

УДК 543.544:547.913

## СРАВНЕНИЕ АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ИОНОЛА, КОМПОНЕНТОВ СВЕЖЕГО ИМБИРЯ И ЕГО ЭКСТРАКТОВ

© 2012 г. Е. С. Алинкина, Т. А. Мишарина, Л. Д. Фаткуллина, Е. Б. Бурлакова

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва 119334*

*e-mail: tmish@rambler.ru*

Поступила в редакцию 30.11.2011 г.

Изучены антирадикальные свойства трех препаратов из имбиря (*Zingiber officinale* R.): сока свежего корня имбиря, эфирного масла и экстракта (олеорезина) корня имбиря и сопоставлены со свойствами синтетического антиоксиданта – ионола. В качестве модельной системы использовали реакцию антиоксидантов со стабильным свободным 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалом. Определены эквивалентные концентрации антирадикальных компонентов в препаратах имбиря, величины  $EC_{50}$  и величины антирадикальной эффективности АЕ. Полученные величины  $EC_{50}$  и АЕ для олеорезина имбиря и ионола были близки между собой и характерны для высокоактивных природных антиоксидантов, эти же величины для эфирного масла и сока имбиря были на 2 порядка меньше. По кинетическим параметрам препараты имбиря относятся к антирадикальным соединениям пролонгированного действия.

В результате воздействия различных вредных факторов окружающей среды, таких как ультрафиолетовое, радиационное или магнитное облучение, наличие добавок и загрязнителей в пищевых продуктах, питьевой воде, прием лекарств, попадание ксенобиотиков и др., в каждом живом организме постоянно образуются активные формы кислородных, пероксидных, гидропероксидных и других радикалов. Также значительное число активных свободных радикалов постоянно образуются в организме из эндогенных источников. Одновременно с образованием таких радикалов происходит их разрушение с помощью системы антиоксидантных ферментов. Превышение концентрации образующихся над концентрацией уничтоженных радикалов приводит к развитию окислительного стресса, который сопровождается повреждениями биологических молекул, окислением липидов, модификациями белков и ДНК [1–3]. В результате возникают различные заболевания, включая нарушение метаболизма, появление злокачественных образований, развитие сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, снижение иммунитета, более быстрое старение организма и т.д. Существенно уменьшить окислительный стресс и его последствия позволяет регулярный прием растительных антиоксидантов. В последние 10 лет этот класс природных веществ активно изучается, во многих работах доказана и установлена их польза и эффективность [4, 5].

Цель работы – изучение антирадикальных свойств одного из источников растительных антиоксидантов: сока свежего корня имбиря и продуктов его переработки – эфирного масла и олеорезина имбиря, а также синтетического антиоксиданта – ионола.

### МЕТОДИКА

В работе использовали 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикал (ДФПГР) и ионол (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол), полученные из компании “Sigma-Aldrich” (США). Эфирное масло и олеорезин – произведены “Plant Lipids Ltd” (Индия). Свежий имбирь (Китай) приобретен в розничной сети.

Сок получали измельчением корня имбиря, добавлением равного по объему количества этанола (95%) и центрифугированием. Для исследований использовали прозрачный верхний слой, содержащий 50% сока натурального свежего имбиря.

**Хромато-масс-спектрометрический анализ.** Анализ компонентов эфирного масла и летучих веществ в олеорезине имбиря проводили на приборе HP 5890/5980 (“Hewlett Packard”, США) с кварцевой капиллярной колонкой HP-1 (25 м × 0.30 мм, слой фазы 0.25 мкм) при программировании температуры от 50 до 250°C со скоростью 4°/мин. Температура инжектора и масс-детектора – 250°C, скорость газа-носителя гелия – 1.2 мл/мин. Масс-спектры получали в режиме электронного удара при ионизирующем напряжении 70 эВ. Летучие вещества из олеорезина имбиря предварительно выделяли методом содистилляции с добавлением внутреннего стандарта n-тридекана, их содержание в олеорезине составляло 32.1%. Идентификацию компонентов осуществляли путем сравнения величин индексов удерживания и масс-спектров, полученных при анализах образцов, с индексами и спектрами стандартов, определенными нами на этой же колонке, а также взятыми из данных литературы [6, 7] и библиотек масс-спектров NBS и Wiley 275. Количественное содержание компо-

нентов определяли из площадей пиков (по полному ионному току) простой нормировкой. Состав компонентов эфирного масла и летучих веществ в олеорезине имбиря приведен в табл. 1.

