

КИНЕТИКА СОВМЕШНОГО АНТИОКСИДАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Л. Р. ВАРДАՅԱՆ, Տ. Ա. ԱՅՐԱՓԵՅԱՆ և Ր. Լ. ՎԱՐԴԱՅԱՆ

Горисский государственный университет
Армения, 3205, Горис, ул. Авангарда, 4
E-mail: vrazmik@rambler.ru

Поступило 1 IX 2016

На примере 15 лекарственных растений исследовано антиоксидантное действие индивидуальных экстрактов и их смеси на кинетику окисления кумола. Показано, что все исследованные экстракты проявляют антиоксидантные свойства. Определены эффективные содержания антиоксидантов в каждом экстракте и их антиоксидантные активности – константы скорости реакции $InH + RO_2^{\cdot} \rightarrow In^{\cdot} + ROOH$.

Выявлен эффект антагонизма и синергизма в совместном ингибирующем действии экстрактов. Максимальный эффект синергизма проявился в смеси экстрактов из листьев и плодов ирги круглолистной (110%), а антагонизма – в смеси экстрактов из листьев спиреи Вангутта и василька лугового (-57%). Эффект аддитивности проявили смеси экстрактов из герани кроваво-красной + клевер белый и смолевка белая + кипрей узколистый.

Рис. 4, табл. 4, библи. ссылок 19.

Для стабилизации пищевых продуктов, косметических масел, фармацевтических препаратов и других легкоокисляющихся органических веществ от окислительных стрессов все более широко используют экстракты и эфирные масла растительного происхождения. Известно, что эти вещества являются многокомпонентными системами, из которых антиоксидантными свойствами обладают флавоноиды, низкомолекулярные фенолы, витамины А, Е, С и другие соединения (дубильные вещества, каротиноиды). Из литературы [1-5] известно, что смеси этих компонентов могут привести к эффектам синергизма или же антагонизма торможения окислительного процесса.

На практике в кулинарии, косметике и медицине часто используют смеси экстрактов различных лекарственных растений. Какие антиокси-

дантные (АО) свойства будут проявлять эти смеси, остается не выясненными. Эффект синергизма антиоксидантных смесей до настоящего времени в основном выявляют экспериментальным путем. Несмотря на существующие классификации синергизма [6-8], отсутствуют научно обоснованные критерии, позволяющие на основании представленных о химическом строении составляющих АО однозначно прогнозировать явление аддитивности, синергизма или антагонизма в совместном действии экстрактов. В связи с этим с целью поиска смеси экстрактов, обладающей наибольшим антиоксидантным действием, для каждой смеси экстрактов необходимо экспериментальное исследование ее АО действия. На основании этих данных представляется возможным прогнозировать действие смесей экстрактов, а также обеспечить высокую эффективность их ингибирования и возможность при их малых количествах безвредное использование в пищевых и лечебных целях.

Ранее в работах [9-12] нами были исследованы АО свойства экстрактов более 150 лекарственных растений. Определены эффективные, суммарные содержания АО в экстрактах. При этом не учитывались возможности факта синергизма или же антагонизма отдельными компонентами, содержащимися в исследованных экстрактах. В данной работе представлены результаты исследования совместного действия экстрактов различных лекарственных растений в качестве АО.

Экспериментальная часть

АО свойства экстрактов и их смесей исследовали в модельной реакции инициированного окисления кумола. В качестве инициатора свободных радикалов служил азодиизобутиронитрил (АИБН), растворителем – хлорбензол. Сбор сырья осуществляли в фазе цветения растений в окрестностях г. Гориса Республики Армения (1650 м н.у.м.). Сушку сырья и экстракцию проводили по стандартной методике [13] при комнатной температуре. В качестве экстрагента использовали этилацетат.

Использованные реактивы кумол, АИБН, хлорбензол, этилацетат очищались по методике, описанной в [14]. Концентрация кумола во всех опытах составляла 2.87 моль/л. В исследованных смесях кумол-АИБН-хлорбензол-экстракт изменяли абсолютные количества и соотношения экстрактов. При этом по периодам индукции поглощения молекулярного кислорода количественно оценивали действие как индивидуальных экстрактов, так и их бинарных смесей. Список используемых экстрактов приведен в табл. 1.

