклад, роль у кругообігу речовин та енергії популяцій тюльки та інфузорій однакової чисельності буде значно різнитись внаслідок значно більшої поверхні взаємодії з оточуючим середовищем у останніх.

Обмін речовин, супроводжується виконанням зовнішньої та внутрішньої роботи, спалюванням частини асимільованої їжі та трансформацією енергії спалювання у теплову. Розділяють:

1) Основний обмін – це гранично низький рівень обміну речовин, котрий забезпечує життя у стані відносного покою при оптимальній температурі без витрат енергії на перетравлення.

2) Загальний обмін, при котрому частина енергії йде на активну м'язову діяльність і тому він значно вище основного.

Оцінкою ефективності біосистеми є розподіл енергії на частину, що перетворюється на іншу органічну речовину, доступну для вищого трофічного рівня у вигляді їжі (**P**), і частину, що окислюється та втрачається у вигляді теплоти і дихання (**R**). Відношення **R/P** називають *мірою екологічного обороту Шредінгера*, а відношення **R/B** (де В – сумарна біомаса), *мірою термодинамічної врівноваженості Шредінгера*.

Завдання до виконання лабораторної роботи

Завдання. Визначте обсяги продукції та деструкції органічної речовини безхребетними зоопланктону «фізіологічним» методом, використовуючи дані таблиці 8.3. Зробіть екологічну оцінку стану екосистеми за продукційно-деструкційним процесом зоопланктонного угруповання.

Схема виконання:

Оцінка продукції водних тварин за допомогою «фізіологічного» методу можлива, коли відомі витрати тварин на обмін (**R**) та співвідношення цих витрат з продукцією. Це співвідношення визначається коефіцієнтом (**K₂**) використання асимільованої їжі на ріст.

$$K_2 = \frac{P}{(P+R)}, \quad (8.1)$$

З даного співвідношення отримуємо:

$$P = R \frac{K_2}{(1-K_2)}, \quad (8.2)$$

Значення (**K₂**) для водних тварин коливається від 0,26 до 0,4 та має фіксоване табличне значення для кожної групи тварин. Так, для коловерток та гіллястовусих ракоподібних **K₂** = 0,4, для веслоногих ракоподібних та велігерів двостулкових молюсків **K₂** = 0,3.

Трофічний коефіцієнт також можна розрахувати за формулою:

$$K_2 = \frac{Q_1}{Q} = \frac{Q_1}{(Q-Q_2)}, \quad (8.3)$$

де Q_1 – енергія утвореної у організмі речовини (енергія приросту); Q – енергія споживаної їжі; Q_2 – енергія незасвоєної частини їжі.

Таким чином, для розрахунку вторинної продукції потрібно розрахувати витрати тварин на обмін. Найбільш доступним показником витрат тварин на обмін є швидкість споживання тваринами кисню. Помножуючи кількість споживаного гідробіотом кисню на оксикалорійний коефіцієнт, отримуємо кількість енергії, яка розсіюється у процесі дихання. Вінберг та Хеммінгсен показали, що для всіх тварин незалежно від їх будови, ваги та оточуючого середовища є залежність маси тіла від швидкості споживання кисню, яка виражається рівнянням:

$$Q = W^r Q_1, \quad (8.4)$$

де Q – швидкість споживання кисню (мл/год) при температурі 20°C ; Q_1 – споживання кисню твариною масою, рівній одиниці; W – маса тіла, в г; r – константа.

Вивчення численними дослідниками швидкості обміну у різних гідробіотів дозволило виявити параметри рівнянь, які відображають швидкість споживання кисню тварин від їх маси (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри рівнянь залежності швидкості споживання кисню від ваги тіла для груп прісноводного зоопланктону при температурі 20°C

Групи зоопланктону	Q_1 , мл О/год	r
Infusoria	0,107	0,75
Rotatoria	0,106	0,796
Bivalvia	0,066	0,721
Crustacea (Cladocera)	0,143	0,803
Crustacea (Copepoda)	0,2	0,777

За допомогою оксикалорійного коефіцієнту тварин, від величини споживаного кисню можливо перейти до кількості калорій, яке тварина розсіює. Цей коефіцієнт у середньому дорівнює 4,86. Знаючи, скільки калорій приходить на 1г тіла гідробіотів, розраховують масу органічної речовини, що розсіюється особиною гідробіоту певної маси за годину при температурі 20°C . Так, на 1 г тіла коловерток та веслоногих ракоподібних приходить 550 калорій, а велігерів та гіллястовусих ракоподібних – 600 калорій.

