

Материалы VIII Всесоюзного
совещания по вопросу
круговорота веществ в замк-
нутой системе

"Научная дружина"
Киев

1972

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ КЛЕТКИ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА
МИКРОВСДОСРЕДЕЙ

Л.Н.Цогин, М.Г.Владимирова

В нормально развивающейся популяции при отсутствии ограничивающих факторов и возмущающих воздействий число клеток растет по экспоненциальному закону с коэффициентом удельного размножения, завися-

ним от параметров культивирования. Возрастное распределение клеток также носит экспоненциальный характер с преобладанием автоспор и молодых клеток и может быть выражено уравнением

$$N_t = N_0 e^{-\mu t}$$

где N_t — число клеток с возрастом от 0 до t ; N_0 — число автоспор в популяции; μ — коэффициент удельного размножения, определяемый как число делений клетки при данных световых условиях, отнесенное к длительности цикла $\frac{a}{T} = \mu$.

Интегрируя в интервале от 0 до T и принимая общее число клеток за 1, получаем выражение относительного распределения клеток по возрастам:

$$n_t = \frac{\mu e^{-\mu t}}{1 - e^{-\mu T}}$$

За световой период жизненного цикла (T_C) вес клетки увеличивается в $e^{\mu T}$ раз. Считая рост диаметра клетки во времени функцией, близкой к линейной, имеем в интервале от 0 до T_C закон распределения по размерам, совпадающий с временным распределением. С некоторым приближением можно считать, что все клетки в интервале от $t = T_C$ до $t = T$ имеют один размер и их численность зависит от длительности светонезависимой (темновой) стадии:

$$\sum_{t=T_C}^{t=T} n_t = \int_{T_C}^T \frac{\mu e^{-\mu t}}{1 - e^{-\mu T}} dt = \frac{e^{-\mu T_C} [1 - e^{-\mu(T-T_C)}]}{1 - e^{-\mu T}}$$

Диапазон размеров будет лежать в пределах от \bar{d}_0 (средний размер автоспор) до $\bar{d}_0 e^{\mu T}$ (средний размер взрослой клетки). Учитывая естественный разброс размеров клеток одного возраста, описываемый гауссовским распределением, получаем кривую (рис. 1), характеризующую распределение по размерам для популяции, в которой все клетки имеют одинаковое число делений. При наличии в популяции клеток, дающих разное количество автоспор, а это наиболее частый случай, в кривой распределения по размерам появляются третий, четвертый, пятый и т.д. пики, соответствующие делениям на 4, 8, 16 автоспор. При этом размерный диапазон увеличи-

вается и расположение пиков, определяемое как $\bar{d}_0 \alpha^{1/n}$ должно соответствовать точкам: $1,24 \bar{d}_0$; $1,59 \bar{d}_0$; $2 \bar{d}_0$ и т.д.

Рассмотренные закономерности характерны только для стационарных условий культивирования при средней интенсивности света на клетку, достаточной для нормального ее деления в течение одного жизненного цикла.

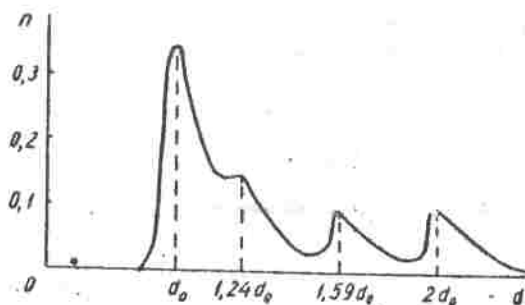


Рис.1. Распределение клеток по размерам в асинхронной культуре.

Рассмотрим процессы, происходящие в популяции при изменении одного из наиболее важных параметров культивирования — интенсивности света. В практике изменение интенсивности света может иметь как скачкообразный, так и плавный характер (рост в накопительном режиме, пересевы культур, автоматическое регулирование с управлением на свету).

