

УДК 577.34:576.6:574.36:582.29:616.591-018

ФОТОЗАЩИТНЫЕ, ЦИТОТОКСИЧЕСКИЕ И ФОТОМОДИФИЦИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА НЕПОЛЯРНЫХ ФРАКЦИЙ БИОМАССЫ ЛИШАЙНИКОВ В ОТНОШЕНИИ КУЛЬТУРЫ КЕРАТИНОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА (HaCAT)

О. М. ХРАМЧЕНКОВА¹⁾, М. В. МАТВЕЕНКОВ²⁾

¹⁾Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246039, г. Гомель, Беларусь

²⁾Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

In vitro оценены фотозащитные, цитотоксические и фотомодифицирующие свойства гексановых и бензольных экстрактов из распространенных в Беларуси лишайников *Cladonia arbuscula*, *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Ramalina pollinaria* и *Xanthoria parietina* в отношении культуры кератиноцитов человека (HaCAT). Установлено, что данные экстракты не являются фотозащитными, обладают фотомодифицирующим действием при облучении культур кератиноцитов ультрафиолетом. Фотопротекторы, ослабляющие действие ультрафиолета в 1,6÷1,8 раз, – гексановый экстракт *E. prunastri* и бензольные экстракты *R. pollinaria* и *H. physodes* в концентрации 2,5 мкг/мл. Экстракты *C. arbuscula* и *X. parietina* являются фотосенсибилизаторами, усиливающими токсическое действие ультрафиолета в 10 и более раз, независимо от концентрации экстракта в питательной среде. Гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula* и *H. physodes* цитотоксичны в отношении культуры HaCAT. При увеличении дозы облучения кератиноцитов ультрафиолетом от нулевых до летальных значений, бензольный экстракт *R. pollinaria* выступал фотопротектором при концентрации 2,5 мкг/мл, и фотосенсибилизатором при более высоких концентрациях. Гексановые и бензольные экстракты *E. prunastri* и *H. physodes* проявляли сенсибилизационные свойства, возрастающие с увеличением концентрации экстрактов лишайников. Гексановый экстракт *C. arbuscula* и бензольный экстракт *X. parietina* были самыми мощными фотосенсибилизаторами.

Ключевые слова: экстракты лишайников; солнцезащитный фактор (SPF); критическая длина волны ($\lambda_{\text{крит}}$); отношение УФ-А/УФ-Б; культуры кератиноцитов (HaCAT); ультрафиолет; полуингибирующая доза (ID_{50}); фотопротекторы; фотосенсибилизаторы.

Образец цитирования:

Храмченкова ОМ, Матвеевков МВ. Фотозащитные, цитотоксические и фотомодифицирующие свойства неполярных фракций биомассы лишайников в отношении культуры кератиноцитов человека (HaCAT). Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021;2:29–35. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-2-29-35>

For citation:

Khranchankova VM, Matveyenkau MV. Photoprotective, cytotoxic and photomodifying activity of lichen biomass non-polar fractions against human keratinocyte (HaCAT). *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;2:29–35. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-2-29-35>

Авторы:

Ольга Михайловна Храмченкова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ботаники и физиологии растений биологического факультета.

Матвей Владимирович Матвеевков – младший научный сотрудник лаборатории комбинированных воздействий.

Authors:

Volga M. Khranchankova, PhD (biology), docent; associate professor at the department of chemistry, faculty of biology. hramchenkova@gsu.by

Matsvei V. Matveyenkau, junior researcher at the laboratory of combined exposures. matvey.matveenkov@mail.ru

PHOTOPROTECTIVE, CYTOTOXIC AND PHOTOMODIFYING ACTIVITY OF LICHEN BIOMASS NON-POLAR FRACTIONS AGAINST HUMAN KERATINOCYTE (HaCAT)

V. M. KHRAMCHANKOVA^a, M. V. MATVEYENKAU^b

^aFrancisk Skorina Gomel State University,
108 Saveckaja Street, 246028 Gomel, Belarus

^bInstitute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus,
4 Fiadzuninskaga Street, 246007 Gomel, Belarus

Corresponding author: Khramchankova V. M. (hramchenkova@gsu.by)