За допомогою рівняння $P = R \frac{K_2}{(1-K_2)}$ переходимо до величини продукції, яку утворює гідробіот певної маси за годину при температурі 20°C . Надалі помножуємо знайдене значення на кількість особин і таким чином знаходимо кількість органічної речовини, яке продукує популяція водних тварин за годину при температурі 20°C . Помножуючи останній показник на 24 переходимо від продукції тварини за годину до добової продукції. Так як кількість діб впродовж вегетаційного сезону на Україні у середньому дорівнює 210, помножуємо значення добової продукції на 210 і знаходимо вторинну продукцію за вегетаційний сезон.

Для реальної оцінки вторинної продукції необхідно враховувати температуру, при якій мешкає популяція, тому більш коректно розраховувати спочатку місячну продукцію, помножуючи значення добової продукції на 30, а потім знаходити значення продукції кожного з 7 місяців окремо, виходячи з співвідношення:

$$\frac{P_2}{P_1} = 2,25^{(20-T)/10}, \quad (8.5)$$

де P_1 – продукція при середньомісячній температурі;

P_2 – продукція при температурі 20°C;

T – значення середньомісячної температури.

При розрахунку продукції зоопланктону в цілому застосовують рівняння:

$$П = Пм - Рх + Пх, \quad (8.6)$$

де $П$ – продукція зоопланктону; $Пм$ – продукція мирного зоопланктону; $Р$ – раціон хижого зоопланктону; $Пх$ – продукція хижого зоопланктону.

Алгоритм розрахунку раціону хижого зоопланктону містить такі ж самі етапи, що й мирного, крім переходу від витрат на обмін до продукції за рівнянням (8.2).

В угрупованнях зоопланктону виділяють два трофічних рівня: первинні консументи (мирний зоопланктон) і вторинні консументи (хижий зоопланктон). До першої групи відносять форми, що живляться переважно фітопланктоном, детрито- і бактеріофагів. Це більшість коловороток, гіллястовусі ракоподібні родин Sididae, Daphnidae, Macrothricidae, Chydoridae, Bosminidae, нестатевозрілі особини із родин Polyphemidae, Leptodoridae, представники Calanoida (крім особин старших стадій родів Heterosore і Eurytemora та дорослих крупних діапомусів), науплії і молодші копеподіти (1–3 стадії) представників Cyclopoidea. До хижих відносять дорослих Heterosore та крупних циклопів родів – Macroscyclops, Ectocyclops, Acanthocyclops, Cyclops; статевозрілих гіллястовусих родів – Cercopagis, Evadne, Polyphemus, Corniger, Leptodora та коловороток родів – Vipalpus, Eosphora, Encentrum.

Показники енергетичного балансу зоопланктону розраховують для кожного трофічного рівня. Якщо у складі планктону були еврифаги (наприклад коловортки родів – Asplanchna та Synchaeta), половину їх кількості відносили до мирних, а інших – до хижих.

Приклад розрахунку продукції зоопланктону «фізіологічним» методом:

При обробці проби зоопланктону поверхневого шару водної товщі Запорізького водосховища у вересні було встановлено, що при середній температурі води 17°C, чисельність мирних коловороток складала 48168 екз/м³, біомаса – 68,9 мг/м³.

Чисельність хижих коловороток складала 7414 екз/м³, біомаса – 46,7 мг/м³.

Чисельність мирних веслоногих ракоподібних складала 20854 екз/м³, біомаса – 116,6 мг/м³.

