

О некоторых количественных закономерностях формирования урожая мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) на различных типах искусственных субстратов

Д-р биол. наук, профессор **А.П. Золотницкий** – главный научный сотрудник лаборатории марикультуры Керченского отделения Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»); **Е.А. Кожурин** – руководитель Керченского отделения Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»); канд. биол. наук, доцент **Н.А. Сытник** – ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

@ zap6@mail.ru;
ekozh@mail.ru;
amtek-kerch@mail.ru

Ключевые слова:

мидия, коллекторы, субстрат, динамика, численность, биомасса, рост, элиминация

Keywords:

mussel, collectors, substrate, dynamics, abundance, biomass, growth, elimination

ON SOME QUANTITATIVE REGULARITIES IN THE FORMATION OF MUSSEL (*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*, LAM.) HARVEST ON VARIOUS TYPES OF ARTIFICIAL SUBSTRATES

Zolotnitskiy A.P., Doctor of Sciences, Professor – Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Kozhurin E.A., Head in Charge of Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of the the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Sytnik N.A., PhD, Associate Professor – Kerch State Maritime Technological University,
zap6@mail.ru; ekozh@mail.ru; amtek-kerch@mail.ru

Quantitative regularities in the formation of mussel harvest (B) on various types of artificial substrates are investigated for four substrates, varying by the collector area (S) per 1 linear meter: 0,09, 0,21, 0,34 and 0,55 sq. m. The results of mollusk cultivation on the collectors with various artificial substrate areas have shown that the dynamics of biomass (B) depends on the time of cultivation (t) and can be described by a logistic equation: $B_t = B_{st} / (1 - e^{-kt})$. A relation between a harvest and a collector area has been identified, and this relation is approximated by a power function: $B = 2,62 S^{1,25}$. It is shown that the harvest formation is mediated through the intraspecific competition for artificial substrate (life space), which is fulfilled through self-thinning; as a result, the population ends up in the state of dynamic equilibrium that corresponds to “ecological capacity” of a collector.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из важнейших задач общей гидробиологии и водной экологии является выяснение закономерностей динамики численности и биомассы различных водных организмов в естественных условиях или при

выращивании в искусственно созданных водоёмах [1; 5; 8; 13]. Одним из направлений этих исследований, тесно связанное с марикультурой, является разведение и выращивание раковинных (брюхоногих и двустворчатых) моллюсков (конхиокультура) [2; 5; 9; 12].

Черное море, в силу своего физико-географического положения и климатических условий, является одним из перспективных морских бассейнов для промышленного культивирования различных видов мидий и устриц. Однако, несмотря на определенные успехи, достигнутые черноморской конхиокультурой [2; 5; 13], это направление до сих пор основывается на сравнительно небольшом эмпирическом опыте, а не на теоретической базе. В значительной степени сдерживает, как оптимизацию ранее разработанных биотехнологий моллюсков, так и создание новых методов культивирования, то, что это отражается на экономической эффективности их выращивания.

Основной целевой функцией (параметром оптимизации) в марикультуре является получение максимальной численности и/или биомассы культивируемого вида с единицы площади водного зеркала за единицу времени [9]. Но, в отличие от интенсивных процессов культивирования, где происходит управление потоками вещества и энергии, в условиях экстенсивной марикультуры это возможно лишь путем изменений размера, формы и положения искусственного субстрата во времени и пространстве [10]. В свою очередь, это обуславливает необходимость изучения взаимосвязи биологических показателей популяций моллюсков и физическими характеристиками коллекторов, на которых происходит их выращивание. Работы такого плана в Чёрном море проведены на фитообрастаниях [9; 10] и практически отсутствуют на беспозвоночных животных.