**Оценка антирадикальной активности.** Измерение антирадикальной активности препаратов имбиря и ионола проведена по следующей методике. К 1 мл 200 мкМ метанолю раствора ДФПГР добавляли растворы антиоксидантов (ионол, эфирное масло, сок или олеорезин имбиря) до достижения выбранных концентраций и доводили суммарный объем до 2 мл метанолом. Полученные растворы, содержавшие 100 нмоль/мл (39.4 мкг/мл) радикала, помещали в кварцевые кюветы (10 мм) с плотно закрывающимися крышками. Оптическая плотность таких исходных растворов была около 1.0. Для получения кинетических кривых восстановления ДФПГР антиоксидантами регистрировали оптическую плотность модельных систем на спектрофотометре СФ-2000 (“ОКБ Спектр”, Россия) при 515 нм сразу же после смешивания ( $A_0$ ) и в процессе выдерживания при комнатной температуре в темноте через каждые 5 мин в течение 120 мин. Математическая обработка результатов проведена с помощью программ Microsoft Excel 2007 и SigmaPlot 10.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Имбирь (*Zingiber officinale* R.), травянистое растение, популярно в качестве пряности в различных странах, особенно в Юго-Восточной Азии, Китае, Индии, Пакистане и др. В результате опыта длительного применения было установлено, что свежий и сухой имбирь могут не только улучшать вкус блюд, они имеют лечебное действие. В Полинезии с помощью имбиря лечат диабет, гипертензию, рак, ожирение и многие другие заболевания [8]. Он обладает терапевтическим действием, оказывает значительное влияние на различные патологические процессы, в том числе и на онкологические [4, 5, 9, 10]. Имбирь является важным источником натуральных фитохимических антиоксидантов, которые переходят из корневищ в экстракты имбиря –  $\text{CO}_2$ -экстракты и олеорезины [11–13], а также в конденсированную фракцию летучих соединений – эфирное масло. Из свежего имбиря получают 0.3–0.5% эфирного масла и около 2% олеорезина. Известно, что эфирное масло имбиря обладает обезболяющим и антисептическим действием при простуде, ревматизме, ангине, головной боли [9, 10]. Продукты переработки имбиря – экстракты и эфирные масла являются более удобными в применении, так они, в отличие от свежего или сушеного имбиря, устойчивы к микробиологическому заражению.

Для определения антирадикальной активности мы использовали простой в исполнении и высокочувствительный метод на основе реакции со стабильным ДФПГР [14–16]. В основе реакции

**Таблица 1.** Состав летучих компонентов эфирного масла и олеорезина имбиря (*Zingiber officinale* Rosc)

Соединение	Содержание, % к сумме летучих веществ	
	эфирное масло	летучие вещества из олеорезина
$\alpha$ -Пинен	1.08	2.08
Камфен	3.24	6.41
Сабинен	0.60	0.20
$\beta$ -Пинен	0.12	0.28
$\beta$ -Мирцен	0.62	0.76
$\alpha$ -Фелландрен	0.10	0.20
Лимонен + 1.8-цинеол	4.88	9.63
$\alpha$ -Терпинолен	0.21	0.59
Линалоол	0.95	0.57
$\alpha$ -Терпинеол	0.45	0.59
Цитронеллол	0.38	0.19
Нераль	0.50	0.79
Гераниаль	0.46	0.55
Копаен	0.52	0.70
Кариофиллен	0.89	0.72
$\alpha$ -Куркумен	8.29	8.19
Зингиберен	32.26	31.02
Гингерон	0.87	0.64
Фарнезен	9.30	5.29
Бисаболен	8.17	7.24
Сесквифелландрен	16.53	12.71

лежит способность антиоксиданта отдавать протоны и восстанавливать ДФПГР. По мере восстановления ДФПГР происходит изменение его окраски от интенсивно фиолетового до соломенно-желтого. Это фиксируется спектрофотометрическим методом при длине волны 515–517 нм.

