

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 416 (2016), 114 – 119

UDK 547.94+547:541.427

## SYNTHESIS, STRUCTURE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY 4-CYTISINE-4-OXOBUTANOIC ACID

Nurkenov O.A., Gazaliev A.M., Seilkhanov T.M., Arinova A.E., Kabieva S.K.,  
Fazylov S.D., Takibayeva A.T., Bakibaev A.A., Voronova O.A., Plotnikov E.V.

<sup>1</sup>Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Kazakhstan, Karaganda;

<sup>2</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Kokshetau State University after Sch. Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan;

<sup>4</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia; <sup>5</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

e-mail: [kabieva\\_s@mail.ru](mailto:kabieva_s@mail.ru)

**Keywords:** alkaloid cytosine, 4-cytosine-4-oxobutanoic acid, antioxidant activity, voltammetry, electrochemical reduction of oxygen.

**Abstract.** The article presents data on the synthesis and detailed interpretation of one-dimensional (<sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C) and two-dimensional (COSY, HMQC) NMR spectra of 4-cytosine-4-oxobutanoic acid. The reaction with succinic anhydride was carried out at cytosine reactant ratio of 1:1 dioxane medium at a temperature of 50-60°C for 2 hours is shown that the reaction proceeds with opening oxolane cycle forming monoamide of dicarboxylic acid. The effect of the synthesized 4-cytosine-4-oxobutanoic acid, the process of electrochemical reduction of oxygen (ER O<sub>2</sub>) at various concentrations. As an estimation method applied cathodic voltammetry on a mercury film electrode. In this approach, determination of antioxidant activity reflects the amount of reactive oxygen species antioxidant neutralized over time. It is shown that an aqueous solution of 4-cytosine-4-oxobutanoic acid exhibits antioxidant activity within a wide concentration range.

УДК 547.94+547:541.427

## СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ 4-ЦИТИЗИНИЛ-4-ОКСОБУТАНОВОЙ КИСЛОТЫ

О.А. Нуркенов<sup>1</sup>, А.М. Газалиев<sup>2</sup>, Т.М. Сейлханов<sup>3</sup>, А.Е. Аринова<sup>1</sup>, С.К. Кабиева<sup>2</sup>,  
С.Д. Фазылов<sup>1</sup>, А.Т. Такибаева<sup>2</sup>, А.А. Бакибаев<sup>4</sup>, О.А. Воронова<sup>5</sup>, Е.В. Плотников<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Институт органического синтеза и углехимии РК, г. Караганда, Казахстан;

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан;

<sup>3</sup>Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, г. Кокшетау, Казахстан;

<sup>4</sup>Томский Государственный Университет, г. Томск, Россия;

<sup>5</sup>Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия

**Ключевые слова:** алкалоид цитизин, 4-цитизинил-4-оксобутановая кислота, антиоксидантная активность, вольтамперометрия, электровосстановления кислорода.

**Аннотация.** В статье приведены данные по синтезу и подробно интерпретированы одномерные (<sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C) и двумерные (COSY, HMQC) спектры ЯМР 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты. Реакцию янтарного ангидрида с цитизином проводили при соотношении реагентов 1:1 в среде диоксана при температуре 50-60°C в течение 2 ч. Показано, что реакция протекает с раскрытием оксоланового цикла, образуя моноамид дикарбоновой кислоты. Изучено влияние синтезированного 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты на процесс электровосстановления кислорода (ЭВ O<sub>2</sub>) в различных концентрациях. В качестве метода оценки

применена катодная вольтамперометрия на ртутно-пленочном электроде. В данном подходе определение антиоксидантной активности отражало количество активных форм кислорода нейтрализованных антиоксидантом за определенное время. Показано, что водный раствор 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты проявляет антиоксидантную активность в широком диапазоне концентраций.

**Введение.** Алкалоид цитизин на протяжении многих десятилетий является одним из самых перспективных синтонов в плане возможной модификации и создания на его основе новых биологически активных веществ [1-9]. Следует отметить, что среди различных производных цитизина постоянно обнаруживаются соединения с другими, не характерными для него самого, видами биологической активности (спазмолитической, антиаритмической, гепатопротекторной, анальгетической, холинэргической, инсектицидной, антиоксидантной и др.), что привлекает внимание многих исследователей и побуждает к синтезу и изучению его новых производных.