В задачу настоящей работы входило исследование влияния площади искусственных субстратов (S , m^2) на биомассу моллюсков (V , kg/m), выращиваемых на коллекторах в Керченском проливе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для выращивания собирали в 1980-х - начале 2000-х гг. на опытных или опытно-промышленных мидийных плантациях, установленных ЮгНИРО, совместно с производственным научно-технологическим центром (ПНТЦ) «Керчьмоллюск», Очаковским опытным мидийно-устричным рыбоконсервным комбинатом (ООМУРК), рыболовецкими колхозами («Жемчужина моря», «Таврида»). Каждая плантация состояла от 10 до 134 единиц гидробиотехнических сооружений (ГБТС) в Керченском проливе, у побережья западного побережья Крыма (лиман Донузлав) западной части Чёрного моря.

Установка гидробиотехнических сооружений проводилась в марте-апреле каждого года. Сбор спата и измерения биомассы проводили с интервалом 1,0-1,5 месяца для каждого типа коллектора на 3-х участках мидийной плантации (по 3 пробы с каждого участка) для по-

Исследованы количественные закономерности формирования урожая мидий (V) на различных типах искусственных субстратов, отличающихся между собой площадью коллектора (S) на 1 погонном метре: 0,09, 0,21, 0,34 и 0,55 m^2 . Результаты выращивания моллюсков на коллекторах, с разной площадью искусственного субстрата показали, что динамика биомассы (V) зависит от времени выращивания (t), и её можно описать логистическим уравнением: $V_t = V_{st} / (1 - e^{-kt})$. Выявлена связь между урожаем моллюсков и площадью коллектора, которая аппроксимируется степенной функцией: $V = 2,62 S^{1,25}$. Показано, что формирование урожая обусловлено внутривидовой конкуренцией за искусственный субстрат (жизненное пространство), которое осуществляется путём самоизреживания. в результате чего популяция приходит в состояние динамического равновесия, соответствующее «экологической емкости» коллектора.

лучения средних данных для всей плантации. Каждый цикл выращивания моллюсков проходил примерно в течение 16-17 месяцев.

Методический подход, используемый нами при изучении динамики численности и биомассы мидий на коллекторах, был частично основан на принципе полного внутривидового агрегирования [8]. В этом случае, при анализе функционирования популяций, их внутренний состав и структура детально не рассматривались; а принималось, что все особи имеют некую одинаковую среднюю длину и массу. Этот метод при популяционном анализе лучше всего передаёт относительные изменения биомассы моллюсков и соответствует классической теории динамики численности и биомассы популяций [6; 7]. При культивировании использовали 4 типа искусственных субстратов, отличающихся между собой площадью поверхности и объёмом. Они представляли собой структурные единицы (модули), в качестве которых служили пенопластовые пластины разных размеров и форм. На 1-м типе, в качестве структурных единиц, служили пенопластовые пластины (8 x 3 x 0,8 см), на 2-м типе субстратом являлись округлые пенопластовые шашки ($D = 7$, $h = 2$ см), на 3-м типе – элементы кубической формы (7 x 7 x 4 см), на 4-м типе – модулем служили наплава бочковидной формы ($d=17$, $h=19,5$ см). Соответственно, на указанных типах субстратов средняя площадь составляла 0,09, 0,21, 0,34 и 0,55 m^2 . Всего проведено по 15 циклов выращивания на 1-3 типах коллекторов и один цикл на 4-м типе коллектора.

Статистическую обработку полевых и экспериментальных данных осуществляли по общепринятым методам, изложенным в руководстве Г.Ф. Лакина [4]. Для аппроксимации связи между различными переменными

использовали статистические компьютерные пакеты – «Microcal Origin-8.5» и электронные таблицы «Excel-2010».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После установки ГБТС начинается массовое оседание личинок моллюсков на коллекторы. Оно зависит от океанографических особенностей водоема, степенью его открытости (или закрытости), рельефом берега и дна, преобладающими ветрами, системой постоянных и неустойчивых течений, приводящих к мелкомасштабным неоднородностям, возникающим вследствие турбулентности, градиентов температуры, солености, освещения, т.е. физико-химическими граничными условиями. В то же время оно может быть также следствием воздействия ряда биотических факторов – интенсивности размножения маточных стад, выживаемостью личинок на ранних фазах онтогенеза, поведенческими реакциями и др. В качестве исходных данных для сравнительного анализа рассмотрим динамику биомассы моллюсков на 1-м типе коллектора (рис. 1).

