

C.A. Коновалова, А.П. Авдеенко, М.В. Полищук, А.Л. Юсина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ N-КАРБАМОИЛ-1,4-БЕНЗОХИНОНМОНОИМИНОВ С 4-ТОЛИЛСУЛЬФИНАТОМ НАТРИЯ

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Ранее синтезированы N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноимины, являющиеся аналогами N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов, которые реагируют с арилсульфинатами натрия, в основном, через 1,4-присоединение, только в случае 2,6-диметил-N-ариламинокарбонилпроизводных получены продукты 6,3-, 1,6- и 6,1-присоединения. С целью сравнения реакционной способности N-карбамоил- и N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов изучено взаимодействие N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия. В результате реакции N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия получены продукты 1,4-, 6,1-, 1,6- и 6,3-присоединения. Направление присоединения более существенно зависит от местоположения заместителей в хиноидном ядре хинонмоноимина, чем в случае N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов. На основании результатов эксперимента и квантово-химических расчетов подтверждено выдвинутое ранее предположение о том, что продукты 1,6- и 6,1-присоединения образуются по анион-радикальному механизму.

Ключевые слова: N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноимины; 4-толилсульфинат натрия; ион-радикальное присоединение; квантово-химические расчеты; 1,4-присоединение.

Ранее синтезированы N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноимины, содержащие устойчивую амидную группу C(O)NH₂ у атома азота хиноидного ядра [1] и являющиеся аналогами N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов [2]. Последние реагируют с арилсульфинатами натрия, в основном, с образованием продуктов 1,4-присоединения, только в случае 2,6-диметил-N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов получены продукты 6,3-, 1,6- и 6,1-присоединения [3].

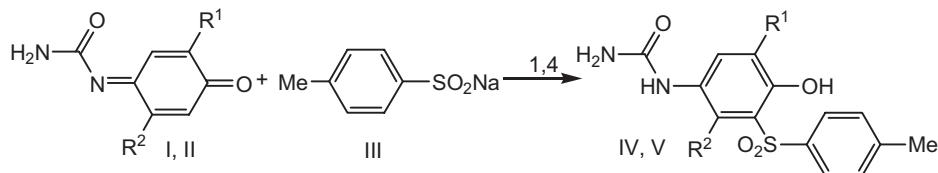
Целью настоящей работы является выявление особенностей взаимодействия N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия и сравнение реакционной способности N-карбамоил- и N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов.

Эксперимент показал, что в результате ре-

акции N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов (I, II) с 4-толилсульфинатом натрия (III) образуются только продукты 1,4-присоединения (IV, V) (схема 1).

В спектрах ЯМР ¹H соединений (IV, V) присутствуют два дублета (IV) и один синглет (V) протонов аминофенольного ядра, синглеты протонов групп NH, OH, а также дублеты арильного фрагмента сульфината, что подтверждает 1,4-присоединение (таблица).

При взаимодействии N-карбамоил-3-метил-1,4-бензохинонмоноимина (VI) с сульфинатом (III) также реализуется 1,4-присоединение, но образуется два изомерных продукта (VII, VIII) с соотношением 77:23 (схема 2), что свидетельствует о большей активности по отношению к сульфинат-иону положения 6 хиноидного ядра, что, вероятно, обусловлено стерическим факто-



I, IV R¹=Me, R²=H; II, V R¹=R²=Me

Схема 1

Спектры ЯМР ^1H продуктов реакции N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов (I, II, VI, IX, XII, XV) с 4-толилсульфинатом натрия (III)

