

### Задача 9. Необычные водоросли. 5 баллов

Говоря о возбудимых клетках и межклеточной передаче сигнала, мы, в первую очередь, думаем о нейронах. Тем не менее, свойство возбудимости плазматической мембраны и генерации потенциала действия присуще и некоторым растительным клеткам. Харовые водоросли — это крупные водные растения, растущие в пресных и солоноватых водоемах. Часто на поверхности их талломов можно наблюдать кольцевые отложения кальция, создающие поперечную полосатость. Эти периодические зоны возникают на ярком свете и соответствуют зонам защелачивания и подкисления внешней среды. Специальные исследования показали, что между кислыми и щелочными зонами протекает ионный ток, связанный с работой кальциевых и хлорных каналов и протонной АТФазы. Если в водоем с загрязнением попадут наночастицы, блокирующие работу ионных каналов и протонной АТФазы плазматической мембраны харовой водоросли, то кислые и щелочные зоны на поверхности клеток перестанут образовываться. В результате этого растения перестанут расти и могут погибнуть.

1. Как вы думаете, почему возникают кислые и щелочные зоны и для чего они могут использоваться водными растениями? 2 балла
2. Опишите возможные механизмы ингибирования ионных каналов  $H^+$ -АТФазы наночастицами. 1 балл
3. При помощи каких методов можно установить, что наночастицы, внесенные в водную среду, влияют на работу ионных каналов харовых водорослей и формирование кислых и щелочных зон? 1 балла
4. Как можно использовать харовые водоросли в экологическом мониторинге водоемов? 1 балл

### ОТВЕТ

1. На ярком свете у водных растений, так же как и у наземных, активно идут фотосинтетические процессы. В отличие от воздуха, концентрация  $CO_2$  в воде ниже, и вблизи таллома харовых водорослей (как и фотосинтезирующих органов других водных растений) возникает непромешиваемый слой больше 1-100 мкм, через который диффузионная доставка  $CO_2$  к месту его фиксации не может обеспечить потребности фотосинтеза. (Именно поэтому вы можете найти и купить в зоомагазинах специальные приборы, обеспечивающие генерацию и растворение  $CO_2$  в аквариуме, в котором выращиваются «капризные» виды водных растений с интенсивным фотосинтезом.) Кислые и щелочные зоны харовых водорослей различаются по интенсивности фотосинтеза, и кроме того, ионный ток позволяет ускорить доставку карбонатов к кислым зонам, где из них образуется  $CO_2$ , который обеспечивает повышенный уровень фотосинтеза. Кроме того, протонная АТФаза и ионные каналы плазмалеммы играют важную роль в поддержании внутреннего гомеостаза ионов и других веществ, необходимых для фотосинтеза, дыхания и других важных процессов.

2. Наночастицы могут ингибировать работу ионных каналов, непосредственно блокируя часть канала с воротным механизмом и селективным фильтром. Можно представить и опосредованное действие, когда сорбция наночастиц на плазматическую мембрану водорослей приводит к таким структурным изменениям в мембране и подмембранном цитоскелете, что изменяется количество мембраносвязанных ионов, а также уменьшается активность ионных каналов и АТФаз.

3. В качестве методов исследования действия наночастиц на активность ионных каналов можно

использовать электрофизиологические методы фиксации тока или напряжения на мембране (обычный микроэлектродный метод, метод пэтч-клямп и метод внутриклеточной перфузии), метод внутри- или внеклеточной регистрации потенциалов действия (потенциалы действия на мембране харовой водоросли возникают вследствие последовательной активации  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов и  $\text{Cl}^-$ -каналов). Влияние наночастиц на формирование кислых и щелочных зон можно проверить визуально путем помещения водоросли в раствор рН-индикатора или при помощи внеклеточного рН-чувствительного микроэлектрода. Косвенно можно предположить влияние наночастиц на мембрану по отложениям карбоната кальция в клеточной стенке, движению цитоплазмы и другим характеристикам, отражающим физиологическое состояние клетки. О наличии зон вдоль клетки можно судить по флуоресценции хлоропластов методом импульсной микрофлуориметрии.

4. Харовые водоросли чувствительны к чистоте воды и их можно использовать для проверки наличия в воде наночастиц, тяжелых металлов и других загрязнений. Эффективность фотосинтеза и физиологическое состояние этих водорослей связана с работой ионных каналов и поэтому любые вещества, изменяющие активность ионных каналов и протонной АТФазы плазмалеммы, будут оказывать существенное действие на рост и выживаемость харовых водорослей.