Мы исследовали четыре серии модельных реакций, в которых концентрации субстратов эфирного масла, олеорезина, сока имбиря и ионола варьировались в пределах, приведенных в табл. 2. Исходная концентрация ДФПГР во всех реакционных смесях составляла  $1 \times 10^{-4}$  М (39.4 мг/л), такие растворы имели оптическую плотность около 1.0. Для растворов ДФПГР в метаноле был построен график линейной зависимости оптической плотности от концентрации ДФПГР. По этому графику определили величину молярного коэффициента поглощения  $\epsilon$ , который был равен 10010 л/моль см (толщина кюветы 1 см). По величине оптической плотности рассчитывали концентрацию остающегося радикала в модельных реакциях.

Для каждой серии изученных субстратов были получены кинетические кривые восстановления радикала компонентами субстратов в течение 2 ч (7200 с). По полученным данным построены графики зависимости степени восстановления ради-

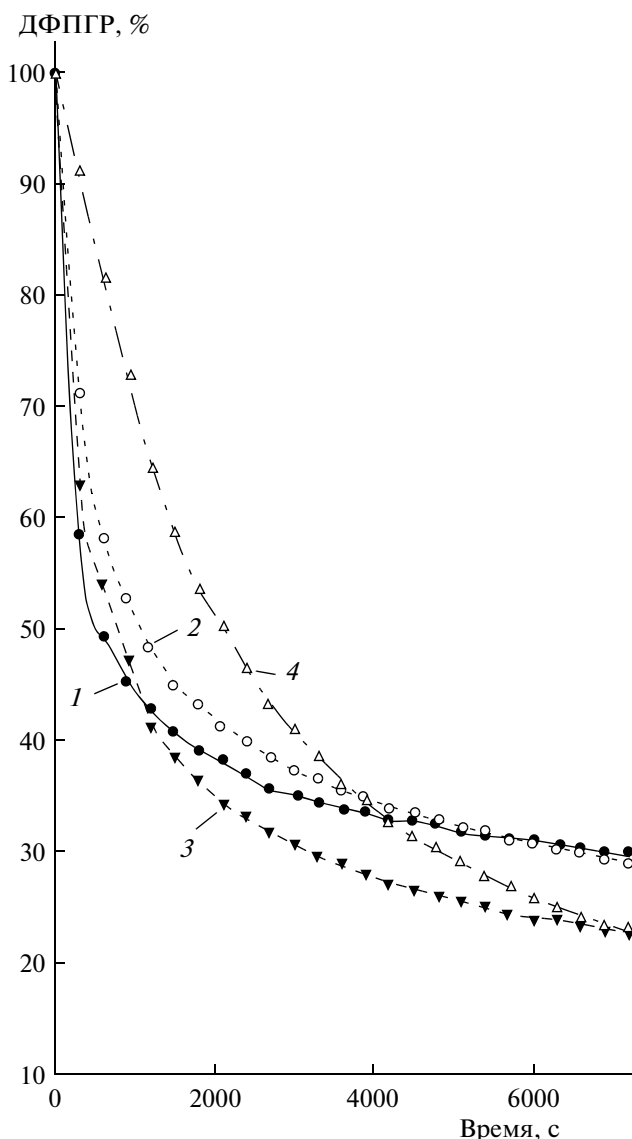
**Таблица 2.** Кинетические и физико-химические характеристики процесса восстановления дифенилпикрилгид-разил-радикала ионолом, компонентами сока, эфирного масла и олеорезина корня имбиря