Ранее (Цоглин и др., 1970) в экспериментах на различных штаммах отмечалось явление запаздывания изменения коэффициента μ в ответ на изменение световых условий при пересевах микроводорослей. Связь этого явления с длительностью жизненного цикла. Естественно предположить, что при пересеве культуры сохраняется возрастное распределение и часть клеток, имеющих возраст больше T_C , т.е. находящихся в светонезависимой стадии развития, разделится на такое же число автоспор, какое они давали при прежних условиях культивирования. Таким образом, и рост численности популяции в течение времени, равного длительности темновой стадии данного штамма, будет происходить со скоростью, соответствующей прежним условиям культивирования. Эксперименты подтверждают это предположение. Опыты проводились на культуре *Chlorella* sp. K, культивирование велось, как описано ранее (1970), в плоскопараллельной камере с освещением

ксеноновой лампой при температуре 36°C . Временные соотношения цикла развития клетки определяли на синхронной культуре при выращивании на люминесцентных лампах в больших культуральных сосудах при $t = 36^{\circ}\text{C}$ (т.е. в условиях, при которых выращивали культуру для посева). Длительность цикла для данных условий равна 11 час, светонезависимый период - 4 час. На рис.2 представлен рост популяции в линейном и полудогарифмическом масштабе. Время задержки

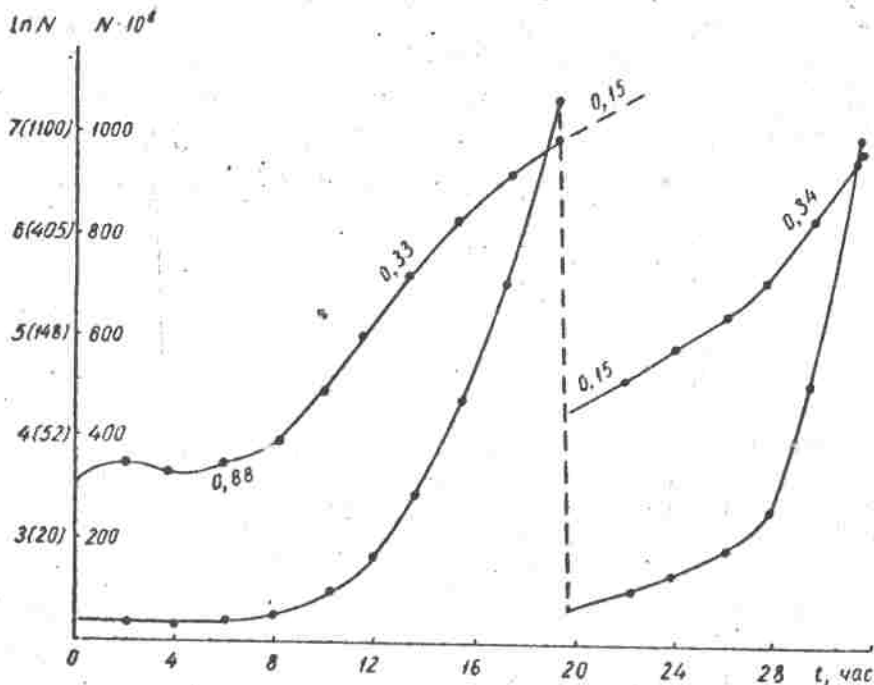


Рис.2. Кривые роста *Chlorella* sp. К после посева и резкого разбавления.

изменения коэффициента μ (без учета лаг-фазы) совпадает с длительностью темновой стадии развития клетки (4 часа). Специальные опыты (рис.3) с взятием проб через каждые 0,5 час показали наличие примерно двухчасовой переходной стадии к новому коэффициенту при переходе на интенсивность света $I = 460 \cdot 10^3$ эрг/см²·сек. В этот период в культуре в отличие от исходной (таблица) появляются

клетки с 8 и 16 автоспорами. Через 10 час, когда клетки делятся в основном на 8, 16 и 82 (и даже на 64!) автоспоры, коэффициент μ приобретает значение, соответствующее световым условиям. Таким