Известно, что N-замещенные амиды карбоновых кислот, имеющие в своем составе амидную группировку, обладают ценными и уникальными свойствами, которые определяют их широкое применение в качестве биологически активных веществ [10-12], красителей и полупродуктов [13]. Введение амидного фрагмента и карбоксильной группы фрагмента в молекулу природного соединения может привести к интересным в практическом смысле веществам. Несмотря на успехи, достигнутые в области синтеза и изучения свойств производных алкалоида цитизина, возможности его химической модификации далеко не исчерпаны и имеют широкие перспективы в плане создания на его основе новых биологически активных соединений.

**Цель данного исследования** – синтез, изучение строения и антиоксидантную активность 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты в отношении радикалов к кислороду используя метод катодной вольтамперометрии.

#### Экспериментальная часть

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты снимали в ДМСО- $d_6$  на спектрометре JNN-ECA 400 (400 и 100 МГц на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ ) компании «Jeol» производства Японии. Химические сдвиги измерены относительно сигналов остаточных протонов или атомов углерода дейтерированного диметилсульфоксида. Температуры плавления определены на приборе Voetius. ТСХ анализ выполнили на пластинках Silufol UV-254, система – 2-пропанол-бензол-25% водный раствор аммиака 10:5:2, проявление парами йода.

**4-Цитизинил-4-оксобутановая кислота (1).** К раствору 1 г (0,0052 моль) цитизина в 10 мл диоксана при интенсивном перемешивании прибавляли 0,52 г (0,0052 моль) янтарного ангидрида в 15 мл диоксана и нагревали при 50-60°C в течение 2 ч. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали 2-пропанолом и перекристаллизовывали из 2-пропанола. Выход продукта **1** составил 1,3 г (86%) с т. пл. 231-232°C.

**Подготовка растворов.** Исходные растворы исследуемых веществ с концентрацией 0.1 г/мл готовили следующим образом: на аналитических весах взвешивали 0.5 г образца и растворяли в 5 мл. Далее растворы с концентрацией 0.01 г/мл готовили последующим разбавлением дистиллированной водой в пенициллиновых флаконах объемом 10 мл.

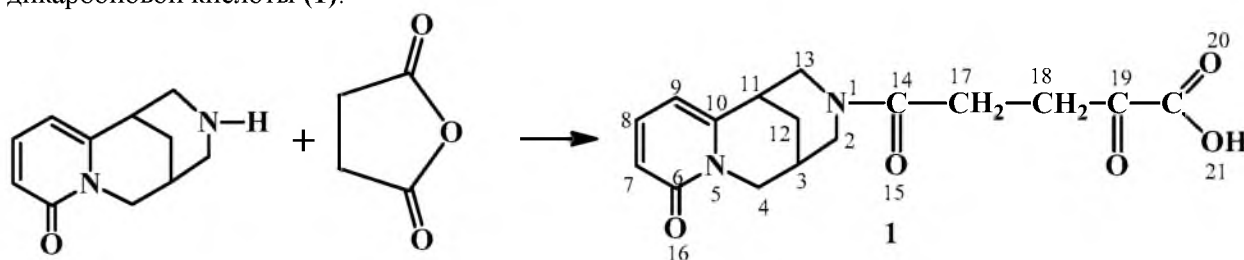
Для исследований брали объем аликвоты 0.1 мл, получая соответствующие рабочие концентрации исследуемых растворов, которые представлены в таблице.