Номер соединения	Химические сдвиги, δ , м.д.		
	протонов аминофенольного фрагмента	протонов группы 4-TolSO ₂	протонов групп NH, OH, NH ₂
IV	2,11 с (3H, Me ²), 7,39 д (1H, H ⁵ , J 2,7 Гц), 7,91 д (1H, H ³ , J 2,7 Гц)	2,37 с (3H, Me), 7,39 д (2H, J 8,4 Гц), 7,79 д (2H, J 8,4 Гц)	5,87 уш.с (2H, NH ₂), 8,59с. (1H, NH), 9,14 с (1H, OH)
V	2,16 с (6H, Me ^{2,5}), 7,48 с (1H, H ³)	2,39с (3H, Me), 7,45 д (2H, J 8,1 Гц), 7,76 д (2H, J 8,1 Гц)	5,83 уш.с (2H, NH ₂), 7,66 с. (1H, NH), 10,18 уш.с. (1H, OH)
VII	2,13 уш.с (3H, Me ³), 6,66 с (1H, H ²), 7,71 с (1H, H ⁵)	2,36 уш.с (3H, Me), 7,36 д (2H, J 9 Гц), 7,76 д (2H, J 9 Гц)	5,96 уш.с (2H, NH ₂), 8,15 с (1H, NH), 10,22 уш.с (1H, OH)
VIII	2,44 с (3H, Me ³), 6,73 д (1H, H ⁵ , J 8,7 Гц), 7,44 д (1H, H ⁶ , J 8,7 Гц)	2,36 уш.с (3H, Me), 7,36 д (2H, J 9 Гц), 7,76 д (2H, J 9 Гц)	5,85 уш.с (2H, NH ₂), 8,23 с (1H, NH), 10,29 уш.с (1H, OH)
X	6,77 д (1H, H ⁶ , J 8,7 Гц), 7,45 д.д (1H, H ⁵ , J 8,7, 2,1 Гц), 8,01 д (1H, H ³ , J 2,1 Гц)	2,37 уш.с (3H, Me), 7,38 д (2H, J 8,4 Гц), 7,78 д (2H, J 8,4 Гц)	5,81 уш.с (2H, NH ₂), 8,58 с (1H, NH), 10,17 уш.с (1H, OH)
XI	6,84 д (1H, H ⁵ , J 8,4 Гц), 7,48 д.д (1H, H ⁶ , J 8,4, 2,4 Гц), 8,13 д (1H, H ² , J 2,4 Гц)	2,37 уш.с (3H, Me), 7,40 д (2H, J 8,4 Гц), 7,79 д (2H, J 8,4 Гц)	6,44 уш.с (2H, NH ₂), 8,68 с (1H, NH), 10,33 уш.с (1H, OH)
XIII	2,11 уш.с (3H, Me ³), 2,37 уш.с (3H, Me ⁵), 6,66 уш.с (1H, H ⁶)	2,39 уш.с (3H, Me), 7,38 д (2H, J 9 Гц), 7,75 д (2H, J 9 Гц)	5,71 уш.с (2H, NH ₂), 7,40 уш.с (1H, NH), 10,27 с (1H, OH)
XIV	2,02 уш.с (6H, Me ^{3,5}), 6,54 уш.с (2H, H ^{2,6})	2,44 уш.с (3H, Me), 7,38 д (2H, J 9 Гц), 7,90 д (2H, J 9 Гц)	5,71 уш.с (2H, NH ₂), 9,58 с (1H, OH)
XVI	2,18 уш.с (3H, Me ²), 2,38 уш.с (3H, Me ⁶), 7,48 с (1H, H ⁵)	2,38 уш.с (3H, Me), 7,40 д (2H, J 9 Гц), 7,71 д (2H, J 9 Гц)	6,38 уш.с (2H, NH ₂), 8,51 с (1H, NH), 9,98 с (1H, OH)
XVII	1,97 с (6H, Me ^{2,6}), 7,12 с (2H, H ^{3,5})	2,45 уш.с (3H, Me), 7,53 д (2H, J 9 Гц), 7,84 д (2H, J 9 Гц)	5,89 уш.с (2H, NH ₂), 8,54 с (1H, NH)

ром — наличием метильной группы в орто-положении по отношению к иминному атому углерода.

В результате реакции незамещенного в хиноидном ядре N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноимина (IX) с сульфинатом (III) образуются продукты 1,4- (X) и 6,3- (XI) присоединения с соотношением 65:35 (схема 3). В спектре ЯМР ^1H соединения (X) присутствует дублет протона аминофенольного ядра H⁶ при δ 6,77 м.д., дублет дублетов протона H⁵ при δ 7,45 м.д. и дублет протона H³ при δ 8,01 м.д., уширенный синглент протонов группы NH₂ при δ 5,81 м.д., группы OH — при δ 10,17 м.д. и синглент протона группы NH при δ 8,58 м.д. Для спектра ЯМР ^1H соединения (XI) характерно наличие дублета протона аминофенольного ядра H⁵ при δ

6,84 м.д., дублета дублетов протона H⁶ при δ 7,48 м.д. и дублет протона H² при δ 8,13 м.д., уширенного синглента протонов группы NH₂ при δ 6,44 м.д., группы OH — при δ 10,33 м.д. и синглента протона группы NH при δ 8,68 м.д.

