

Х И М И Я

УДК 544.4:542.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ БИОМЕМБРАН

© 2008 г.

В.В. Крайник, Л.А. Журавлева, В.Н. Ушкалова

Сургутский госуниверситет ХМАО-Югры

kraynikvika@mail.ru

Поступила в редакцию 23.07.2008

Приведены результаты разработки биоадекватной кинетической модели тестирования антиоксидантов. Путем исследования мицеллообразования и кинетики каталитического окисления водно-липидных субстратов подобран оптимальный состав компонентов системы, изучена кинетика окисления координационных соединений меди(II) с аминокислотами в зависимости от природы лигандов. Модель апробирована на примере стандартного ингибитора ионола (2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенола).

Ключевые слова: антиоксидант, липид, биомембрана.

Введение

Известно [1–3], что кислород в клетках животных расходуется на завершающем этапе «дыхательной цепи», восстанавливаясь до воды. В работах Н. Баха и К. Энглера показано расхождение кислорода для пластических целей, например гидроксигирования ксенобиотиков. В последние 50 лет, в связи с развитием теории цепных процессов окисления, большое внимание уделяется исследованию механизма пероксидного окисления липидов (ПОЛ) в биомембранах, развития многих патологий за счет нарушения их проницаемости и торможения этих процессов. Наиболее изучено ПОЛ в мембранах эндоплазматического ретикулаума путем гомогенизации тканей с образованием микросом. Доказано участие в этих процессах цитохрома С совместно с флавопротеином и цитохрома Р-450.

Механизм активации окисления ненасыщенных жирных кислот, участвующих в ПОЛ, обычно связывают с действием восстановленного железа цитохромов. Между тем во многих окислительных системах клетки обнаружены катионы меди. Например, цитохромоксидаза (aa₃) содержит две молекулы гема с двумя ионами меди. Медь содержится в фенолазе, моноаминоксидазе, супероксиддисмутазе, цитохром-С-оксидазе. В целом, обнаружено более 30 цитохромов, содержащих железо и медь. Цитохром Р-450 напоминает по своей структуре цитохромоксидазу и также содержит в своем составе медь.

А. Арчаков [1] предложил локализацию радикалообразующих центров ПОЛ в НАДФН-зависимой системе поблизости от цитохрома Р-450. Показано резкое изменение кинетики ПОЛ в присутствии аминокислот и пептидов. Известно, что Cu²⁺, Co²⁺ катализируют перекисное окисление липидов, но ингибируют его в присутствии микросомальной фракции, содержащей аминокислоты и пептиды.

Известно, что транспорт меди осуществляется в виде комплексов с аминокислотами и пептидами и усиливается в присутствии альбумина, церулоплазмينا; комплексы разрушаются только в сильноокислой среде в присутствии восстановителей.

Признание определяющей роли ПОЛ в развитии многих патологий, радиационном поражении, старении, адаптации к неблагоприятным воздействиям послужило причиной для развития метода антиоксидантотерапии. При этом возникла проблема разработки биоадекватных методов тестирования антиоксидантов в качестве средств антиоксидантотерапии.

Цели и задачи настоящего исследования обусловлены определяющим значением уровня ПОЛ в развитии многих патологий, совместным присутствием ионов железа и меди в системах, активирующих ПОЛ, значительным влиянием аминокислот и пептидов на интенсивность ПОЛ и слабой изученностью каталитической активности ионов меди в процессах ПОЛ, отсутствием данных о роли координационных соедине-

ний меди и аминокислот в этих процессах, необходимостью разработки биоадекватных методов тестирования антиоксидантов.

В работе представлены результаты подбора состава мицеллярного субстрата, сравнения каталитической активности солей меди(II), железа(II и III), кобальта(II), никеля(II), подбора оптимальных *pH* комплексообразования меди с α -аланином, валином, лизином, треонином, лейцином, серином, фенилаланином, гистидином, волномерметрического исследования кинетики окисления водно-липидного субстрата в присутствии координационных соединений меди с α -аминокислотами. По результатам исследования предложена биоадекватная модель тестирования эффективности антиоксидантов, апробированная на ионоле.

Экспериментальная часть

Работа выполнена кинетическими, физико-химическими и спектрофотометрическими методами. Проведена математическая обработка кинетических кривых (КК).