In vitro, the photoprotective, cytotoxic and photomodifying properties of hexane and benzene extracts from the widely distributed in Belarus lichens *Cladonia arbuscula*, *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Ramalina pollinaria* and *Xanthoria parietina* in the culture of human keratinocytes (HaCAT), are estimated. It was found that these extracts are not photoprotective, they have a photomodifying effect upon irradiation of keratinocyte cultures with ultraviolet light. Hexane extract of *E. prunastri* and benzene extracts of *R. pollinaria* and *H. physodes* at a concentration of 2.5 µg/ml are photoprotectors that weaken the effect of ultraviolet radiation by 1.6 ÷ 1.8 times. Extracts of *C. arbuscula* and *X. parietina* are photosensitizers – they increase the toxic effect of ultraviolet radiation by 10 or more times, regardless of the concentration of the extract in the nutrient medium. Hexane and benzene extracts of *C. arbuscula* and *H. physodes* lichens are cytotoxic to the HaCAT culture. With an increase in the dose of ultraviolet irradiation of keratinocytes from zero to lethal values, the benzene extract of *R. pollinaria* acted as a photoprotector at a concentration of 2.5 µg / ml, and as a photosensitizer at higher concentrations. The hexane and benzene extracts of *E. prunastri* and *H. physodes* exhibited sensitizing properties that increased with an increase in the concentration of lichen extracts. *C. arbuscula* hexane extract and *X. parietina* benzene extract were the most potent photosensitizers.

Keywords: lichen extracts; sunscreen factor (SPF); critical wavelength (λ_{crit}); UV-A / UV-B ratio; keratinocyte culture (HaCAT); ultraviolet; semi-inhibitory dose (ID₅₀); photoprotectors; photosensitizers.

Введение

Среди множества видов биологической активности экстрактов лишайников особый интерес представляют их фотопротекторные свойства, активно изучаемые в настоящее время многими специалистами, основываясь на наличии аналогичных свойств у многих растительных экстрактов [1–4]. Экстракты лишайников получают при помощи различных растворителей, среди которых чаще всего используют метанол, ацетон и хлороформ, существенно реже – гексан и бензол. Гексан и бензол позволяют получать экстракты, содержащие все группы лишайниковых веществ, извлекаемые неполярными растворителями. Целью настоящей работы – оценка цитотоксичности, фотозащитной и фотомодифицирующей активности гексановых и бензольных экстрактов из пяти видов распространенных в Беларуси лишайников в отношении культуры клеток кератиноцитов человека (HaCAT).

Материалы и методы исследования

Биомассу лишайников *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot., *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach. и *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. экстрагировали гексаном и бензолом в аппарате Сокслета. Растворитель удаляли, экстракты высушивали и использовали для исследований. Навески сухих экстрактов лишайников растворяли в этаноле, готовили растворы для фотометрии по методике, описанной в [5; 6]. Определяли оптическую плотность растворов в диапазоне длин волн 290–400 нм с шагом в 1 нм, используя этанол в качестве раствора сравнения. Средство измерения – УФ-спектрофотометр Solar PB 2201, измерительные кюветы – кварцевые. По результатам фотометрии рассчитывали величины SPF, λ_{crit} и соотношения УФ-А/УФ-Б – основных показателей фотозащитности экстрактов лишайников [7].

Использовали эпителиальные клетки человека линии HaCAT (кератиноциты), полученные в НИЛ проблем терморегуляции кафедры физиологии человека и животных Белорусского государственного университета. Кератиноциты культивировали согласно рекомендациям американской коллекции типовых культур (ATCC) [8]. Определение цитотоксичности экстрактов лишайников в отношении кератиноцитов, расчеты величины фактора изменения цитотоксичности (ФИЦ), изучение влияния дозы ультрафиолета и экстрактов лишайников на жизнеспособность клеточных культур выполняли по методике, изложенной в [5; 6]. Для выявления возможного участия антиоксидантных свойств экстрактов лишайников в минимизации последствий воздействия ультрафиолета на культуры клеток в схему эксперимента вводили Тролокс

(6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота) в количествах, равных концентрациям экстрактов лишайников. Анализ результатов исследования производили с помощью программных продуктов Graph Pad Prism (Version 5.02) и Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

При экстрагировании гексаном выход экстрактов не превышал двух процентов воздушно-сухой массы биомассы лишайников, бензолом – $5,4 \div 5,8$ % (табл. 1).