N-Карбамоил-3,5-диметил-1,4-бензохинонмоноимин (XII) реагирует с сульфинатом (III) с образованием продуктов 1,4- (XIII) и 6,1-присоединения (XIV) с соотношением 86:14 (схема 4). Для спектров ЯМР ^1H соединений (XIII, XIV) характерно наличие уширенного синглента протона H⁶ при 6,66 м.д. для соединения (XIII) и уширенного синглента протонов H^{2,6} соединения (XIV) при 6,54 м.д.

В результате реакции N-карбамоил-2,6-диметил-1,4-бензохинонмоноимина (XV) с сульфинатом (III) получена смесь продуктов

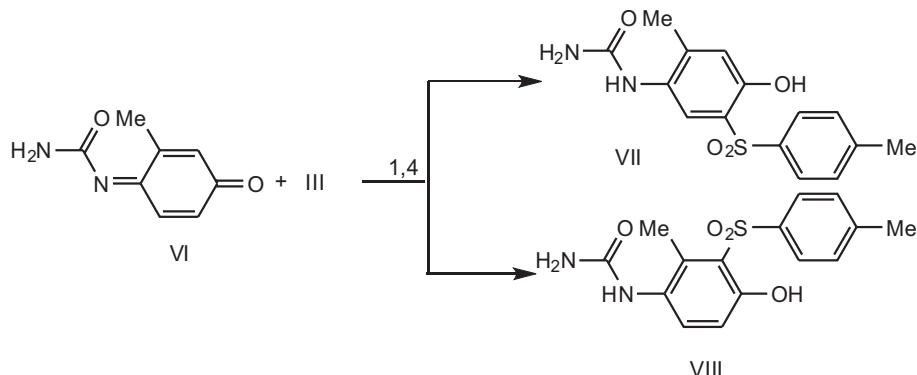


Схема 2

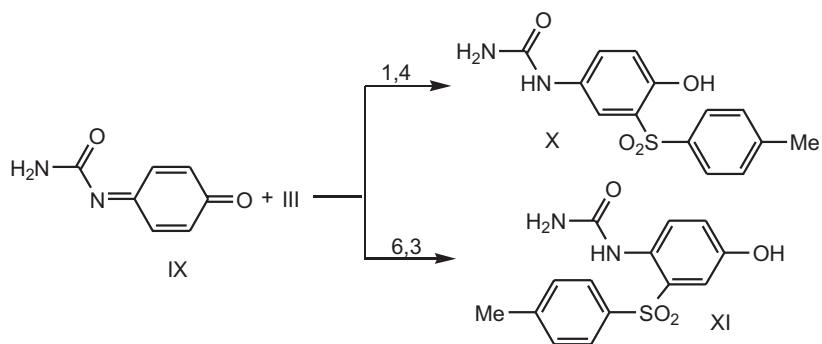


Схема 3

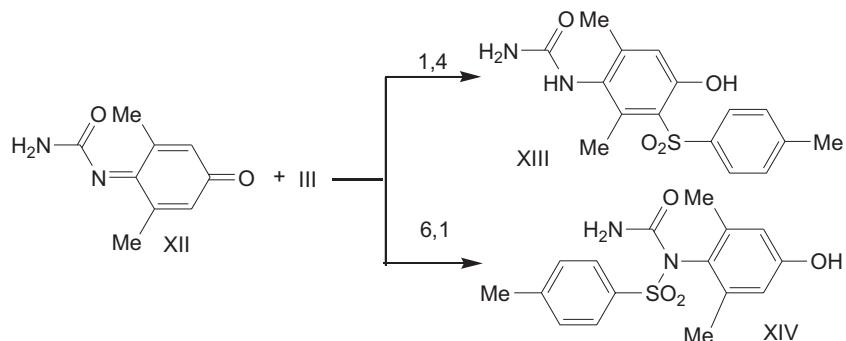


Схема 4

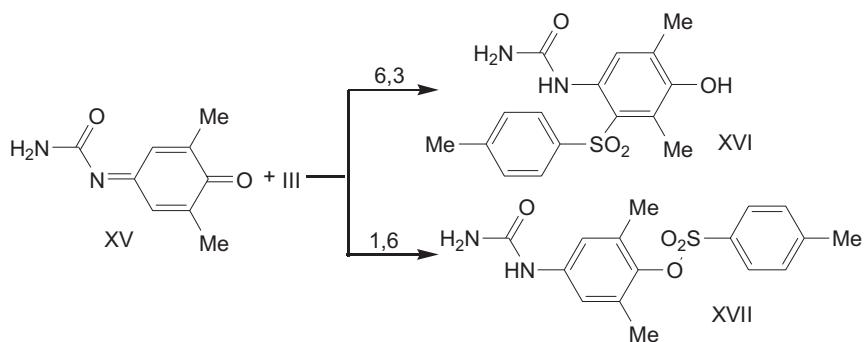


Схема 5

1,6- (XVI) и 6,3-присоединения (XVII) с процентным соотношением 39:61 (схема 5). Для соединения (XVI) характерно наличие в спектре ЯМР ^1H синглета протона H^5 при δ 7,48 м.д., группы NH_2 – при δ 6,38 м.д., группы NH – при δ 8,51 м.д. и группы OH – при δ 9,98 м.д., для соединения (XVII) – синглета протонов $\text{H}^{3,5}$ при δ 7,12 м.д. группы NH_2 – при δ 5,89 м.д. и протона группы NH при δ 8,54 м.д., соответственно.

Анализ экспериментальных данных показывает, что реакционная способность N-карбамоил-1,4-бензохинонмоиминов (I, II, VI, IX, XII, XV) по отношению к арилсульфинатам натрия отличается от реакционной способности N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоиминов [3]. Так, для незамещенного в хиноидном ядре N-карбамоил-1,4-бензохинонмоими-

на (IX) наряду с продуктом 1,4-присоединения получен также продукт 6,3-присоединения, для 3,5-диметилпроизводного (XII) – продукт 6,1-присоединения (ранее для аналогичных N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоиминов выделены только продукты 1,4-присоединения [3]), а для 2,6-диметилпроизводного (XV) не обнаружен продукт 6,1-присоединения (для 2,6-диметил-N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоиминов выделены продукты 1,6-, 6,3- и 6,1-присоединения [3]).