Препараты аминокислот: DL-аланин («ч. ч.»), L-валин («ч. ч.»), L-лейцин («ч. ч.»), L-серин («ч. д. а.»), DL-треонин («ч. ч.») перекристаллизовывали из водно-этанольной смеси. Ионол марки «ч. ч.» очищали двукратной кристаллизацией из абсолютного этанола. Этилолеат получали из предварительно перегнанной под вакуумом олеиновой кислоты марки «ч. ч.» путем этерификации пятикратным избытком абсолютного этанола в кислой среде с последующей экстракцией петролейным эфиром и вакуумной перегонкой [4]. DL- β -фенил- α -аланин («ч. ч.»), L-гистидин («ч. д. а.»), L-лизин («ч. ч.»), хлорид меди(II) («ч. ч.»), хлорид железа(II, III) («ч. ч.»), цетилтриметиламмоний бромид («ч. ч.»), додецилсульфонат натрия («ч. ч.») использовали без дополнительной очистки. *pH* измеряли иономером И-130.2М, откалиброванным по двум буферным растворам: калий фталевокислый (*pH* 4.01 при 25°C) и тетраборат натрия (*pH* 9.18 при 25°C). Растворы готовили на бидистилляте по точной навеске.

Для характеристики координационных соединений определяли *pH* растворов, при которых достигается наибольшая степень окрашивания комплекса. Для этого измеряли спектры поглощения исследуемого раствора при различных значениях *pH* от 4 до 12 во фталатном и боратном буферных растворах. Строили график зависимости оптической плотности от *pH* растворов $A_{\max} = f(pH)$. По графику определяли интервал оптимальных значений *pH*, который соответст-

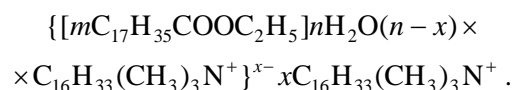
вует практически постоянным значениям оптической плотности растворов. Спектры поглощения записывали на спектрофотометре СФ-2000.

Оптимальный состав мицеллярного субстрата подбирали методом Ребиндера и рефрактометрически по величине критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Эффективную концентрацию катализатора определяли в специальном эксперименте путем исследования кинетики окисления водно-липидного субстрата в зависимости от концентрации солей указанных *d*-элементов.

Окисление осуществляли в термостатированной ячейке при $60 \pm 0.2^\circ\text{C}$ и оптимальном перемешивании [4]. Концентрацию поглощенного кислорода определяли волномерметрически во времени.

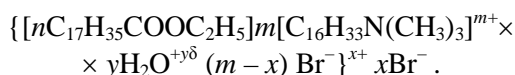
Результаты и их обсуждение

Для подбора оптимального состава субстрата исследовали мицеллообразование в двух- и трехкомпонентных системах: вода – этилолеат, вода – ПАВ, вода – этилолеат – ПАВ. В качестве ПАВ использовали цетилтриметиламмоний бромид (ЦТМАБ) и додецилсульфонат натрия (ДДС) в интервале концентраций от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Показано, что ККМ этилолеата, ЦТМАБ и ДДС соответственно составляют $(1-2) \cdot 10^{-3}$, $(1-2) \cdot 10^{-3}$ и $(8-9) \cdot 10^{-3}$ моль/л. Полученные результаты свидетельствуют о более высокой эффективности ЦТМАБ, поскольку его ККМ примерно в 10 раз ниже, чем ККМ ДДС и соответствует ККМ этилолеата. Это определило выбор цетилтриметиламмония бромида в указанной концентрации в качестве эмульгатора. В случае трехкомпонентной системы вода – этилолеат – ЦТМАБ в зависимости от концентрации эфира при постоянной концентрации ПАВ показано, что ЦТМАБ способствует снижению поверхностного натяжения системы и, вероятно, укрупнению мицелл «эфир – вода». Исходя из теоретических представлений о прямых мицеллах «масло – вода» [5–7], можно предположить сферическую структуру мицелл, в которых ядром являются молекулы эфира, потенциалопределяющим слоем – катионы цетилтриметиламмония. Модель такой мицеллы представлена общей формулой:



Возможны также мицеллы, в которых потенциалопределяющими ионами выступают ионы цетилтриметиламмония и поляризованные

молекулы воды, а адсорбционный и диффузный слои образуют ионы брома:



Обе предполагаемые формулы мицелл включают воду в качестве адсорбционного или потенциалобразующего компонента. Это согласуется с высокой полярностью и поляризуемостью воды и ее большим избытком как в эксперименте по оценке ККМ, так и в окисляемых пробах. Избыток воды также определяет динамическое равновесие мицелл с разным числом агрегации.

