

УДК 663, 664, 613.2, 547.9, 57.044, 57.083.1, 543.95, 543.55, 543.424

Методика оптико-электрохимического биотестирования в применении к оценке антибиотических свойств различных эфирных масел

Канд. хим. наук В. С. СИБИРЦЕВ¹, У. Ю. НЕЧИПОРЕНКО¹, В. Л. КАБАНОВ¹,
канд. техн. наук М. Ю. КУКИН¹, А. Ю. МАСЛОВА², канд. хим. наук М. А. РАДИН³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок —
филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН

²Университет ИТМО

³Санкт-Петербургский университет промышленных технологий и дизайна

E-mail: vs1969r@mail.ru

*Описана методика биотестирования, предусматривающая периодическую регистрацию изменений интенсивности упругого светорассеяния, рН и электропроводности жидкой питательной среды, инкубируемой в присутствии и в отсутствие жизнеспособных тестовых микроорганизмов и тестируемых образцов. Представлены результаты сравнительного анализа с помощью данной методики антибиотической активности в отношении *Lactobacillus acidophilus* разных концентраций эфирных масел (ЭфМ, которые могут использоваться в качестве функциональных добавок к различной пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции), полученных из 11 различных видов растительного сырья. Проведенные исследования показали, что среди исследованных нами растительных экстрактов наиболее активными пролонгированными антибиотическими свойствами обладают ЭфМ, полученные из цветов померанца (*Citrus aurantium*), листьев чайного дерева (*Melaleuca alternifolia*) и семян бадьяна настоящего (*Plicium verum*). Начальная антибиотическая активность тестированных экстрактов (ТЭ) в большинстве случаев была больше их пролонгированной активности. В то время как среднесрочная (по времени взаимодействия ТЭ с тестовыми микроорганизмами) антибиотическая активность ТЭ как правило была промежуточной по величине между их начальной и пролонгированной активностью. При этом уменьшение концентраций ТЭ в тестовой среде приводило к аналогичному монотонному уменьшению их антибиотической активности. Таким образом, очевидно, что биологическая активность пищевой и иной продукции, включающей различные растительные экстракты, в значительной степени определяется выбором не только сырья и способа экстрагирования из него биологически активных веществ, но и концентрации экстракта в продукции. Представленная методика позволяет менее материалоемко и трудоемко, а также существенно более информативно, объективно и экспрессно оценивать про- и антибиотические свойства различных образцов пищевой, фармацевтической и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок.*

Ключевые слова: биотестирование микробиологическое, антибиотические свойства, контаминированность микробиологическая, экстракты растительные, эфирные масла.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 28.09.2020, принята к печати 20.11.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-68-76

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Сибирцев В. С., Нечипоренко У. Ю., Кабанов В. Л., Кукин М. Ю., Маслова А. Ю., Радин М. А. Методика оптико-электрохимического биотестирования в применении к оценке антибиотических свойств различных эфирных масел // Вестник Международной академии холода. 2020. № 4. С. 68–76. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-68-76

Method of optical-electrochemical biotesting in assessment of antibiotic properties of various essential oils

Ph. D. V. S. SIBIRTSEV¹, U. Yu. NECHIPORENKO¹, V. L. KABANOV¹,

Ph. D. M. YU. KUKIN¹, A. Yu. MASLOVA², Ph. D. M. A. RADIN³

¹All-Russia Research Institute for Food Additives — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS

²ITMO University

³Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design

E-mail: vs1969r@mail.ru

A biotesting technique is described that provides for periodic recording of changes in the intensity of elastic light scattering, pH, and electrical conductivity of a liquid nutrient medium incubated in the presence and absence of viable test microorganisms

and test samples. With the use of the technique, the results of a comparative analysis of Lactobacillus acidophilus antibiotic activity on various concentrations of «essential oils» (EO, which can be used as functional additives to various food, feed, pharmaceutical, cosmetic and other products) obtained from 11 different types of plant raw materials are presented. Studies have shown that among the plant extracts studied, the most active prolonged antibiotic properties are those of EO obtained from Citrus aurantium flowers, Melaleuca alternifolia leaves, and Illicium verum seeds. The initial antibiotic activity of the tested extracts (TE) in most cases was greater than their prolonged activity. At the same time, the mid-term (in terms of the time of TE interaction with test microorganisms) antibiotic activity of TE, as a rule, was intermediate in value between their initial and prolonged activity. At the same time, with a decrease in TE concentrations in the test medium, their antibiotic activity decreased monotonically. Thus, it is obvious that the biological activity of food and other products, including various plant extracts, is largely determined by the choice of not only the raw material and the method of extracting biologically active substances from it, but also the concentration of the extract in the product. Moreover, the exact nature of these dependencies in most cases can be established only empirically, with the help of a significant number of tests. And the latter can be conveniently carried out using the methodology presented in this work, which allows a much more rapid, objective and informative, as well as much less laborious and material-intensive, than by standard visual microbiological methods, to assess the effect on the dynamics of the vital activity of microorganisms of various samples of food, feed, pharmaceutical, cosmetic and other products, as well as individual ingredients and additives to them. The technique presented allows evaluating pro and antibiotic properties of various samples, individual ingredients, and additives in food, pharmaceutical and other industries in less material intensive and time consuming, as well as in more informative, objective, and expressive way.

Keywords: microbiological biotesting, antibiotic properties, microbiological contamination, plant extracts, essential oils.