Для оценки действия двух типов экстрактов как АО сопоставляли между собой сумму периодов индукции ($\Sigma \tau_i$) окисления отдельных экстрактов (аддитивное действие) и брутто-эффективности их смесей

(τ_{Σ}), τ – период времени индукции реакции, после которого скорость протекания реакции существенно убыстряется. В тех случаях, когда получали $\tau_{\Sigma} = \Sigma \tau_i$, имели дело с аддитивным действием экстрактов как АО. В случае же когда $\tau_{\Sigma} > \Sigma \tau_i$, представлялся как эффект синергизма. Если же совместное действие двух экстрактов было меньше, чем сумма эффектов ингибирования отдельных экстрактов $\tau_{\Sigma} < \Sigma \tau_i$, то делали заключение о проявлении антагонизма в совместном действии экстрактов. Эффект синергизма (или же антагонизма) оценивали по разности $\Delta\tau = \tau_{\Sigma} - \Sigma \tau_i$, либо отношением $\frac{\Delta\tau}{\Sigma \tau_i} \cdot 100\%$.

Результаты и их обсуждение

Прежде чем исследовать совместное действие экстрактов на примере модельной реакции окисления кумола, исследовали антиоксидантные свойства отдельных экстрактов лекарственных растений. Опыты показали, что все исследованные экстракты проявляют АО свойства. В их присутствии на кинетических кривых поглощения кислорода появляются четко выраженные периоды индукции (рис.1), которые описываются уравнением 1 (рис. 2):

$$\tau = f \cdot [InH]_0 / V_i, \quad (1)$$

где f – стехиометрический коэффициент ингибирования – число свободных радикалов, гибнущихся на молекуле АО; $[InH]_0$ – суммарное эффективное содержание АО в данной навеске экстракта; V_i – скорость инициирования первичных радикалов, по которой вычисляли содержание АО веществ. Поскольку в исследованных экстрактах вследствие их сложного многокомпонентного состава не идентифицировано, какое именно соединение проявляет АО свойства, определяли эффективную концентрацию антиоксидантов $f \cdot [InH]$ (табл. 1).

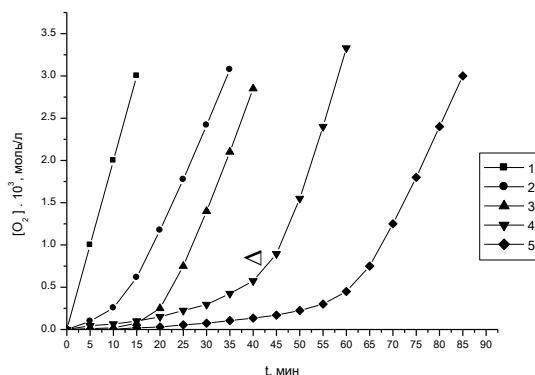


Рис. 1. Кинетические кривые поглощения кислорода при окислении кумола в отсутствие (1) и в присутствии экстракта листьев кипрея узколистного (2; 5.99 мг), ирги круглолистной (3; 3.9 мг), резака обыкновенного (4; 4.0 мг) и клевера белого (5; 3.5 мг). Объем реакционной смеси 5 мл. Скорость инициирования $V_i = 1.25 \cdot 10^{-7}$ моль/л·с, $T = 348$ К.