Кинетические и физико-химические параметры реакции	Сок имбиря	Эфирное масло имбиря	Олеорезин имбиря	Ионол
Молекулярная масса (Мм) соединений с антирадикальной активностью, Д	394 (эквивалентна МмДФПГР)	204	394 (эквивалентна МмДФПГР)	220
Вариации концентраций, мг/л	20–10000	20–8000	2–500	1–100
Уравнение 1 (рис. 2)	$y = 94.5 - 0.0843x$ $R^2 = 0.8759$	$y = 97.4 - 0.07x$ $R^2 = 0.9553$	$y = 95.2 - 0.0767x$ $R^2 = 0.8863$	$y = 99.82 - 0.03x$ $R^2 = 0.9997$
Уравнение 2 (рис. 2)	$y = 36.92 - 0.001x$ $R^2 = 0.9889$	$y = 39.4 - 0.0015x$ $R^2 = 0.9901$	$y = 32.27 - 0.001x$ $R^2 = 0.9695$	$y = 43.53 - 0.003x$ $R^2 = 0.9890$
Содержание антирадикальных соединений, эквивалентноеДФПГР, нмоль/мл	63.77	61.86	68.82	62.49
“Эффективная” концентрация компонентов с высокой АРА в образцах, ммоль/г	$6.377 \times 10^{-3}$	$3.093 \times 10^{-3}$	3.441	6.249
Содержание антирадикальных соединений с высокой АРА в образцах, мкг/мл	25.13	12.61*	27.12	13.75*
Навеска образца, мкг/мл	10000	2000	20	10
Концентрация компонентов с высокой АРА в образцах, %	0.25	0.63*	135.6	137.5*
Время окончания первой стадии, с	691	849	835	2077
EC <sub>50</sub> , г/л	10	2	0.02	0.01
T <sub>50</sub> , с	600	1200	750	2100
AE, л/г с	$1.7 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$	$6.7 \times 10^{-2}$	$4.8 \times 10^{-2}$

\* Для соединений с Мм 204 и 220, соответственно.

кала за 30 мин от концентрации субстрата. Эти графики были линейны для всех субстратов, по ним определяли концентрацию субстрата, при которой степень восстановления радикала составляла 50% (EC<sub>50</sub>), полученные величины приведены в табл. 2. Как видно, эти концентрации были близки для олеорезина и ионола и существенно больше для эфирного масла и сока имбиря. На рис. 1 даны кинетические кривые для каждого из субстратов при концентрации, близкой к найденной EC<sub>50</sub>. Из кинетических кривых (рис. 1) видно, что реакция радикала с каждым образцом имела две фазы: первую – быструю, она заканчивалась тогда, когда самые активные антирадикальные компоненты полностью вступят в реакцию, и вторую медленную. Плавное уменьшение концентрации свободного радикала во второй фазе говорит о наличии в субстрате компонентов с низкой антирадикальной активностью. Если при наличии в системе свободных радикалов кинетическая кривая выходит на насыщение, это говорит о полном исчезновении антирадикальных веществ и о конце реакции, в этом случае можно рассчитать концентрацию активных соединений в изучаемом образце. Для других кривых, не выходящих на насыщение, концентрация антирадикальных веществ рассчитывается из их кинетической кривой по точке пересечения двух касательных – для быстрой и медленной фазы (рис. 2). Рассчитанные концентрации антиради-