Article info:

Received 28/09/2020, accepted 20/11/2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-68-76

Article in Russian

For citation:

Sibirtsev V. S., Nechiporenko U. Yu., Kabanov V. L., Kukin M. Yu., Maslova A. Yu., Radin M. A. Method of optical-electrochemical biotesting in assessment of antibiotic properties of various essential oils. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2020. No 4. p. 68–76. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-68-76

Введение

В последнее время в пищевой, фармацевтической и других областях народного хозяйства все более актуальной становится проблема разработки экспрессных, объективных и доступных для широкого применения методов количественной оценки про- и антибиотических свойств большого количества образцов как новой, так и уже допущенной к применению продукции. В последнем случае, вышеупомянутые методы являются одной из важных составляющих системы мониторинга качества и безопасности продукции. При их реализации применяются как многоклеточные, так и одноклеточные тестовые живые организмы. Причем последние используются не только как наиболее дешевая, доступная и статистически достоверная модель живых организмов в целом, но и как модель полезной естественной микрофлоры человека, а также природной микрофлоры, способной вызывать различные инфекционные заболевания, токсикозы, аллергические реакции, способствовать порче пищевой и иной продукции и т. д.

Однако, принятые в настоящее время, в качестве стандартных при микробиологическом тестировании, методы визуальной оценки общей выживаемости тестовых микроорганизмов, либо величины зоны задержки роста их колоний требуют для своего осуществления значительных затрат материалов, времени и труда квалифицированного персонала, давая, в результате, лишь достаточно субъективную, неполную и «статичную» информацию о нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов [1]–[5]. Таким образом, перспективным представляется использование в микробиологическом тести-

ровании инструментальных технологий, среди которых в настоящее время наиболее универсальными, достоверными и простыми в исполнении являются различные электрохимические и оптические методы.

Кроме того, в последнее время в пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции, производимой и потребляемой человеческим обществом, ощущается все больший недостаток биологически активных веществ природного происхождения, способствующих нормальному развитию и функционированию как самого человеческого организма (ослабленного наличием различных физико-химических факторов загрязнения окружающей среды, стрессами, недостатком природного физической активности и освещения, контактами с многочисленной посторонней микрофлорой и т. п.), так и симбиотически связанной с ним полезной микрофлоры.

Производство синтетических аналогов таких веществ (с целью использования их в качестве биологически активных добавок к пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции) при современном уровне развития технологий часто является малоэффективным как с экономической точки зрения, так и вследствие сложности достижения нужной степени стереоспецифичности, чистоты и других параметров данной продукции, способных обеспечить ее высокую биологическую активность. Кроме того, растительные экстракты по сравнению с синтетическими средствами, как правило, обладают существенно меньшими по широте спектра и интенсивности действия на живые организмы побочными эффектами.

В результате этого, экстракты из различного растительного сырья в настоящее время являются одним из наиболее приемлемых и распространенных источников биологически активных веществ. А из различных видов растительных экстрактов наиболее широкое распространение в настоящее время получили, так называемые эфирные масла, промышленно либо лабораторно получаемые из различного растительного сырья различными физико-химическими способами (такими как холодный или горячий отжим, дистилляция, экстрагирование при нормальных либо повышенных давлении и/или температуре с помощью различных органических растворителей с последующим удалением этих растворителей при повышенной температуре либо под вакуумом и т. п.) [6]. При этом холодный отжим обеспечивает наименьший выход конечного продукта из исходного сырья. Но зато данный метод является наиболее щадящим, позволяя лучше всего сохранять первичную и пространственную структуру веществ, содержащихся в исходном сырье, что обеспечивает их наивысшую биологическую активность. Дистилляция с водяным паром является наиболее распространенным на сегодняшний день методом получения эфирных масел. А в эфирных маслах, первым этапом получения которых является экстракция биологически активных веществ растительного происхождения органическими растворителями (нередко, весьма токсичными), почти всегда остается достаточно большое количество органических экстрагентов.

Эфирные масла, получаемые описанными выше способами, позволяют достичь существенно большей и стабильной биологической активности конечного продукта по сравнению с водными, спиртовыми и иными чисто химически получаемыми растительными экстрактами (причем, как уже говорилось, эфирные масла, получаемые «холодными» методами, как правило богаче по составу и биологической активности экстрагируемых в них растительных веществ, но содержат меньшие концентрации последних). Вследствие этого эфирные масла в настоящее время наиболее широко среди других видов растительных экстрактов применяются в пищевой и других отраслях промышленности в качестве добавок, обладающих избирательным либо малоспецифическим про- или антимикробным действием (используемым, в том числе, при лечении различных респираторных заболеваний, а также заболеваний зубов, полости рта и т. п.), добавок, обладающих различными видами нормализующего действия (используемого, в том числе, при лечении различных нервных, сердечно-сосудистых, диабетических, пищеварительных и иных заболеваний), а также консервирующих, антиоксидантных, ароматизирующих, вкусовых и иных видов добавок [1–3, 6–16]. Кроме того эфирные масла используются в качестве антисептиков, экологически безопасных инсектицидов и пестицидов, добавок к различным зуботерапевтическим, ранозаживляющим и другим медицинским и упаковочным материалам (съедобным, биоразлагаемым, обладающим выраженным антимикробным действием и т. п.) [7, 17–21].

