

Научно-исследовательский журнал «*Chemical Bulletin*»

<https://cb-journal.ru>

2024, Том 7, № 4 / 2024, Vol. 7, Iss. 4 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 582.282.23:632.952

DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-104-117

Влияние антиоксидантов на выживаемость дрожжевых клеток при действии рентгеновского облучения

¹ Пхйё Мьинт У*,

¹ Панфилов В.И.,

¹ Калёнов С.В.,

¹ Антропова И.Г.,

¹ Бочкова М.О.,

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,

* Ответственный автор E-mail: phyomyintoo2502@gmail.com

Аннотация: цели: Дрожжи *Saccharomyces* – один из наиболее изученных видов для исследований клеток эукариотов. Влияние ионизирующего излучения на живые организмы исследуется в радиобиологии, основной задачей которой является выявление закономерностей биологической реакции организма на радиацию. Это поможет разработать методы контроля радиационных реакций и средства защиты от радиации. В радиобиологии есть нерешённые проблемы, одной из которых является радиочувствительность. Для изучения радиационной чувствительности использован штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* T-985, а также рутин – биологически активное вещество, флавоноид, обладающий антиоксидантными и другими полезными свойствами.

Методы. Спектрофотометрический метод основан на использовании свободного стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидрозила (ДФПГ). После окончания культивирования из колб отобрали аликвоты дрожжевой взвеси и перенесли их в стеклянные объемом 1 мл для последующего облучения на рентгеновской установке Model- КАЛАН 4 в ИМСЭН-ИФХ РХТУ им. Д.И. Менделеева при мощности поглощенной дозы 3 Гр/с по дозиметру Фрикке [10, 11]. Для обнаружения последствий ионизирующего излучения и сравнения полученных результатов с контрольным образцом использовалось измерение оптической плотности и метод микроскопии.

Результаты. Рутин может оказывать защитное действие на клетки дрожжей после рентгеновского облучения. В исследованиях было показано, что рутин способен уменьшать оксидативный стресс и повреждение ДНК, вызванные облучением. Это может быть связано с его способностью нейтрализовать свободные радикалы и восстанавливать повреждённые молекулы. Сравнивая между собой результаты

систем 0,05мМ рутина и системы рутина и пероксида водорода, можно отметить, что активная форма кислорода негативно влияет на выживаемость дрожжевых клеток. ионол благоприятно воздействует на выживаемость и репарационные процессы в дрожжевых клетках. А добавление пероксида водорода существенно уменьшает выживаемость клеток сразу после облучения, но способствует протеканию репарационных процессов. В результате экспериментов добавление Рутин с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л потенциально увеличивает количество жизнеспособных клеток, способных к формированию колоний чем добавление рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. КОЕ вида *S. cerevisiae* с добавлением рутина при различной концентрации уменьшается много раз по отношению контроля через 3 суток при дозе 400 Гр и 800 Гр рентгеновского облучения.

Выводы. -При увеличении дозы облучения концентрация рутина уменьшается, что говорит о его расходовании. Определён радиационный химический выход расходования рутина: $G(0-400)=0,04$ молекул/100 эВ; $G(400-2000)=0,10$ молекул/100 эВ.

- Определён эффект ингибирования в реакции с ДФПГ растворов рутина без облучения и через сутки после облучения. Численные значения находятся в диапазоне от 67% до 86%, что более 50%, а это значит, что рутин обладает высокими антирадикальными свойствами после облучения.

- Процент мёртвых клеток в суспензии при добавлении рутина меньше, по сравнению с процентом мёртвых клеток в суспензии без добавления рутина при одинаковых поглощённых дозах.

- В пробирках с добавлением рутина различных концентраций, получивших дозу 800 Гр, через сутки после облучения наблюдается значительное уменьшение процента мёртвых клеток в сравнении с теми же данными, полученными без добавления рутина. Что можно интерпретировать как протекание активных репарационных процессов.

- При добавлении рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л процент мёртвых клеток меньше, чем при добавлении рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Ключевые слова: свободные радикалы, радиационная чувствительность, рутин, рентген, дрожжи

Для цитирования: Пхйю Мьинт У, Панфилов В.И., Калёнов С.В., Антропова И.Г., Бочкова М.О. Влияние антиоксидантов на выживаемость дрожжевых клеток при действии рентгеновского облучения // Chemical Bulletin. 2024. Том 7. № 4. С. 104 – 117. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-104-117

Поступила в редакцию: 9 июня 2024 г.; Одобрена после рецензирования: 13 августа 2024 г.; Принята к публикации: 8 декабря 2024 г.

The effect of antioxidants on the survival of yeast cells under the action of X-ray irradiation

¹Phyo Myint Oo *,

¹Panfilov V.I.,

¹Kalyonov S.V.,

¹Antropova I.G.,

¹Bochkova M.O.,

¹Mendeleev University of Chemical Technology,

* Corresponding author E-mail: phyomyintoo2502@gmail.com

Abstract: objectives: *Saccharomyces* yeast is one of the most studied species for the study of eukaryotic cells. The effect of ionizing radiation on living organisms is studied in radiobiology, the main task of which is to identify the laws of the biological reaction of the body to radiation. This will help to develop methods for monitoring radiation reactions and means of protection against radiation. There are unresolved problems in radiobiology, one of which is radiosensitivity. To study radiation sensitivity, the yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* T-985 was used, as well as rutin, a biologically active substance, a flavonoid with antioxidant and other beneficial properties.