Ранее высказано предположение, что в реакции N-замещенных 1,4-бензохинонмоиминов с арилсульфинатами натрия продукты 1,6- и 6,1-присоединения образуются через анион-радикальное присоединение арилсульфината [4]. Доказательством анион-радикального механизма является зафиксированное методом

ЭПР образование анион-радикальных частиц в ходе реакции N-(4-толуол)сульфонил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия [5]. В пользу ион-радикального механизма говорят также кинетические исследования реакции N,N'-диарил-1,4-бензохинондииминов с 4-толилсульфинатом натрия [6]. Было установлено, что ион-радикальный механизм присоединения является более предпочтительным для 1,4-бензохинонмоноиминов, имеющих более высокий ОВП [7] и более низкое значение энергии НСМО [7–9].

С целью объяснения реакционной способности N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов по отношению к арилсульфинатам натрия мы выполнили методом DFT (B3LYP) полные оптимизации основных состояний хинонмоноиминов (IX, XII, XV) и соответствующих анион-радикальных частиц, которые могут образовываться при анион-радикальном механизме реакции. Квантово-химические расчеты показали, что для 3,5-диметилпроизводного (XII) образование анион-радикальной частицы является более выгодным, чем для 3,5-диметил-N-фениламино карбонил-1,4-бензохинонмоноимина на 15,84 кДж/моль. Для 2,6-диметилпроизводных наблюдается обратная тенденция – образование анион-радикальной частицы для 2,6-диметил-N-фениламино карбонил-1,4-бензохинонмоноимина более выгодно, чем для хинонмоноимина (XV) на 35,37 кДж/моль.

Полученные закономерности хорошо согласуются с экспериментом. Для хинонмоноимина (XII) получен продукт 6,1-присоединения, образующийся через анион-радикальное присоединение, а для 3,5-диметил-N-фениламино карбонил-1,4-бензохинонмоноимина получены только продукты 1,4-присоединения [3]. Для 2,6-диметилпроизводного (XV) процентное содержание продукта 1,6-присоединения значительно меньше, чем суммарное процентное содержание продуктов 1,6- и 6,1-присоединения, образующихся по ион-радикальному механизму, полученных в случае 2,6-диметил-N-фениламино карбонил-1,4-бензохинонмоноимина [3].