В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования стала разработка экспрессной и объективной инструментальной методики оценки как микробиологи-

ческой контаминированности, так и про- и антибиотических свойств различной пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции, а также ингредиентов и добавок к ней; с последующим анализом с помощью разработанной методики влияния на динамику жизнедеятельности микробиоты человека различных растительных экстрактов.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования в настоящей работе были взяты эфирные масла, получаемые из следующих видов растительного сырья: кожура плодов апельсина (*Citrus sinensis*) (№ 1), кожура плодов мандарина (*Citrus reticulata*) (№ 2), кожура плодов бергамота (*Citrus bergamia*) (№ 3), кожура плодов грейпфрута (*Citrus paradisi*) (№ 4), кожура плодов лимона (*Citrus limon*) (№ 5), кожура плодов лайма (*Citrus aurantiifolia*) (№ 6), листья померанца (бигардия, масло петит грин, *Citrus bigaradia*) (№ 7), цветы померанца (масло нероли, *Citrus aurantium*) (№ 8), листья чайного дерева (*Melaleuca alternifolia*) (№ 9), семена бадьяна настоящего (анис звездчатый, *Illicium verum*) (№ 10), семена аниса обыкновенного (*Pimpinella anisum*) (№ 11).

Указанные эфирные масла были закуплены у таких крупных российских их производителей, как Migolla, Botanika и OLEOS.

Для анализа влияния различных концентраций этих эфирных масел на динамику жизнедеятельности микроорганизмов, на основании уже имеющихся авторских работ по различным способам инструментального биотестирования [22]–[46], была разработана следующая методика.

Для каждой партии эфирных масел проводилось по 4-е серии измерений. Перед началом каждой такой серии готовилась питательная среда, представляющая собой стерильный водный раствор с pH $7,2 \pm 0,2$, содержащий 2 г/л NaCl, 5 г/л глюкозы и 20 г/л белкового гидролизата. Затем этот раствор засеивался *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356, которые были выбраны в качестве типичных представителей полезной микрофлоры, широко распространенной как во вне, так и внутри организма человека и других теплокровных животных, активно участвуя при этом в деструкции различных биополимеров, а также используя во многих биотехнологических процессах, таких как получение различной кисломолочной продукции, силосование, биоконсервирование и т. п.

После этого, упомянутая питательная среда с тестовыми микроорганизмами инкубировалась при $37 \pm 0,1$ °C, пока содержание жизнеспособных микроорганизмов в ней не достигало примерно 5×10^6 клеток на миллилитр (что удостоверялось нефелометрическим способом).

Далее, полученная тестовая среда разливалась по измерительным емкостям, в каждую из которых (за исключением трех контрольных-1 емкостей, содержащих тестовую среду с жизнеспособными микроорганизмами без эфирных масел; но с добавлением трех контрольных-2 емкостей, содержащих стерильную питательную среду с каким-либо из тестируемых эфирных масел) предварительно добавлялось (по три емкости в параллель) необходимое количество какого-либо из тестиру-

емых эфирных масел. Затем как тестовые, так и все контрольные измерительные емкости инкубировались при $37 \pm 0,1$ °C в течение ещё 6-и часов. При этом у тестовых сред, содержащихся в каждой из этих емкостей, последовательно, с интервалом 2 ч регистрировались удельная, линейная, низкочастотная электропроводность (X , мСм/см), pH и интенсивность упругого светорассеяния в видимой области спектра (Iod). При этом X регистрировалась с помощью кондуктометра «Эксперт-002» (РФ) с датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1,6 кГц. pH регистрировалось с помощью иономера «Эксперт-001» (РФ) с комбинированным электродом «ЭСК-10601/7». Iod регистрировалась с помощью нефелометра «WGZ-2». После чего общая степень активирования либо ингибирования (+/-) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов заданными концентрациями какого-либо из тестируемых эфирных масел рассчитывалась по формуле

$$\varepsilon_{V,k} = (\varepsilon_{Iod,k} + 0,7\varepsilon_{pH,k} + 0,7\varepsilon_{X,k}) / 2,4, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ определялись отдельно по результатам измерений Iod , pH и X у тестируемых сред в измерительных емкостях в ходе инкубации этих емкостей по формуле

$$\varepsilon_{i,k} = 100 (\Delta Y_{i,k} - \Delta Y_{c,i,k}) / \Delta Y_{c,i,k}, \quad (2)$$

где $\Delta Y_{i,k}$ и $\Delta Y_{c,i,k}$ — усредненные по выборке из N образцов с одинаковыми концентрациями экстрактов, приготовленных одинаковым способом из одного вида растительного сырья (в нашем случае $N=3 \times 4=12$) изменения значений i -параметра тестовой среды (где $i=1, 2$ и 3 соответствуют таким параметрам тестовой среды, как Iod , pH и X), произошедшие за k часов от начала инкубирования этой среды в присутствии заданной концентрации какого-либо из тестируемых эфирных масел ($\Delta Y_{i,k}$, наблюдаемое в тестовых измерительных емкостях) либо в отсутствие тестируемых эфирных масел ($\Delta Y_{c,i,k}$, наблюдаемое в контрольных-1 измерительных емкостях, тестовые среды в которых не содержали тестируемых эфирных масел).

При этом ошибка определения каждой из усредненных величин $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ рассчитывалась стандартным образом [47]–[49], как $\Delta \varepsilon_{Y,i} = t_{\alpha, N-1} \sigma_{Y,i}$ с использованием критерия Стьюдента ($t_{\alpha, N-1}$ для уровня достоверности $\alpha=0,95$ и числа степеней свободы $N-1$), математического ожидания ($\varepsilon_{Y,S} = \sum \varepsilon_{Y,i} / N$) и его дисперсии ($\sigma_{Y,i} = [\sum (\varepsilon_{Y,i} - \varepsilon_{Y,S})^2 / (N-1)]^{1/2}$). После чего полученные значения $\Delta \varepsilon_{Iod,k}$, $\Delta \varepsilon_{pH,k}$ и $\Delta \varepsilon_{X,k}$ суммировались для величины $\varepsilon_{V,k}$ по стандартной формуле $\Delta z(x_i) = \sum_i (\Delta x_i \delta z / \delta x_i)$ [47]–[49], исходя из которой

$$\Delta \varepsilon_{V,k} = (\Delta \varepsilon_{Iod,k} + 0,7\Delta \varepsilon_{pH,k} + 0,7\Delta \varepsilon_{X,k}) / 2,4. \quad (3)$$