После оседания спата мидии на коллекторы происходило 2 взаимосвязанных и противоположно направленных процесса: снижение численности моллюсков и возрастание биомассы популяции, обусловленное индивидуальным линейным и весовым ростом мидии. В качестве исходной точки биологического анализа на рисунке 1 приведены данные по динамике биомассы моллюсков на 1-м типе (0,09 м²) коллектора в течение одного цикла выращивания. На нем видно, что в процессе культивирования на нём происходят довольно значительные флуктуации биомассы моллюсков в процессе выращивания.

Вместе с тем, на представленном рисунке видно, что эти изменения биомассы можно с достаточной точностью описать логистическим уравнением Ферхюльста [4; 7; 8]:

$$V_t = V_{st} / [1 + e^{-a \cdot b \cdot t}] \quad (1)$$

где V_t и V_{st} – соответственно, биомасса за время t (мес.) и равновесная (асимптотическая) биомасса (кг/м); b – удельная скорость роста популяции; a – константа интегрирования, определяемая начальным значением биомассы моллюсков; e – экспонента (2,718). На приведённом выше графике константы V_{st} , a и b были, соответственно, равны 2,4; 4,7 и 0,90.

В течение выращивания весьма часто наблюдается значительное повышение и снижение от величины средней асимптотической биомассы моллюсков. Превышение среднего уровня биомассы обусловлено, сложившимися в это время, благоприятными для популяции экологическими условиями – абиотическими (температура, соленость и др.) и биотическими (кормовая база, отсутствие врагов и т.д.) факторами среды. Однако, при

наступлении неблагоприятных условий, происходит элиминация моллюсков и биомасса становится ниже средней равновесной биомассы. Таким образом, хотя живая масса популяции мидий в процессе выращивания существенно варьирует, тем не менее она колеблется возле некоего стационарного уровня, т.е. состояния динамического равновесия. (рис. 2).

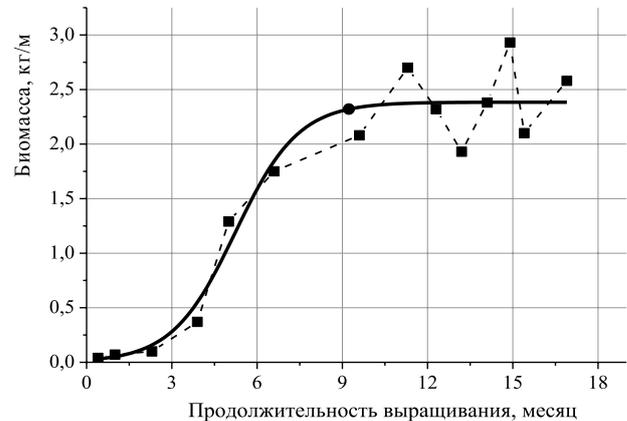


Рисунок 1. Динамика биомассы мидий (B , кг/м) при выращивании на 1-м типе (0,09 м²) коллектора: штриховая линия – полевые данные; гладкая линия – теоретическая кривая

Figure 1. Dynamics of mussel biomass (B , kg/m) during mussel cultivation on the collector of the 1st type (0,09 m²): dashed line – field data; full line – theoretical curve

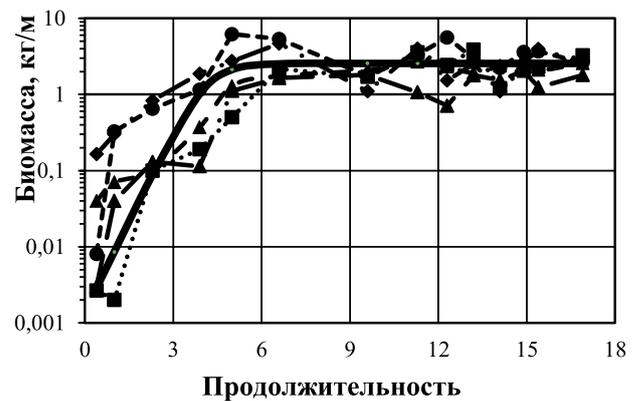


Рисунок 2. Динамика биомассы мидий (B , кг/м) при выращивании на 1-ом типе коллектора (0,09 м²) в течение 5 циклов: штриховая линия – полевые данные, утолщённая линия – теоретическая асимптотическая кривая биомассы (полулогарифмическая система координат)