Таблица 1

Фотозащитные свойства экстрактов лишайников

Table 1

Photoprotective properties of lichens extracts

Вид лишайников	Экстрагент	Выход экстракта, %	SPF	$\lambda_{\text{крит}}$, нм	УФ-А/УФ-Б
<i>C. arbuscula</i>	гексан	$1,6 \pm 0,29$	$6,9 \pm 0,31$	$375 \pm 4,4$	$0,98 \pm 0,093$
	бензол	$1,3 \pm 0,29$	$5,1 \pm 0,75$	$373 \pm 7,2$	$0,91 \pm 0,082$
<i>E. prunastri</i>	гексан	$1,9 \pm 0,17$	$13,7 \pm 0,98$	$373 \pm 3,9$	$0,88 \pm 0,061$
	бензол	$5,8 \pm 0,51$	$40,8 \pm 2,34$	$358 \pm 2,8$	$0,64 \pm 0,057$
<i>H. physodes</i>	гексан	$1,8 \pm 0,22$	$7,1 \pm 0,42$	$366 \pm 5,6$	$0,91 \pm 0,098$
	бензол	$5,4 \pm 0,46$	$15,6 \pm 0,99$	$358 \pm 4,6$	$0,82 \pm 0,079$
<i>R. pollinaria</i>	гексан	$1,6 \pm 0,37$	$10,9 \pm 0,87$	$366 \pm 3,9$	$0,75 \pm 0,061$
	бензол	$5,4 \pm 0,49$	$40,7 \pm 2,31$	$337 \pm 6,1$	$0,31 \pm 0,023$
<i>X. parietina</i>	гексан	$2,0 \pm 0,42$	$3,8 \pm 0,47$	$392 \pm 8,4$	$1,77 \pm 0,129$
	бензол	$2,5 \pm 0,32$	$5,3 \pm 0,69$	$392 \pm 5,7$	$1,93 \pm 0,234$

По критериям, приведенным в [7], фотозащитными являются субстанции, характеризующиеся показателями $\text{SPF} \geq 15,0$ и $\lambda_{\text{крит}} \geq 373,0$. Среди гексановых и бензольных экстрактов лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* фотозащитных не обнаружено, хотя по показателю УФ-А/УФ-Б (эффективность защиты от УФ-Б и УФ-А излучения) все они относятся к «максимальным».

Цитотоксические свойства гексановых и бензольных экстрактов лишайников отличались (табл. 2).

Таблица 2

Цитотоксический эффект экстрактов лишайников в отношении культуры кератиноцитов человека (HaCAT), оцененный с помощью МТТ-теста после 48 ч инкубации, (мкг/мл)

Table 2

Cytotoxic effects of lichen extracts on human keratinocytes culture (HaCAT) assessed by MTT assay after 48 h exposure, ($\mu\text{g/ml}$)

Вид лишайника	Экстрагент	IC_{10}^*	IC_{50}	IC_{90}^*
<i>C. arbuscula</i>	гексан	15,4	$27,8 \pm 2,39$	50,0
	бензол	<1	$27,0 \pm 3,61$	>200
<i>E. prunastri</i>	гексан	28,4	$52,4 \pm 3,23$	86,6
	бензол	14,0	$52,3 \pm 5,70$	>200
<i>H. physodes</i>	гексан	22,5	$32,7 \pm 2,18$	47,3
	бензол	<1	$37,1 \pm 4,20$	102
<i>R. pollinaria</i>	гексан	27,7	$48,6 \pm 4,05$	85,4
	бензол	<1	$36,2 \pm 2,85$	79,6
<i>X. parietina</i>	гексан	4,4	>200	>200
	бензол	10,3	$136,4 \pm 33,03$	>200

*Значения IC_{10} и IC_{90} вычислены по уравнениям аппроксимации кривых влияния концентрации экстрактов лишайников на жизнеспособность культур клеток.

Установлено, что гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula* *H. physodes* токсичны для клеток культуры HaCAT. Бензольные экстракты лишайников вызывали 10 %-ное ингибирование метаболической активности кератиноцитов при более низких концентрациях, чем гексановые, тогда как гексановые экстракты вызывали 90 %-ное ингибирование клеточных культур при более низких концентрациях, чем бензольные.