**Методика эксперимента по определению антиоксидантной активности** заключалась в съемке и анализе вольтамперограмм катодного ЭВ  $\text{O}_2$  с помощью вольтамперометрического анализатора, подключенного к компьютеру [14]. Использовался постоянно-токовый режим катодной вольтамперометрии, скорость развертки потенциала  $W = 30$  мВ/с, рабочий диапазон потенциалов от 0.0 до -0.7 В, время перемешивания раствора 20 сек, время успокоения 10 сек. Электрохимическая ячейка представляла собой стеклянный стаканчик с раствором фоновой электролита и опущенными в него индикаторным ртутно-пленочным электродом, хлорид-серебряным электродом сравнения и хлорид-серебряным вспомогательным электродом. В качестве фоновой раствора выбран фосфатный буфер с рН 6.86, близкому к физиологическому значению, объемом 10 мл. Активность исследуемого вещества (**1**) по отношению к ЭВ  $\text{O}_2$  определялась по следующей методике: снимались вольтамперограммы тока ЭВ  $\text{O}_2$  в отсутствие исследуемого вещества (фоновая кривая) по описанному выше способу. При отсутствии посторонних пиков фоновый раствор считался чистым. Затем в ячейку добавлялось исследуемое вещество с известной

концентрацией (брали объем аликвоты 0.1 мл на 10 мл объема фонового электролита) и снималась катодная вольтамперограмма ЭВ O<sub>2</sub> при тех же условиях. Измерения повторялись не менее 3 раз через определенный промежуток времени (180 с) и каждый раз оценивалось значение предельного тока ЭВ O<sub>2</sub>.

### Результаты и обсуждение

Осуществлено взаимодействие алкалоида цитизина с янтарным ангидридом с целью введения в его молекулу остатка янтарной кислоты, содержащего свободную карбок-ильную группу, изучения строения и антиоксидантной активности получаемого при этом 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты, которая ранее не исследовалась. Реакцию янтарного ангидрида с цитизином проводили при соотношении реагентов 1:1 в среде диоксана при температуре 50-60°C в течение 2 ч. Показано, что реакция протекает с раскрытием оксоланового цикла, образуя моноамид дикарбоновой кислоты (1).



В области сильного поля (1,71-2,46 м.д.) спектра ЯМР <sup>1</sup>H соединения 1 отмечено перекрывание сигналов растворителя и протонов Н-3, Н-17 и Н-18 метиновой и метиленовых групп. СН<sub>2</sub>- и СН-группы системы конденсированных пиперидиновых колец дают сигналы на частоте 2,73-4,51 м.д. Отметим, что для атомов Н-13 характерно два сигнала (2,77 и 4,34 м.д.), что указывает на аксиальное и экваториальное расположение протонов. Сигналы в области слабого поля в соответствии с интегральными интенсивностями можно соотнести с протонами ненасыщенного гетероцикла: δ(Н-7, Н-9)= 6,19 м.д.; δ(Н-8)=7,28 м.д.

В углеродном спектре метиленовые и метиновые атомы системы конденсированных пиперидиновых колец наблюдаются на частоте 29,36 (С-3), 34,15 (С-12), 47,72 (С-11), 49,13 (С-13), 51,07 (С-2) и 52,64 м.д. (С-4). Также в сильнополюной части спектры (25,78 и 27,46 м.д.) отмечены сигналы двух метиленовых атомов С-17 и С-18. Сигналы с химическими сдвигами 105,09; 116,29 и 139,45 м.д. можно отнести к атомам С-9, С-7 и С-8 соответственно СН-групп ненасыщенного гетероцикла. Четвертичный атом С-10 резонирует на частоте 150,04 м.д. Наиболее высокочастотные сигналы с химическими сдвигами 162,56; 170,65 и 174,10 м.д. принадлежат атомам С-6, С-14 и С-19 карбонильных и карбоксильной групп соответственно.

Спин-спиновые взаимодействия, осуществляемые между атомами Н-Н и Н-С, были установлены посредством двумерных спектров COSY (<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H) и HMQC (<sup>1</sup>H-<sup>13</sup>C) (рис.1 и 2).

