

УДК 616-093/ - 098: 538.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ СЛАБОГО СТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2005 С.Д. Колпакова, Г.А. Колпакова¹

В настоящей работе проведены исследования влияния слабого постоянного магнитного поля на динамику развития бактериальной популяции. Описаны механизмы жизнедеятельности бактерий в условиях слабого стационарного магнитного поля.

Введение

Эволюция бактерий осуществлялась при сильных колебаниях электрического и магнитного полей земли. Развиваясь длительное время в этих полях, бактерии приобретали механизмы взаимодействия с ними. Это, безусловно, сформировало у бактериальной клетки электрические свойства, которые, взаимодействуя с электромагнитным полем, осуществляли защиту внутренних механизмов ее жизнедеятельности от непосредственного воздействия поля. Это взаимодействие не может существовать автономно от бактериальной клетки, поэтому должны существовать механизмы влияния магнитного поля на жизнедеятельность бактерий. При этом возможны два варианта: 1 — магнитное поле действует на каждую конкретную бактериальную клетку и через изменение ее механизмов жизнедеятельности действует на всю популяцию; 2 — действует на всю популяцию и уже через нее на каждую отдельную особь.

В настоящей работе была выполнена экспериментальная проверка этого предположения на примере динамики развития бактериальной популяции в условиях слабого стационарного магнитного поля.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали музейную культуру *Escherichia coli* (штамм К-12). Исследуемую культуру выращивали в 5 мл мясопептонного

¹Колпакова Светлана Дмитриевна, Колпакова Галина Анатольевна, кафедра общей и клинической микробиологии, иммунологии и аллергологии Самарского государственного медицинского университета, 443090, Россия, г. Самара, ул. Гагарина, 18.

бульона рН $7,3 \pm 0,2$ при 37°C в течение 24 ч. Клетки отделяли центрифугированием и пятикратно отмывали от продуктов жизнедеятельности физиологическим раствором рН $7,3 \pm 0,2$. Из отмытой культуры готовили взвесь в физиологическом растворе рН $7,3 \pm 0,2$ в объеме 5 мл.

В качестве измерительного инструмента использовали прибор КФК-2 МП, реализующий фотоэлектроколориметрический метод [1, 2]. Динамика развития бактериальной популяции изучалась в условиях воздействия на нее постоянного слабого магнитного поля, источником которого служил кусочек пермалоя размерами $35 \times 15 \times 8$ мм. Для наблюдения непосредственно влияния магнитного поля на развитие культуры магнит помещался в кювету прибора непосредственно в питательный бульон. Зона уверенного влияния магнитного поля на отдельные особи бактерий составляла не менее 25 мм. Это вдвое превышало ширину пространства, в области которого развивалась популяция в положении магнита $h = 13$ мм (рис. 1, а) и практически втрое — в положении магнита $L = 8$ мм (рис. 1, б), что и служит доказательством развития популяции в магнитном поле.

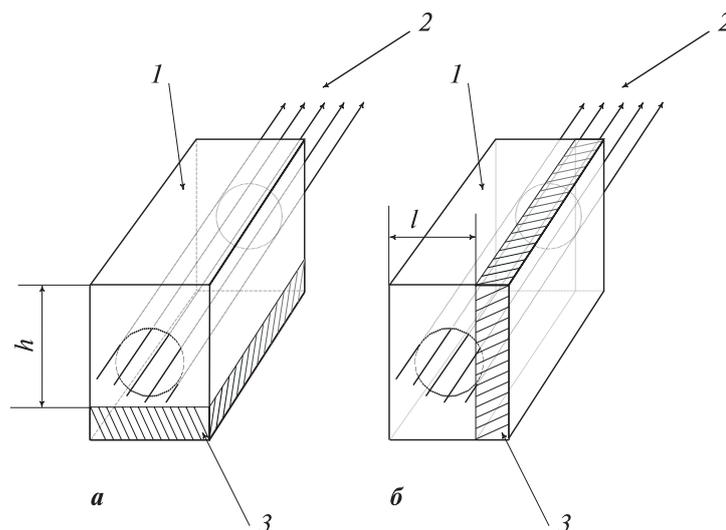


Рис. 1. Схематическое изображение положений магнита в кювете: 1 — кювета; 2 — световой поток; 3 — кусочек пермалоя (магнит)

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлена кривая динамики развития *E. coli* вне магнитного поля. Анализ этой кривой показывает высокую способность бактерий приспосабливаться к изменениям условий их существования.