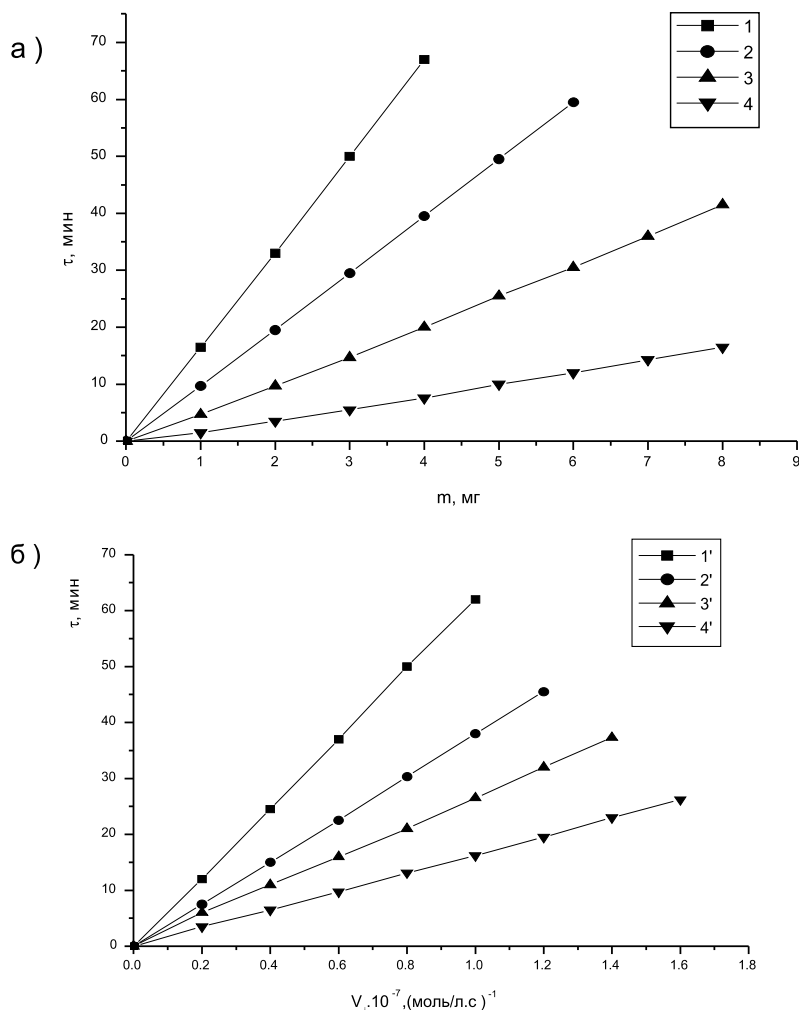
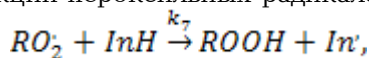


Рис. 2. Зависимость периодов индукции поглощения кислорода при окислении кумола: а). от содержания экстракта листьев клевера белого (1), резака обыкновенного (2), ирги круглолистной (3), кипрея узколистного (4) при $V_i = 1.25 \cdot 10^{-7}$ моль/л·с; б). от скорости инициирования (1' - 2.93 мс; 2' - 3.1 мс; 3' - 4.13 мс; 4' - 6.75 мс). Т = 348 К.

Необходимо отметить, что АО свойства веществ в экстрактах растений зависят не только от их количественного содержания, но и от активности, которая характеризуется в цепной реакции окисления константой скорости реакции пероксильных радикалов с ингибитором:

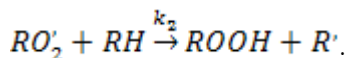


т.е. линейного обрыва цепей (k_7) (обозначена согласно общепринятой схеме цепного окисления [15]).

Значение k_7 определяли согласно уравнению [16]:

$$\Delta[O_2] = -\frac{k_2}{k_7}[RH]\ln(1 - t/\tau), \quad (2)$$

где $\Delta[O_2]$ — количество поглощенного кислорода за время реакции, t — время реакции, $t < \tau$, τ — период индукции, $[RH]$ — исходная концентрация кумола, $k_2 = 4.677 \cdot 10^6 \exp\left(-\frac{9800}{RT}\right)$ л/моль·с — константа скорости реакции продолжения цепей (энергия активации выражена в кал) [17]



Для иллюстрации на рис. 3 представлены зависимости $\Delta[O_2]$ от $\ln(1 - t/\tau)$ при окислении кумола в присутствии экстрактов лекарственных растений. По тангенсу углов наклона полученных прямых согласно уравнению (2) рассчитали эффективные значения k_7 , характеризующие АОА ингибиторов, содержащихся в исследованных экстрактах (табл. 1).