Далее осуществлен выбор катализатора путем исследования кинетики окисления мицеллярного субстрата в присутствии указанных солей в интервале концентраций $(0.1-8) \cdot 10^{-3}$ моль/л. Показана экстремальная зависимость скорости окисления от концентрации исследованных катионов. Для большинства катионов, кроме катионов кобальта, максимум соответствует концентрациям $(1-2) \cdot 10^{-3}$ моль/л. Для катионов кобальта максимальная скорость окисления достигается при концентрации $(6-8) \cdot 10^{-3}$ моль/л. Каталитическая активность исследованных солей падает в ряду: $Cu^{2+} > Fe^{2+} > Fe^{3+} > Co^{2+} > Ni^{2+}$. Наиболее эффективным является хлорид меди, который выбран в качестве катализатора для дальнейших исследований.

Далее исследованы спектры поглощения растворов, содержащих $2.5 \cdot 10^{-3}$ моль/л хлорида меди(II) и двукратный избыток аминокислоты (АК) в зависимости от pH среды. Показано, что растворы хлорида меди(II) имеют максимум поглощения при 800 нм, который под влиянием АК и постепенного увеличения pH смещается в коротковолновую область, что связано с процессами ступенчатого комплексообразования в исследуемых системах. Для большинства изученных АК максимумы поглощения координационных соединений (КС) лежат в интервале 650–610 нм. В присутствии фенилаланина, гистидина, содержащих ароматические циклы, максимум поглощения комплекса соответствует 610–600 нм. Для определения оптимального pH комплексообразования исследуют зависимость оптической плотности максимума полосы комплекса от pH . Типичная зависимость представлена на рис. 1.

Из рисунка видно, что в области pH от 4.5 до 6 оптическая плотность меняется незначительно, затем происходит резкое увеличение оптической плотности при небольшом изменении pH и достигается A_{max} , слабо зависящее от дальнейшего увеличения pH . Эта область pH

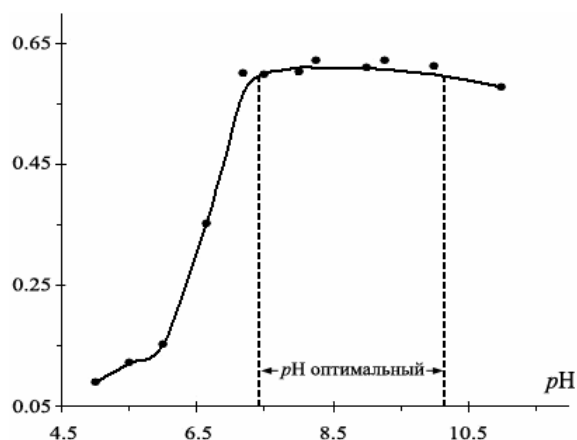


Рис. 1. Зависимость оптической плотности (A) от pH комплекса меди(II) с α -аланином; $\lambda_{max} = 619$ нм

является оптимальной для комплексообразования и для изученных АК лежит в интервале от 7 до 10.

Дальнейшие исследования проводили с растворами координационных соединений при оптимальных значениях pH . КС готовят путем смешивания водных растворов хлорида меди и АК в боратном буфере и добавляют в пробу субстрата. Пробы окисляют в указанных условиях и строят кинетические кривые зависимости $[O_2] = f(t)$, которые приведены на рис. 2.

Показано изменение кинетики окисления субстратов в зависимости от состава комплекса. КС с α -аланином и валином ускоряют процесс окисления, увеличивая конечную скорость приблизительно в 1.6 раз. КС с α -аминокислотами, содержащими дополнительно амино- (лизин), гидроксигруппы (серин, треонин), практически не влияют на кинетику окисления исходного мицеллярного субстрата (кривые 4–6). КС гистидина, лейцина и фенилаланина замедляют начальные и все последующие стадии процесса.

Для количественного сравнения результатов графическим методом определены начальные и конечные скорости окисления субстратов в сравнении с контрольной пробой (табл. 1).

Получен ряд увеличения начальной скорости ($W_{нач}$): лейцин и фенилаланин > гистидин > серин > треонин и лизин > валин и контроль > α -аланин.