Величина $\varepsilon_{V,k}$ показывала на сколько % ускорялось, либо замедлялось преобразование жизнеспособными микроорганизмами, присутствующими в тестовой среде, катаболитов, присутствующих в той же среде, в анаболиты после k часов их инкубации при заданной температуре в присутствии заданной концентрации какого-либо из тестируемых эфирных масел по сравнению с теми же процессами, осуществляемыми теми же микроорганизмами в той же среде в отсутствие тестируемых эфирных масел. При этом правомерность объединения

в ε_V величин ε_{pH} , ε_E и ε_X можно объяснить тем, что каждая из этих величин независимо нормировалась на контрольные значения определяющего ее показателя и, таким образом, единообразно (в % по отношению к контролю) отражала изменение метаболизма тестовых микроорганизмов в присутствии какого-либо из тестируемых эфирных масел, в то же время несколько по-разному характеризую это изменение, поскольку изменения Iod , pH и X в тестовой среде обуславливали разные метаболические процессы, осуществляемые присутствующими там жизнеспособными микроорганизмами. В результате чего суммарная величина ε_V более информативно и адекватно характеризовала изменения метаболической активности тестовых микроорганизмов, чем каждая из величин ε_{pH} , ε_E и ε_X по-отдельности.

Последнее подтверждается тем, что для ε_V имела место 90% достоверная корреляция с изменением количества колоний образующих единиц (КОЕ) тестовых микроорганизмов, определяемым с применением стандартной методики [1]–[5], предусматривающей подсчет колоний тестовых микроорганизмов, выросших после 24 ч инкубации их при 37 °C на плотной питательной среде, имеющей тот же состав, что и использовавшаяся нами жидкая питательная среда, но с добавлением 20 г/л микробиологического агар-агара) в присутствии и в отсутствие 1 об.% какого-либо из тестируемых эфирных масел (при этом, высевание проводилось для нескольких последовательных разведений тестовой среды — каждое в несколько параллельных чашек Петри — после чего отбирались те разведения, при использовании которых на одной чашке Петри выросло не более 50 и не менее 10 колоний тестовых микроорганизмов, и данные по ним соответствующим образом статистически обрабатывались) после инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии какого-либо из тестируемых эфирных масел по сравнению с контролем-1, включавшим в себя те же микроорганизмы в той же тестовой среде, но в отсутствие тестируемых экстрактов.

А микробиологическая контаминированность (C_M) тестируемых образцов могла быть рассчитана по формулам, аналогичным 1 и 2, но где $\Delta Y_{i,k}$ определялась не для тестовых, а для контрольных-1 ИЕ, а $\Delta Y_{c,i,k}$ определялась для контрольных-2 ИЕ, содержащих какое-либо из тестируемых эфирных масел в стерильной питательной среде. После чего полученное значение C_M^* домножалось на калибровочный коэффициент, определяемый предварительно на основании сравнения результатов, полученных с помощью описанной выше методики, с результатами, полученными для тех же концентраций тех же тестируемых экстрактов с помощью вышеупомянутой стандартной методики микробиологического тестирования. При этом, C_M показывало сколько жизнеспособных микроорганизмов исходно присутствовало в тестируемом образце (причем, если вместо достаточно общенакопительной питательной среды, использованной в этой работе, тестируемый образец инкубировать в селективных питательных средах, то указанным выше способом можно определять контаминированность тестируемого образца не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов).

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены наиболее интересные данные, полученные описанным выше способом, исходя из которой можно сделать следующие выводы. В соответствии со сказанным в предыдущем разделе, долгосрочную (продолгованную) антибиотическую активность тестируемых экстрактов мы оценивали по величине $\varepsilon_{V,6}$, определяемой через 6 ч инкубации тестовых сред с жизнеспособными тестовыми микроорганизмами в присутствии тестируемых экстрактов. Методику определения общих степеней активирования либо ингибирования (+/ —) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов разными концентрациями различных ЭфМ ($\varepsilon_{V,k}$, где $k=2, 4$ и 6 часов инкубирования), а также соответствие № 1 — № 10 видов сырья, использованного для приготовления ЭфМ, см. в разделе «Материалы и методы». Относительная ошибка определения ε_V для всех указанных в таблице значений находилась в диапазоне от 10 до 20%.

При этом в порядке увеличения $\varepsilon_{V,6}$ (характеризующего по нашим оценкам уменьшение антибиотической активности тестируемых объектов при $\varepsilon_V < 0$ и увеличение пробиотической активности тестируемых объектов $\varepsilon_V > 0$) протестированные эфирные масла, можно было упорядочить следующим образом, где в скобках после № растительного сырья, использованного для получения упомянутых эфирных масел (см. раздел «Материалы и методы») указаны соответствующие ему $\varepsilon_{V,6}$ (см. табл. 1):

№ 8 (–70) ≈ № 9 (–70) > № 10 (–69) >>> № 5 (–56) >
 № 7 (–54) > № 6 (–50) > № 11 (–48) >> № 4 (–42) >
 № 2 (–40) > № 3 (–39) > № 1 (–38) (для 1 об.% ЭфМ);

№ 8 (–45) > № 10 (–44) >> № 9 (–36) > № 5 (–34) ≈
 № 6 (–34) >> № 1 (–28) > № 11 (–26) > № 7 (–25) >
 № 3 (–23) > № 2 (–22) > № 4 (–19) (для 0,5 об.% ЭфМ);

№ 8 (–28) > № 6 (–26) > № 9 (–23) > № 7 (–22) >
 № 1 (–20) ≈ № 5 (–20) ≈ № 10 (–20) > № 11 (–18) > № 2 (–17) >
 № 3 (–15) > № 4 (–14) (для 0,3 об.% ЭфМ);

№ 6 (–17) ≈ № 7 (–17) > № 8 (–15) > № 10 (–14) >
 № 9 (–13) > № 1 (–0) ≈ № 3 (–10) ≈ № 5 (–10) ≈ № 11 (–10) >
 № 2 (–9) ≈ № 4 (–9) (для 0,1 об.% ЭфМ).