Чисельність хижих веслоногих ракоподібних складала 872 екз/м³, біомаса – 19,1 мг/м³.

Чисельність мирних гіллястовусих ракоподібних складала 78704 екз/м³, біомаса – 230,9 мг/м³.

Чисельність хижих гіллястовусих ракоподібних складала 2215 екз/м³, біомаса – 26,2 мг/м³.

Чисельність велігерів складала 3611 екз/м³, біомаса – 5,8 мг/м³.

1) Знаходимо продукцію мирних коловороток. Середня маса однієї коловортки дорівнює 0,00143 мг чи $1,43 \cdot 10^{-6}$ г.

Коловортка цієї маси споживає: $Q = 0,106W^{0,796} = 2,36 \cdot 10^{-6}$ мл, кисню за 1 годину при температурі 20°C, що відповідає розсіюванню коловорткою $R = 2,36 \cdot 10^{-6} \cdot 4,86 = 1,147 \cdot 10^{-5}$ калорій енергії або $1,147 \cdot 10^{-5} / 550 = 2,08 \cdot 10^{-8}$ г органічної речовини. Продукція коловортки за 1 годину при температурі 20°C дорівнює $P = 2,08 \cdot 10^{-8} \frac{0,4}{(1-0,4)} = 1,4 \cdot 10^{-8}$ г, органічної речовини. Загальна продукція мирних коловороток дорівнює $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot 48168 \text{ екз/м}^3 = 6,73 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^3$. Помножуючи це значення на, 24 та на 30, знаходимо продукцію мирних коловороток за вересень при температурі 20°C, це складає 0,485г/м³. Враховуючи, що температура води впродовж місяця у середньому

дорівнювала 17°C , отримуємо наступне співвідношення: $\frac{0,485}{P_1} = 2,25^{(20-17)/10}$ та розраховуємо $P_1 = \frac{0,485}{2,25^{0,3}} = 0,38 \text{ г/м}^3$.

2) Аналогічним чином знаходимо, що продукція хижих коловерток дорівнює $0,284 \text{ г/м}^3$.

3) Раціон хижих коловерток розраховуємо через співвідношення: $0,284 = R \frac{0,4}{(1-0,4)}$, тоді $R = 0,42 \text{ г/м}^3$.

4) Загальна продукція коловерток дорівнює: $\Pi = 0,38 - 0,42 + 0,28 = 0,24 \text{ г/м}^3$. Таким чином, Р/В-коефіцієнт відношення продукції до біомаси коловерток за вересень складає $0,24/0,11 = 2,1$.

5) Згідно описаному алгоритму знаходимо продукцію мирних веслоногих ракоподібних, враховуючи табличні коефіцієнти Q_1 , r , K_2 та кількість калорій на 1 г тіла веслоногих ракоподібних: $\Pi_m = 0,74 \text{ г/м}^3$.

6) Продукція хижих веслоногих ракоподібних дорівнює $0,09 \text{ г/м}^3$, а раціон $0,21 \text{ г/м}^3$. Таким чином, загальна продукція веслоногих ракоподібних за вересень складає $\Pi = 0,74 - 0,21 + 0,09 = 0,62 \text{ г/м}^3$, а Р/В-коефіцієнт веслоногих ракоподібних = 4,6.

7) Розраховуємо продукцію мирних гіллястовусих ракоподібних за вересень: $\Pi_m = 1,24 \text{ г/м}^3$, продукція хижих видів дорівнює $\Pi_x = 0,11 \text{ г/м}^3$, а раціон $R_x = 0,16 \text{ г/м}^3$. Загальна продукція гіллястовусих ракоподібних складає $\Pi = 1,24 - 0,16 + 0,11 = 1,19 \text{ г/м}^3$, а Р/В – коефіцієнт гіллястовусих ракоподібних = 4,6.

8) Велігери дрейсен є цілком мирною групою прісноводного зоопланктону. Таким чином, їх продукція відповідає продукції мирних форм і для велігерів дрейсен продукція за вересень $\Pi = \Pi_m = 0,03 \text{ г/м}^3$.