Процесс окисления, в зависимости от состава субстрата, исследовали в течение 150–400 мин (рис. 2). Поскольку длительный эксперимент затруднен по техническим причинам, то нет гарантии, что была достигнута максимальная скорость. Графически на конечных участках определена скорость, которая обозначена как $W_{кон}$. По величинам конечных скоростей наблюдали следующий ряд в зависимости от при-

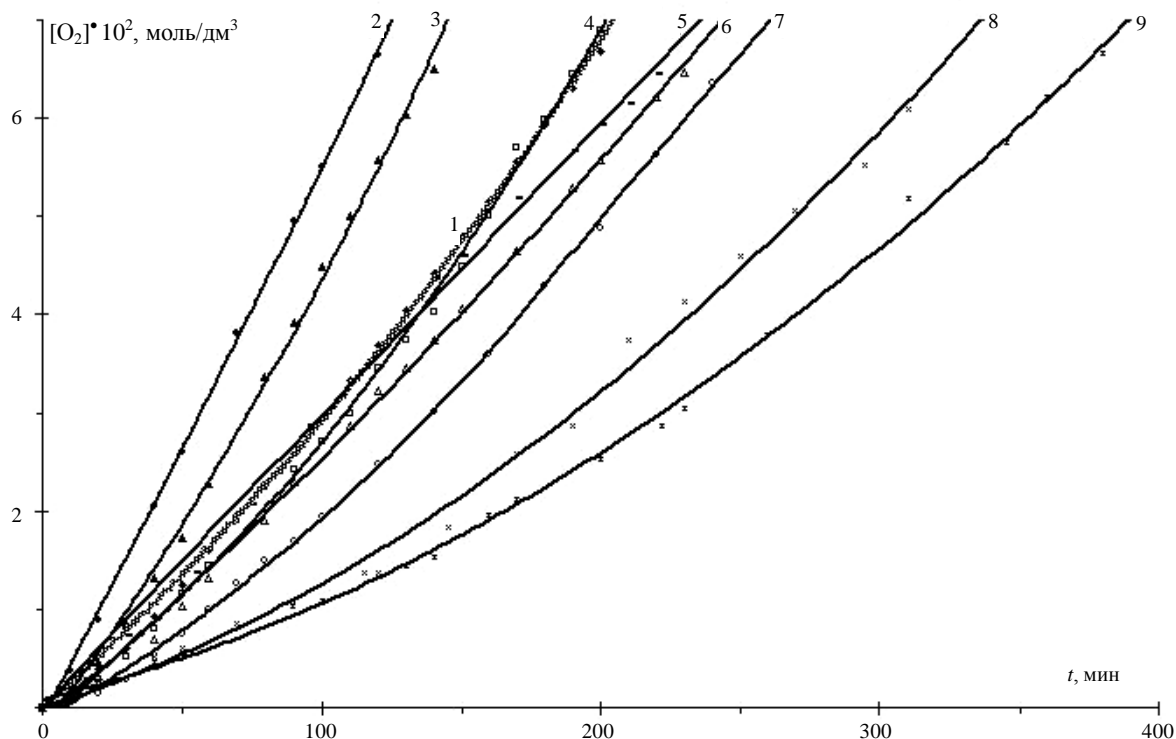


Рис. 2. Кинетические кривые окисления субстрата, содержащего АК: 1 – контроль, 2 – аланин, 3 – валин, 4 – лизин, 5 – треонин, 6 – серин, 7 – гистидин, 8 – лейцин, 9 – фенилаланин

