

4. Кристалкине С. Х., Губарь Г. Д., Витола А. К. В кн.: Адаптация физиолого-биохимических систем к перемене освещения. Рига, 1977.
5. Куперман Н. А. Физиологические методы адаптации и устойчивости растений. Новосибирск, 1972.
6. Протасова Н. Н. В кн.: Рост растений и дифференцировка. М., 1981.
7. Протасова Н. Н., Кефели В. И. В кн.: Физиология фотосинтеза. М., 1982.
8. Цельникер Ю. Л. Физиологические основы теплостойкости древесных растений. М., 1978.
9. Шульгин И. А. Растение и солнце. Л., 1983.
10. Barua D. N. Physiology of tree crops, London—New—York, 1970.
11. Evans G. C., Hughes A. P. New Phytologist, 60, 2, 1961.
12. Logan K. T., Krothov G. Physiol plantarum, 1, 22, 1969.

Поступило 29.IV 1986 г.

Биолог. ж. Армения, т. 40, № 2, с. 102—105, 1987

УДК 577.391:621.375.8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА НА КЛЕТКИ БАКТЕРИИ *ESCHERICHIA COLI* K-12 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА

А. Г. АРУТЮНЯН, Ц. М. АВАКЯН, К. Ш. ВОСКАНЯН, Н. В. СИМОНЯН

Институт физики конденсированных сред ЕГУ, Ереванский физический институт ГКАЭ СССР

Аннотация — Исследована эффективность действия лазерного, а также последовательных α - и лазерного облучений на клетки бактерий в зависимости от мощности гелий-неонового лазера. Показано, что лазерное облучение оказывает на клетки бактерий *E. coli* радиозащитное действие в определенном, довольно узком интервале плотностей энергий с максимальной эффективностью при $8 \cdot 10^3$ Дж/м², независимо от мощности лазера (в исследованном интервале мощностей).

Անոտացիա — Հետազոտված է լազերային ճառագայթման, ինչպես նաև α -մասնիկների և լազերային ճառագայթման կոմբինացված ազդեցության էֆեկտիվության կախումը հելիում-նեոնային լազերի հզորությունից, ընդհ. է. տրված, որ իոնիզացիոն ճառագայթմանը հաջորդող լազերային ճառագայթումը բերում է բջիկների կենսունակության աճի լազերային ճառագայթման էներգիայի խտության բաղադրանքին ևեղ համընկնում՝ $8 \cdot 10^3$ ջուլ/մ² — էներգիայի խտության դեպքում մարսիմալ էֆեկտիվությամբ (հետազոտված հզորությունների համընկնում)։

Abstract — The influence of both only laser and subsequent (after irradiation with α -particles) laser irradiation on the bacterium cells versus the He—Ne laser power was studied. The laser was shown to reveal a radioprotective effect on the *E. coli* K—12 cells in a certain rather narrow energy range. The efficiency is maximum at $8 \cdot 10^3$ J/m², irrespective of the laser power (in investigated power range).

Ключевые слова: бактерии *E. coli*, лазерное облучение, радиочувствительность.

В литературе имеются данные как о повреждающем действии лазерного излучения, вызывающего морфологические изменения или гибель клеток, так и о биостимулирующем действии его. При анализе меха-

низмов повреждающего действия лазерного излучения авторы [1, 2] указывают на некоторые общие черты действия ультрафиолетовых пикосекундных импульсов и ионизирующих излучений, например, появление в обоих случаях свободных радикалов, сходство форм кривых доза—эффект для лазерного и рентгеновского излучений, восстановление при фракционированном облучении [7]. Имеются также данные о возможности модификации эффектов ионизирующих излучений с помощью лазерного излучения малых мощностей [5, 8, 10]. Однако механизм этого эффекта неясен, в частности, из-за недостатка количественной информации. Ранее нами было показано, что облучение клеток бактерий *E. coli* K-12 разных генотипов гелий-неоновым лазером до, после и во время облучения их как редкоионизирующим, так и плотнoионизирующим излучением снижает повреждающее действие последних [3, 4, 9]. Эффективность модифицирующего действия лазерного излучения во всех вариантах комбинированного облучения и для всех исследованных штаммов оказалась максимальной при 30-секундной лазерной экспозиции (при мощности излучения 2 мВт).

В настоящей работе представлены результаты исследования эффективности действия как только лазерного, так и последовательных α - и лазерного облучений клеток бактерий *E. coli* в зависимости от мощности гелий-неонового лазера.

Материал и методика. В работе использованы клетки бактерий *E. coli* K-12 AB 1157 «дыкого» типа из коллекции ЛИЯФ Академии наук СССР.