Это выражается в наличии осциллирующих колебаний кривой в лаг-фазе, которые согласно работам [1, 2] интерпретируются как механизмы синхронных делений бактериальных клеток. Наличие синхронных делений

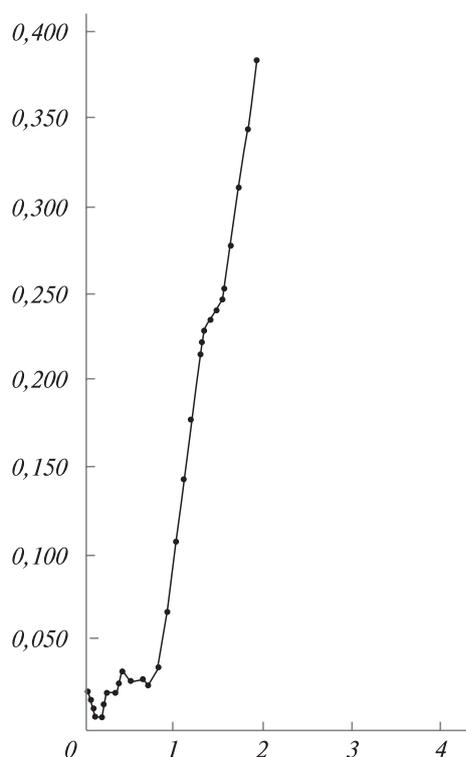


Рис. 2. Кривая динамики развития *E. coli* вне магнитного поля. По оси абсцисс — время (в ч), по оси ординат — оптическая плотность (в усл. ед.)

в лаг-фазе при развитии бактериальной популяции вне магнитного поля можно объяснить тем, что отдельные особи популяции, объединяясь случайным образом в группы, образуют микросистемы с характерными для данной популяции клеток межклеточными связями электромагнитного типа [2]. Формирование межклеточных связей в микросистеме сигнализирует бактериальной клетке об образовании в локальной области питательной среды единой системы, условия развития которой соответствуют условиям в логарифмической фазе роста. В результате синхронного деления концентрация особей в микросистемах увеличивается, расстояние между особями уменьшается до величины меньше критической [1], и бактерии интенсивно расталкивают друг друга, увеличивая расстояние между клетками. Это приводит к нарушению межклеточных связей, часть особей микросистемы вовлекается в процесс теплового движения и разносится по объему питательной среды, а часть вновь объединяется в микросистемы с последующим синхронным делением. Накопление бактериальных клеток в результате нескольких синхронных делений приводит к увеличению средней концентрации бактерий в питательной среде, и крутизна лаг-фазы постепенно растет. По-видимому, каждое синхронное деление является способом практической проверки эффективности каждого из имеющихся в “памяти” бак-

териальной популяции механизмов в обеспечении ее жизнедеятельности в конкретных условиях.

Эволюция бактерий в условиях медленно меняющихся магнитных полей земли должна была способствовать появлению и генетическому закреплению у них электромагнитных свойств. Это должно выражаться в быстрой реакции бактериальных клеток на изменение магнитных полей, соизмеримых с величиной магнитного поля среды, окружающей бактерии в период их эволюции.