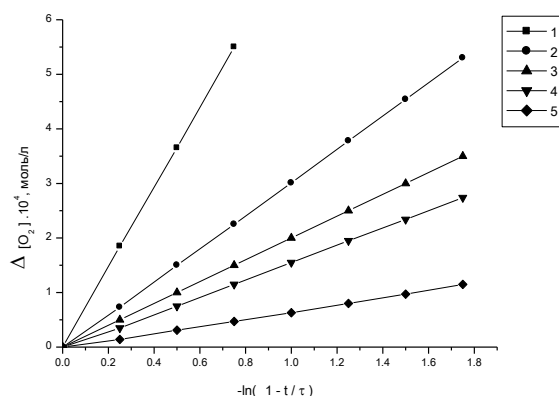


Рис. 3. Зависимость количества поглощенного кислорода при окислении кумола в периоде индукции реакции в присутствии экстракта из цветков василька лугового (1), листьев резака обыкновенного (2), кипрея узколистного (3), клевера белого (4) и ирги круглолистной (5). $T = 348$ К.

Из данных таблицы следует, что из исследованных экстрактов в наибольшем количестве АО (в пересчете на 1 мг экстракта) содержится в листьях василька лугового и клевера белого ($1.3 \cdot 10^{-4}$ моль/л), а по АОА выделяется экстракт из листьев ирги круглолистной ($k_7 = 1.41 \cdot 10^4$ л/моль·с).

Как представлено во введении статьи, экстракты растений представляют собой многокомпонентные системы, содержащие множество АО соединений. Измеренные нами величины $f \cdot [InH]_0$ характеризуют эффективное количество АО в экстрактах лекарственных растений, поскольку смеси АО могут привести к явлениям синергизма или же антагонизма. Для проверки этого исследовали АО свойства смеси экстрактов различных растений на кинетику реакции окисления кумола. С этой целью измеряли суммы величин периодов индукции как для индивидуальных ($\Sigma \tau_i$), так и для смеси (τ_Σ) экстрактов растений.

Таблица 1

Содержание антиоксидантов и антиоксидантная активность экстрактов исследованных растений, T=348K.

№	Название растения	Орган растения	Время сбора	Содержание АО в 1 мг экстракта $f[\ln H] \cdot 10^4$ моль/л	АОА					
					$k_1 \cdot 10^{-4}$ л/моль·с	lgA л/моль·с	Е кал/моль	$k_{11} \cdot 10^2$ л/моль·с	lgA л/моль·с	Е кал/моль
1	хоботник восточный (ХВ) Rhynchocorys orientalis	листья	10.06	0.248	2.27	10.23	9350	3.68	5.98	5440
2	василек подделенный (ВП) Psephellus dealbatus	листья	10.06	1.165	1.45	8.73	7280	3.53	8.47	9420
3	клевер белый (КБ) Trifolium repens	листья	10.06	1.297	5.88	8.25	5540	3.85	7.11	7210
4	герань кроваво-красная (ГК) Geranium sanguineum	листья	10.06	0.645	7.95	11.71	10850	5.84	7.44	7440
5	таволга обыкновенная (ТО) Filipendula vulgaris	трава	10.06	1.097	0.80	8.12	6710	0.96	5.37	5400
6	василёк луговой (ВЛ) Centaurea jacea	цветы	10.06	1.296	3.00	9.85	8560	2.56	7.98	7290
7	спирея Вангутта (СВ) Spiraea × vanhouttei	листья	10.06	0.17	—	—	—	—	—	—
8	скупция кожаная (СК) Cotinus coggygria	листья	10.06	0.18	6.04	12.74	12675	6.51	8.45	8970
9	ирга круглолистная (ИК) Amelanchier ovalis	листья	15.08	0.39	14.12	9.95	7640	2.55	7.53	8160
		цветы	15.08	0.20	3.68	10.36	9220	2.77	4.20	2800