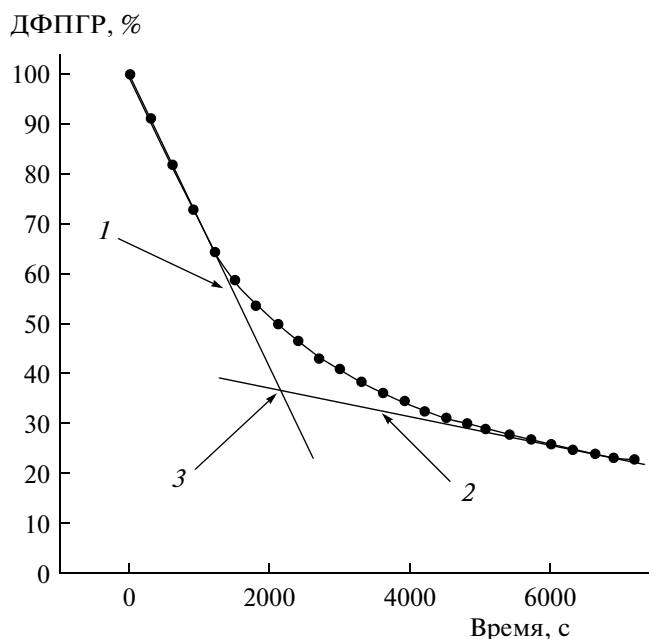
кальных компонентов в образцах (в единицах, эквивалентных концентрации радикала), а также время окончания первой быстрой стадии реакции приведены в табл. 2. Как видно, для всех четырех субстратов быстрая стадия приводила к практически одинаковому расходованию радикала, при этом время достижения конца этой стадии реакции для препаратов из имбиря было близким и составляло 691–835 с, а для ионола оно было значительно большим – 2077 с. По принятой классификации, если время реакции для достижения EC<sub>50</sub> больше 5 мин, такие антиоксиданты относятся к “средне-быстрым” [14–16]. Теоретически реакция является стехиометрической и пропорциональна количеству атомов водорода, вступивших в реакцию сДФПГ радикалом, то есть можно ожидать, что количество восстановленного радикала будет пропорционально концентрации компонента (или компонентов в случае смеси нескольких антиоксидантов) с антирадикальной активностью. В реальных системах картина намного сложнее: могут быть несколько антиоксидантов с различающейся активностью, или одна молекула антиоксиданта может иметь более, чем один элиминируемый атом водорода, во всех случаях протекает не одна, а несколько реакций, в которых также могут принимать участие и образующиеся продукты реакций. Примером может быть реакцияДФПГР с индивидуальным соединением ионолом (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолом), механизм



**Рис. 1.** Кинетические кривые восстановления дифенилпикрилгидразил-радикала компонентами сока 10 мг/мл (1), эфирного масла 2 мг/мл (2), олеорезина 20 мкг/мл (3), имбиря и ионолом 10 мкг/мл (4).

этой реакции подробно изучен в работе [14]. Было найдено, что одна молекула ионола может восстанавливать 2,8 молекул радикала, при этом образуются димеры ионола, молекулы со структурами хиноидов, продукты присоединения ионола к дифенилпикрилгидразилу и т.д. [14–16].

Для таких сложных систем, как экстракты растительного сырья, эфирные масла и олеорезины, имеющие многокомпонентный состав, молярное соотношение концентраций радикала и антиоксидантов является величиной не определяемой. При изучении свойств многокомпонентных смесей антиоксидантов суммарная картина становится очень сложной, поэтому практически невозможно определить кинетические и термодинамические параметры реакции каждого отдельного



**Рис. 2.** Графическое определение концентрации антирадикальных компонентов в природных экстрактах по кинетической кривой восстановления дифенилпикрилгидразил-радикала. Прямая 1 описывается уравнением 1, прямая 2 – уравнением 2 (в табл. 2).

