

Н. В. СИМОНЯН, Ц. М. АВАКЯН, Н. Л. ДЖАНПОЛАДЯН, Н. С. АДЖЯН

ДЕЙСТВИЕ ГАММА-ФОТОНОВ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НА ГРИБ *ENDOMYCES VERNALIS*

На Ереванском кольцевом синхротроне (АРУС) в специальной камере изучалось биологическое действие гамма-фотонов с энергией 4,5 Гэв на клетки гриба *Endomyces vernalis*. Исследовались модификации выживаемости этих клеток при предрадиационной обработке цистеином, цистеаминном и при облучении в атмосфере кислорода. Одновременно данные были сопоставлены с результатами облучения рентгеновскими лучами с энергией 248 Кэв. ОБЭ гамма-квантов с энергией 4,5 Гэв оказалось >1 .

Проблема исследования биологического действия излучений сверхвысоких энергий становится важной в связи с использованием наземных гигантских ядерных установок и освоением космического пространства человеком. При этом особый интерес представляют эксперименты с биологическими объектами, которые могут быть использованы человеком в длительных космических полетах. Одним из таких объектов может оказаться гриб *Endomyces vernalis*, на котором и была проведена настоящая работа.

Материал и методика. Работа выполнена на дрожжеподобном грибе *Endomyces vernalis*, который относится к классу Ascomycetes (сумчатые грибы), обладают хорошо развитым ветвящимся сегментированным мицелием, в большом количестве образует дрожжевидные клетки. Примечателен этот гриб тем, что обладает способностью синтезировать различные количества липидов в зависимости от условий культивирования (до 40%). Радиобиологические исследования на *Endomyces vernalis* представляют интерес с точки зрения тех реакций, которые происходят в липидах клетки, так как при облучении биосубстрата, именно окислительные реакции в липидах имеют большой квантовый выход и приводят к поражению клеточных органелл.

Исходную культуру гриба выращивали на скошенном сусло-агаре (сахаристость сусла 5% по Баллингу) при температуре 18°, в течение 4—5 суток. Клеточную суспензию, приготовленную на дистиллированной воде (рН 5,5), облучали γ -фотонами с энергией 4,5 Гэв и рентгеновскими лучами 248 Кэв.

Для изучения влияния цистеина и цистеаминна на выживаемость *E. vernalis* клетки выдерживали в течение часа до облучения в 10—20М растворах этих веществ. Концентрацию жизнеспособных клеток определяли по методу макроколоний. Контрольные и облученные пробы высевали на чашки Петри с твердой питательной средой (7,5%—сахарозы, 0,5% KH_2PO_4 , 0,25% MgSO_4 , 0,25% мочевины).

Облучение рентгеновскими лучами проводили на установке РУП-220/20 при напряжении на трубке 200 кв, силе тока 15 μa ; мощность дозы 1030 рад/мин.

Облучение γ -фотонами было проведено на кольцевом синхротроне Ереванского физического института на 11-гамма пучке, со следующими параметрами максимальных энергий: 4,5 Гэв, число электронов в импульсе— 10^{11} , число циклов ускорения в секунду—47,50, интенсивность коллимированного лучка— $5 \cdot 10^9$ эквивалентов в секунду. После цикла ускорения пучок фотонов попадал в систему очищающих магнитов, затем в двойной коллиматор, 1,5х1,5, и с экспериментального зала поступал в бункер, где была установлена камера, сконструированная специально для облучения биологических объектов, позволяющая одновременно облучать 6 вариантов биологических проб в

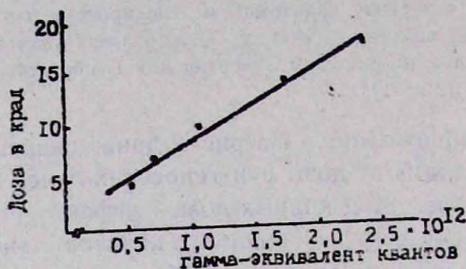
атмосфере различных газов (кислород, азот, и др.), при давлениях до 15 атм. После камеры пучок попадал в систему квантометрии, где происходило поглощение квантов и измерялось количество квантов в секунду. γ -эквивалент кванта при облучении равнялся $8 \cdot 10^8$ в секунду, что, по расчетам Зивертца для Гамбургского ускорителя ДЕЗН, соответствует 7 радам (рис. 1)*.