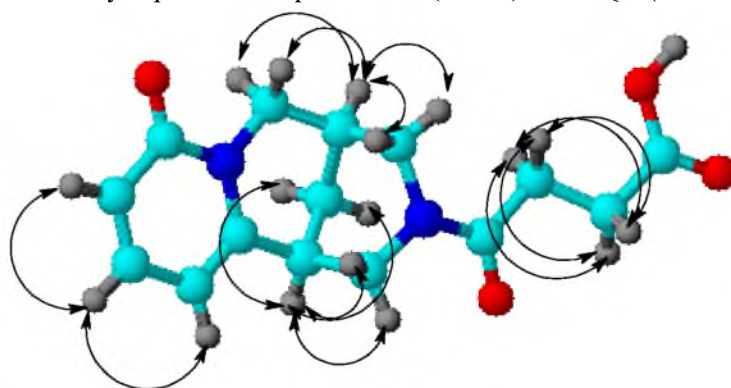
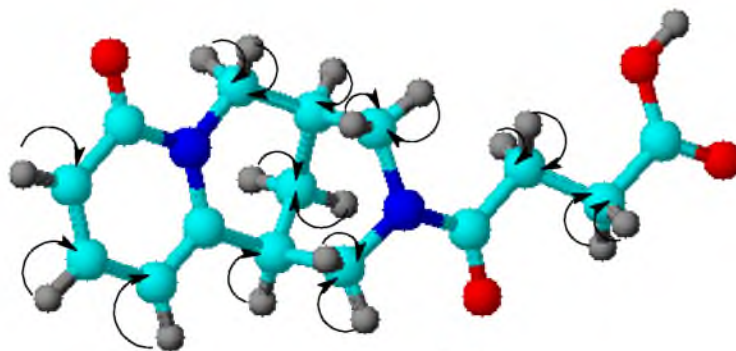
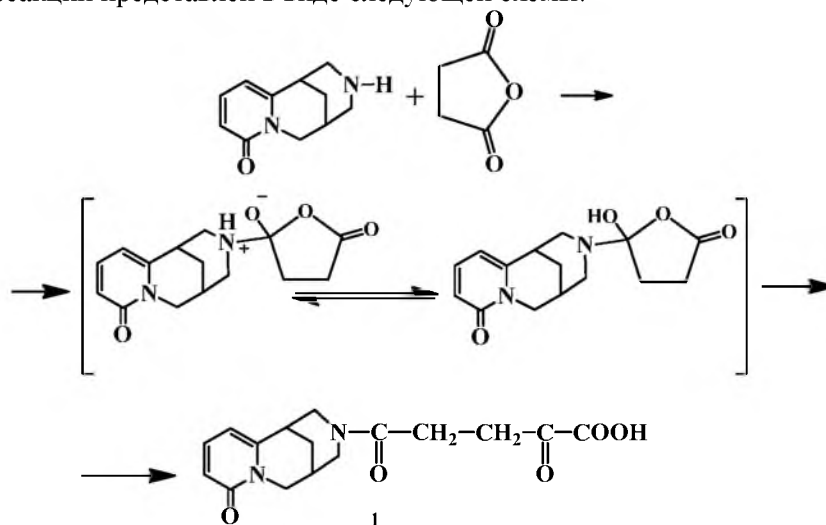


Рисунок 1 - Корреляции COSY (<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H) соединения 1

Рисунок 2 - Корреляции НМРС ( $^1\text{H}$ - $^{13}\text{C}$ ) соединения 1

Механизм реакции представлен в виде следующей схемы:



На первой стадии происходит атака аминогруппой алкалоидного фрагмента карбонильной группы янтарного ангидрида и образуется цвиттер-ион. Затем протон аммониевого катиона перемещается к отрицательно заряженному кислороду, получается промежуточный продукт, который путем миграции протона к циклическому атому кислорода и раскрытия цикла превращается в целевой продукт (1).