Перед облучением клетки выращивали на твердой полноценной питательной среде УЕР (дрожжевой экстракт—10, NaCl—10, агар-агар—20 г/л) в течение 24 ч при 37°. Облучение клеток лазерным излучением (гелий-неоновый лазер ЛГ-75 непрерывного действия, $\lambda=633$ нм, мощность излучения 4,8 мВт) и α -частицами (плоский ^{239}Pu —источник с мощностью дозы 21 Гр/мин, среднее значение ЛПЭ α -частиц 110 кэв/мкм) проводили при комнатной температуре и непосредственно на поверхности «голодного» агара. Лазерное излучение при необходимости ослабляли нейтральными светофильтрами с пропусканиями 41 и 31%. Размер лазерного пучка приблизительно совпадал с размером облучаемой капли клеточной суспензии (0,07 см²). При последовательном облучении клеток α - и лазерным излучением временной интервал между этими видами облучений не превышал 120 с. Разведения клеточной суспензии готовили с таким расчетом, чтобы в каждой чашке выросло от 100 до 300 колоний. Выживаемость клеток определяли подсчетом макроколоний, вырастающих через 2 суток при 37°. Каждый опыт повторялся 5—10 раз. Стандартная ошибка определения значений выживаемости клеток при усреднении результатов разных опытов, как правило, не превышала 5%.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 приведены кривые выживания клеток бактерий, облученных лазерным излучением разной мощности. Видно, что во всех случаях полученная нами ранее форма кривой выживания сохраняется [3]: лазерное облучение при малых экспозициях не приводит к летальному эффекту, а при больших—выживаемость клеток постепенно падает, причем, чем больше мощность, тем больше поражение.

На рис. 2 приведена зависимость выживаемости клеток бактерий, подвергшихся последовательным α - и лазерному облучениям, от времени лазерной экспозиции при разных мощностях лазера. На рис. видно, что малые экспозиции лазерного облучения оказывают радиозащитное

действие на клетки бактерий. Снижение поражающего действия α -частиц лазерным воздействием регистрируется в довольно узком интервале энергий $(7-8,5) \cdot 10^3$ Дж/м². При этом максимальное повышение выживаемости клеток независимо от мощности лазера наблюдается при плотности энергии $8 \cdot 10^3$ Дж/м². При больших же экспозициях ла-

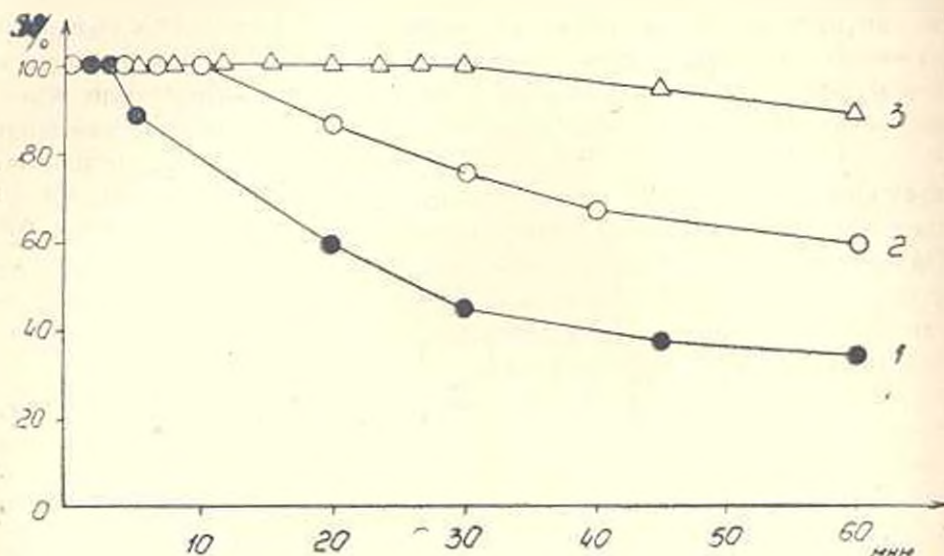


Рис. 1. Зависимость выживаемости клеток бактерий *E. coli* от лазерной экспозиции при разных мощностях лазера: 1—4,8 мВт, 2—1,96 мВт, 3—0,6 мВт