Продолжение таблицы 1

10	щавель красный (ЩК) Rumex sanguineus	листья	15.08	1.050	5.32	9.89	8220	3.85	5.17	4250
		цветы	15.08	0.80	4.75	13.07	13360	0.94	7.05	8080
11	кипрей узколистный (КУ) Chamerion angustifolium	трава	15.08	0.075	4.71	7.63	4710	10.62	6.55	5620
12	смолевка белая Silene latifolia	трава	10.06	0.39	8.72	10.11	8230	1.00	6.40	7000
13	резак обыкновенная (РО) Falcaria vulgaris	листья	28.04	0.75	3.14	12.42	12600	2.28	7.89	9430
14	подорожник узколистный (ПУ) Plantago lanceolata	листья	10.05	0.24	6.39	8.87	6480	2.79	7.32	7760
15	калина обыкновенная (КО) Viburnum opulus	листья	25.05	0.29	2.94	—	9200	2.12	5.58	5180
		цветы	25.05	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Совместное действие этилацетатных экстрактов растений на величину периода индукции реакции окисления кумола.

$$V_i = 1.25 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}\cdot\text{с}, T=348 \text{ К.}$$

	Название растения	Навеска экстракта, <i>m</i> , мг	τ_i , мин	$\Sigma\tau_i$, мин	τ_{Σ} , мин	$\Delta\tau$, мин	$\frac{\Delta\tau}{\Sigma\tau_i} \cdot 100\%$
1	(ХВ) + (ВП)	1.16 + 2.06	2; 30	32	16	-16	-50.00
2	(ГК) + (КБ)	2.325 + 1.3875	20; 24	44	42	-2*	-4.76
3	(ТО) + (ГК)	2.94 + 2.325	43; 20	63	49	-14	-43.39
4	(ТО) + (ВЛ)	2.94 + 2.025	43; 35	78	70	-8	-10.25
5	(СВ) + (ВЛ)	3.30 + 2.025	7; 35	42	18	-24	-57.14
6	(ВЛ) + (ИК)листья	4.05 + 3.867	70; 20	90	52	-38	-42.22
7	(ВЛ) + (ИК)плоды	4.05 + 6.416	70; 18	88	110	22	20.00
8	(ИК)листья + (ИК)плоды	3.867 + 3.208	20; 9	29	60	31	106.89
9	(ИК) + (ЩК)цветы	2.25 + 1.6875	5; 18	23	28	5	24.74
10	(ЩК)цветы + (КУ)	2.0 + 1.6875	5; 18	23	18	-5	-21.74
11	(СВ) + (КУ)	3.45 + 2.0	18; 5	23	21	-2*	-8,69

* — Учитывая, что периоды индукции реакции измерялись с точностью ± 1 мин, то для этих смесей предполагали, что имеем дело с эффектом аддитизма.

Результаты исследований приведены в табл. 2, из которой следует, что смеси экстрактов разных растений проявляют разные эффекты ингибирования: синергизм, антагонизм и аддитивность. При этом чаще всего использованные смеси приводят к эффекту антагонизма. Синергизм обнаружен при использовании смеси экстрактов листьев + плодов ирги круглолистной и цветков шавеля + плодов ирги.

Учитывая, что в наибольшей степени антагонизм торможения цепной реакции (**> 50%**) проявляла смесь экстрактов листьев хоботника восточного (ХВ) и василька Псефлюса (ВП), а синергизм (**> 100%**) – экстракты листьев + плодов ирги, более детально изучали эти смеси. Результаты этих исследований приведены в табл. 3 и 4 и на рис. 4 а) и б), откуда следует, что эффект синергизма смесью экстрактов листьев и плодов ирги составляет более 110%, антагонизм смесью экстрактов ХВ и ВП – 60%.