Таблица 1

Количественные показатели кинетики окисления субстратов

Аминокислоты	Уравнение параболы	$W_{\text{нач}} \cdot 10^6$, моль/(л·с)	$W_{\text{кон}} \cdot 10^6$, моль/(л·с)	$a \cdot 10^9$, моль/(л·с ²)
Контроль	$y = 3 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0223 \cdot x$ $R^2 = 0.9988$	3.4 ± 0.1	6.2 ± 0.1	11.0 ± 0.2
α -Аланин	$y = 4 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0435 \cdot x$ $R^2 = 0.9991$	4.8 ± 0.3	9.5 ± 0.1	15.0 ± 0.3
Валин	$y = 1 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.024 \cdot x$ $R^2 = 0.9974$	3.4 ± 0.2	9.3 ± 0.3	16.0 ± 0.5
Лизин	$y = 7 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0163 \cdot x$ $R^2 = 0.9976$	3.2 ± 0.5	6.5 ± 0.4	11.0 ± 0.4
Треонин	$y = 3 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0211 \cdot x$ $R^2 = 0.9971$	3.2 ± 0.3	6.1 ± 0.2	10.0 ± 0.3
Серин	$y = 2 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0208 \cdot x$ $R^2 = 0.9973$	3.0 ± 0.3	5.1 ± 0.3	8.0 ± 0.3
Гистидин	$y = 1 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0189 \cdot x$ $R^2 = 0.9971$	2.0 ± 0.3	5.1 ± 0.5	4.0 ± 0.2
Лейцин	$y = 4 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0059 \cdot x$ $R^2 = 0.9933$	1.4 ± 0.4	4.9 ± 0.4	3.1 ± 0.5
Фенилаланин	$y = 2 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.0068 \cdot x$ $R^2 = 0.9980$	1.4 ± 0.2	4.0 ± 0.4	3.0 ± 0.3

роды аминокислот в КС: фенилаланин > лейцин > серин и гистидин > контроль и треонин > лизин > валин > α -аланин.

Поскольку конечные скорости незначительно превышают начальные, то вероятно, что максимальные скорости в данном эксперименте не достигнуты.

Для исследования механизма процесса КК аппроксимированы с использованием графического редактора Excel оптимальными функциями. Все КК с хорошей дисперсией описываются параболой (табл. 1). Согласно теории цепных разветвленных процессов [8–10], парабола соответствует мономолекулярному механизму

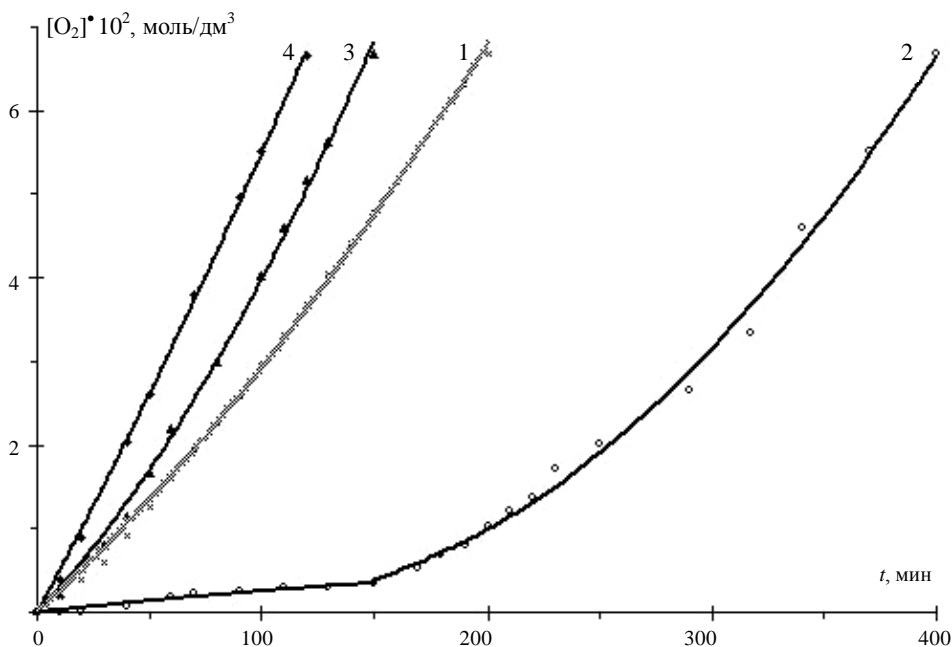
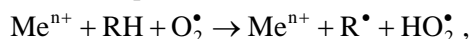


Рис. 3. Кинетические кривые окисления субстрата в зависимости от состава катализатора (M:L): 1 – контроль, 2 – 1:1, 3 – 1:2, 4 – 1:5

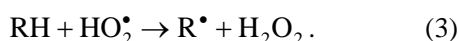
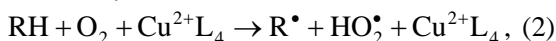
разветвления цепей и бимолекулярному механизму обрыва цепей. В отсутствие катализаторов процесс инициирования происходит по реакции (1):