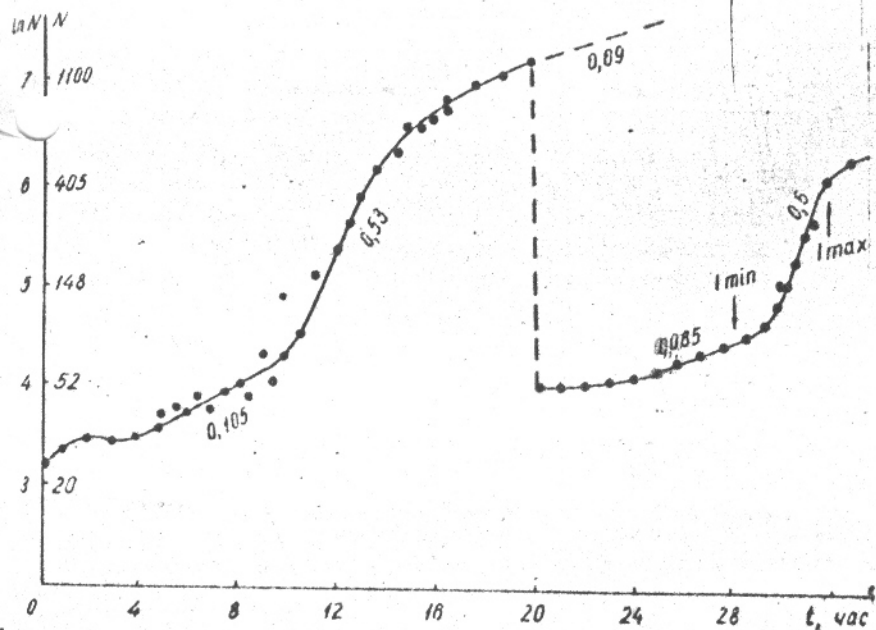


Рис.3. Изменение удельного коэффициента размножения после посева, резкого разбавления культуры и изменения интенсивности света.

образом, на формирование числа образующихся в клетке автоспор у *Chlorella* sp. K. влияет интенсивность света только в период 2 час перед началом светонезависимой стадии.

Такие же изменения происходят и после резкого разбавления плотной суспензии (рис.3). При этом первые 4 час после лаг-фазы число клеток растет соответственно прежнему коэффициенту удельного размножения и культура содержит в основном клетки, делящиеся на 2 и 4 автоспоры (см. таблицу), и лишь к девятому часу культивирования начинается переход к высокой скорости роста. Более того, при резком, 10-кратном, уменьшении света (с $460 \cdot 10^3$ до

$40 \cdot 10^3$ эрг/см²·сек) коэффициент μ все-таки возрос до величины 0,5 1/час, соответствующей условиям высокой освещенности. Это доказывает, что влияние предистории культуры в основном проявляется через заложенное ранее число автоспор.

Изменение числа автоспор в клетках в различные периоды роста культуры

Число автоспор	Количество клеток, делящихся на "а" автоспор, % от суммы делящихся клеток						
	засев (культура из соудс)	через 5 час культуры (μ=0,18)	через 8,5 час (переходная стадия)	через 12 час культуры (μ=0,58)	через 20 час $N = 1270 \cdot 10^6$ (μ=0,09)	через 6 час после разбавл. культуры в 25 раз	через 2 час после затенения (μ=0,6)
2	62,5	78,6	42,8	7,2	26,5	26,3	10,7
4	87,5	21,4	27,8	26,4	66,7	68,4	46,8
8	0	0	23,4	24,6	6,8	5,3	89,0
16	0	0	6,5	27,3	0	0	2,5
82	0	0	0	14,5	0	0	1,5

Более подробное рассмотрение процессов, возникающих при изменении интенсивности света, и сравнение их с результатами, получаемыми на синхронной культуре, позволяет говорить о возможности достаточно точного определения временных соотношений жизненного цикла клетки водоросли при обычном накопительном режиме культивирования. Однако изменение коэффициента μ при изменении светового режима в накопительной культуре приводит к реактому перераспределению клеток по возрастам и размерам, что влияет на ростовые процессы. Получение стабильной картины возрастного и размерного распределения клеток и коэффициента μ возможно лишь при использовании проточного культивирования.