Methods. The spectrophotometric method is based on the use of the free stable radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrosyl (DPPH). After the end of cultivation, aliquots of the yeast suspension were taken from the flasks and transferred into glass flasks with a volume of 1 mL for subsequent irradiation at the Model- KALAN 4 X-ray unit in the IMSEN-IFC of the D.I. Mendeleev Russian Chemical University at an absorbed dose rate of 3 Gy/s according to the Fricke dosimeter [10, 11]. To detect the effects of ionizing radiation and compare the results with the control sample, optical density measurement and microscopy were used.

Results. Rutin may have a protective effect on yeast cells after X-ray irradiation. It has been shown in studies that rutin can reduce oxidative stress and DNA damage caused by irradiation. This may be due to its ability to neutralize free radicals and repair damaged molecules. Comparing the results of 0.05mM rutin and rutin and hydrogen peroxide systems, it can be noted that the active form of oxygen negatively affects the survival rate of yeast cells. ionol has a favorable effect on survival and repair processes in yeast cells. The addition of hydrogen peroxide significantly decreases the survival rate of cells immediately after irradiation, but promotes the reparative processes. As a result of experiments, addition of Rutin with the concentration of $5 \cdot 10^{-4}$ mol/L potentially increases the number of viable cells capable of colony formation than addition of Rutin with the concentration of $5 \cdot 10^{-5}$ mol/L. CFU of *S. cerevisiae* species with the addition of rutin at different concentrations decreases many times in relation to the control after 3 days at a dose of 400 Gy and 800 Gy of X-ray irradiation.

Conclusions. - With increasing irradiation dose the concentration of rutin decreases, which suggests that it is consumed. The radiation chemical yield of rutin consumption was determined: $G(0-400)=0.04$ molecules/100 eV; $G(400-2000)=0.10$ molecules/100 eV.

- The inhibition effect in the reaction with DPPH of rutin solutions without irradiation and one day after irradiation was determined. The numerical values are in the range from 67% to 86%, which is more than 50%, which means that rutin has high antiradical properties after irradiation.

- Percentage of dead cells in suspension when rutin was added is less compared to the percentage of dead cells in suspension without rutin at the same absorbed doses.

- In tubes with the addition of rutin of different concentrations, which received a dose of 800 Gy, a day after irradiation, there is a significant decrease in the percentage of dead cells compared to the same data obtained without the addition of rutin. This can be interpreted as active repair processes.

- At addition of rutin with concentration $5 \cdot 10^{-4}$ mol/l the percentage of dead cells is less than at addition of rutin with concentration $5 \cdot 10^{-5}$ mol/l.

Keywords: free radicals, radiation sensitivity, rutin, X-ray, yeast

For citation: Phyo Myint Oo, Panfilov V.I., Kalyonov S.V., Antropova I.G. Bochkova M.O. The effect of antioxidants on the survival of yeast cells under the action of X-ray irradiation. Chemical Bulletin. 2024. 7 (4). P. 104 – 117. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-104-117

The article was submitted: June 9, 2024; Approved after reviewing: August 13, 2024; Accepted for publication: December 8, 2024.

Введение

В течение своей жизни люди очень часто подвергаются негативному воздействию ионизирующего излучения. Человек получает дозу радиации из воздуха, воды, пищи, а также в результате жизнедеятельности собственного организма. Распространенность способов и средств воздействия радиации на организм человека увеличивает вероятность развития дальнейших заболеваний. В связи с этим необходимо срочно найти способы защиты организма от вредного воздействия ионизирующего излучения.

В качестве объекта исследования в данной работе была использована культура дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*. Это наиболее изученные модельные организмы. Их легко выращивать, и они оказывают низкое патогенное воздействие на человека. Клетки остаются жизнеспособ-

ными даже в экстремальных условиях, что позволяет проводить широкий спектр исследований.

В ходе исследований были обнаружены и доказаны антиоксидантные свойства различных биологически активных веществ, некоторыми из которых являются биофлавоноиды: рутин, катехины, кверцетин и другие.

Рутин обладает укрепляющим стенки капилляров действием (повышение резистентности), снижает проницаемость стенок капилляров [3]. Существенная роль в механизме действия принадлежит антиоксидантным свойствам, в частности, способности тормозить свободнорадикальные процессы перекисного окисления липидов, что способствует снижению риска развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, радиопротекторным свойствам. Рутин, также называемый рутозидом, кверцетин-3-О-рутинозидом и софорином, пред-

ставляет собой гликозид, объединяющий флавонол кверцетин и дисахарид рутинозу (α -L-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 6)- β -D-глюкопиранозу). Это флавоноид, содержащийся в широком разнообразии растений, включая цитрусовые. Анализ литературных данных показывает, что основная функция фенольных соединений заключается в защите клеток от негативного влияния факторов среды. Антирадикальная активность фенольных соединений, их способность тормозить свободнорадикальные реакции играет важную роль в антимуtagenом эффекте, уменьшая опасность образования наследственных нарушений.

Реакционную способность которых связывают со свободными радикалами, обладающими химической активностью и способностью вступать в быстрые цепные свободнорадикальные реакции [4]. Контролировать эти реакции можно с помощью веществ полифенольной природы (например, кумарины, флавоноиды и др). Известно, что флавоноиды проявляют антиоксидантную активность и способны перехватывать свободные радикалы или превращать их в неактивные [5, 6].

В данной работе рассматриваются влияние рутина на радиационную устойчивость дрожжевых клеток *Saccharomyces Cerevisiae* [7, 8].