Отсюда видно, что с изменением концентраций эфирных масел в тестовой среде может меняться в некоторой степени и характер их биологической активности относительно других тестируемых объектов. Из разных частей разных растений можно экстрагировать разные биологически активные вещества. В частности, отчетливо это видно на примере сравнения антибиотической активности эфирных масел, полученных из семян аниса обыкновенного, кожуры плодов апельсина, а также листьев и цветов померанца, для которых при их концентрации в тестовой среде равной 1 об.% $\varepsilon_{V,6}$ составили -48 ± 7 , -38 ± 6 , -54 ± 7 и -70 ± 8 %, соответственно (см. табл. 1 для ЭфМ № 11, № 1, № 7 и № 8).

Среди исследованных эфирных масел, наиболее активные протестированные (долгосрочные) антимикробные свойства в отношении тестовых микроорганизмов (характеризуемые в табл. 1 величиной $\varepsilon_{V,6}$, определяемой через 6 ч инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии тестируемых экстрактов) проявили эфирные масла, полученные из цветов померанца (№ 8), листьев чайного дерева (№ 9) и семян бадьяна настоящего (№ 10).

Таблица 1

Значения $\varepsilon_{V,k}$ (%), определявшиеся через 2, 4 и 6 часов инкубирования *Lactobacillus acidophilus* в присутствии разных количеств «эфирных масел» (ЭфМ), изготовленных из разного растительного сырья

Table 1

The values of $\varepsilon_{V,k}$ (%) after two, four, and six hours of *Lactobacillus acidophilus* incubation in the presence of various quantities of «essential oils» from various plant raw materials

№ сырья	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Концентрация ЭфМ	1 об.%										
$\varepsilon_{V,2}$, %	–48	–66	–53	–61	–58	–58	–61	–99	–98	–86	–50
$\varepsilon_{V,4}$, %	–42	–57	–46	–42	–59	–53	–56	–88	–74	–78	–53
$\varepsilon_{V,6}$, %	–38	–40	–39	–42	–56	–50	–54	–70	–70	–69	–48
Концентрация ЭфМ	0,5 об.%										
$\varepsilon_{V,2}$, %	–35	–42	–29	–29	–40	–44	–29	–73	–72	–56	–30
$\varepsilon_{V,4}$, %	–31	–31	–25	–20	–36	–40	–26	–57	–54	–51	–31
$\varepsilon_{V,6}$, %	–28	–22	–23	–19	–34	–34	–25	–45	–36	–44	–26
Концентрация ЭфМ	0,3 об.%										
№ сырья	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varepsilon_{V,2}$, %	–22	–26	–25	–21	–28	–35	–29	–45	–45	–29	–22
$\varepsilon_{V,4}$, %	–24	–22	–21	–17	–23	–31	–25	–36	–34	–24	–20
$\varepsilon_{V,6}$, %	–20	–17	–15	–14	–20	–26	–22	–28	–23	–20	–18
Концентрация ЭфМ	0,1 об.%										
$\varepsilon_{V,2}$, %	–12	–15	–15	–14	–17	–25	–20	–25	–24	–17	–17
$\varepsilon_{V,4}$, %	–13	–13	–13	–12	–14	–21	–18	–20	–18	–15	–15
$\varepsilon_{V,6}$, %	–10	–9	–10	–9	–10	–17	–17	–15	–13	–14	–10

Начальная (краткосрочная) антибиотическая активность эфирных масел (характеризуемая в табл. 1 величиной $\epsilon_{V,2}$, определяемой через 2 ч инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии тестируемых эфирных масел) в большинстве случаев была существенно больше их долгосрочной активности (см. табл. 1) — что объяснялось, вероятно, как адаптацией тестовых микроорганизмов к присутствию тестируемых эфирных масел, так и уменьшением с течением времени активности и общего количества биологически активных веществ, содержащихся в тестируемых эфирных маслах, приходящегося на один микроорганизм (поскольку общее количество тестовых микроорганизмов во время инкубации содержащей их тестовой среды увеличивалось, тогда как активность и общее количество биологически активных веществ, содержащихся в тестируемых эфирных маслах, в ходе инкубации содержащей их тестовой среды не только не увеличивались, но даже уменьшались, вследствие биохимической и физико-химической денатурации и деградации упомянутых биологически активных веществ).

В то время как среднесрочная (по времени взаимодействия тестируемых эфирных масел с тестовыми микроорганизмами) антибиотическая активность тестируемых эфирных масел (характеризуемая в табл. 1 величиной $\epsilon_{V,4}$, определяемой через 4 ч инкубации тестовой среды с каким-либо из тестируемых эфирных масел) в большинстве случаев была промежуточной по величине между $\epsilon_{V,2}$ и $\epsilon_{V,6}$ тех же эфирных масел и лишь иногда (как например в случае эфирного масла № 1 в концентрациях ниже 0,3 об.%, эфирного масла № 11 в концентрациях выше 0,5 об.%, а также эфирного масла № 5 в концентрации 1 об.%) превышала не только долгосрочную и краткосрочную антибиотическую активность того же эфирного масла (см. табл. 1).