Следует также отметить, что для образования анион-радикальной частицы 2,6-диметилпроизводного (XV) необходимы меньшие затраты энергии (64,66 кДж/моль), чем в случае 3,5-диметилпроизводного (XII) – 124,82 кДж/моль, что также согласуется с экспериментом. Процентное содержание продукта 1,6-присоединения хинонмоноимина (XV) составляет 39%, а содержание продукта 6,1-присоединения для хинонмоноимина (XII) – 14%.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ¹H измерены на спектрометре Varian VXR-300 в DMSO-d₆. Величины химических сдвигов определены относительно ТМС.

Анализ чистоты продуктов реакций проводился методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254, элюенты – бензол-гексан, 10:1, гексан-этилацетат, 1:2, проявление УФ-светом.

Квантово-химические расчеты выполнены с использованием пакета Firefly QC [12], который частично основан на исходном коде пакета GAMESS (US) [13]. Оптимизации молекул 1,4-бензохинонмоноиминов выполнены по всем геометрическим параметрам методом DFT (B3LYP) с использованием базисного набора 6-31+G(d).

N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноимины (I, II, VI, IX, XII, XV) получены окислением N-(4-гидроксифенил)мочевин оксидом серебра в хлороформе [1].

4-Толилсульфинат натрия (III) получен по методике, описанной в работе [14].

Общая методика реакции N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов (I, II, VI, IX, XII, XV) с 4-толилсульфинатом натрия. К раствору 2 ммоль хинонмоноимина в 10 мл ледяной уксусной кислоты за один прием при перемешивании добавляли 4 ммоль 4-толилсульфината натрия (III). Если раствор не обесцвечивался при комнатной температуре в течении 2-х часов после добавления сульфината, то реакционную смесь нагревали до обесцвечивания. После полного обесцвечивания раствор охлаждали и в реакционную массу добавляли воду до полного осаждения осадка. Бесцветный осадок отфильтровывали и промывали холодной, затем теплой водой и высушивали. С целью выявления всех возможных продуктов реакции методом ЯМР ¹H анализировали осадок, полученный из реакционной массы, и осадок, полученный после перекристаллизации из уксусной кислоты. В результате нескольких последовательных перекристаллизаций в индивидуальном виде удалось выделить только соединения (IV, V, XIII).

1-(4-Гидрокси-2-метил-3-тозилфенил)мочевина (IV). Выход 89%, т.пл. 213–215°C, Найдено, %: N 8,59, 8,87, S 9,94, 10,08. C₁₅H₁₆N₂O₄S. Вычислено, %: N 8,75, S 10,00.

1-(4-Гидрокси-2,5-диметил-3-тозилфенил)мочевина (V). Выход 86%, т.пл. 204–205°C, Найдено, %: N 8,26, 8,42, S 9,67, 9,51. C₁₆H₁₈N₂O₄S. Вычислено, %: N 8,38, S 9,58.

1-(4-Гидрокси-3,5-диметил-3-тозилфенил)мочевина (XIII). Выход 86%, т.пл. 237–238°C, Найдено, %: N 8,15, 8,32, S 9,62, 9,81. C₁₆H₁₈N₂O₄S. Вычислено, %: N 8,38, S 9,58.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синтез N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов / С.А. Коновалова, А.П. Авдеенко, М.В. Полищук,

Взаимодействие N-карбамоил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия

В.М. Васильева // Вопр. хим. и хим. технологии. – 2013. – № 4. – С.9-12.

2. Синтез и структура N-алкил(арил)аминокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов / Авдеенко А.П., Коновалова С.А., Сергеева А.Г., Зубатюк Р.И., Паламарчук Г.В., Шишкин О.В. // Журн. орган. химии. – 2008. – Т.44. – Вып.12. – С.1791-1798.

3. Взаимодействие N-ариламинокарбонил-1,4-бензохинонмоноиминов с арилсульфинатами натрия / А.П. Авдеенко, С.А. Коновалова, А.Г. Сергеева, М.В. Коновалова // Вопр. химии и хим. технологии. – 2010. – № 2. – С.9-17.