Изложенное выше не относится к экстрактам лишайника *X. parietina*, чьи цитотоксические свойства проявляются при концентрациях, в 4,5÷7 раз превышающих нормативное значение ($IC_{50} = 30$ мкг/мл).

Оценивали фотомодифицирующие свойства экстрактов лишайников. Для этого предварительно устанавливали величины субтоксичных, полутоксичных и токсичных доз ультрафиолетового излучения в отношении клеточной культуры HaCAT. В качестве модификатора действия ультрафиолета использовали экстракты лишайников в концентрациях 2,5; 5,0 и 10 мкг/мл. Соотношение величин полуингибирующих доз ультрафиолета в опыте (в присутствии приведенных выше концентраций модификаторов в питательной среде) и контроле (без модификаторов) представляет собой фактор изменений цитотоксичности (ФИЦ). Если $ФИЦ > 1$, модификатор является фотопротектором, если $ФИЦ < 1$ – фотосенсибилизатором. Для оценки возможного вклада антиоксидантных свойств экстрактов лишайников в изменение цитотоксического действия ультрафиолета применяли модельный антиоксидант Тролокс, который вносили в питательную среду в количестве 2,5; 5,0 и 10 мкг/мл вместо экстракта лишайника.

Установлено, что гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* являются фотомодификаторами в отношении культур кератиноцитов человека. Выраженность фотомодифицирующего действия экстрактов лишайников зависит от их концентрации в питательной среде (рис. 1).

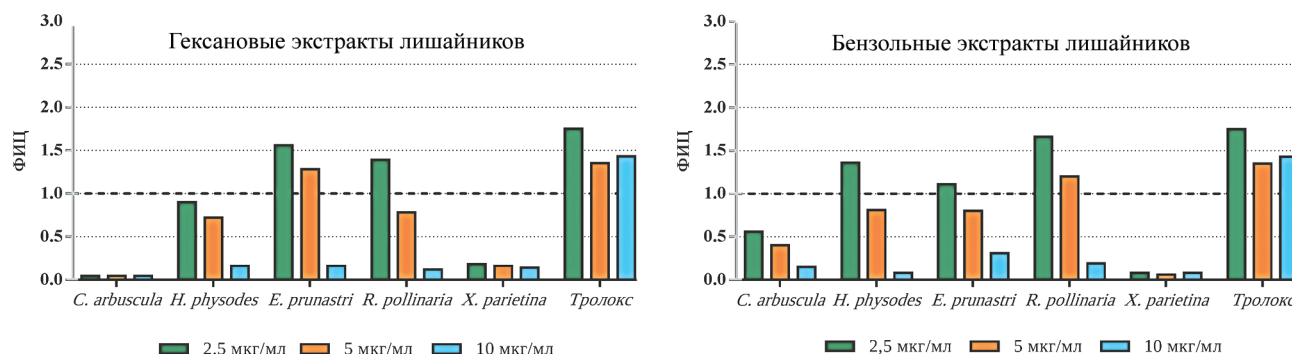


Рис. 1. Модификация цитотоксичности ультрафиолета в отношении культуры кератиноцитов человека (HaCAT) экстрактами лишайников

Fig. 1. Ultraviolet cytotoxicity modification against human keratinocytes culture (HaCAT) with lichens extracts

Наиболее выраженный фотозащитный эффект – снижение поражающего действия ультрафиолета в 1,6÷1,8 раз – вызывали гексановый экстракт *E. prunastri*, а также бензольные экстракты *R. pollinaria* и *H. physodes* в концентрации 2,5 мкг/мл. Данный эффект по силе равен аналогичной концентрации Тролокса, однако изменение его характера в сторону фотосенсибилизации с повышением концентрации экстракта лишайника в питательной среде позволяет предположить наличие иных, не антиоксидантных механизмов как защиты, так и ингибирования клеток.

Наиболее сильными фотосенсибилизаторами оказались гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula* и *X. parietina*, увеличивавшие токсическое действие ультрафиолета до 10 раз, независимо от концентрации экстракта в питательной среде. Гексановые экстракты *C. arbuscula* практически полностью подавляли жизнеспособность кератиноцитов при облучении минимальными дозами УФ, при этом независимо от концентрации экстракта в питательной среде. Следует отметить, что при содержании экстракта любого из пяти изучаемых видов лишайников, равном 10 мкг/мл, поражающее действие ультрафиолета резко усиливалось, то есть гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* являются мощными фотосенсибилизаторами при данной концентрации раствора.