При этом с уменьшением концентраций тестируемых эфирных масел в тестовой среде их антибиотическая активность в отношении тестовых микроорганизмов достоверно и монотонно уменьшалась. Так например, при концентрациях 1, 0,3 и 0,1 об.% долгосрочная антибиотическая активность эфирного масла из кожуры плодов апельсина была равна -38 ± 6 , -20 ± 3 и $-10 \pm 2\%$; а $\epsilon_{V,6}$ эфирного масла из цветов помаранца была равна -70 ± 8 , -28 ± 4 и $-15 \pm 2\%$, соответственно (см. табл. 1 для ЭФМ № 1 и № 8).

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что с помощью представленной выше методики, можно существенно более информативно, объективно и экспрессно (в течение нескольких часов, а не суток), чем при использовании стандартных микробиологических методов, оценивать исходную микробиологическую контаминированность (причем, при необходимости, не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов), а также влияние на динамику жизненной активности тестовых микроорганизмов различных образцов пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к оной (включая разные растительные экстракты). При этом большая объективность представленной методики достигается за счёт уменьше-

ния роли субъективного человеческого фактора при замене в процессе измерений визуальных методов на инструментальные. А большая информативность предлагаемой методики достигается за счет того, что, во-первых, инструментальные способы измерения чувствительней визуальных (применяемых в стандартных микробиологических методах); во-вторых, предлагаемая методика дает возможность оценивать динамику изменения жизненной активности микроорганизмов на множестве произвольно выбираемых временных отрезков (в отличие от стандартных микробиологических процедур, где измерения производятся лишь один раз, в конце периода инкубации тестируемых образцов); и в-третьих, предлагаемая методика предполагает оценку изменения жизненной активности микроорганизмов сразу по нескольким независимым показателям (таким как интенсивность упругого светорассеяния, pH и электропроводность тестовой среды), а не только по одному (мутности тестовой среды, числу колоний микроорганизмов или величине зоны задержки их роста), как в случае применения стандартных микробиологических методик. Кроме того предлагаемая методика существенно менее трудоемка и материалоемка по сравнению со стандартными микробиологическими методами, а также дает гораздо больше возможностей для автоматизации рассматриваемой здесь аналитической процедуры.

Все это делает представленную методику существенно более доступной для массового применения, чем ранее используемые стандартные методы микробиологического тестирования и оценки микробиологической контаминированности образцов различной продукции. Последнее же является весьма актуальным в свете того, что одним из важных условий обеспечения должного уровня качества и безопасности жизни людей является не только качественное и своевременное тестирование про- и антибиотических свойств новой пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к оной (ассортимент которых постоянно увеличивается, а сроки появления сокращаются); но и постоянный широкий мониторинг микробиологической контаминированности, а также про- и антибиотических свойств уже допущенной к массовому употреблению продукции, с целью выявления недоброкачественных, либо успевших до окончательной реализации испортиться или претерпеть химическое или биологическое заражение ее образцов.

В отношении же исследованных нами растительных экстрактов следует отметить следующее: из разных частей разных растений различными способами можно экстрагировать биологически активные вещества. С изменением концентраций эфирных масел может меняться в некоторой степени и характер их биологической активности, относительно других тестируемых образцов. Среди исследованных эфирных масел наиболее активные долгосрочные антибиотические свойства проявили экстракты, полученные из цветов помаранца, листьев чайного дерева и семян бадьяна настоящего (№ 8 — № 10 соответственно).

Начальная биологическая активность тестируемых экстрактов в большинстве случаев была достоверно больше их пролонгированной активности. В то время как

среднесрочная (по времени взаимодействия тестируемых экстрактов с тестовыми микроорганизмами) антибиотическая активность тестируемых экстрактов, как правило, была промежуточной по величине между их начальной и пролонгированной активностью. При этом с уменьшением концентраций тестируемых эфирных масел в тестовой среде их антибиотическая активность монотонно уменьшалась.

Таким образом очевидно, что характер про- и антибиотической активности пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции, в том числе включающей различные растительные экстракты, в значительной степени определяется выбором не только сырья и способа экстрагирования из него биологически активных веществ, но и концентрации действующих веществ в продукции. Причем точный характер этих зависимостей в большинстве случаев может быть установлен лишь эмпирически, с помощью значительного числа тестовых испытаний, которые удобно проводить с применением, представленной в данной работе методики.