компонента, но можно сравнить свойства всей системы с каким-то известным хорошо изученным индивидуальным антиоксидантом, например, ионолом. Для ионола можно рассчитать реальную эффективную концентрацию, так как он является индивидуальным компонентом с молекулярной массой 220 Да. Для эфирного масла имбиря можно допустить, что средняя молекулярная масса его компонентов была 204 Да, так как масло состояло на 80% из сесквитерпеновых углеводородов. Полученные эквивалентные концентрации антирадикальных соединений для всех образцов в нМ, а также реальные для эфирного масла и ионола мы привели к абсолютной величине навески и определили эквивалентную или “эффективную” концентрацию соединений с высокой антирадикальной активностью в соке, эфирном масле и олеорезине имбиря, в ионоле, а также реальную в эфирном масле и ионоле при допущении, что 1 моль антирадикального компонента взаимодействует с 1 моль радикала (табл. 2). Расчет показал, что в соке имбиря содержится около 0.25% антирадикальных соединений, в эфирном масле – 0.63%, в олеорезине – 135.6%. Низкую концентрацию антирадикальных соединений в субстрате не следует отождествлять с его низкой антирадикальной активностью. Действительно, из кинетических кривых (рис. 1), а также из величин коэффициентов в уравнении 1 (табл. 2) видно, что скорости первой стадии реакции для всех трех имбирных образцов были практически одинаковы и в 2–2.5 раза больше, чем скорость

реакции ионола, то есть соединения, содержащиеся в имбире по своим антирадикальным свойствам превосходили ионол. Для ионола и олеорезина имбиря мы получили концентрацию антирадикальных компонентов более 100%, это подтверждает сложный механизм этих реакций, приведенный в работе [14].

Для сравнения антирадикальных свойств таких сложных по составу и по механизму реакций смесей антиоксидантов предложено использовать величину  $EC_{50}$ , которая эквивалентна количеству субстрата, содержащего компоненты с антирадикальной активностью, необходимому для восстановления половины радикала [14–16]. Для наших систем мы выразили эти величины в мг/л (табл. 2). Полученные величины  $EC_{50}$  для олеорезина имбиря и ионола близки между собой и характерны для высокоактивных природных антиоксидантов. Однако этот тест имеет недостаток — отсутствие связи со временем реакции, поэтому предложено использовать другой тест, объединяющий время восстановления половины радикала и требуемую для этого концентрацию субстрата. Это величина антирадикальной эффективности (АЕ), которая рассчитывается по формуле, предложенной в работе [16]:

$$AE = 1/(EC_{50} \times T_{EC50}).$$

В результате проведенных расчетов получены величины антирадикальной эффективности АЕ (табл. 2). Как видно, ионол и олеорезин имбиря имели близкие значения антирадикальной эффективности, эти величины были на два порядка больше, чем таковые для эфирного масла и сока имбиря.

Полученные данные о содержании веществ с антирадикальной активностью в препаратах из имбиря можно было бы использовать для расчета скорости и константы скорости реакции на первой стадии, однако следует помнить, что полученные значения содержания компонентов с антирадикальной активностью условны и могут значительно отличаться от реальности, если учитывать химическую природу веществ, входящих в состав этих субстратов. Параметр АЕ является достаточным и вполне успешно используется для сравнения антирадикальных свойств растительных препаратов и оценки содержания в них антиоксидантов [17].

Изученное эфирное масло имбиря содержало только летучие соединения и было природной смесью монотерпеновых углеводородов, спиртов, цитраля и сесквитерпенов (состав приведен в табл. 1). Как видно, основными компонентами масла были сесквитерпеновые углеводороды: куркумен, зингиберен, фарнезен, бисаболен и сесквифелландрен, — их содержание в масле составляло более 80% (табл. 1). ГХ анализ модельных систем, содержащих продукты реакции свободного радикала с эфирным маслом имбиря, показал, что через 2 ч в реакционной смеси полностью отсутствовал гингерон, который явля-

ется замещенным фенолом и, вероятно, именно он обеспечивал быструю первую фазу реакции. Более того, рассчитанная по кинетическим характеристикам этой фазы “эффективная” концентрация компонента с антирадикальной активностью (0.63%, табл. 2) была близка к концентрации гингерона в эфирном масле (0.87%, табл. 1). Более медленная фаза реакции, вероятно, проходила с участием зингиберена и других сесквитерпеновых углеводородов, содержание которых монотонно уменьшалось: через 72 ч после начала реакции содержание зингиберена в модельной системе уменьшилось в 5 раз. Способность зингиберена и других сесквитерпеновых углеводородов ингибировать автоокисление низших альдегидов в модельных системах было показано нами ранее [18]. Механизм этих реакций близок к механизму реакции  $\gamma$ -терпинена со свободным радикалом, который детально изучен в работе [19].