Таблица 3

Зависимость величины синергического АО эффекта от содержания экстрактов листьев и плодов ИК в реакции окисление кумола
($V_i = 1.25 \cdot 10^{-7}$ моль/л·с, T=348K)

m _{мг}	листья	13.4	11.4	9.4	7.3	4.8	3.7	1.4	0
	плоды	0	2.0	4.0	6.1	8.6	9.7	12.0	13.4
$\Sigma \tau_{i, \text{ мин}}$		69	64	59	54	48	45	40	37
$\tau_{\Sigma, \text{ мин}}$		—	84	101	114	90	70	50	—
$\Delta \tau, \text{ мин}$		0	20	42	60	42	25	10	0
$\frac{\Delta \tau}{\Sigma \tau_i} \cdot 100\%$		0	31.25	71.19	111.1	87.50	55.55	25.00	0

Таблица 4

Зависимость величины антагонического эффекта от содержания экстрактов листьев ХВ и ВП в реакции окисления кумола
($V_i = 1.25 \cdot 10^{-7}$ моль/л·с, T=348K)

m _{мг}	ХВ	0	0.52	1.16	2.32	3.06	3.82	4.12
	ВП	4.12	3.6	2.96	1.8	1.06	0.30	0
$\Sigma \tau_{i, \text{ мин}}$		60	53	45	31	22	12	9
$\tau_{\Sigma, \text{ мин}}$		—	42	28	14	10.5	10	—
$\Delta \tau, \text{ мин}$		0	-11	-27	-17	-11.5	-2	0
$\frac{\Delta \tau}{\Sigma \tau_i} \cdot 100\%$		0	20.75	60.00	54.84	52.27	16.67	0

Обнаруженный эффект синергизма можно объяснить тем, что как листья, так и плоды ирги содержат каротиноиды, катехины, полифенолы, в том числе и флавоноиды (FlOH), которые и проявляют АО

действие на кинетику окисления кумола. В плодах ирги содержится сравнительно большое количество (24 мг%) аскорбиновой кислоты (АКН) [18], которая и является причиной регенерации FLOH, что и приводит к явлению синергизма. Явление синергизма, объясняющее регенерацию АО с большой АО емкостью, в частности флавоноидов, представлено в работе [4].

При этом эффект синергизма объясняется протеканием следующих реакций [6]:

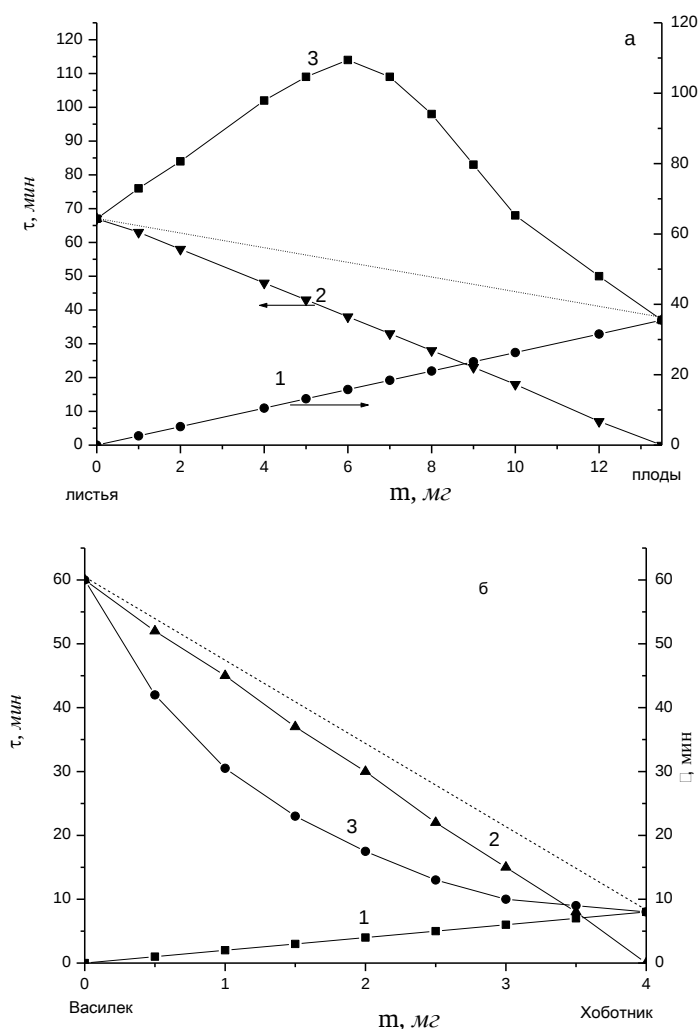
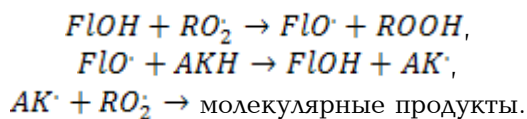
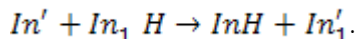