Figure 2. Dynamics of mussel biomass (B , kg/m) during cultivation on the collector of the 1st type (0,09 m²) in the course of 5 cycles: dashed line – field data, heavy line – theoretical asymptotic curve of biomass (semilogarithmic coordinate system)

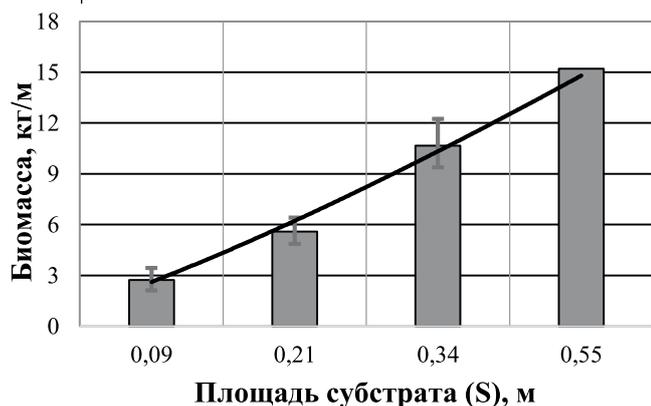


Рисунок 3. Динамика урожая мидий при культивировании на 4-х типах коллекторов: столбики с вертикальными линиями (95% – доверительный интервал) – полевые данные, утолщённая гладкая линия – теоретическая кривая

Figure 3. Dynamics of mussel harvest during cultivation on the collectors of 4 types: bars with vertical lines (95% confidence interval) – field data, heavy full line – theoretical curve

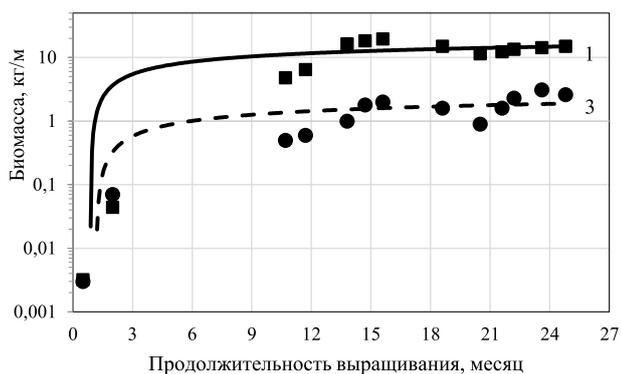


Рисунок 4. Изменение биомассы мидий при выращивании в лимане Донузлав на 1-м и 3-м типах искусственных субстратов; полулогарифмическая система координат

Figure 4. Changes in mussel biomass during cultivation on the artificial substrates of the 1st and the 3rd types in Donuzlav Liman; semilogarithmic coordinate system

В целом динамика биомассы, в зависимости от продолжительности выращивания на коллекторах 1-го типа, в течение 5 циклов выращивания в численной форме описывается:

$$B_t = 2,74 \cdot [1 - e^{-(7,52 - 1,82 \cdot t)}], n = 70, R^2 = 0,43 \quad (2)$$

где R^2 – коэффициент детерминации. В то же время, средняя биомасса в конце цикла культивирования мидий («урожай на корню») составила $2,88 \pm 0,64$ кг/м. Уравнением (1) можно описать изменение биомассы и других типов коллекторов, которые заметно различались лишь численными

значениями средней асимптотической биомассы. Для коллектора 2-го и 3-го типов коллекторов численные значения коэффициентов (B_{st} , b и a), соответственно, были равны: 5,66, 2,37 и 0,63 ($R^2 = 0,52$) и 10,8, 4,40 и 1,08 ($R^2 = 0,50$).

