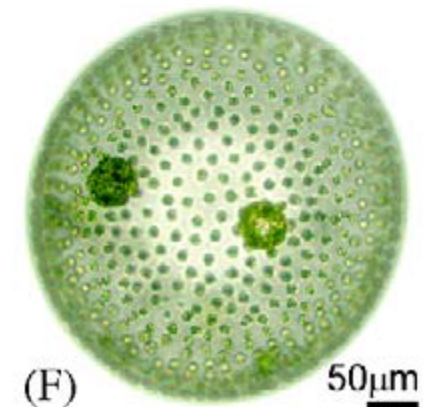
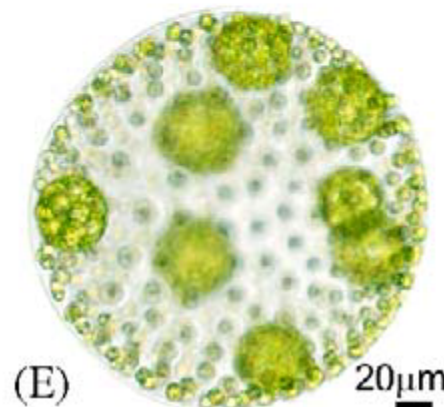
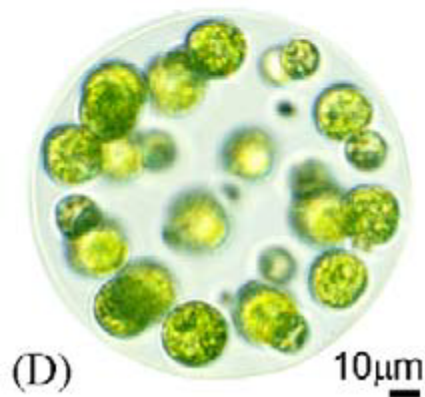
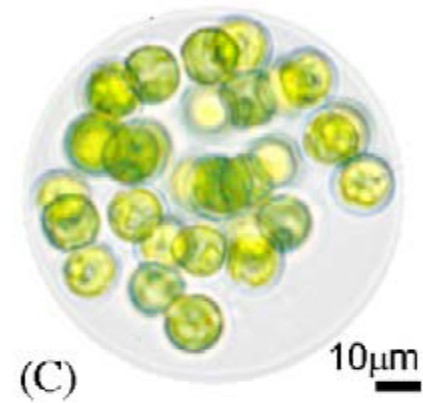
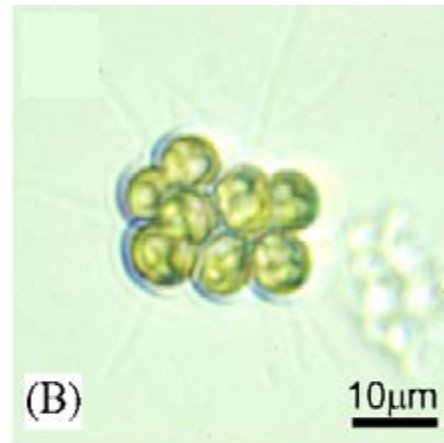
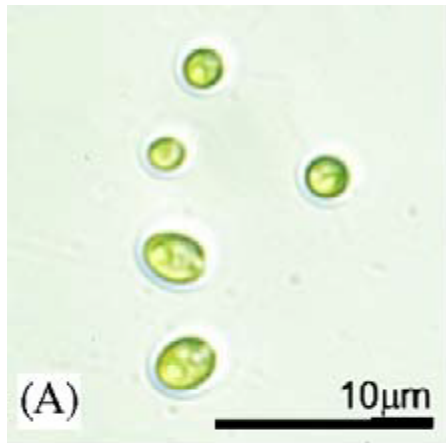


Эволюция живого и природа многоклеточных: случай различных типов клеток

Алескеров Ф.Т. (НИУ ВШЭ, ИПУ РАН)

Тверской Д.Н. (НИУ ВШЭ, ИПУ РАН)

Вольвоксовые сине-зеленые водоросли



Полная оптимизационная модель

«Life-history evolution and the origin of multicellularity» (Richard E. Michod, Yannick Viossat, Cristian A. Solari, Mathilde Hurand, Aurora M. Nedelcu; Journal of Theoretic Biology, 2006 Mar 21; 239(2):257-72)

v - вегетативная функция клетки

b – репродуктивная функция клетки

Внутренняя функция компромиссов клетки:

$$v = v_{max} - \alpha * b.$$

Вегетативная и репродуктивная функции колониального организма:

$$B = \sum_{i=1}^N b_i; \quad V = \sum_{i=1}^N v_i.$$

Жизнеспособность организма:

$$W = V * B$$

Полная оптимизационная модель

Основная предпосылка:

- все клетки идентичные, то есть имеют одинаковые функции компромиссов.