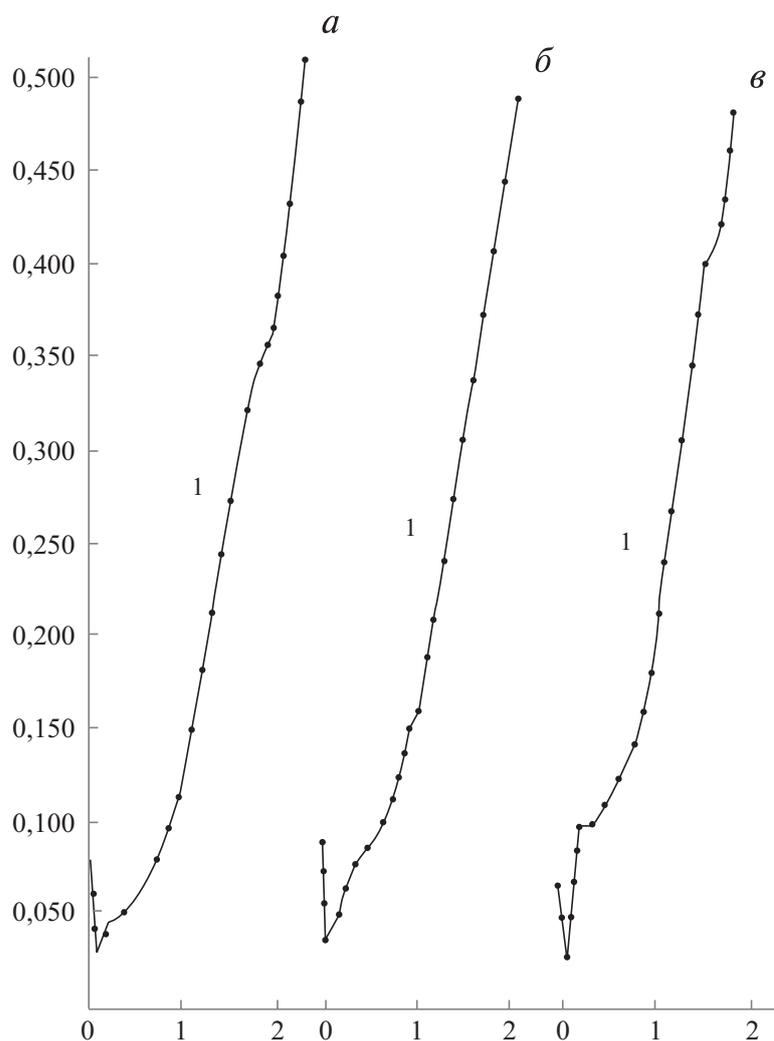


Рис. 3. Кривые динамики развития *E. coli* в условиях слабого стационарного магнитного поля. По оси абсцисс — время (в ч), по оси ординат — оптическая плотность (в усл. ед.)

Действительно, сравнение кривых, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что у последних практически отсутствует лаг-фаза, т.е. отсутствует

фаза жизнедеятельности бактерий, в процессе которой они адаптируются к окружающей среде. Это можно объяснить двумя механизмами. Согласно первому — бактериальная клетка в условиях слабого магнитного поля получает информацию о том, что в области ее существования создались условия ранних этапов ее эволюции, когда в природе существовали только электрические разряды и микроорганизмы обладали единственным и основным механизмом жизнедеятельности, отвечающим этим условиям. В связи с этим бактериальные клетки, помещенные в слабое магнитное поле, практически мгновенно запускают этот основной механизм развития, минуя все адаптационные механизмы, сформированные на более поздних этапах своей эволюции. Во втором случае магнитные силовые линии, взаимодействуя с электрическим зарядом мембраны, не дают распасться микросистемам, возникшим в лаг-фазе, и они развиваются как единая система. С точки зрения современных представлений о жизнедеятельности микроорганизмов [3, 4] более вероятен второй механизм, т.к. он с некоторыми дополнениями хорошо согласуется с моделью межклеточных взаимодействий, описанных в работах [1, 2]. Действительно, если поместить бактериальные клетки в слабое магнитное поле, то оно, будучи не в состоянии навязать бактериальным клеткам не свойственный им режим жизнедеятельности, объединит все особи инокулята в единую информационную систему. В работах [3, 4] приведены сведения о том, что клетки в процессе своей жизнедеятельности излучают электромагнитные колебания, которые графически можно представить в виде двух векторов [5], изображающих электрическое (E) и магнитное поля (H) (рис. 4).

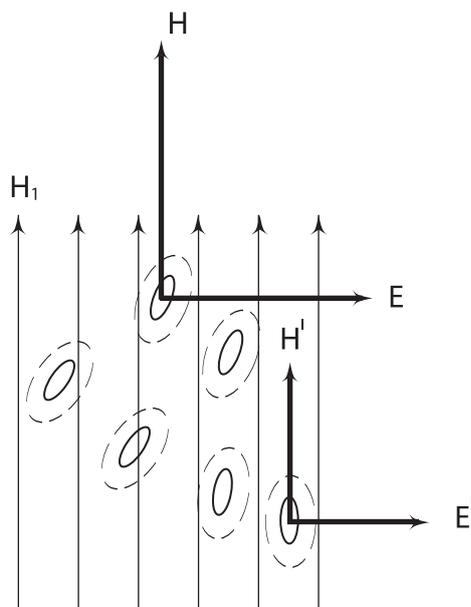


Рис. 4. Графическое изображение векторов ЭМИ бактериальной клетки

Магнитная составляющая H жестко взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита H_1 . Благодаря этой жесткой взаимосвязи магнитных полей, любые колебания H мгновенно передаются H_1 , а колебания H_1 , в свою очередь, мгновенно передаются вектору H' , являющемуся вектором электромагнитных колебаний другой бактериальной клетки, который передает колебания вектору E' .