Материалы и методы исследований

В данной работе были задействованы такие вещества как рутин с концентрациями $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, 40% и 70% этанол, а также дрожжи *S. cerevisiae*. В процессе посева часть суспензии (5-10% по объему) отбирали из колбы, которые высевали на питательную среду с целью последующего использования.

Культивирование дрожжей *S. cerevisiae* проводили в аэробных условиях при перемешивании в колбах на термостатируемой качалке при 28°C,

150 об/мин. Объем колб 200 мл, объем стерилизуемой среды в колбах 50 мл. Посевной материал зависел от условий выращивания эксперимента, а именно – от 2 до 10% об. Для получения одинакового рабочего материала все дрожжевые культуры выращивали при уровне освещения 750 лк на поверхности среды. Состав среды для культивирования дрожжей *S. cerevisiae*, г/л: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 5.0; KH_2PO_4 – 1.0; KCl – 0,15; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; дрожжевой экстракт – 0,5; сахароза – 30; водопроводная вода, pH 5,8. Данная методика выведения дрожжей использовалась как стандартная процедура для получения микроорганизмов [9].

В ходе пассивации и адаптации к рутину каждый род дрожжей включал в себя 3 колбы с культурой. Колба 1 – контроль, без добавления каких-либо веществ. Колбы 2 и 3 включали в себя культуру, которая культивировалась на протяжении 18-36 часов с добавлением в каждый пассаж исследуемого вещества с разными концентрациями. После окончания культивирования из колб отбирали аликвоты дрожжевой взвеси и перенесли их в стеклянные объемом 1 мл для последующего облучения на рентгеновской установке Model-КАЛАН 4 в ИМСЭН-ИФХ РХТУ им. Д.И. Менделеева при мощности поглощенной дозы 3 Гр/с по дозиметру Фрикке [10, 11]. Для обнаружения последствий ионизирующего излучения и сравнения полученных результатов с контрольным образцом использовалось измерение оптической плотности и метод микроскопии [12]. Все измерения проводились спустя 3 часа после облучения. Это время было выделено для того, чтобы микроорганизмы успели отреагировать на повлиявшее на них излучение [13, 14]. Также при работе с культурами регистрировался пост-эффект. Изменения в поведении дрожжей рассматривались, так назы-

ваемый пост-эффект, рассматривался спустя 1 день после облучения. При рассмотрении пост-эффекта регистрировался процент отмерших клеток.

Спектрофотометрический метод основан на использовании свободного стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидрозила (ДФПГ). Приготовлен свежий 0,2 мМ раствор ДФПГ ($M_{\text{ДФПГ}} = 394,33$) в 96% этаноле. В контрольные пробирки вместо добавок внесли 2 мл 96% раствора этанола. Реакция запускается добавлением раствора ДФПГ. Растворы приготовлены с разной концентрацией веществ в реакционной смеси. В контрольном опыте вместо рутина в реакционную систему вводили чистый этанол. Пробирки хорошо встряхнуть, поместить в темноту при комнатной темпе-

ратуре. Измерять в течение 30 минут с интервалом 5 минут при длине волны 517 нм, чтобы проследить динамику связывания радикалов ДФПГ растворами рутина.

Для определения оценки антирадикальных свойств 0.05 мМ рутина в 40-ном этанольном растворе от дозы был рассчитан эффект ингибирования (%) по формуле [15, 16]:

$$S.E = \frac{A_0 - A_1}{A_0} * 100\%$$

где: A_0 – оптическая плотность контрольного образца,

A_1 – оптическая плотность исследуемого образца.

Результаты и обсуждения

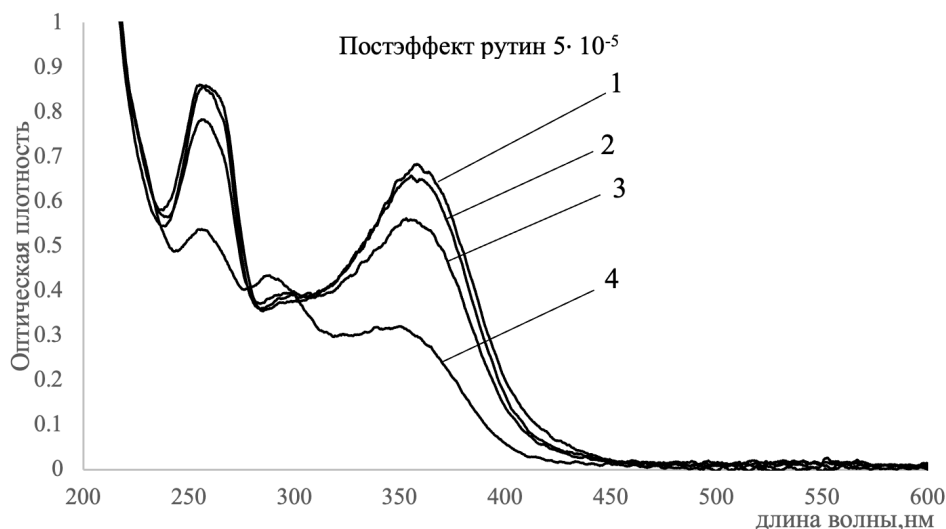


Рис. 1. Спектры оптического поглощения спиртового раствора рутина концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ М следующих доз: 1 – Rut/EtOH исходный; 2 – Rut/EtOH при $D=0,4$ кГр; 3 – Rut/EtOH при $0,8$ кГр; 4 – Rut/EtOH при $D=2,0$ кГр.