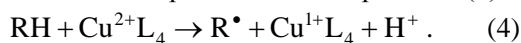
В присутствии катализатора известна [9] реакция инициирования



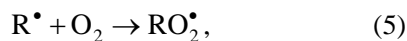
что в присутствии КС меди может быть описано реакциями (2) и (3):



Известна также реакция инициирования (4):



Далее следуют реакции продолжения цепей (5) и (6):



В отсутствие катализаторов известны мономолекулярный и бимолекулярный механизмы распада гидропероксидов (реакции (7) и (8)), обеспечивающие разветвление цепей:



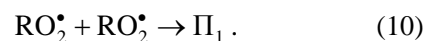
Очевидно, что в присутствии катализатора возможность квадратичного распада гидропероксидов маловероятна, поскольку для такого механизма нужны достаточно высокие концен-

трации последних. В нашем случае возможен распад гидропероксидов мономолекулярно по реакции (9), не обеспечивающей разветвления цепей:



и разветвление цепей по реакции (7).

В избытке кислорода, как в нашем случае, доказан квадратичный механизм обрыва цепей по реакции:



Различия в скоростях окисления в зависимости от состава КС объясняются, видимо, разной активностью КС в реакции (2) в связи со структурными факторами.

Для количественной характеристики ускорения параболы продифференцированы, а по наклону прямой вычислены значения ускорения (a). Результаты приведены в табл. 1. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии корреляции между рядом увеличения начальных и конечных скоростей окисления субстратов в присутствии КС и значениями ускорения, что подтверждает приведенная схема механизма процесса. В этой схеме в стадии разветвления цепей КС не участвуют.

Таким образом, реакции (2), (5), (6), (9), (10) обеспечивают мономолекулярный механизм инициирования и квадратичный механизм обрыва цепей.