Таким образом, действительно электромагнитное поле постоянного магнита способно связывать между собой электромагнитные поля отдельных особей, образуя единую информационную систему бактериальной популяции. Попадая в условия слабого магнитного поля, бактериальные клетки мгновенно получают информацию о состоянии окружающей их среды. Специфичность этой информации заключается в том, что уже с момента внесения бактериальных клеток в питательный раствор между ними формируются межклеточные электромагнитные связи, соответствующие по характеру межклеточным электромагнитным связям стадии логарифмического роста. Имея также информацию о достаточном количестве питательной среды, бактериальные клетки, минуя лаг-фазу, запускают основные механизмы своей жизнедеятельности, свойственные для периода их развития в логарифмической фазе. О запуске основных механизмов жизнедеятельности бактерий свидетельствуют не только практически мгновенное включение их в процесс своего развития, но и крутизна кривой на стадии логарифмического роста, равная по величине крутизне кривой, изображенной на рис. 2. Равенство тангенсов углов наклона кривых динамики развития исследуемых культур в логарифмической фазе в различных условиях как раз и говорит о том, что они сформированы одними и теми же механизмами. С другой стороны, этот факт также утверждает, что основные механизмы жизнедеятельности бактерий в процессе их эволюции не претерпели значительных изменений.

Если представить бактериальную клетку в виде классического отрицательного электрического заряда, то жизнедеятельность ее должна зависеть от полярности магнитного поля относительно культивируемых бактерий. Действительно, в пассивной фазе, т.е. в момент внесения в питательный раствор инокулята, полярность магнитного поля существенно изменяет процесс установления равновесного состояния [2]. Механизм этого явления заключается в том, что бактериальные клетки в составе инокулята находятся в коллапсированном состоянии [1], сохраняя некоторый заряд на мембране. В процессе приготовления инокулята [1, 2] бактерии испытывают неоднократные механические воздействия, в результате чего их жизнестойкость нарушается, а это, в свою очередь, означает неодинаковость величин заряда на поверхности мембран бактерий. Меньший отрицательный заряд по отношению к большему отрицательному заряду выступает в качестве положительно заряженного тела с величиной положительного заряда, равным разности отрицательных зарядов. Присутствие в капле инокулята разноименных зарядов приводит к их сцеплению и стабилизации формы капли.

Взаимодействие положительных и отрицательных зарядов особей инокулята значительно уменьшает величину комплексного отрицательного заряда инокулята, но полностью его не устраняет. Если это так, тогда в случае притяжения капли инокулята в сторону магнита (рис. 3, а) длительность фазы установления равновесного состояния кишечной палочки будет больше, чем у кишечной палочки, развивающейся вне магнитного поля (рис. 2). Это обусловлено тем, что магнит будет притягивать к своей поверхности абсолютно все особи инокулята и даже те, которые ранее оставались в верхних слоях питательной среды.

Электромагнитными свойствами бактерий можно объяснить и характер установления равновесного состояния бактериальных клеток в случае их отталкивания от поверхности магнита (рис. 3, б).

Капля инокулята в момент внесения ее в питательный бульон обладает определенной кинетической энергией, которую она какое-то время сохраняет. На некотором критическом расстоянии от поверхности питательной среды кинетическая энергия инокулята становится равной энергии отталкивания магнита. В этой точке равновесия происходит задержка части бактериальных клеток в области светового луча. Именно этим можно объяснить большую начальную оптическую плотность (0,090) на кривой динамики развития *E. coli* в условиях отрицательного магнитного поля (рис. 3, б), чем на кривой динамики развития *E. coli* в условиях положительного магнитного поля (рис. 3, а), где начальная оптическая плотность равна 0,070. Что же касается меньшей начальной оптической плотности (0,068) при развитии *E. coli* в условиях отрицательного магнитного поля, но в положении магнита, указанном на рис. 1, б, то это можно объяснить тем, что особи инокулята начинают отталкиваться от поверхности магнита уже с момента внесения его в питательный бульон. При этом распределение инокулята в питательной среде идет не по нормали к ее поверхности, а по некоторой кривой. В результате этого часть бактериальных клеток инокулята не попадает в область светового потока. Одинаковая оптическая плотность (0,025) в конце периода установления равновесного состояния для всех трех случаев (рис. 3 а,б,в) говорит о том, что магнит полностью устраняет заряженные частицы, включая и заряженные частицы самого бульона, из зоны светового потока.