Гексановый экстракт *R. pollinaria* и бензольный экстракт *E. prunastri* в концентрации 5 мкг/мл проявляли умеренную фотосенсибилизирующую активность.

Установленные закономерности модификации чувствительности кератиноцитов к ультрафиолету проявлялись также в условиях возрастания дозы ультрафиолетового излучения (рис. 2).

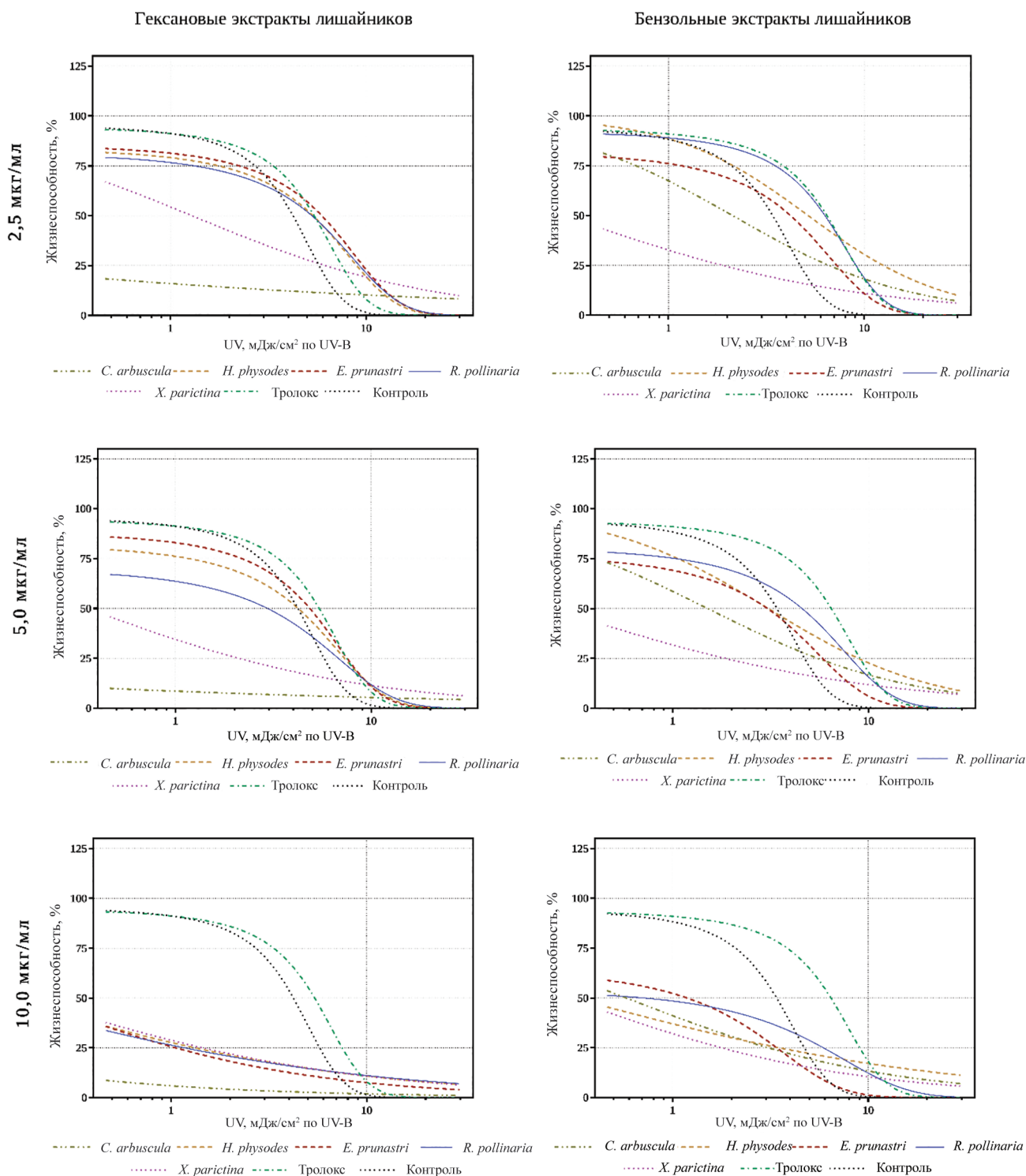


Рис. 2. Влияние дозы ультрафиолета и экстрактов лишайников на жизнеспособность кератиноцитов человека (HaCAT)