Важным разделом в изучении фармакологической активности производных алкалоида цитизина является определение антиоксидантной активности (АОА) 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты, т.к. известно, что свободные радикалы играют роль в развитии многих заболеваний. АОА определяли с использованием вольтамперометрического анализатора при различных концентрациях в водном растворе, используя метод катодной вольтамперометрии, в частности процесс электровосстановления кислорода (ЭВ  $\text{O}_2$ ). Модельная реакция ЭВ  $\text{O}_2$ , протекает на электроде по механизму, аналогичному восстановлению кислорода в тканях и клетках организма:



В ходе эксперимента определения АОА учитывалась первая волна ЭВ  $\text{O}_2$  (восстановление кислорода до пероксида водорода) с образованием активных кислородных радикалов:  $\text{O}_2^{\cdot -}$ ,  $\text{HO}_2^{\cdot}$  (выражения 1-3). Предполагается, что вещества реагируют с кислородом и его активными радикалами на поверхности индикаторного электрода, что отражается в изменении катодного тока ЭВ  $\text{O}_2$ , которое по своему абсолютному значению свидетельствует о том, что исследуемые образцы реагируют с кислородом и его активными радикалами, в исследуемом растворе. Степень

изменения тока ЭВ O<sub>2</sub> являлась показателем активности исследуемого образца. Коэффициент активности образцов —  $K$ , мкмоль/(л·мин) рассчитывался по формуле:

$$K = \frac{C_{O_2}}{t} \left(1 - \frac{I_t}{I_0}\right) \quad (5)$$

где  $C_{O_2}$  – концентрация кислорода в исходном растворе без вещества, мкмоль/л;  $I_t$  – текущее значение предельного тока ЭВ O<sub>2</sub>, мкА;  $I_0$  – значение предельного тока ЭВ O<sub>2</sub> в отсутствии вещества в растворе, мкА;  $t$  – время протекания процесса, мин.

Антиоксидантную активность определяли, используя выражение (5), результаты представлены в таблице.

Антиоксидантная активность 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты по отношению к процессу электровосстановления кислорода, (n=5, p=0.95)

Концентрация вещества	4-цитизинил-4-оксобутановая кислота	
	$K$ , мкмоль/л мин	Стандартное отклонение
0,1 мг/мл	0,218	0,05
1 мг/мл	0,625	0,02

Полученные данные показывают, что 4-цитизинил-4-оксобутановая кислота в максимальной исследованной концентрации проявляет наибольшую антиоксидантную активность. Показано, что даже в минимально изученной концентрации данное вещество взаимодействует с кислородом и его активными формами, дезактивируя их в растворе. Антиоксидантную активность в данном случае можно рассматривать как полезное свойство, расширяющее потенциальный спектр применения данного соединения.

Таким образом, осуществлен синтез 4-цитизинил-4-оксобутановой кислоты и изучено его влияние на процесс электровосстановления кислорода (ЭВ O<sub>2</sub>) в различных концентрациях, показано наличие антиоксидантной активности в отношении радикалов к кислороду.

В данном контексте, интересно проведение расширенного сравнения перспективных антиоксидантов с широким спектром биоактивности с известными и перспективными препаратами [15].

**Источник финансирования исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки РК по «Программно-целевое финансирование», № гос. регистрации 0115РК01782.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Орехов А.П. Химия алкалоидов. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1955. - 859 с.
- [2] Садыков А.С., Асланов Х.А., Кушмурадов Ю.К. Алкалоиды хинолизидинового ряда. Химия, стереохимия, биогенез. - М.: Наука, 1975. - 292 с.
- [3] Нуркенов О.А., Кулаков И.В., Фазылов С.Д. Синтетические трансформации алкалоида цитизина. - Караганда: Гласир, 2012. - 210 с.
- [4] Газалиев А.М., Журинов М.Ж., Тулеуов Б.И. Выделение, анализ, строение, биосинтез и модификация алкалоида цитизин // Химия природ. соед. –1991. –№3. – С. 301-313.
- [5] Примухамедов И., Асланов Х.А., Садыков А.С. Синтезы на основе цитизина // Химия природ. соед. –1972. –№3. – С. 398-403.
- [6] Рахимов Ш.Б., Виноградова В.И., Мирзаев Ю.Р., Выпова Н.Л., Казанцева Д.С. Синтез и биологическая активность N-бензильных производных цитизина // Химия природ. соед. - 2006. - №4. – С. 373-378.
- [7] Тлегинов Р. Синтез N-ацильных производных алкалоида цитизина // Химия растит. сырья. 2007. №1. С. 49-52.
- [8] Шишкин Д.В., Байбулатова Н.З., Юнусов М.С., Докичев В.А. Синтез N-замещенных цитизинов // Вестник Башкирского университета. - 2007. - №2. – С. 15-17.
- [9] Нуркенов О.А., Газалиев А.М., Ибрагимов Б., Жакина А.Х., Турдыбеков К.М. Синтез, строение и некоторые превращения метилового эфира N-цитизинилуксусной кислоты // Журн. общей химии. - 1996. - Вып.7– С. 1212-1215.
- [10] Долженко А.В., Козьминых В.О., Колотова Н.В., Бурди Н.З., Котегов В.П., Новоселова Г.Н., Сыропятов Б.Я. Замещенные амиды и гидразиды дикарбоновых кислот. Сообщение 17\*. Синтез и изучение антибактериальной и противосудорожной активности некоторых замещенных амидов и ацилгидразидов фталевой кислоты // Хим.-фарм. журн. – 2003. - № 7. - С. 7-9.
- [11] Долженко А.В., Колотова Н.В., Козьминых В.О., Сыропятов Б.Я., Котегов В.П., Година А.Т., Рудакова Г.В. Замещенные амиды и гидразиды дикарбоновых кислот. Сообщение 13\*. Синтез и гипогликемическая активность некоторых замещенных амидов и ацилгидразидов фталевой кислоты // Хим.-фарм. журн. – 2003. - № 1. - С. 21-23.