Таким образом, действие магнита способствует стабилизации начальной оптической плотности динамики развития бактериальной популяции. В связи с этим для получения воспроизводимых результатов при изучении динамики развития бактерий целесообразно рекомендовать проведение исследований в слабых магнитных полях.

Что же касается стадии логарифмического роста, то, как видно из рис. 3 а,б,в, полярность магнитного поля практически не влияет в пределах погрешности эксперимента на закон изменения логарифмического участка кривых динамики развития бактерий. Иначе говоря, направление магнитного поля не в состоянии изменить жизнедеятельность бактериальной попу-

ляции как единой системы с единым типом межклеточных взаимодействий, нейтрализующих заряд мембраны подобно тому, как в твердом теле ионы, связываясь в кристалл, становятся нейтральными к внешним электромагнитным излучениям. Следовательно, на основании вышеизложенного можно сделать заключение, что влияние магнитного поля на динамику развития бактерий заключается в формировании информационного поля между бактериальными клетками. Если заряд мембраны взаимодействует с магнитным полем, то нет причин сомневаться в том, что и между бактериями также осуществляется взаимодействие на основе электромагнитных полей.

В процессе непрерывного развития бактерий в замкнутом объеме питательной среды возникают и существуют особи различных размеров и с разной величиной электрического заряда на поверхности мембраны. Старые особи, обладая большим отрицательным зарядом, с большей скоростью притягиваются или отталкиваются от поверхности магнита и освобождают этим пространство питательной среды для развития молодых особей. Именно этим, на наш взгляд, объясняется увеличение продолжительности 1-й фазы логарифмического роста исследуемых культур в условиях слабого магнитного поля (рис. 3 а,б,в, участок 1 кривой).

Таким образом, проведенные исследования показали, что магнитное поле влияет на динамику развития бактерий, и влияние это осуществляется через формирование между особями бактериальной популяции информационной электромагнитной системы.

Литература

- [1] Колпакова С.Д. Анализ динамики развития кишечной палочки // Бюл. экспер. биол. и медицины. 1993. № 4. С. 399–401.
- [2] Колпакова С.Д., Колпаков А.И. Исследование особенностей механизма развития бактерий в лаг-фазе // Бюл. экспер. биол. и медицины. 1994. № 3. С. 331–336.
- [3] Девятков Н.Д. Использование некогерентных и когерентных электромагнитных колебаний в медицине и биологии // Электронная техника. Электроника СВЧ. 1987. Сер. 1. Вып. 9(403). С. 60–66.
- [4] Девятков Н.Д., Голант М.Б. Особенности частотно-зависимых биологических эффектов при воздействии электромагнитных излучений // Электронная техника. Электроника СВЧ. 1982. Сер. 1. Вып. 12(348). С. 46–50.
- [5] Геворкян Р.Г. Курс физики. М., 1979. С. 46–49.

Поступила в редакцию 29/VII/2005;
в окончательном варианте — 29/VII/2005.

**INVESTIGATION OF DYNAMIC FEATURES
DEVELOPMENT OF BACTERIAL POPULATION
UNDER WEAK STEADY-STATE MAGNETIC FIELD**

© 2005 S.D. Kolpakova, G.A. Kolpakova²

In the paper the effect of weak steady-state magnetic field on development dynamics of bacterial population is studied. Mechanisms of bacterial vital activity are discussed.

Paper received 29/VII/2005.

Paper accepted 29/VII/2005.

²Kolpakova Svetlana Dmitrievna, Kolpakova Galina Anatolievna, Dept. of General and Clinical Microbiology, Immunology and Allergology, Samara State Medical University, Samara, 443099, Russia.