Fig. 2. Ultraviolet dose and lichen extracts concentration influence on the human keratinocyte (HaCAT) viability

Присутствие гексановых экстрактов *H. physodes* и *R. pollinaria*, а также гексановых и бензольных экстрактов *E. prunastri* в концентрации 2,5 мкг/мл снижало жизнеспособность кератиноцитов в области низких доз ультрафиолета (1–3 мДж/см²), и повышало в области 4–20 мДж/см² по сравнению с контролем. При использовании бензольных экстрактов *H. physodes* жизнеспособность кератиноцитов не снижалась в диапазоне 1–3 мДж/см², но существенно повышалась в области сублетальных доз ультрафиолета. Обращает на себя внимание сходство кривых снижения жизнеспособности кератиноцитов для бензольного экстракта *R. pollinaria* и Тролокса (2,5 мкг/мл). Гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula* и *X. parietina*

той же концентрации при дозах ультрафиолета до 10 мДж/см² существенно понижали жизнеспособность кератиноцитов, причем среди гексановых экстрактов *C. arbuscula* была активнее *X. parietina*, тогда как среди бензольных – пассивнее.

Увеличение концентрации гексановых и бензольных экстрактов *H. physodes*, *E. prunastri* и *R. pollinaria* в питательной среде до 5 мкг/мл приводило к возрастанию их фотосенсибилизирующей активности в области низких доз и снижению фотозащитного эффекта в области высоких. Гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula* и *X. parietina* в количестве 5 мкг/мл повышали чувствительность кератиноцитов к облучению на протяжении всего используемого диапазона доз ультрафиолета.

При концентрации 10 мкг/мл гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* резко понижали жизнеспособность кератиноцитов даже при облучении их самыми низкими экспериментальными дозами УФ, причем гексановые экстракты лишайников как фотосенсибилизаторы, были активнее бензольных.

Характер и количественные показатели модификации гексановыми и бензольными экстрактами лишайников чувствительности кератиноцитов к ультрафиолету чаще всего не похожи на таковые у модельного антиоксиданта, что косвенно подтверждает предположение об ином, не антиоксидантном механизме модификации эффекта облучения.

Таким образом, характер модификации действия ультрафиолета гексановыми и бензольными экстрактами лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* на культуры кератиноцитов человека зависит как от концентрации экстрактов, так и от дозы облучения. Фотопротектором является бензольный экстракт *R. pollinaria* в концентрации 2,5 мкг/мл. Фотосенсибилизаторами – гексановый экстракт *C. arbuscula* и бензольный экстракт *X. parietina*.

Заключение

Выход гексановых экстрактов из воздушно-сухой биомассы лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* не превышает 2,0 %; выход бензольных экстрактов составляет 1,3÷2,5 % для *C. arbuscula* и *X. parietina*; 5,4÷5,8 % для *E. prunastri*, *H. physodes* и *R. pollinaria*. Гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* не являются фотозащитными по показателям величин SPF и $\lambda_{\text{крит}}$.

Гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula*, *H. physodes* цитотоксичны в отношении культуры HaCAT.

Гексановые и бензольные экстракты лишайников *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* являются фотомодификаторами в отношении культур кератиноцитов человека. Выраженность фотомодифицирующего действия экстрактов лишайников зависит от их концентрации в питательной среде. При концентрации 10 мкг/мл гексановые и бензольные экстракты *C. arbuscula*, *E. prunastri*, *H. physodes*, *R. pollinaria* и *X. parietina* являются фотосенсибилизаторами, причем экстракты *C. arbuscula* и *X. parietina* увеличивают токсическое действие ультрафиолета в 10 и более раз, независимо от концентрации экстракта в питательной среде. Фотопротекторами, ослабляющими действие ультрафиолета в 1,6÷1,8 раз, являются гексановый экстракт *E. prunastri* и бензольные экстракты *R. pollinaria* и *H. physodes* в концентрации 2,5 мкг/мл.