Олеорезин имбиря был получен экстракцией этилацетатом, в нем содержалось около 30% эфирного масла, состав которого приведен в табл. 1. Как видно из табл. 1, состав летучих веществ олеорезина имбиря соответствовал составу эфирного масла и содержащиеся в нем антиоксиданты участвовали в реакции с ДФПГР, но вклад этих соединений был незначителен. Около 70% веществ в олеорезине имбиря были нелетучие ди- и тритерпеноиды, стероиды, флавоноиды, замещенные метоксифенолы и другие соединения, состав которых полностью не известен [10]. В одной из последних работ [20] в корневище свежего имбиря найдено 42 соединения, большая часть которых относится к метоксифенолам с различными заместителями, их называют гингеролами и гингеронами. Эти метоксифенолы с боковыми углеводородными заместителями с 4–18 атомами углерода, одной или двумя спиртовыми или кетонными группами придают имбирю и его олеорезину жгучий вкус. Ранее сообщалось, что в метанольном экстракте корня имбиря содержалось около 4 мг/г флавоноидов и около 12 мг/г замещенных метоксифенолов [21]. В высушенном корне имбиря в зависимости от вида и условий выращивания найдено от 0.4 до 3.2 мг/г флавоноидов: кверцетин, эпикатехин, катехин, каемпферол, фисетин и морин [5]. Многие из этих веществ переходят в экстракты, поэтому олеорезин имбиря является очень сложной многокомпонентной смесью веществ, в том числе флавоноидов и метоксифенолов, которые, как известно, являются эффективными природными антиоксидантами. Наличие этих веществ в олеорезине имбиря обеспечивает ему высокую антирадикальную активность. Кроме того, эти соединения обладают также другими видами биологической активности, благотворно влияют на здоровье людей и на продолжительность их жизни.

Сок свежего имбиря содержал все компоненты эфирного масла и олеорезина имбиря, но в меньшей концентрации, поэтому суммарная кажущаяся

яся антирадикальная активность была невысокой. Из кинетических кривых для всех препаратов из имбиря видно, что скорость первой стадии реакции с радикалом была одинаковой, и она была больше, чем для ионола. Основное различие между препаратами имбиря и ионолом было во второй, медленной фазе реакции, которая выходила на плато только через 3–4 сут проведения реакции для имбиря и через 5 ч для ионола. Наличие длительного, то есть пролонгированного антирадикального действия, которое характерно для многих сложных по составу природных экстрактов с антиоксидантной активностью является с нашей точки зрения огромным достоинством таких препаратов. Одна из важнейших задач современной фармакологии как раз и состоит в разработке препаратов пролонгированного действия. Для этого изобретают специальные сложные формы лекарственных средств, способы сохранения, доставки и высвобождения действующих веществ, снижения их суточной дозы, обеспечения и поддержания постоянной концентрации в крови без пиковых колебаний, снижения побочного действия. Всеми такими качествами обладают многие растительные препараты, которые в то же время требуют тщательного изучения состава и свойств, восстановления опыта их использования в течение столетий и выявления новых полезных свойств.