Fig. 1. Optical absorption spectra of an alcohol solution of rutin with a concentration of $5 \cdot 10^{-5}$ M of the following doses: 1 – initial Rut/EtOH; 2 – Rut/EtOH at $D=0.4$ kGy; 3 – Rut/EtOH at 0.8 kGy; 4 – Rut/EtOH at $D=2.0$ kGy.

На рис. 1 показано, что все представленные спектры поглощения 0,05мМ рутина от полученной дозы наблюдаем максимум при длине волны 360нм .

На основе закона Ламберта-Бугера-Бера можно рассчитать коэффициент экстинкции:

$$\varepsilon = A/(c.l)$$

По полученным данным можно вычислить концентрации рутина в растворах после облучения и радиационный химический выход (G).

$$G_{(-RUT)} = \frac{9.65 \cdot 10^9 \cdot C_{RUT}}{\rho \cdot D},$$

где С – концентрация вещества, ρ – плотность спирта (0,789 г/см³); D – время облучения.

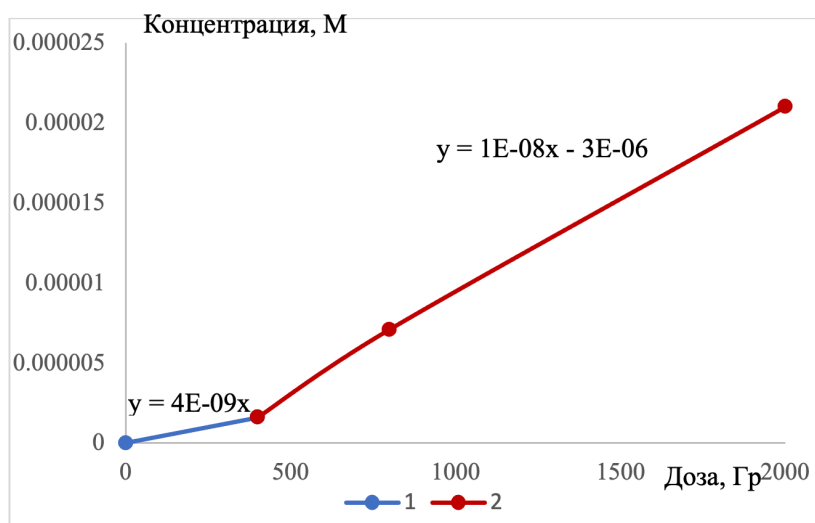


Рис. 2. Зависимость концентрации растворов рутина(М) от полученной дозы (Гр) в диапазоне от 0 до 400 Гр и от 400 Гр до 2000 Гр. Химический выход спиртового раствора рутина в промежутке от 0 до 400Гр: $G(0-400) = 10,316 \cdot 106 \cdot 4 \cdot 10^{-9} = 0,0413$ молекул/100 эВ. Химический выход спиртового раствора рутина в промежутке от 400 до 2000 Гр: $G(400-2000) = 10,316 \cdot 106 \cdot 10^{-8} = 0,1032$ молекул/100 эВ.

Fig. 2. Dependence of the concentration of rutin(M) solutions on the received dose (Gy) in the range from 0 to 400 Gy and from 400 Gy to 2000 Gy. Chemical yield of rutin alcohol solution in the range from 0 to 400 Gy: $G(0-400) = 10,316 \cdot 106 \cdot 4 \cdot 10^{-9} = 0.0413$ molecules/100 eV. Chemical yield of rutin alcohol solution in the range from 400 to 2000 Gy: $G(400-2000) = 10,316 \cdot 106 \cdot 10^{-8} = 0.1032$ molecules/100 eV.

Для этого строим график и для каждого из двух участков 0-400Гр и 400-2000Гр строим линию тренда. Тангенс угла наклона является отношением концентрации к полученной дозе и рассчитыва-

ем по формуле радиационно-химический выход и получаем, что на участке от 0 до 400Гр он равен 0,04 молекул/100 эВ, а на участке 400-2000Гр в 2,5 раза больше.

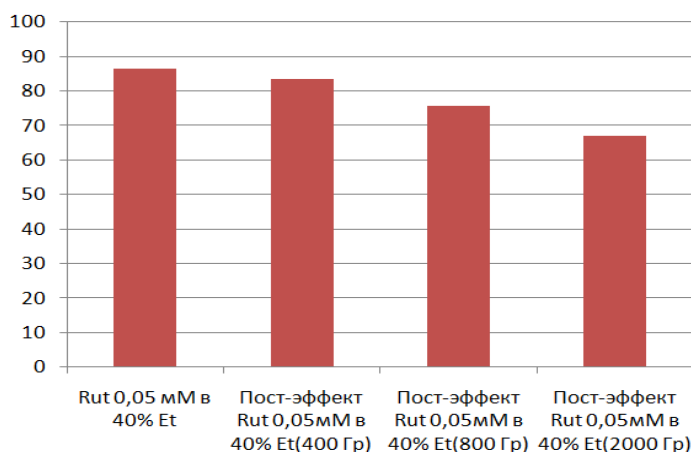


Рис. 3. Оценка антирадикальных свойств 40% этанольных растворов рутина по их способности взаимодействовать с ДФПГ.

Fig. 3. Evaluation of the antiradical properties of 40% ethanol solutions of rutin based on their ability to interact with DPPH.