При увеличении доз облучения кератиноцитов ультрафиолетом от нулевых до летальных значений бензольный экстракт *R. pollinaria* выступал фотопротектором при концентрации 2,5 мкг/мл и фотосенсибилизатором при более высоких концентрациях. Гексановые и бензольные экстракты *E. prunastri* и *H. physodes* проявляли сенсibilизационные свойства, возрастающие с увеличением концентрации экстрактов лишайников. Гексановый экстракт *C. arbuscula* и бензольный экстракт *X. parietina* в наибольшей степени подавляли жизнеспособность кератиноцитов.

Библиографические ссылки

1. Lohézic-Le Dévéhata F, Legouin B, Couteau C, et al. Lichenic extracts and metabolites as UV filters. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2013;120:17–28. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.01.009.
2. Rancan F, Rosan S, Boehm K, et al. Protection against UVB irradiation by natural filters extracted from lichens. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2002;68 (2–3):133–139. DOI: 10.1016/S1011-1344(02)00362-7.
3. Radice M, Manfredini S, Ziosi P, et al. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*. 2016;144:144–162. DOI: 10.1016/j.fitote.2016.09.003.
4. Chiang H.-S, Wu W.-B, Fang J.-Y, et al. UVB-protective effects of isoflavone extracts from soybean cake in human keratinocytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2007;8(7):651–661. DOI: 10.3390/i8070651.
5. Храменкова ОМ, Матвеевков МВ. Цитотоксическая активность экстрактов из четырех видов лишайников в отношении культур опухолевых клеток. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2018;2:88–98.

6. Храмченкова ОМ, Матвеенков МВ. Фотозащитная активность экстрактов из пяти видов лишайников в отношении кератиноцитов человека (HaCAT). *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2018;4:52–62.
7. Rojas JL, Díaz-Santos M, Valencia-Islas NA. Metabolites with antioxidant and photo-protective properties from *Usnea roccellina* Motyka, a lichen from Colombian Andes. *Journal of Pharmaceutical and Biosciences*. 2015;3(4):18–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.20510/ukjpb/3/i4/89454>.
8. American Type Culture Collection [Internet]. [Cited 2018 August 18]; 2018. Available from: <https://www.atcc.org>.

References

1. Lohézic-Le Dévéhata F, Legouin B, Couteau C, et al. Lichenic extracts and metabolites as UV filters. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2013;120:17–28. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.01.009.
2. Rancan F, Rosan S, Boehm K, et al. Protection against UVB irradiation by natural filters extracted from lichens. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2002;68 (2–3):133–139. DOI: 10.1016/S1011-1344(02)00362-7.
3. Radice M, Manfredini S, Ziosi P, et al. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*. 2016;144:144–162. DOI: 10.1016/j.fitote.2016.09.003.
4. Chiang H.-S, Wu W.-B, Fang J.-Y, et al. UVB-protective effects of isoflavone extracts from soybean cake in human keratinocytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2007;8(7):651–661. DOI: 10.3390/i8070651.
5. Khranchankova VM, Matveyenkau MV. *Tsitologicheskaja aktivnost ekstraktov iz chetyrekh vidov lishainikov v otnoshenii kultur opuholevykh kletok*. [Cytotoxic activity of extracts from the four lichen species against human cancer cells lines]. *Journal Belarusian State University. Ecology*. 2018;2:88–98. Russian
6. Khranchankova VM, Matveyenkau MV. *Fotozashchitnaja aktivnost ekstraktov iz piati vidov lishainikov v otnoshenii keratinotsitov cheloveka (NaSAT)*. [Photoprotective activity of extracts from the five lichen species against human keratinocyte (HaCAT)]. *Journal Belarusian State University. Ecology*. 2018;4:52–62. Russian
7. Rojas JL, Díaz-Santos M, Valencia-Islas NA. Metabolites with antioxidant and photo-protective properties from *Usnea roccellina* Motyka, a lichen from Colombian Andes. *Journal of Pharmaceutical and Biosciences*. 2015;3(4):18–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.20510/ukjpb/3/i4/89454>.
8. American Type Culture Collection [Internet]. [Cited 2018 August 18]; 2018. Available from: <https://www.atcc.org>.

Статья поступила в редколлегию 15.01.2021.
Received by editorial board 15.01.2021.