Литература/References

- Sutherland J., Miles M., Hedderley D., Li J., Devoy S., Sutton K., Lauren D. In vitro effects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009. V. 60. No 8. P. 717–727. DOI: 10.3109/09637480802165650
- Das S., Anjeza C., Mandal S. Synergistic or additive antimicrobial activities of Indian spice and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food — spoiler micro-organisms. *International Food Research Journal*. 2012. V. 19. No 3. P. 1185–1191.
- Al-Zubairi A., Al-Mamary M. A., Al-Ghasani E. The antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants. *Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2017. V. 6. No 9. P. 224–233.
- Zhuravlev O. E., Voronchikhina L. I. Synthesis and antimicrobial activity of n-decylpyridinium salts with inorganic anions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018. V. 52. No 4. P. 312–315.
- Luzhnova S. A., Tyrkov A. G., Gabitova N. M., Yurtaeva E. A. Synthesis and antimicrobial activity of 5-(arylmethylidene) — 2,4,6-pyrimidine-2,4,6 (1H,3H,5H) — triones. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018. V. 52. No 6. P. 506–509.
- Rodino S., Butu M. Functional and Medicinal Beverages. Volume 11: The Science of Beverages. Academic Press. 2019. pp. 73–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>
- Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods — a review. *International journal of food microbiology*. 2004. V. 94. No 3. P. 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils — a review. *Food and chemical toxicology*. 2008. V. 46. No 2. P. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Tripathi A. K., Bhoyar P. K., Baheti J. R., Biyani D. M., Khalique M., Kothmire M. S., Bhanarkar A. B. Herbal antidiabetics: a review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2011. V. 2. No 1. P. 30–37.
- Fatima A., Alok S., Agarwal P., Singh P. P., Verma A. Benefits of herbal extracts in cosmetics: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2013. V. 4. No 10. P. 3746–3760. [https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4\(10\).3746-60](https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4(10).3746-60)
- Alok S., Jain S. K., Verma A., Kumar M., Mahor A., Sabharwal M. Herbal antioxidant in clinical practice: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2014. V. 4. No 1. P. 78–84.
- Donsi F., Ferrari G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*. 2016. V. 233. P. 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>
- Radice M., Manfredini S., Ziosi P., Dissette V., Buso P., Fal-lacara A., Vertuani S. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*. 2016. V. 114. P. 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.09.003>
- Merghni A., Marzouki H., Hentati H., Aouni M., Mastouri M. Antibacterial and antibiofilm activities of *Laurus nobilis* L. essential oil against *Staphylococcus aureus* strains associated with oral infections. *Current Research in Translational Medicine*. 2016. V. 64. No 1. P. 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2015.10.003>
- Fani M., Kohanteb J. In vitro antimicrobial activity of thymus vulgaris essential oil against major oral pathogens. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*. 2017. V. 22. No 4. P. 660–666. <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>
- Kokina M. S., Frioui M., Shamtsyan M., Sibirtsev V. S., Krasnikova L. V., Konusova V. G., Simbirtsev A. S. Influence of pleurotus ostreatus beta-glucans on the growth and activity of certain lactic acid bacteria. Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2018. V. 19. No 4. P. 465–471.
- Atarés L., Chiralt A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. V. 48. P. 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Ribeiro-Santos R., Andrade M., Melo N. R., Sanches-Silva A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 61. P. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- Ju J., Xie Y., Guo Y., Cheng Y., Qian H., Yao W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. V. 59. No 15. P. 2467–2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>
- Yuan G., Chen X., Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*. 2016. V. 89. P. 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>
- Pavela R., Benelli G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science*. 2016. V. 21. No 12. P. 1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
- Ivanov S. D., Korytova L. I., Yamshanov V. A., Ilyn N. V., Sibirtsev V. S. Leukopenia prognosis by radiation therapy of patients with Hodgkin's disease. *Journal of Experimental and Clinical Cancer Research*. 1997. V. 16. No 2. P. 183–188.
- Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V., Ivanov S. D. Spectral properties of bisbenzimidazole dyes upon interaction with DNA. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 1997. V. 23. No 12. P. 857–866.

24. Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V. Effect of heteroatom on the spectral properties of benzazoles. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 1997. V. 33. No 12. P. 1756–1759.
25. Ivanov S. D., Kovalenko A. L., Kovan'ko E. G., Jamschanov V. A., Akimov A. A., Zabezhinskii M. A., Sibirtsev V. S. The use of cycloferon in experimental radiotherapy of tumors. *Voprosy onkologii*. 1999. V. 45. No 3. P. 292–297.
26. Sibirtsev V. S., Tyndyk M. L., Ivanov, S. D. Specific response to benzo (a) pyrene treatment depending on mode of administration in rats. *Voprosy onkologii*. 2000. V. 46. No 5. P. 594–599.
27. Sibirtsev V. S., Glibin E. N., Ivanov S. D. Variation of spectral properties of actinocin derivatives due to equilibrium transformations. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2000. V. 36. No 12. P. 1812–1818.
28. Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V., Ivanov S. D. Comparative study of DNA-specific dyes of the indole and benzimidazole series. // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2001. V. 27. No 1. P. 57–65. <https://doi.org/10.1023/A:1009535320077>
29. Sibirtsev V. S., Tolmachev A. Yu., Suslov V. V., Garabadzhiu A. V., Traven' V. F. Dependence of fluorescence properties of compounds from psoralen, angelicin, and carbazole series on the character of their terminal substituents. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2003. V. 39. No 6. P. 881–889. <https://doi.org/10.1023/B:RUJO.0000003169.96393.1d>
30. Sibirtsev V. S. Study of applicability of the bifunctional system «Ethidium bromide + Hoechst-33258» for DNA analysis. *Biochemistry*. 2005. V. 70. No 4. P. 449–457. <https://doi.org/10.1007/s10541-005-0136-x>
31. Sibirtsev V. S., Tolmachev A. Yu., Kovaleva M. V., Garabadzhiu A. V., Traven V. F. Spectral study of interactions of 4,8,4'-trimethylpsoralen and 4,4'-dimethylangelicin dyes with DNA. *Biochemistry* (Moscow). 2005. V. 70. No 7. P. 822–832. <https://doi.org/10.1007/s10541-005-0190-4>
32. Sibirtsev V. S. Fluorescent DNA probes: study of mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application. *Biochemistry* (Moscow). 2007. V. 72. No 8. P. 887–900. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080111>
33. Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V. Spectral study of the interaction of DNA with benzothiazolyl-benz-a-chromene. *Biochemistry* (Moscow). 2007. V. 72. No 8. P. 901–909. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080123>
34. Sibirtsev V. S., Krasnikova L. V., Schleikin A. G., StroeV S. A., Naumov I. A., Olekhovich R. O., Tereschenko V. F., Shabanova E. M., Mussa Al-Khatib. New biotesting method with the application of modern impedance technologies. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2015. V. 15. No 2. P. 275–284. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-2-275-284>
35. Sibirtsev V. S., Kulakov A. Ju., StroeV S. A. Conductometry biotesting as applied to valuation of the pro- and antibacterial properties of catolites and anolites. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2016. V. 16. No 3. P. 573–576. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2016-16-3-573-576>
36. Sibirtsev V. S., Naumov I. A., Kuprina E. E., Olekhovich R. O. Use of impedance biotesting to assess the actions of pharmaceutical compounds on the growth of microorganisms. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2016. V. 50. No 7. P. 481–485. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1473-3>
37. Sibirtsev V. S., Olekhovich R. O., Samuylova E. O. Assessment of integral toxicity of water resources by instrumental methods of analysis. *International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM) Conference Proceedings*. 2017. V. 17. No 61. P. 507–514. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.066>
38. Sibirtsev V. S. Investigation of mechanisms of change in spectral properties during interaction of benzazole, indole, and phenanthridium compounds with DNA. *Journal of Optical Technology*. 2017. V. 84. No 5. P. 294–301. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000294>
39. Sibirtsev V. S. Biological test methods based on fluorometric genome analysis. // *Journal of Optical Technology*. 2017. V. 84. No 11. P. 787–791. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>
40. Sibirtsev V. S. Applicability of photofluorescent techniques for research of protein structure dynamics in aqueous solutions. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2019. V. 19. No 1. P. 27–32. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-1-27-32>
41. Sibirtsev V. S., StroeV S. A. New optical-electrochemical microbiotesting system for valuation of oil products toxicosafety. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2019. V. 19. No 1. P. 74–81. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-1-74-81>
42. Sibirtsev V. S., Maslova A. Yu. Complex research of E. coli vital activity dynamics in presence of transition metal ions. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019. V. 19. No 2. P. 236–241. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-236-241>
43. Sibirtsev V. S., Uspenskaya M. V., Garabadzhiu A. V., Shvets V. I. An integrated method of instrumental microbiotesting of environmental safety of various products, wastes, and territories. *Doklady Biological Sciences*. 2019. V. 485. No 1. P. 59–61. <https://doi.org/10.1134/S001249661902011X>
44. Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V., Shvets V. I. Fluorescent DNA probes: study of properties and methods of application. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2019. V. 489. No 5. P. 403–406. <https://doi.org/10.1134/S1607672919060127>
45. Sibirtsev V. S., Garabadzhiu A. V., Shvets V. I. New technique for integrated photofluorescence microbiotesting. *Doklady Biological Sciences*. 2019. V. 489. No 6. P. 196–199. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060103>
46. Sibirtsev V. S., Chekanov M. A., Naumov I. A., StroeV S. A. Influence on microorganisms vital activity of high frequency electromagnetic fields and solutions of catolytes and anolites. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019. V. 73. No 4. P. 42–48. <http://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-4-42-48>
47. Korn G., Korn T. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Definitions, Theorems and Formulas for Reference and Review.* / McGraw_Hill Book Company. 1968.
48. Johnson K., Jeffi V. *Numerical Methods in Chemistry.* / Cambridge University Press, New York. 1983.
49. Sibirtsev V. S. Analysis of benzo [a] pyrene deactivation mechanisms in rats. *Biochemistry* (Moscow). 2006. V. 71. No 1. P. 90–98. <https://doi.org/10.1134/S0006297906010147>

Сведения об авторах**Сибирцев Владимир Станиславович**

К. х. н., доцент, заведующий лабораторией разработки технологий и рецептур пищевых ингредиентов Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, vs1969r@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0829-5213, SPIN ID: 1707-0169, Scopus ID: 6603964394, Researcher ID: M-3146-2014

Нечипоренко Ульяна Юрьевна

Младший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, unechiporenko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3708-9777

Кабанов Владимир Леонидович

Младший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, kabanof_v@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0001-9085-2984

Кукин Михаил Юрьевич

К. т. н., научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, mk-1980_2@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1722-4644

Маслова Александра Юрьевна

Магистрант факультета прикладной оптики Университета ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, maslova.aleksandra97@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7484-1940

Радин Михаил Александрович

К. х. н., доцент Санкт-Петербургского университета промышленных технологий и дизайна, 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, chem_misha@mail.ru

Information about authors**Sibirtsev Vladimir S.**

PhD, Associate Professor, Head of laboratory of development of technologies and formulations of food ingredients of All-Russia Research Institute for Food Additives — Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, 191014, Russia, St. Petersburg, Liteiny pr., 55, vs1969r@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0829-5213, Scopus ID: 6603964394, Researcher ID: M-3146-2014

Nechiporenko Ulyana Yu.

Junior researcher of All-Russia Research Institute for Food Additives — Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, 191014, Russia, St. Petersburg, Liteiny pr., 55, unechiporenko@yandex.ru

Kabanov Vladimir L.

Junior researcher of All-Russia Research Institute for Food Additives — Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, 191014, Russia, St. Petersburg, Liteiny pr., 55, kabanof_v@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0001-9085-2984

Kukin Mikhail Yu.

PhD, Researcher of All-Russia research institute for food additives (Branch of V. M. Gorbатов federal research center for food systems of RAS), 191014, Russia, Saint Petersburg, Liteiny pr., 55, mk-1980_2@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1722-4644

Maslova Aleksandra Yu.

Undergraduate of faculty of applied optics of ITMO University, 197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky ave., 49, maslova.aleksandra97@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7484-1940

Radin Mikhail A.

PhD, Associate Professor of Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 191186, Russia, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18, chem_misha@mail.ru