9) Загальна продукція зоопланктону складається з продукції його груп: $\Pi = 0,24 + 0,62 + 1,19 + 0,03 = 2,08 \text{ г/м}^3$. Загальний Р/В-коефіцієнт зоопланктону Запорізького водосховища за вересень виявився 4,05.

Для отримання значення продукції зоопланктону за вегетаційний сезон, потрібно аналогічним чином розрахувати продукцію за інші 7 місяців сезону. Так, при продукції зоопланктону за квітень $0,11 \text{ г/м}^3$, за травень $0,27 \text{ г/м}^3$, за червень $1,64 \text{ г/м}^3$, за липень $3,11 \text{ г/м}^3$, за серпень $2,55 \text{ г/м}^3$, за жовтень $0,18 \text{ г/м}^3$, загальна продукція зоопланктону за вегетаційний сезон дорівнює $9,94 \text{ г/м}^3$. При середній біомасі зоопланктону Запорізького водосховища за вегетаційний сезон $0,27 \text{ г/м}^3$, Р/В – коефіцієнт зоопланктону за сезон буде дорівнювати 36,8.

Для розрахунку вторинної продукції угруповань зоопланктону торф'яного озера за 4 місяці (табл. 3), необхідно враховувати середню щомісячну температуру води озера. Так, в травні середня температура води складала -15°C , в червні -18°C , в липні $-21,5^{\circ}\text{C}$ та в серпні -22°C .

Таблиця 3 – Видовий склад, чисельність (N, екз./м³) та біомаса (B, мг/м³) зоопланктону торф'яного озера

Види	Травень		Червень		Липень		Серпень	
	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Brachionus rubens</i>	–	–	–	–	19833	39,67	3333	6,67
<i>Bdelloidea</i> gen. sp.	–	–	–	–	–	–	2833	11,33
<i>Eudactylota</i> sp.	–	–	–	–	–	–	750	1,5
<i>Euchlanis meneta</i>	–	–	–	–	–	–	250	0,5
<i>Epiphanes</i> sp.	–	–	–	–	–	–	83	0,17
<i>Keratella</i> sp.	20	0,02	–	–	–	–	–	–
<i>Lecane bulla</i>	20	0,01	–	–	–	–	–	–
<i>Asplanchna</i> sp.	–	–	–	–	250	6,75	–	–
<i>Platyas</i> sp.	–	–	–	–	83	0,25	83	0,25
<i>Diacyclops</i> sp.	–	–	133	2,39	–	–	–	–
<i>Eudiaptomus</i> sp.	2460	130,4	17	0,90	–	–	583	30,90
<i>Cryptocyclops</i> sp.	–	–	–	–	4500	90,00	1333	26,66
<i>Nauplii</i>	600	1,20	133	0,27	5917	11,83	1417	2,83
<i>Polyphemus pediculus</i>	–	–	8133	610,0	–	–	–	–
<i>Daphnia</i> sp.	9060	453,0	133	6,65	–	–	–	–
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	100	2,50	–	–	–	–	–	–
<i>Scapholeberis mucronata</i>	60	2,40	7000	280,0	83	3,32	–	–
<i>Chydorus sphaericus</i>	40	0,56	–	–	333	4,66	–	–
<i>Acroperus harpae</i>	20	0,42	–	–	–	–	–	–
<i>Macrothrix spinosa</i>	–	–	383	4,98	–	–	–	–

Контрольні питання:

1. Що позначає P/B-коефіцієнт водних тварин?
2. Яке рівняння застосовують при розрахунку продукції зоопланктону?
3. Якою залежністю пов'язані витрати на обмін (R) та продукція (P) водних тварин?
4. Яким чином враховують температуру, при котрій існує популяція водних тварин?
5. Які роди відносяться до хижих коловертків?
6. Які роди відносяться до хижих веслоногих ракоподібних?
7. Які роди відносяться до хижих гіллястовусих ракоподібних?
8. Впродовж якого терміну продовжується вегетаційний сезон на Україні?