На 4-м типе, где проведён лишь один цикл выращивания и, указанные выше, параметры составляли, соответственно: 15,1, 8,22 и 2,18. В то же время прямые расчёты биомассы мидий в конце цикла выращивания показали, что урожай на 2-м, 3-м и 4-м типах коллекторов составлял, соответственно: 6,14, 9,96 и 16,3 кг/м. Таким образом данные, полученные двумя методами расчёта, достаточно близки между собой. Указанные отклонения, по-видимому, обусловлены тем, что уравнения в первом случае отражают всю динамику роста биомассы, в том числе и её начальные значения, тогда как во втором – регистрируются лишь конечные значения массы животных на коллекторах. На рисунке 3 приведены средние асимптотические значения биомассы, в зависимости от площади коллектора.

Зависимость между биомассой и площадью субстрата хорошо аппроксимируется степенной функцией (уравнение 3):

$$B_t = 2,62 \cdot S^{1,25}, R^2 = 0,99 \quad (3)$$

Для выяснения вопроса о том, насколько общий характер имеют выявленные закономерности динамики биомассы в Керченском проливе, мы обратились к имеющимся к материалам по культивированию мидий в лимане Донузлав (западное побережье Крыма) Чёрного моря [2].

В этом районе были получены материалы по одному циклу выращивания на двух типах коллекторов (1-го – 0,09 и 3-го – 0,34). Установка искусственных субстратов в лимане Донузлав была проведена не весной, а осенью, поскольку, по данным В.И. Вижевского [2], в это время наблюдается наибольшая численность личинок в планктоне. Соответственно, цикл выращивания мидий растягивался до 24-25 месяцев.

Полученные в указанном районе данные довольно хорошо соответствуют материалам, полученным в Керченском проливе: на 1-м типе средняя биомасса составляла 3,1 кг/м, а на 3-м типе – 13,1 кг/м. Вероятно, более высокая стационарная биомасса обусловлена лучшими трофическими условиями лимана Донузлав [2]. Следовательно, несмотря на различия в географическом положении и океанографических параметрах этих акваторий, были получены довольно близкие значения средней асимптотической биомассы при культивировании мидий в этих районах. Это позволяет сделать вывод об определяющей роли площади коллекторов при формировании урожая моллюсков.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что в ходе культивирования мидии на искусственных субстратах происходит авторегуляция биомассы моллюсков, обусловленная внутривидовой конкуренцией. Этот процесс реализуется с помощью механизма самоизреживания,



Рисунок. Популяция мидий на искусственном субстрате (коллекторе)

Figure. Mussel population on an artificial substrate (a collector)

который приводит популяцию в состояние динамического равновесия (стационарное состояние), соответствующее «экологической емкости» (жизненному пространству) субстрата [1; 7; 8; 12; 13]. Следовательно, изменяя площадь искусственного субстрата, можно управлять урожаем мидий.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы количественные закономерности формирования урожая мидий на различных типах коллекторов; показано, что мидийный коллектор представляет собой биокосную систему, структура и функции которой в значительной степени определяются площадью искусственных субстратов.
2. Результаты выращивания мидий на коллекторах с разной площадью искусственного субстрата (0,09, 0,21, 0,34 и 0,55 м²) показали, что динамику биомассы на каждом типе коллектора можно описать логистическим уравнением: $B_t = B_{st} / [1 + e^{(a-b \cdot t)}]$.
3. Показано, что урожай (B_t) моллюсков в процессе 1,5-годового цикла выращивания в значительной степени определяется площадью поверхности (S) коллектора, связь между ними передается уравнением: $B_t = 2,62 \cdot S^{1,25}$.