[12] A.C. 1512056. СССР.  $\beta$ -Антрапилоилгидразид янтарной кислоты гидрохлорид, проявляющий антиагрегатную активность о отношению к тромбоцитам плазмы крови // Н.И. Чернобровин, Ю.В. Кожевников, Т.В. Скобелкина, В.А. Скворцов, Р.З. Даутова, Б.Я. Сыропятов; опубл. 30.04.91. Бюл. № 16.

[13] Гордон П., Грегори П. Органическая химия красителей. - М.: Мир, 1987. - 344 с.

[14] Avramchik O.A., Korotkova E.I., Plotnikov E.V., Lukina A.N., Karbainov Y.A. Antioxidant and electrochemical properties of calcium and lithium ascorbates // J. Pharm. Biomed. Anal. - 2005. - P.1149-1154.

[15] Plotnikov E, Korotkova E, Voronova O, Dorozhko E, Bohan N, Plotnikov S. Lithium-based antioxidants: electrochemical properties and influence on immune cells // Physiology and pharmacology. - 2015. - P. 107-113.

#### REFERENCES

- [1] Orekhov A.P. Chemistry of alkaloids. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955. 859 p. (in Russ.).
- [2] Sadykov A.S., Arslanov H.A., Kushmuradov J.K. Alkaloids quinolizidine series. Chemistry, stereochemistry, biogenesis. M.: Science, 1975. 292 p. (in Russ.).
- [3] Nurkenov O.A., Kulakov I.V., Fazylov S.D. Synthetic transformations alkaloid cytosine. Karaganda.: Glasir, 2012. 210 p. (in Russ.).
- [4] Gazaliev A.M., Zhurinov M.J., Tuleuov B.I. *Chemistry of Natural. Comp.*, **1991**, 3, 301-313. (in Russ.).
- [5] Primuhamedov I., Aslanov H.A., Sadykov A.S. *Chemistry of Natural. Comp.*, **1972**, 3, 398-403. (in Russ.).
- [6] Rakhimov S.B., Vinogradova V.I., Mirzayev Y.R., Vypova N.L., Kazantseva D.S. *Chemistry of Natural. Comp.*, **2006**, 4, 373-378. (in Russ.).
- [7] Tlegenov R. *Chemistry of grow. Materials.*, **2007**, 1, 49-52. (in Russ.).
- [8] Shishkin D.V., Baybulatova N.Z., Yunusov M.S., Dokichev V.A. *Bulletin of the Bashkir University*, **2007**, 2, 15-17. (in Russ.).
- [9] Nurkenov O.A., Gazaliev A.M., Ibragimov B., Jacina A.Kh., Turdybekov K.M. *Journal of General Chemistry*, **1996**, 7, 1212-1215. (in Russ.).
- [10] Dolzhenko A.V., Kozminykh V.O., Kolotova N.V., Burda N.C., Kotegov V.P., Novoselov G.N., Syropyatov B.J. *Journal of Chem-Pharm.*, **2003**, 7, 7-9. (in Russ.).
- [11] Dolzhenko A.V., Kolotova N.V., Kozminykh V.O., Syropyatov B.J., Kotegov V.P., Godin A.T., Rudakova G.B. *Journal of Chem-Pharm.*, **2003**, 1, 21-23. (in Russ.).
- [12] AS 1512056. USSR.  $\beta$ -Antraniloilgidrazid succinic acid hydrochloride exhibiting antiagregatnyuyu activity of the plasma with respect to blood platelets // NI Chernobrovин, Y. Kozhevnikov, TV Skobelkina, VA Skvortsov, RZ Dautova, BJ Syropyatov; publ. 04.30.91. Bull. Number 16.
- [13] Gordon P., Gregory P. Organic dye chemistry, M.: Mir, 1987, 344 p. (in Russ.).
- [14] Avramchik O.A., Korotkova E.I., Plotnikov E.V., Lukina A.N., Karbainov Y.A. *J. Pharm. Biomed. Anal*, **2005**, 1149-1154. (in Eng.).
- [15] Plotnikov E, Korotkova E, Voronova O, Dorozhko E, Bohan N, Plotnikov S. *Physiology and pharmacology*, **2015**, 107-113. (in Eng.).