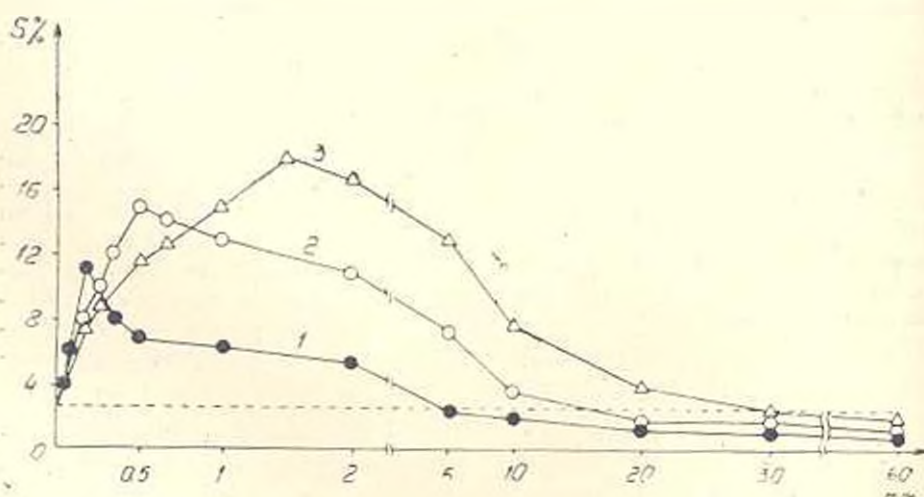


Рис. 2. Зависимость выживаемости клеток бактерий *E. coli*, подвергшихся последовательному α - и лазерному облучению, от лазерной экспозиции при разных мощностях лазера: 1—4,8 мВт, 2—1,96 мВт, 3—0,6 мВт. Пунктирная линия соответствует выживаемости клеток, облученных α -частицами в дозе 210 Гр.

зерного облучения поражения, вызываемые α -частицами и лазерным излучением, суммируются.

Таким образом, пострадиационное действие гелий-неонового лазерного излучения на клетки бактерий *E. coli* К-12 укладывается в рамки

известного в биологии закона Арндта-Шульца, согласно которому малые дозы (концентрации) вызывают реакции, противоположные тем, которыми клетки отвечают на воздействие тех же факторов в больших дозах (стимуляция и подавление, соответственно). Подобный эффект был получен в работе Кару с соавт. [6], показавшими, что ультрафиолетовые ультракороткие импульсы в зависимости от дозы облучения могут вызвать в клетках как снижение, так и усиление синтеза нуклеиновых кислот. Механизмы воздействия разных видов излучений, в том числе и лазерного излучения разных длин волн и длительности, на клетках различаются, тем не менее реакция клеток при всех указанных видах облучения малыми дозами оказывается неспецифической.

Нужно отметить, что реакция клеток на последующее лазерное облучение не адекватна ответу их на одновременное облучение α -частицами и лазерным излучением [9]. При одновременном облучении эффективность радиозащитного действия лазерного излучения при малых экспозициях равна максимальной эффективности его при последующем облучении, а при больших экспозициях она несколько снижена за счет вклада самого лазерного воздействия в летальный эффект. При больших дозах последующего лазерного облучения радиозащитный эффект гелий-неонового лазерного излучения исчезает, а поражения клеток, вызываемые α -частицами и лазерным излучением, суммируются (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов Д. А., Крюков Н. Г., Летохов В. С. и др. Квантовая электроника, 7, 6, 1304, 1980.
2. Ангелов Д. А., Никогосян Д. Н., Ореговский А. А. Квантовая электроника, 7, 12, 2573, 1980.
3. Восканян К. Ш., Симонян Н. В., Авакян Ц. М., Арутюнян А. Г. Радиобиология, 25, 4, 557, 1985.
4. Восканян К. Ш., Симонян Н. В., Авакян Ц. М., Арутюнян А. Г. Радиобиология, 26, 3, 375, 1986.
5. Гаврилов А. Г., Меньшикова Т. Н., Пискунова Н. Ф. и др. Докл. АН СССР, 239, 5, 1238, 1978.
6. Кару Т. П., Каленко Г. С., Летохов В. С. и др. Квантовая электроника, 8, 12, 2540, 1981.
7. Никогосян Д. Н., Ангелов Д. А. Докл. АН СССР, 253, 3, 733, 1980.
8. Попова Ф. М., Зубкова С. М., Лапун Н. Б. и др. Докл. АН СССР, 279, 6, 1504, 1985.
9. Симонян Н. В., Восканян К. Ш., Авакян Ц. М. Studia biophysica, 116, 2, 101, 1986.
10. Степанов Б. Н., Мостовичев В. А., Рубинов А. Н., Хохлов И. В. Докл. АН СССР, 236, 4, 1007, 1977.

Поступило 29.XII 1986 г.