Широкое участие свободнорадикальных процессов в развитии различных па-

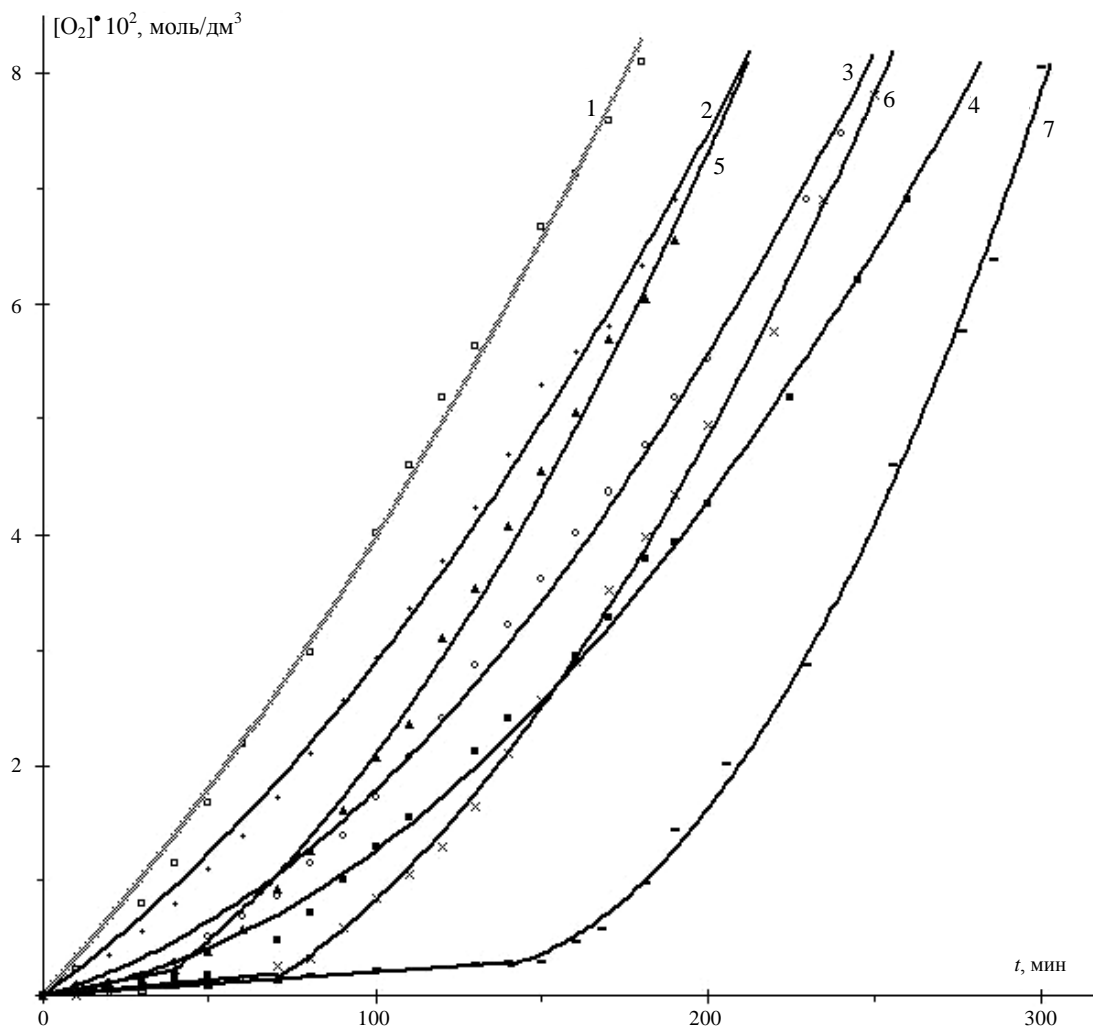


Рис. 4. Кинетические кривые окисления субстрата в присутствии ионола: 1 – контроль, 2 – $5 \cdot 10^{-5}$, 3 – $8 \cdot 10^{-5}$, 4 – $1 \cdot 10^{-4}$, 5 – $2 \cdot 10^{-4}$, 6 – $4 \cdot 10^{-4}$, 7 – $6 \cdot 10^{-4}$ моль/л ионола

Таблица 2

Количественные показатели кинетики окисления субстратов в присутствии ионола

$C \cdot 10^4$ ионола, моль/л	InH:Cu ²⁺	$W_{нач} \cdot 10^6$, моль/(л·с)	$W_{кон} \cdot 10^6$, моль/(л·с)	$a \cdot 10^8$, моль/(л·с ²)
Контроль		2.7 ± 0.4	8.2 ± 0.1	3.6 ± 0.6
0.5	1:40	1.3 ± 0.4	7.3 ± 0.2	3.6 ± 0.8
0.8	1:25	0.8 ± 0.2	6.3 ± 0.4	3.6 ± 0.2
1	1:20	0.8 ± 0.2	5.0 ± 0.4	3.4 ± 0.1
2	1:10	0.6 ± 0.1	8.2 ± 0.2	7.6 ± 0.2
4	1:5	0.5 ± 0.1	8.1 ± 0.8	7.6 ± 0.2
6	1:3	0.3 ± 0.1	8.1 ± 0.4	7.6 ± 0.4

тологических состояний делает актуальным поиск и разработку методов тестирования химических соединений, обладающих антиоксидантными свойствами. Особое значение имеют методы оценки водорастворимых антиоксидантов, так как известные методы основаны на модельных реакциях окисления в гомогенной среде [9–12]. В связи с этим, возможно использовать по-

лученные результаты для разработки биодеватной модели тестирования средств антиоксидантотерапии. Из табл. 1 следует, что при окислении субстрата в присутствии КС с α -аланином наблюдаются наибольшие значения начальной и конечной скоростей. Для определения оптимального состава катализатора исследована кинетика окисления субстрата в зависи-

мости от разных соотношений металл : лиганд (M:L), результаты приведены на рис. 3.

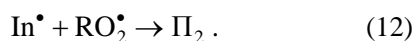
Показано, что скорость процесса меняется в зависимости от соотношения катионов меди и α -аланина. При соотношении M:L = 1:1 наблюдается резкое уменьшение скорости процесса по отношению к контрольной пробе. При увеличении соотношения M:L до 1:2 и 1:5 процесс ускоряется, что свидетельствует о каталитической активности КС, устойчивость которых в мицеллярном растворе возрастает при увеличении избытка аминокислоты. Поскольку увеличение скорости окисления наблюдается в присутствии избытка АК, в качестве катализатора выбрана меньшая концентрация α -аланина.

Таким образом по результатам проведенных исследований в качестве катализатора предложено КС меди(II) с α -аланином, приготовленном в боратном буферном растворе с pH 9. Конечная концентрация в растворе $\text{Cu}^{2+} - (2-3) \cdot 10^{-3}$, АК $- (4-5) \cdot 10^{-3}$ моль/л.