На основании полученных в работе результатов можно сделать вывод, что среди натуральных природных продуктов можно найти большое число препаратов (экстрактов, эфирных масел), способных с успехом заменить синтетические антиоксиданты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gate L., Ba G.N., Tew K.D., Tapiero H. // *Biomed. Pharmacother.* 1999. V. 53. P. 169–180.
2. Namiki M. // *Crit. Rev. Food Sci. Nutrition.* 1990. V. 29. P. 273–300.
3. Mates M. // *Toxicology.* 2000. V. 153. P. 83–104.
4. Butt M.S., Sultan M.T. // *Clinit. Rev. Food Sci. Nutrition.* 2011. V. 51. P. 383–393.
5. Rahman S., Salehin F., Iqbal A. // *BMC Complementary and Alternative Medicine.* 2011. V.11. P. 76–83.
6. Jennings W., Shibamoto T. // *Qualitative Analysis of the Flavor and Fragrance Volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography.* New-York: Acad. Press, 1980. P. 130–154.
7. Davies N.M. // *J. Chromatogr.* 1990. V. 503. № 1. P. 1–24.
8. Astley S.B. // *Trends Food Sci. Technol.* 2003. V. 14. P. 93–98.
9. *Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability* / Ed. R.G. Berger. New York: Springer Verlag, 2007. P. 43–116.
10. Funk J.L., Frye J.B., Oyarzo J.N., Timmermann B.N. // *J. Nat. Prod.* 2009. V. 72. № 3. P. 403–407.
11. Chen Ch., Kuo M., Wu Ch., Ho Ch. // *J. Agric. Food Chem.* 1986. V. 34. № 2. P. 477–480.
12. Kikuzaki H., Natakani N. // *J. Food Sci.* 1993. V. 578. P. 1407–1410.
13. Aruoma O.I., Spencer J.P., Warren D., Jenner P., Butler J., Halliwell B. // *Food Chem.* 1997. V. 60. P. 149–156.
14. Bondet V., Brand-Williams W., Berset C. // *Lebenm. Wiss. Technology.* 1997. V. 30. P. 609–615.
15. Huang D., Ou B., Prior R.L. // *J. Agric. Food Chem.* 2005. V. 53. № 6. P. 1841–1856.
16. Sanchez-Moreno C., Larrauri J.A., Saura-Calixto F. // *J. Sci. Food Agric.* 1998. V. 76. P. 270–276.
17. Волков В.А., Дорофеева Н.А., Пахомов П.М. // *Химико-фармац. журнал.* 2009. Т. 43. № 6. С. 27–31.
18. Мишарина Т.А., Теренина М.Б., Крикунова Н.И. // *Прикл. биохимия и микробиол.* 2009. Т. 45. № 6. С. 710–716.
19. Foti M.C., Ingold K.U. // *J. Agric. Food Chem.* 2003. V. 51. № 9. P. 2758–2765.
20. Feng T., Su J., Ding Z.-H., Zheng Y.-T., Li Y., Leng Y., Liu J.-K. // *J. Agric. Food Chem.* 2011. V. 59. № 21. P. 11690–11695.
21. Ghasemzadeh A., Jaafar H.Z.E., Rahmat A. // *Molecules* 2010. V. 15. P. 4324–4333.

## Comparison of the Antiradical Activity of Ionol, Components of Fresh Ginger, and Its Extracts

E. S. Alinkina, T. A. Misharina, L. D. Fatkullina, and E. B. Burlakova

*Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119334 Russia*

*e-mail: tmish@rambler.ru*

Received November 30, 2011

**Abstract**—The antiradical properties of three samples of ginger (*Zingiber officinale* R.)—juice from fresh rhizome, essential oil, and extracts (oleoresin)—were studied and compared with the properties of synthetic antioxidant ionol (butylatedhydroxy-toluene, BHT). Reaction antioxidants with stable free 2,2-diphenyl-1-picrylhydrozyl radicals were used as model systems. DPPH equivalents per gram of ginger sample, EC<sub>50</sub>, and antiradical efficiency (AE) were determined. The EC<sub>50</sub> and AE values for ginger oleoresin and BHT were similar. They were the same as those of highly active natural antioxidants, and the values for essential oil and ginger juice were lower by two orders of magnitude. On the base of kinetic parameters, the ginger samples may belong to antiradical compounds with prolonged action.