Рис. 4. а) и б). Зависимость периодов индукции поглощения кислорода при окислении кумола от содержания экстрактов: а) плодов (1) и листьев (2) ирги и их смеси (3), б)

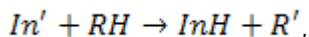
листьев хоботника восточного (1), василька псефлюса (2) и их смеси (3). Пунктирная линия показывает аддитивизм действия экстрактов. $V_i = 1.25 \cdot 10^{-7}$ моль/лс, $T = 348$ К.

Эффект антагонизма в смеси, возможно, связан с несколькими причинами.

1. При окислении незранированных АО образуются достаточно активные радикалы (In'), которые участвуют в обменной реакции с активными ингибиторами (In_1H), способствуя их дополнительному расходованию:



2. Незранированный фенокислительный радикал проявляет достаточно высокую активность в реакциях с субстратом окисления — кумолом:



что приводит к дополнительному иницированию и соответственно уменьшению τ (см. ур.1).

3. В исследованных смесях ОН (или другие) группы могут образовывать водородную связь с ОН-группой АО, что исключает ее участие в реакции с пероксильными радикалами [19], ведущими окисление.
4. Свободные радикалы из двух разных АО (In'_1 и In'_2) расходуются в реакции перекрестного обрыва, что приводит к уменьшению емкости АО:



Аддитивное действие смеси экстрактов можно объяснить следующими причинами.

1. Антиоксиданты, содержащиеся в смеси экстрактов, принимают участие в реакции с пероксильными радикалами своеобразно индивидуально и не влияют на действие друг друга.
2. Возможно, в этих экстрактах содержатся одни и те же АО.

В заключение следует отметить: определены эффективные содержания АО в экстрактах 15 разных лекарственных растений, произрастающих в Горисском регионе Армении; изучено совместное АО действие исследованных экстрактов; обнаружены эффекты аддитивизма, антагонизма и синергизма; смеси экстрактов из листьев хоботника восточного и василька псефлюса приводят к эффекту антагонизма, достигающего 60%; показано, что экстракты листьев и плодов ирги образуют синергические смеси, эффективность которых составляет 110%.

ԲՈՒՍԱԿԱՆ ԷՔՍՏՐԱԿՏՆԵՐԻ ՆԱԽԱՏԵՂ ՆԱԿԱՕՔՍԻԴԻԶ ԱՉԴԵՅՈՒԹՅԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ

Լ. Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ս. Ա. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ և Ռ. Լ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Տաանհինգ ղեղաբույսերի օրինակի վրա հետազոտվել է դրանցից ստացված առանձին էքստրակտների և դրանց խառնուրդների ազդեցությունը՝ կումոլի օքսիդացման կինետիկայի վրա: Ցույց է տրվել, որ հետազոտված բոլոր էքստրակտները ցուցաբերում են հակաօքսիդիչ հատկություններ: Որոշվել է հակաօքսիդիչների էֆեկտիվ պարունակությունը և դրանց հակաօքսիդիչ ակտիվությունը՝ ռեակցիայի արագության հաստատունը:

Հաստատվել է ղեղաբույսերի էքստրակտների համատեղ ինհիբիթոր ազդեցության ընթացքում սիներգիզմի և անտագոնիզմի էֆեկտը: Առավելագույն սիներգիզմի էֆեկտ ցուցաբերել է քարազկեռ կլորատերևի տերևներից և պտուղներից ստացված էքստրակտների խառնուրդը, իսկ անտագոնիզմի էֆեկտ՝ Վանգուտտի ասպիրակի և տերեփուկ կլորատերևի տերևներից ստացված էքստրակտների խառնուրդը: Ադիտիվության էֆեկտ ցուցաբերել են խորդենի արնակարմրից և երեքնուկ սպիտակից ստացված էքստրակտների, ինչպես նաև ծծվուկ սպիտակից և շահարակ նեղտերևից ստացված էքստրակտների խառնուրդը:

