

DOI: 10.25205/978-5-4437-1843-9-175

## ЦВЕТОВЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ИНФУЗОРИЙ *PARAMECIUM CAUDATUM*

### COLOR PREFERENCES OF *PARAMECIUM CAUDATUM* INFUSORIA

М. А. Савицкий<sup>1</sup>, А. В. Кузнецов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва

<sup>2</sup>Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

<sup>3</sup>Севастопольский государственный университет

М. А. Savitskiy<sup>1</sup>, A. V. Kusnetsov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy

<sup>2</sup>Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol

<sup>3</sup>Sevastopol State University

✉ maxxsav37@gmail.com

#### Аннотация

Было проведено несколько серий экспериментов по выявлению цветовых предпочтений инфузорий вида *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1834. Исследовали воздействие лазеров трех длин волн (RGB) на группу инфузорий, находящихся в ограниченном пространстве стеклянного капилляра. Результаты свидетельствуют о спектральной зависимости фототаксиса: отрицательная реакция на синий свет и положительная на зеленый, что указывает на наличие специализированных фоторецепторов.

#### Abstract

A series of experiments were conducted to determine color preferences in the ciliate species *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1834. The study involved exposing a group of ciliates confined in a glass capillary to laser light at three different wavelengths (RGB). The results demonstrate a spectral dependence in phototaxis: a negative response to blue light and a positive response to green light, suggesting the presence of specialized photoreceptors.

Молекулярные механизмы восприятия светового раздражения отличаются в деталях у представителей различных царств живого. В целом от простейших до хордовых в этом процессе задействованы опсины — трансмембранные белки с 7  $\alpha$ -спиралями и молекулой ретиналя внутри, специфичные к определенным длинам световых волн. Эволюция опсиновых систем сопровождалась их усложнением и специализацией, коррелирующей с экологической нишой организма и типом питания. Например, у *Halobacterium salinarum* бактериородопсин участвует в бескислородном фотосинтезе, генерируя электрохимический градиент для синтеза АТФ [1]. У одноклеточных водорослей *Chlamydomonas reinhardtii* пара родопсинов (А и В), связанных с кальциевыми каналами, регулируют фототаксис в зависимости от интенсивности света [2]. У миксотрофной *Euglena gracilis* родопсиноподобные белки образуют высокоупорядоченную структуру внутри мембраны двигательного жгутика, оптимизирующую поглощение света. Фототрансдукция инициируется изомеризацией этих белков, переходящих из состояния A498 в состояние B462 [3]. Особый интерес представляет фоторецепторная система *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1834 в силу того, что наличие родопсиноподобных белков у представителей рода *Paramecium* доказано [4]. Ключевым этапом в понимании функционирования цветовосприятия у простейших является определение зависимости характера фототаксиса от длины световой волны.

Исходную культуру *P. caudatum* приобрели у коммерческого поставщика (<https://7ants.ru/>), на основе которой в лабораторных условиях были созданы экспериментальные популяции. Плотность инфузорий в отдельных пробах варьировала в пределах естественной изменчивости культуры. Исследование фототаксиса проводили в стеклянном капилляре с диаметром канала 3 мм. В капилляр набирали столб воды длиной 4–5 см, содержащий инфузории, после чего его размещали горизонтально. В качестве источников монохроматического света использовали три лазера мощностью по 1 Вт: красный ( $650 \pm 10$  нм), зеленый ( $532 \pm 10$  нм) и синий (450 нм). Эксперименты включали два типа воздействия: 1) одиночное лазерное облучение — луч направляли перпендикулярно капилляру в заданную точку; 2) парное лазерное облучение — фокусы двух лазеров располагали на расстоянии 1 см друг от друга.

Наблюдение за поведением инфузорий проводили с помощью микроскопа Микромед МС-4 LED с видеокамерой, подключенной к компьютеру. Фокус микроскопа фиксировали на расстоянии 0,5 см от точки воздействия лазера или на равном расстоянии от фокусов двух лазеров при парном воздействии. Для каждого эксперимента регистрировали два последовательных видеофрагмента: 1) фоновую активность (контрольный образец, лазеры выключены) и 2) реакцию на источник света (после включения лазера/лазеров).

Анализ видеозаписей длительностью по 1 мин выполняли с помощью оригинального алгоритма, реализованного на Python. Программа детектировала количество подвижных инфузорий и направление их движения (влево/вправо вдоль оси капилляра).

В случае одиночного воздействия направление движения интерпретировали как положительный или отрицательный фототаксис. При парном облучении анализировали предпочтение одного из двух источников света.

#### Доля инфузорий (в %), движущихся от цвета в столбце к цвету в строке ячейки

Цвет	W	R	G	B
W		53,39 ± 6,07	48,96 ± 5,00	62,42 ± 8,99
		+3,52 ± 9,93	-5,72 ± 8,05	+15,07 ± 8,96
R	43,61 ± 6,65		48,39 ± 5,47	51,87 ± 3,84
	-3,52 ± 9,93		+3,02 ± 10,77	+3,61 ± 4,63
G	51,98 ± 5,32	50,11 ± 5,47		52,45 ± 10,51
	+5,72 ± 8,05	-3,02 ± 10,77		+6,66 ± 10,17
B	36,56 ± 8,99	47,47 ± 3,84	46,89 ± 10,51	
	-15,07 ± 8,96	-3,61 ± 4,63	-6,66 ± 10,17	

*Примечание.* Нижние строки в каждой ячейке показывают изменение доли по сравнению с контролем.

Из экспериментов (см. таблицу) следует, что отрицательный фототаксис наиболее выражен при синем свете ( $-15,07 \pm 8,96\%$ ), тогда как зеленый свет вызывал положительную реакцию ( $+5,72 \pm 8,05\%$ ). В парных стимуляциях инфузории избегали синий свет в любых сочетаниях цветов, а также предпочитали красный зеленому. В целом цветовые предпочтения *P. caudatum* можно выразить как R > G >> B. Полученные результаты подтверждают способность инфузорий к спектральной дискриминации, указывают на наличие у них двух типов фоторецепторов и могут отражать адаптивные механизмы, логически связывающие синий спектр с УФ-опасностью, а зеленый — с фотосинтетически активными зонами, где располагается добыча.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что *P. caudatum* Ehrenberg, 1834 проявляет спектрально-зависимый фототаксис, и свидетельствуют о наличии у инфузории сложной системы цветовосприятия, что при дальнейшем изучении может дополнить общую картину эволюционных механизмов формирования зрительных систем у простейших и эукариот в целом.

#### Литература

1. Ernst O.P., Lodowski D.T., Elstner M. et al. Microbial and animal rhodopsins: structures, functions, and molecular mechanisms // Nat. Rev. Microbiol. 2014. Vol. 114, No. 1. P. 126–163.
2. Sineshchekov O.A., Jung K.-H., Spudich J.L. Two rhodopsins mediate phototaxis to low- and high-intensity light in Chlamydomonas reinhardtii // Proc. Nat. Acad. Sci. 2002. Vol. 99, No. 13. P. 8689–8694.
3. Barsanti L., Evangelista V., Passarelli V. et al. Fundamental questions and concepts about photoreception and the case of *Euglena gracilis* // Integr. Biol. 2012. Vol. 4. P. 22–36.
4. Nakaoka Y., Tokioka R., Shinozawa T. et al. Photoreception of Paramecium cilia: localization of photosensitivity and binding with anti-frog-rhodopsin IgG // J. Cell Sci. 1991. Vol. 99. P. 67–72.