С помощью этой модели исследована эффективность стандартного синтетического ингибитора 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенола (ионола). На рис. 4 представлены КК окисления субстрата в зависимости от концентрации ионола.

Из рисунка видно, что все исследуемые концентрации ионола вызывают торможение процесса. Однако характер КК меняется при изменении соотношения катионов меди и ингибитора ($\text{Cu}^{2+} : \text{InH}$). Для проб, в которых преобладают катионы меди в 40–20-кратном избытке, не наблюдается периода полного торможения, происходит плавное снижение скорости процесса, КК аппроксимируются параболой с близкими к контрольной пробе ускорениями (табл. 2). При увеличении концентрации ионола меняется характер КК: появляется периоды практически полного торможения (рис. 4, кривые 4–6), пропорциональные концентрации ионола; резкий выход из периода индукции и достижение контрольной скорости процесса. КК аппроксимируются прямой и параболой.

Очевидно, что при концентрациях $(2-6) \cdot 10^{-4}$ моль/л ионол в модельной реакции действует как сильный ингибитор, эффективно обрывая цепи по реакциям (11) и (12):



Слабое торможение процесса при более низких концентрациях ионола и большом избытке катализатора связано, возможно, с конкуренцией реакций окисления субстрата и каталитического окисления ионола. За счет последнего происходит снижение эффективности катализатора и замедление общей скорости процесса.

Выводы

1. По результатам исследований процессов мицеллообразования и кинетики окисления мицеллярных субстратов этилолеата подобран состав системы и сделаны предположения о структуре мицелл.

2. По результатам исследований реакций комплексообразования определены оптимальные интервалы pH комплексообразования для ряда аминокислот.

3. Изучена кинетика окисления субстрата в присутствии КС АК в зависимости от природы лигандов.

4. Подобран состав биоадекватной модели тестирования антиоксидантов, включающей мицеллярный раствор этилолеата и добавки КС меди с α -аланином в соотношении M:L = 1:2 в качестве катализатора.

5. Модель апробирована при тестировании стандартного ингибитора ионола.

Список литературы

1. Арчаков А.И. Микросомальное окисление. М.: Наука, 1975. 326 с.
2. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 249 с.
3. Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Шергин С.М. Биохимия окислительного стресса. Оксиданты и антиоксиданты. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1994. 203 с.
4. Ушкалова В.Н., Иоанидис Н.В., Кадочникова Г.Д. и др. Контроль перекисного окисления липидов. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1993. 181 с.
5. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии / Под ред. К.Н. Миттела. М.: Мир, 1980. 552 с.
6. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. Л.: Химия, 1992. 280 с.
7. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, применение. Л.: Химия, 1988. 200 с.
8. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус Э.К. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. М.: Наука, 1965. 375 с.
9. Эмануэль Н.М. Химическая и биологическая кинетика // Успехи химии. 1981. Т. 50. № 10. С. 1721–1809.
10. Денисов Е.Т., Эмануэль Н.М., Азатян В.В. Ингибирование цепных реакций. Черногловка: ИХФ РАН, 1997. 370 с.
11. Касаикина О.Т., Кортенска В.Д., Маринова Э.М. и др. Ингибирующая активность природных фенольных антиоксидантов в процессах окисления липидных субстратов // Известия РАН. Сер. хим. 1997. № 6. С. 1119–1122.

12. Кадочникова Г.Д., Сичко А.И., Галян С.Л. и др. Сравнительная антиоксидантная эффективность некоторых фенолов, аминов, тиолов при окислении моделей липидов возрастающей сложности // Аналитика и аналитики: Мат-лы междунар. форума. Воронеж, 2–6 июня 2003. Т. 2. С. 430.

SIMULATION OF BIOMEMBRANE LIPID OXIDATION PROCESSES

V.V. Krainik, L.A. Zhuravleva, V.N. Ushkalova

A bioadequate kinetic model of antioxidant testing has been developed and its results are presented. The optimum composition of system components has been chosen by studying micelle formation and catalytic oxidation kinetics of water-lipid substrates. The oxidation kinetics has been studied of copper(II) coordination compounds with amino acid complexes depending on ligand nature. The efficiency of the model proposed has been tested with the standard ionol inhibitor (2,6-di-*tert*-butyl-4-methyl phenol).