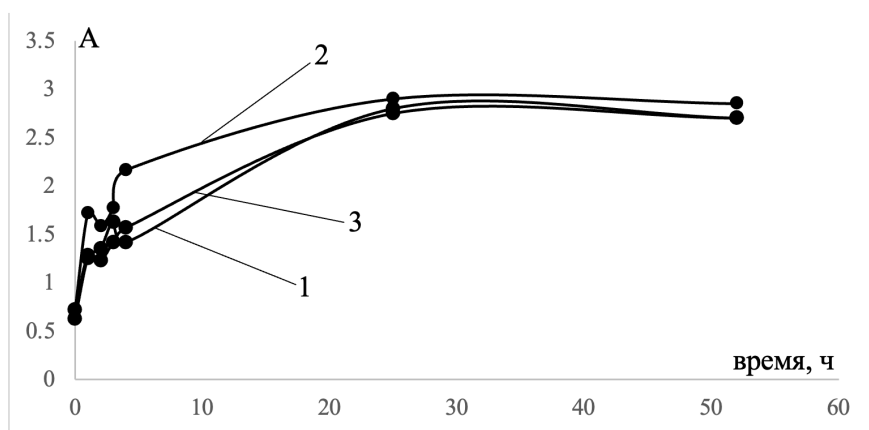


Рис. 4. Динамика роста дрожжей *S. cerevisiae* от времени культивирования; 1 – контроль, 2 – в внесение рутина ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л), 3 – в внесение рутина ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

Fig. 4. Dynamics of *S. cerevisiae* yeast growth from cultivation time; 1 – control, 2 – with rutin addition ($5 \cdot 10^{-4}$ mol/l, 3 – in the introduction of rutin ($5 \cdot 10^{-5}$ mol/l).

Оценка динамики роста дрожжей *S. cerevisiae* от времени культивирования в внесение рутина ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) представлена на рис 4. Рост оптической плотности в случае контроля при освещении видимым светом, рост дрожжей увеличивается. А после введения рутина показано более увеличение роста дрожжей клеток. В результате воздействия рутина при различных концентрациях включает выращивание культуры

дрожжей в стандартных условиях до конца логарифмической или начала стационарной фазы роста, инкубацию с антиоксидативным агентом. Средство представлено антиоксидантом – рутином в концентрации $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Время инкубации с антиоксидативным средством составляет 24-52 часов. Полученные данные указывают на значительную вариабельность процесса Рутин в дрожжевых клетках *Saccharomyces cere-*

visiae. Фактор времени внес значительный вклад в повышение эффективности Рутин. Наблюдается четкая положительная зависимость роста эффективности добавления Рутин с разными концен-

трациями от продолжительности ведения процесса. До 24 часа все линии динамики роста дрожжей *S. cerevisiae* с рутином очевидно увеличивается по отношению контроля.

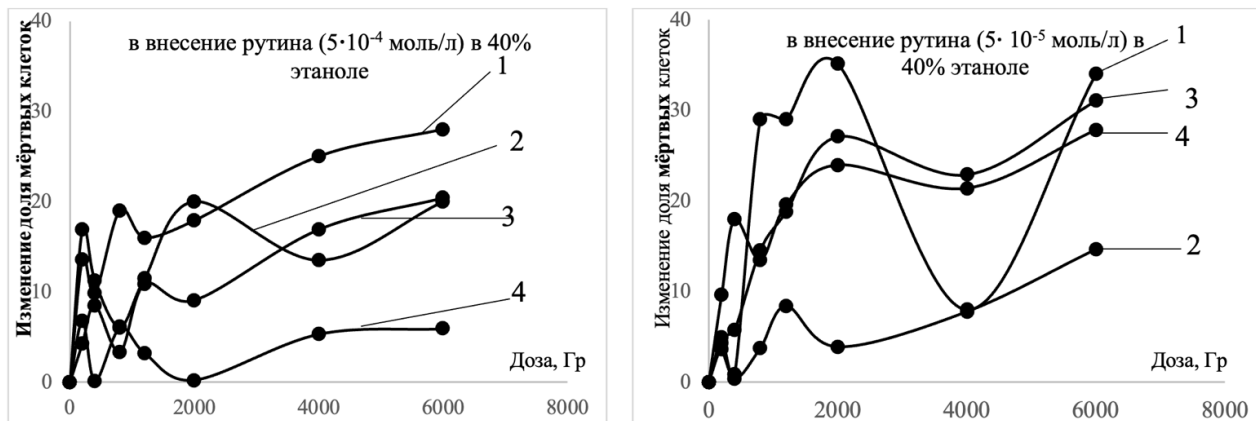


Рис. 5. Изменение доля мёртвых клеток дрожжей *S. cerevisiae* от дозы; 1 – контроль (3 часа после облучения), 2 – контроль (пост-эффект 24 часа), 3 – в внесение рутина (3 часа после облучения), 4 – (пост-эффект 24 часа).

Fig. 5. Change in the proportion of dead cells of *S. cerevisiae* yeast from dose; 1 – control (3 hours after irradiation), 2 – control (post-effect 24 hours), 3 – with the introduction of rutin (3 hours after irradiation), 4 – (post-effect 24 hours).