Результаты и обсуждение. На рис. 2 дана зависимость выживаемости клеток *E. vernalis* от дозы рентгеновских лучей 248 Кэв и γ -квантов с энергией 4,5 Гэв. Ход кривых доза—эффект четко указывает на высокую биологическую эффективность γ -квантов с энергией 4,5 Гэв по сравнению с рентгеновскими лучами. ОБЭ γ -квантов с энергией 4,5 Гэв больше единицы. Таким образом, γ -фотоны с энергией 4,5 Гэв более губительны для клеток, чем можно было ожидать. Это не соответствует традиционным представлениям о жесткой связи между средними линейными передачами энергии (ЛПЭ) и относительной биологической эффективностью излучения. По этой причине на сегодняшний день трудно ответить на вопрос о количественных параметрах формирования эффективной дозы.

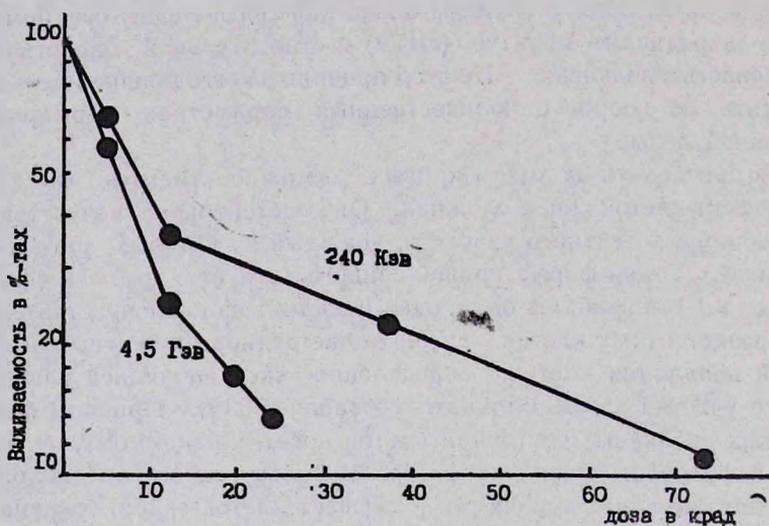
Если проследить за ходом кривых, то можно заметить, что кривая доза—эффект клеток гриба сложная. Она состоит из радиочувствительного и радиорезистентного участков, каждый из которых представлен экспонентой. Такая форма кривой свидетельствует о том, что исходная популяция клеток гриба не однородна и состоит из радиочувствительных и радиорезистентных клеток. Содержание радиорезистентных особей в исходной популяции клеток, определенное экстраполяцией радиорезистентного участка на ось ординат, составляет 33%. Причины наличия двух таких различных состояний клеток носят, по-видимому, не генетический, а физиологический характер. В пользу такого предположения говорит тот факт, что кривая доза—эффект клеток гриба, сохранивших жизнеспособность после облучения высокими дозами, также имеет форму двух экспонент.

На рис. 3 дана зависимость выживаемости клеток от дозы γ -квантов с энергией 4,5 Гэв при облучении их в разных условиях. Выживаемость клеток при облучении их γ -фотонами с энергией 4,5 Гэв в атмосфере кислорода ниже по сравнению с выживаемостью при облучении их в воздухе (кривые 4 и 1). Предварительная обработка клеток гриба цистеином и цистеамином приводит к повышению выживаемости (кривые 2 и 3), причем при дозе 4,2 крад оно менее значительно, чем при других дозах. Такое незначительное увеличение выживаемости клеток можно объяснить, по-видимому, малой величиной дозы. Кривые выживания клеток после обработки цистеином и цистеамином, как и кривая доза—эффект, представлены двумя экспонентами. Из рисунка достаточно наглядно видно, что, несмотря на повышение выживаемости клеток гриба наклон второй, более резистентной части кривой не изменяется. Как показал анализ кривых, не изменяется также наклон кривой выживания радиочувствительной части популяции (кривая 5), в чем можно убедиться,

* I. Zywiets F., *Studia Biophysica*, 23 (1970), 61.



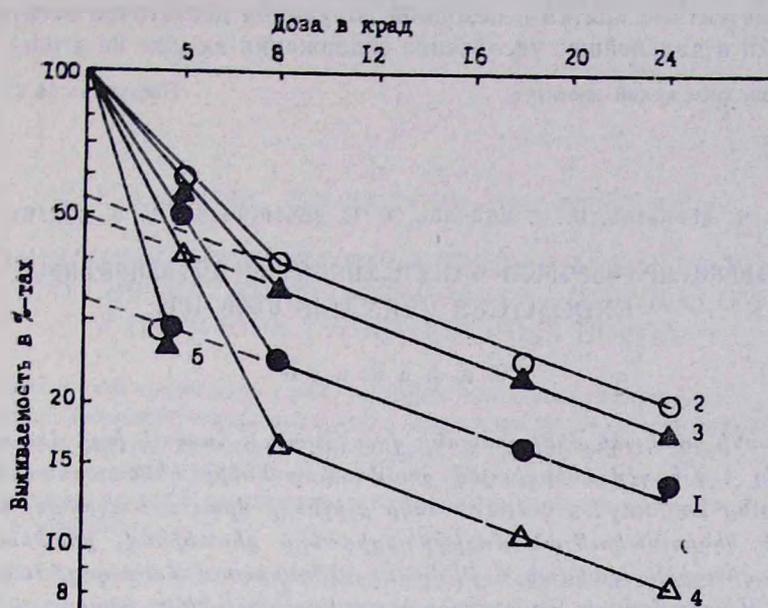
1. Зависимость дозы от числа квантов (химическая дозиметрия).