4. Авторегуляция биомассы и формирование урожая мидий обусловлена внутривидовой конкуренцией за искусственный субстрат (жизненное пространство), которое осуществляется путём самоизреживания, приводящего численность и биомассу популяции моллюсков в состояние динамического равновесия, соответствующее «экологической емкости» субстрата.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бигон М., Харпер Дж, Таунсенд К. Экология: особи, популяции и сообщества. Т. 1. - М.: Мир, 1989. 667 с.
1. Bigon M., Harper Dzh, Taunsend K. *Ekologiya: osobi, populyacii i soobshchestva*. T. 1. - M.: Mir, 1989. 667 p.
2. Вижевский В.И. Биологические основы промышленного культивирования мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) в различных районах Черного моря: дисс. ...канд. биол. наук: спец. 03.00.17 - Гидробиология. Керчь, 1990. 174 с.
2. Vizhevskij V.I. *Biologicheskie osnovy promyshlennogo kul'tivirovaniya midii (Mytilus galloprovincialis Lam.) v razlichnyh rajonah Chernogo morya: diss. ...kand. biol. nauk: spec. 03.00.17 - Gidrobiologiya*. Kerch', 1990. 174 p.
3. Золотницкий А.П. Зависимость продукционных показателей культивируемых мидий от типа субстрата// Рыбное хозяйство, 1990, № 10. С. 25-27.
3. Zolotnickij A.P. *Zavisimost' produkcionnyh pokazatelej kul'tiviruemyh midij ot tipa substrata*// *Rybnoe hozyajstvo*, 1990, № 10. pp. 25-27.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1986. 343 с.
4. Lakin G.F. *Biometriya*. M.: Vysshaya shkola, 1986. 343 p.
5. Марикультура мидий на Чёрном море [Ред. В.Н. Иванов]. Севастополь: «НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. 312 с.
5. *Marikultura midij na Chyornom more* [Red. V.N. Ivanov]. Sevastopol': «NPC EKOSI-Gidrofizika», 2007. 312 p.
6. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1975. 704 с.
6. Odum YU. *Ekologiya*. M.: Mir, 1975. 704 p.
7. Уильямсон М. Анализ биологических популяций. М.: Мир, 1975. 272 с.
7. Uil'yamson M. *Analiz biologicheskikh populyacij*. M.: Mir, 1975. 272 p.
8. Федоров, В.Д., Гильманов, Т.Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980. 464 с.
8. Fedorov, V.D., Gil'manov, T.G. *Ekologiya*. M.: Izd-vo MGU, 1980. 464 p.
9. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная экология морских многоклеточных водорослей. К.: Наукова думка, 1992. 280 с.
9. Hajlov K.M., Prazukin A.V., Kovardakov S.A., Rygalov V.E. *Funkcional'naya ekologiya morskikh mnogokletochnyh vodoroslej*. K.: Naukova dumka, 1992. 280 p.
10. Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю., Шошина Е.Е. О связи геометрических, биологических и трофодинамических характеристик водных биокосных фитосистем. Океанология. 2001. Т.41, №3. С.1-8.
10. Hajlov K.M., YUrchenko YU.YU., SHoshina E.E. *O svyazi geometricheskikh, biologicheskikh i trofodinamicheskikh harakteristik vodnyh biokosnyh fitosistem*. Okeanologiya. 2001. T.41, №3. pp. 1-8.
11. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. Севастополь: Изд-во ИНБЮМ НАНУ, 2010. 422 с.
11. Holodov V.I., Pirkova A.V., Ladygina L.V. *Vyrashchivanie midij i ustric v Chyornom more*. Sevastopol': Izd-vo INBYUM NANU, 2010. 422 p.
12. Filgueira R., Peteiro L.G., Labarta U. and Fernandez-Reiriz M. J. The self-thinning rule applied to cultured populations in aggregate growth matrices. *J. Mol. Stud.* 2008. Vol. 74. P. 415-418.
13. Smith J.A., Baumgartner L. J., Suthers I. M., Fielder D.S. and M. D. Taylor. Density-Dependent Energy Use Contributes to the Self-Thinning Relationship of Cohorts. 2013. Vol. 181. №3. P. 112-126.