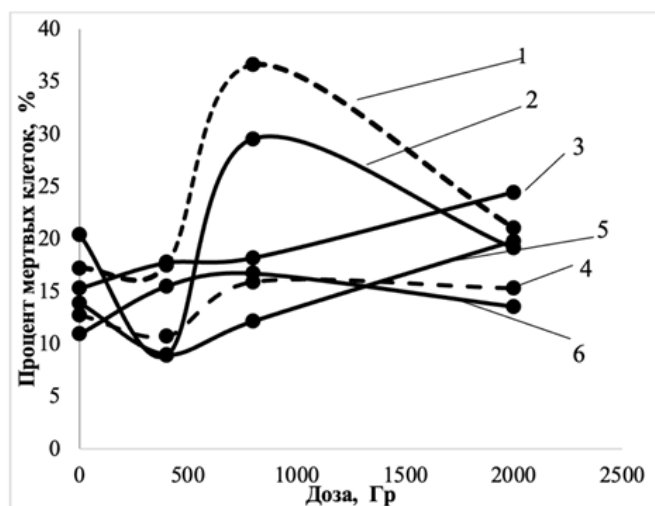


Рис. 6 (а). Анализ выживаемости дрожжей с добавлением рутина 0,05mM в 70% растворе этанола и пероксида водорода; 1 – контроль (3часа), 2 – рутин+H₂O₂(3часа), 3 – рутин+H₂O₂(24часа), 4 – контроль (24часа), 5 – рутин (24часа), 6 – рутин (3часа).

Fig. 6 (a). Analysis of yeast survival with the addition of 0.05 mM rutin in 70% ethanol and hydrogen peroxide solution; 1 – control (3 hours), 2 – rutin + H₂O₂ (3 hours), 3 – rutin + H₂O₂ (24 hours), 4 – control (24 hours), 5 – rutin (24 hours), 6 – rutin (3 hours).

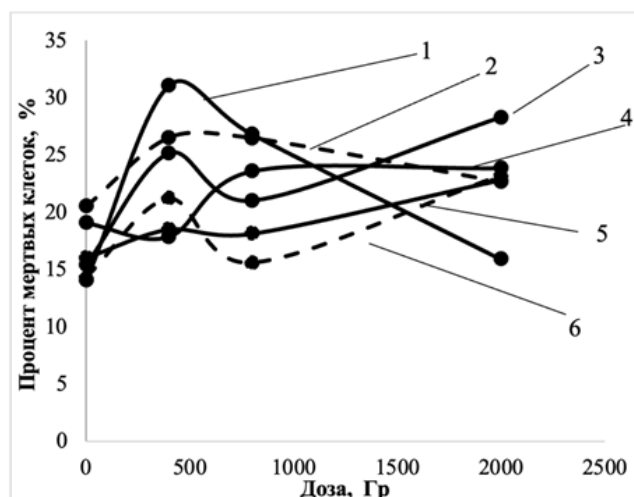


Рис. 6 (б). Анализ выживаемости дрожжей с добавлением ионола 0,05mM в 70% растворе этанола и пероксида водорода: 1 – ионол+H₂O₂(3часа), 2 – контроль (24часа), 3 – ионол+H₂O₂(3часа), 4 – ионол (24часа), 5 – ионол (3часа), 6 – контроль (3часа).

Fig. 6 (b). Analysis of yeast survival with the addition of 0.05 mM ionol in 70% ethanol and hydrogen peroxide solution: 1 – ionol + H₂O₂ (3 hours), 2 – control (24 hours), 3 – ionol + H₂O₂ (3 hours), 4 – ionol (24 hours), 5 – ionol (3 hours), 6 – control (3 hours).

На рис. 5 показано изменение доля мёртвых клеток дрожжей *S. cerevisiae* в внесение Рутин с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л после 3 часа и 24 часа рентгеновского облучения. Влияние рутина на дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* может зависеть от концентрации. Изменение доля мёртвых клеток дрожжей *S. Cerevisiae* с рутином ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) уменьшается до 20% с сравнением контроля при пост-эффекте 24 часа после облучения, при пост-эффекте 3 часа после облучения до 15%. Но изменение доля мёртвых клеток дрожжей *S. Cerevisiae* с рутином ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) после 3 часа и 24 часа облучения очевидно не изменяется, кроме контроля. В целом, более высокие концентрации антиоксидантов, таких как рутин с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, могут оказывать более сильное защитное действие против оксидативного стресса и повреждения ДНК, вызванных облучением или другими стрессовыми факторами чем концентра-

цию $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Рутин может оказывать защитное действие на клетки дрожжей после рентгеновского облучения. В исследованиях было показано, что рутин способен уменьшать оксидативный стресс и повреждение ДНК, вызванные облучением. Это может быть связано с его способностью нейтрализовать свободные радикалы и восстанавливать повреждённые молекулы.

На рис. 6 (а) представлены данные эксперимента с добавлением 0,05mM рутина уже в 70% растворе этанола, а также при добавлении в систему 35% активной формы кислорода-перекиси водорода. На графике можно увидеть, что процент мёртвых клеток систем с добавлением рутина и перекиси водорода ниже, чем с системами только дрожжевых клеток сразу после облучения. Но репарационные процессы в системах с добавленными веществами идут хуже. Сравнивая между собой результаты систем 0,05mM рутина и системы

рутина и пероксида водорода, можно отметить, что активная форма кислорода негативно влияет на выживаемость дрожжевых клеток.

На рис. 6 (б) представлены результаты экспериментов с ионолом, в качестве радиопротектора. Исходя из графика можно сделать выводы о том,

что ионол благоприятно воздействует на выживаемость и репарационные процессы в дрожжевых клетках. А добавление пероксида водорода существенно уменьшает выживаемость клеток сразу после облучения, но способствует протеканию репарационных процессов.