2. Зависимость выживаемости клеток *E. vegnalis* от дозы рентгеновских лучей и гамма-квантов с энергией 4,5 ГэВ.

вычитая из кривых выживания ожидаемые величины выживаемости клеток (пунктир) в области малых доз облучения. Кроме содержания радиорезистентных клеток, кривые, полученные нами в ходе экспериментов, мы характеризовали также D_0 -вым для радиочувствительного участка и D_0 -вым для радиорезистентного участка (табл. 1).

Данные таблицы, из которых видно, что D_0 для радиочувствительного и радиорезистентного участков во всех случаях, практически не отличаются, еще раз свидетельствуют о том, что наклон кривых не изменяется. То обстоятельство, что наклон кривых выживания клеток *E. vegnalis* после обработки протекторами не изменяется, объясняется, по-видимому, тем, что протекторы сами по себе еще до облучения изменяют соотношение радиочувствительных и радиорезистентных клеток. Действительно, если содержание радиорезистентных клеток до обработки цистеамином и цистеином составляло 33%, то после обработки ими увеличилось соответственно до 50 и 54%. Причем исходные два состояния



3. Зависимость выживаемости клеток *E. vernalis* от дозы гамма-квантов с энергией 4,5 Гэв при облучении их в разных условиях. 1—гамма-кванты, 2—цистеин+гамма-кванты, 3—цистеамин+гамма-кванты, 4—кислород+гамма-кванты, 5—кривая выживания радиоустойчивой части популяции.

Таблица 1

D_0 для радиорезистентных и радиочувствительных участков кривых: доза—эффект, цистеин+ γ -кванты, цистеамин+ γ -кванты.

Наименование опыта	Содержание радиорезистентных клеток до облучения	D_0	D_0
		крад	
γ -кванты	33%	3,36	33,6
Цистеин + γ -кванты	50%	3,36	33,6
Цистеамин + γ -кванты	54%	3,36	33,6

клеток, как следует из кривых, сохраняются: увеличивается не радиорезистентность, а только число радиорезистентных клеток. Такое изменение соотношения числа радиорезистентных и радиочувствительных клеток гриба *E. vernalis* под влиянием цистеина и цистеамина может быть объяснено следующим. Возможно, физиологические различия в исходной популяции клеток связаны с различным содержанием в них SH-групп. При выдерживании в цистеине и цистеамине число последних в клетках увеличивается и соответственно увеличивается число клеток, обладающих большей радиорезистентностью. А то обстоятельство, что степень радиорезистентности не повышается, вероятно, объясняется тем,

что резистентные клетки в исходной популяции достаточно богаты SH-группами и дальнейшее увеличение содержания их уже не играет роли.

Ереванский физический институт

Поступило 16.VI 1976 г.

Ե. Վ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ծ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ե. Լ. ԶԱՆՓՈՒԱԴՅԱՆ, Ե. Ս. ՀԱԶՅԱՆ

ԳԵՐԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԳԱՄՄԱ-ՖՈՏՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ENDOMYCES VERNALIS ՍԵԿԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ո մ

Երևանի օդակածե սինխրոտրոնի վրա (Արուս), հատուկ խցի մեջ ուսումնասիրվել է 4,5 գէվ էներգիայով գամմա-ֆոտոնների կենսաբանական ազդեցությունը *Endomyces vernalis* սնկի բջիջների վրա: Հետազոտվել են այդ բջիջների կենսունակության մոդիֆիկացիաները ցիստեինով, ցիստեամինով նախառադիացիոն մշակման և թթվածնի մթնոլորտում ճառագայթման դեպքերում: Միաժամանակ *Endomyces vernalis*-ի բջիջները ճառագայթվել են 248 կէվ էներգիայով ռենտգենյան ճառագայթներով:

4,5 գէվ էներգիայով գամմա-բլանտների ՀԿէ-ն ստացվել է >1 .