#### 4-ЦИТИЗИНИЛ-4-ОКСОБУТАН ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ СИНТЕЗІ, ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ АНТИОКСИДАНТТЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ

О.А. Нүркенов<sup>1</sup>, А.М. Газалиев<sup>2</sup>, Т.М. Сейілханов<sup>3</sup>, А.Е. Әрінова<sup>1</sup>, С.К. Кәбиева<sup>2</sup>,  
С.Д. Фазылов<sup>1</sup>, А.Т. Тәкібаева<sup>2</sup>, А.А. Бәкібаев<sup>4</sup>, О.А. Воронова<sup>5</sup>, Е.В. Плотников<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ҚР органикалық синтез және көмір химия институты, қ. Қарағанды, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, қ. Қарағанды, Қазақстан;

<sup>3</sup>Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, қ. Көкшетау, Қазақстан;

<sup>4</sup>Томск мемлекеттік университеті, қ. Томск, Ресей;

<sup>5</sup>Томск политехникалық университеті, қ. Томск, Ресей

**Ключевые слова:** цитизин алкалоиды, 4-цитизинил-4-оксобутан қышқылы, антиоксиданттық белсенділік, вольтамперометрия, оттегіні электрототықсыздандыру.

**Түйіндемe.** Мақалада 4-цитизинил-4-оксобутан қышқылын синтездеу мен біркеліктікті (<sup>1</sup>H және <sup>13</sup>C) және екікелістікті (COSY, НМҚС) ЯМР спектрлері толық қарастырылды. Янтар ангидридi мен цитизиндi әрекеттестіру реакциясын реагенттердiң 1:1 қатынасында, 50-60°C температура аралығында, диоксан ортасында, 2 сағат ішінде жүргізілді. Реакция оксолан циклі апылуы арқылы жүріп, дикарбон қышқылының моноамиды түзілетіндігі көрсетілді. Өртүрлі концентрацияларда синтезделген 4-цитизинил-4-оксобутан қышқылының оттегінің электрототықсыздандыру процессіндегі әсері зерттелді. Бағалау әдісі ретінде қорғасын-кабатты электродта катодтық вольтамперометрия қолданылды. Келтірілген әдісте антиоксиданттық белсенділік белгілі уақытта антиоксидантпен бейтараптандырылған оттегінің белсенді формаларының санын көрсетті. 4-цитизинил-4-оксобутан қышқылының сулы ерітіндісі антиоксиданттық белсенділікті кең ауқымды концентрацияда көрінетіндігі анықталды.

Поступила 23.05.2016 г.