KINETICS OF JOINT ANTIOXIDANT ACTION OF EXTRACTS OF MEDICINAL PLANTS

L. R. VARDANYAN, S. A. HAYRAPETYAN and R. L. VARDANYAN

Goris State University
4, Avantgarde Str., Goris, 3205, Armenia
E-mail: vrazmik@rambler.ru

The antioxidant action of individual extracts of 15 medical herbs and their mixtures on the kinetics of cumene oxidation was investigated. It was demonstrated that all investigated extracts had antioxidant properties. The effective contents of antioxidants in each extract and their antioxidant activity, e.g. constants of the reaction rate ($RO_2 + InH \xrightarrow{k_7} ROOH + In^{\cdot}$) were determined.

The effect of antagonism and synergism in the joint inhibitory action of extracts was revealed. The maximal effect of the synergism was demonstrated in the mixture of extracts from leaves and fruits of *Amenlanchier ovalis* (110%), and the effect of antagonism was evident in the mixture of extracts from the leaves of *Spiraea vanhouttei* and *Centaurea jacea* (-57%). The effect of additivity was revealed in the mixture of extractions from *Geranium sanguineum* and white clever and in the mixture of extracts of *Trifolium repens* + and *Silene latifolia* + *Chamerion angustifolium*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бурлакова Е.Б., Храпова Н.М. // Биологические мембраны, 1999, т.7, с. 612.
- [2] Hudson B.J., Chavan M. // Lebensm., Wiss Technol., 1984, v. 17, p. 173.
- [3] Hudson B.J., Mahgoub S.E. // J. Sci., Food and Agr., 1981, v. 32, №2, p. 208.
- [4] Кочарян Г.Г., Минасян С.Г., Манукян З.О., Тавадян Л.А. // Хим. ж. Армении, 2016, т. 69, с. 22.
- [5] Варданян Р.Л., Ванесян А.Г., Айвазян Т.М., Тигранян А.В. // ДАН СССР, 1979, т.5, с. 1144.

- [6] Карпущина Г.В., Эмануэль Н.М. // ДАН СССР, 1984, т. 276, №5, с. 1163.
- [7] Parcer J.E., Slater T.E., Vilson R.L. // Nature, 1979, v. 278, №5706, p. 737.
- [8] Перевозкина М.Г. Тестирование антиоксидантной активности полифункциональных соединений кинетическим методом. Новосибирск. СБАК, 2017, 240с.
- [9] Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. М., Мир, 1965, 375 с.
- [10] Айрапетян С.А., Варданыан Л.Р., Варданыан Р.Л. // Хим. ж. Армении, 2015, т. 68(1), с. 40.
- [11] Варданыан Л.Р., Шутова А.Г., Айрапетян С.А., Варданыан Р.Л., Агабеков В.Е., Решетников В.Н. // ДНАН Беларуси, 2013, т. 57, №5, с. 72.
- [12] Шутова А.Г., Айрапетян С.А., Варданыан Л.Р., Варданыан Р.Л., Агабеков В.Е. // Вестник Арцахского государственного университета, 2013, №1-27, с. 78.
- [13] Коницев А.С., Баурин П.В. // Вестник МГОУ, сер. естеств. науки, 2011, №3, с. 49.
- [14] Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М., Мир, 1976, 514 с.
- [15] Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности (Свободные радикалы и цепные реакции). 2-е изд. / перераб. и доп., М., Изд. АН СССР, 1958, 686 с.
- [16] Денисов Е.Т., Азатян В.В. Ингибирование цепных реакций, Черногловка, 1997, с. 51.
- [17] Денисов Е.Т. Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций, М., Наука, 1971, 712 с.
- [18] Мартынова Е.Г. // Российский медико-биологический вестник им. И.П. Павлова, 2006, №3, с. 43.
- [19] Kocharyan G.H., Minasyan S.H., Tawadyan L.A. // Proc. of the YSU, Chemical and biological Sciences, 2016, №1, 49.