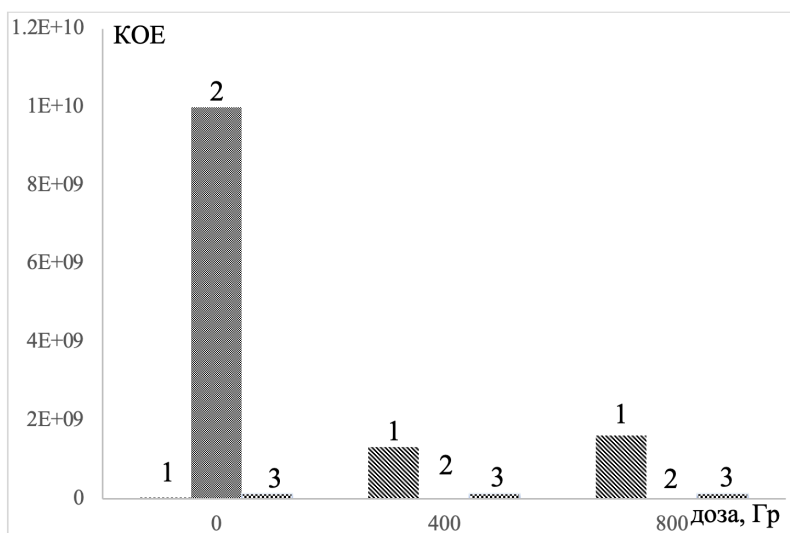


Рис. 7. Количество колониеобразующих единиц вида *S. cerevisiae* в 1 мл суспензии через 3 суток после облучения: 1 – контроль, 2 – в внесение рутина ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л), 3 – в внесение рутина ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) в 40% этаноле.

Fig. 7. The number of colony-forming units of the species *S. cerevisiae* in 1 ml of suspension 3 days after irradiation: 1 – control, 2 – with the addition of rutin ($5 \cdot 10^{-4}$ mol/l), 3 – with the addition of rutin ($5 \cdot 10^{-5}$ mol/l) in 40% ethanol.

На рис. 7 показано количество колониеобразующих единиц вида *S. cerevisiae* в 1 мл суспензии через 3 суток после облучения в зависимости от дозы рентгеновского облучения. В результате экспериментов добавление Рутин с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л потенциально увеличивает количество жизнеспособных клеток, способных к формированию колоний чем добавление рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. КОЕ вида *S. cerevisiae* с добавлением рутина при различной концентрации уменьшается много раз по отношению контроля через 3 суток при дозе 400

Гр и 800 Гр рентгеновского облучения.

Выводы

1. При увеличении дозы облучения концентрация рутина уменьшается, что говорит о его расходовании. Определён радиационный химический выход расходования рутина: $G(0-400)=0,04$ молекул/100 эВ; $G(400-2000)=0,10$ молекул/100 эВ.

2. Определён эффект ингибирования в реакции с ДФПГ растворов рутина без облучения и через сутки после облучения. Численные значения находятся в диапазоне от 67% до 86%, что более

50%, а это значит, что рутин обладает высокими антирадикальными свойствами после облучения.

3. Процент мёртвых клеток в суспензии при добавлении рутина меньше, по сравнению с процентом мёртвых клеток в суспензии без добавления рутина при одинаковых поглощённых дозах.

4. В пробирках с добавлением рутина различных концентраций, получивших дозу 800 Гр, через сутки после облучения наблюдается значи-

тельное уменьшение процента мёртвых клеток в сравнении с теми же данными, полученными без добавления рутина. Что можно интерпретировать как протекание активных репарационных процессов.

5. При добавлении рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л процент мёртвых клеток меньше, чем при добавлении рутина с концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Список источников

1. Меледина Т.В., Давыденко С.Г. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 88 с.
2. Дертингер Г., Юнг Х. Молекулярная радиобиология. М.: Атомиздат, 1973.
3. Курейчик И.М., Егорова З.Е., Кликович Г.Н. Исследование содержания рутина в растительном сырье и продуктах его переработки // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4, Химия и технология органических веществ. 2024. Т. 1. № 4. С. 7 – 11.
4. Теплый Д.Л. Об участии свободных радикалов и антиоксидантов в молекулярно – клеточных механизмах старения. Свободные радикалы, антиоксиданты и старение: материалы II Международной научной конф. (Астрахань, 2-3 ноября 2011 г.). Астрахань: Астраханский государственный университет, издательский дом «Астраханский университет». 2011. С.5-10.
5. Барабой В.А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев: Наукова думка, 1976. 260 с.
6. Окисление, окислительный стресс и антиоксиданты. Эмануэлевские чтения: Лекции. М.: РУДН, 2010. 226 с.
7. Меледина Т.В., Давыденко С.Г. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 88 с.
8. Дертингер Г., Юнг Х. Молекулярная радиобиология (М.: Атомиздат, 1973).
9. Патент РФ N 2394098. Способ культивирования дрожжей для спиртового производства. Калёнов С.В., Кузнецов А.Е. Бюлл. 2010. No 19.
10. Усманов С.М. Радиация: Справочные материалы. М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС. 2001. 176с.
11. Пикаев А.К. Дозиметрия в радиационной химии. Москва: Наука. 1975. 156с.
12. Калёнов С.В. Культивирование дрожжей и галобактерий в условиях контролируемого окислительного стресса. Дисс. на соис, учен. степени к.т.н. Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2007. 197 с.
13. Беляева А.Д., Григорьева А.А., Беляева И.Д., Няникова Г.Г. Изучение влияния способа приготовления питательной среды на основе гороха на количество получаемой в процессе глубинного культивирования биомассы *Rhizopus oryzae*. Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 68. № 12. С. 112 – 119. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-112

14. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю. Влияние гамма-излучения на свойства литьевой марки полипропилена. Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 68. № 11. С. 150 – 155. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21- 68-11-150
15. Куракина Е.С., Антропова И.Г. Антирадикальная активность кумаринсодержащих экстрактов. Электронный сборник статей по материалам XXIX студенческой конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки». Новосибирск: Изд-во «СибАК». 2015. № 3 (28). С. 129 – 134. [Электронный ресурс]. Режим доступа. URL: [http://www.sibak.info/archive/nature/3\(28\).pdf](http://www.sibak.info/archive/nature/3(28).pdf)
16. Пател Раджеш М. и Патель Натвар Дж. Антиоксидантная активность кумариновых соединений in vitro с помощью методов удаления свободных радикалов DPPH, супероксида и оксида азота // Journal of Advanced Pharmacy Education and Research. 2011. Т. 1. С. 52 – 68.

References

1. Meledina T.V., Davydenko S.G. Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Morphology, chemical composition, metabolism: textbook. SPb.: ITMO University, 2015. 88 p.
2. Dertinger G., Jung H. Molecular radiobiology. Moscow: Atomizdat, 1973.
3. Kureichik I.M., Egorova Z.E., Klinkovich G.N. Study of rutin content in plant raw materials and their processed products. Transactions of the Belarusian State Technological University. Series 4, Chemistry and technology of organic substances. 2024. Vol. 1. No. 4. P. 7 – 11.
4. Teply D.L. On the participation of free radicals and antioxidants in the molecular and cellular mechanisms of aging. Free Radicals, Antioxidants, and Aging: Proc. of the II International Scientific Conf. (Astrakhan, November 2-3, 2011). Astrakhan: Astrakhan State University, Astrakhan University Publishing House. 2011. P. 5 – 10.
5. Baraboy V. A. Biological Action of Plant Phenolic Compounds. Kyiv: Navukova Dumka, 1976. 260 p.
6. Oxidation, Oxidative Stress, and Antioxidants. Emanuel Readings: Lectures. Moscow: RUDN University, 2010. 226 p.
7. Meledina T.V., Davydenko S.G. *Saccharomyces cerevisiae* Yeast. Morphology, Chemical Composition, Metabolism: Textbook. SPb.: ITMO University, 2015. 88 p.
8. Dertinger G., Jung H. Molecular Radiobiology (Moscow: Atomizdat, 1973).
9. Russian Federation Patent No. 2394098. Method of Cultivating Yeast for Alcohol Production. Kalenov S.V., Kuznetsov A.E. Bulletin. 2010. No. 19.
10. Usmanov S.M. Radiation: Reference Materials. Moscow: Humanit. Publishing Center Vlados. 2001. 176 p.
11. Pikaev A.K. Dosimetry in Radiation Chemistry. Moscow: Nauka. 1975. 156 p.
12. Kalenov S.V. Cultivation of Yeast and Halobacteria under Controlled Oxidative Stress. Diss. on sois, scientist. PhD degree Moscow: RKhTU im. DI. Mendeleev. 2007. 197 p.
13. Belyaeva A.D., Grigorieva A.A., Belyaeva I.D., Nyanikova G.G. Study of the influence of the method of preparing a pea-based nutrient medium on the amount of *Rhizopus oryzae* biomass obtained in the process of deep cultivation. Butlerov's messages. 2021. Т. 68. No. 12. P. 112 – 119. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-112
14. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu. The influence of gamma radiation on the properties of injection molded polypropylene. Butlerov's messages. 2021. Vol. 68. No. 11. P. 150 – 155. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-68-11-150

15. Kurakina E.S., Antropova I.G. Antiradical activity of coumarin-containing extracts. Electronic collection of articles based on the materials of the XXIX student conference “Scientific community of students of the XXI century. Natural sciences”. Novosibirsk: Publishing house “SibAK”. 2015. No. 3 (28). P. 129 – 134. [Electronic resource]. Access mode. URL: [http://www.sibak.info/archive/nature/3\(28\).pdf](http://www.sibak.info/archive/nature/3(28).pdf)

16. Patel Rajesh M. and Patel Natwar J. Antioxidant activity of coumarin compounds in vitro using DPPH, superoxide and nitric oxide free radical scavenging methods. Journal of Advanced Pharmacy Education and Research. 2011. Vol. 1. P. 52 – 68.

Информация об авторах

Пхйё Мьинт У, кандидат химических наук, докторант, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, email: phyomyintoo2502@gmail.com

Панфилов В.И., доктор технических наук, заведующий кафедрой биотехнологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, email: vip@muctr.ru

Антропова И.Г., кандидат химических наук, доцент, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, email: antropovai@inbox.ru

Калёнов С.В., доктор технических наук, доцент, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, email: wsezart@muctr.ru

Бочкова М.О., Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, email: marina.bochkova_2001@mail.ru

Informatin about the authors

Phyo Myint U, PhD in Chemistry, Doctoral Candidate, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, email: phyomyintoo2502@gmail.com

Panfilov V.I., Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Biotechnology, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, email: vip@muctr.ru

Antropova I.G., PhD in Chemistry, Associate Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, email: antropovai@inbox.ru

Kalenov S.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, email: wsezart@muctr.ru

Bochkova M.O., D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, email: marina.bochkova_2001@mail.ru