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \sum_{i=1}^N b_i * \sum_{i=1}^N v_i \rightarrow \max_{b,v} \\ \forall i = 1..N: v_i = v(b_i), \\ b \geq 0, \\ v \geq 0. \end{array} \right.$$

Выводы по модели

- 1. Если функция является строго вогнутой, то рассматриваемая колония клеток будет неспециализированной.
- 2. Если функция линейная, то рассматриваемая колония клеток ведет себя подобно одной клетке – каждая клетка колонии безразлична к специализации.
- 3. Если функция является строго выпуклой, то в колонии возникает полная специализация. Кроме того, если в колонии четное количество клеток, половина должна специализироваться на соматической функции, половина – на половой. Если число клеток в колонии нечетное, то из них должны быть вегетативными, должны быть репродуктивными, а одна – оставаться неспециализированной.

Недостатки Полной оптимизационной модели:

- Идентичность всех клеток;
- Не учтено влияние факторов окружающей среды на жизнедеятельность колонии;
- Неробастность модели.

Цель работы:

построить робастную модель колониального организма на основании модели, предложенной в [1], и исследовать влияние факторов окружающей среды и различия типов клеток на возможность специализации рассматриваемой колонии.

Полная оптимизационная модель при наличии клеток различных ТИПОВ

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \sum_{i=1}^N b_i * \sum_{i=1}^N v_i \rightarrow \max_{b,v} \\ \forall i = \overline{1, N}: v_i = v_i^{max} - \alpha_i * b_i, \\ \quad \forall i = \overline{1, N}: b_i \geq 0, \\ \quad \forall i = \overline{1, N}: v_i \geq 0. \end{array} \right.$$

Выводы по модели

- В оптимуме одна часть клеток колонии будет соматической, другая – репродуктивной; третья часть либо отсутствует, либо содержит только один тип клеток, безразличных к специализации. Это описывает ситуацию, когда часть клеток колонии специализирована, а часть – лежит в прослойке, безразличной к специализации и может выполнять различные функции, в зависимости от различного рода внешних условий.
- Кроме того, представленные модели позволяют более чем ровно половине клеток быть специализированными на одной из составляющих.

Общее энергетическое ограничение в модели

- Пусть C – уровень энергии, доступный колонии при заданном способе получения энергии и заданных характеристиках окружающей среды.
- k_1 и k_2 единиц энергии требуется колонии для производства единицы репродуктивной и вегетативной составляющих соответственно.
- Тогда общее энергетическое ограничение имеет вид:

$$k_1 * \sum_{i=1}^N b_i + k_2 * \sum_{i=1}^N v_i \leq C, \text{ где } k_1 > 0, k_2 > 0, C > 0$$

Полная оптимизационная модель с учетом энергетического ограничения и различных типов клеток

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \sum_{i=1}^N b_i * \sum_{i=1}^N v_i \rightarrow \max_{b,v} \\ \forall i = 1..N: v_i = v_i^{max} - \alpha_i * b_i, \\ k_1 * \sum_{i=1}^N b_i + k_2 * \sum_{i=1}^N v_i \leq C, \\ \forall i = 1..N: v_i \geq 0, \\ \forall i = 1..N: b_i \geq 0. \end{array} \right.$$

Энергетическая оценка решения

Пусть $b^* \in R^N$ - есть решение полной оптимизационной модели с различными типами клеток и энергетическим ограничением, тогда справедлива следующая оценка:

$$W(b^*) \leq \frac{C^2}{4 * k_1 * k_2}$$

Выводы по модели

- В оптимуме существует связанное множество состояний, каждое из которых позволяет колонии достичь одинакового максимального значения жизнеспособности. В некоторых из этих состояний произвольно выбранная клетка может быть специализированной, в других – нет, но уровни соматической и репродуктивной составляющих лежат в ограниченных диапазонах (для каждой клетки – своих).
- Модель является робастной.

Выводы по работе

- Дифференциация типов клеток приводит к возникновению в колонии специализированных клеток и прослойки, безразличной к специализации.
- При добавлении энергетического ограничения, оптимальным будет некоторое связное множество состояний. В некоторых из этих состояний произвольно выбранная клетка может быть специализированной, в других – нет, но уровни соматической и репродуктивной составляющих лежат в ограниченных диапазонах.
- Полученные модели являются робастными.

Спасибо за внимание!