4. Романков Д.А. Взаимодействие N-замещённых 1,4-бензохинонмоноиминов с арилсульфинатами натрия и роданидом калия: Дис...канд хим. наук: 02.00.03. – Днепропетровск: УГХТУ, 2009. – 252 с.

5. Химически генерированные анион-радикалы N-(4-толуол)сульфонил-1,4-бензохинонмоноиминов / Ничволова В.М., Алаев Ю.Н., Лукьяненко Л.В., Марков В.И., Бурмистров К.С. // Журн. орган. химии. – 1986. – Т.22. – Вып. 5. – С.1111-1112.

6. Юрченко А.Г. Исследование реакций хинониминов с нуклеофильными агентами: Дис...канд хим. наук: 02.00.03. – ДХТИ. – Днепропетровск, 1993. – 127 с.

7. Бурмистров К.С. Синтез и реакционная способность хинониминов и их аналогов: Дис...д-ра хим. наук: 02.00.03. – ДХТИ. – Днепропетровск, 1990. – 444 с.

8. Ничволова В.М., Бурмистров К.С., Марков В.И. Реакция N-(n-толуолсульфонил)-1,4-хинонмоноиминов с n-толуолсульфновой кислотой // Журн. орган. химии. – 1985. – Т.21. – Вып. 5. – С.1069-1071.

9. Авдеенко А.П., Коновалова С.А., Васильева В.М. Взаимодействие N-арил(бензилиден, фенокси)ацетил-1,4-бензохинонмоноиминов с 4-толилсульфинатом натрия // Вопр. химии и хим. технологии. – 2012. – № 6. – С.9-16.

10. Взаимодействие N-замещенных 2,6(3,5)-диалкил-1,4-бензохинонмоноиминов с арилсульфиновыми кислотами / Авдеенко А.П., Коновалова С.А., Романков Д.А., Бурмистров К.С., Ничволова В.М., Шишкин О.В., Зубатюк Р.И., Паламарчук Г.В. // Журн. орган. химии. – 2009. – Т.45. – Вып. 1. – С.55-74.

11. Взаимодействие некоторых N-замещенных 1,4-бензохинонмоноиминов с арилсульфинатами натрия / А.П. Авдеенко, С.А. Коновалова, Д.А. Романков, И.Л. Марченко // Вопр. химии и хим. технологии. – 2009. – № 1. – С.14-23.

12. Granovsky A.A., Firefly version 7.1.G. – Доступный с: <<http://www.classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html>>

13. General atomic and molecular electronic structure system / Schmidt M.W., Baldridge K.K., Boatz J.A. and others // J. Comput. Chem. – 1993. – Vol.14. – № 11. – P.1347-1363.

14. Синтезы органических препаратов: В 10 т / Ред. Б.А. Казанского. – Т.1. – М: Гос. Изд-во иностр. лит-ры, 1949. – Т.1. – 604 с.

Поступила в редакцию 9.09.2014

REACTION OF N-CARBAMOYL-1,4-BENZOQUINONEMONOIMINES WITH SODIUM 4-TOLYLSULPHINATE

S.A. Konovalova, A.P. Avdeenko, M.V. Polischuk, A.L. Yusina
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Earlier we synthesized N-carbamoyl-1,4-benzoquinonemonoimines being analogues of N-arylaminoacarbonyl-1,4-benzoquinonemonoimines which reacted with sodium arylsulphinates mainly under 1,4-addition. Only 2,6-dimethyl-N-arylaminoacarbonyl-derivatives gave products of 6,1-, 1,6- and 6,3-addition. To compare the reaction ability of N-carbamoyl- and N-arylaminoacarbonyl-1,4-benzoquinonemonoimines we studied the interaction of N-carbamoyl-1,4-benzoquinonemonoimines with sodium 4-tolylsulphinate. The products of 1,4-, 6,1-, 1,6- and 6,3-addition have been obtained as a result of reaction of N-carbamoyl-1,4-benzoquinonemonoimines with sodium 4-tolylsulphinate. The addition direction depends on substituent position in quinoid ring of quinoneimine more considerably than in case of N-arylaminoacarbonyl-1,4-benzoquinonemonoimines. On the basis of experiment results and quantum-chemical calculations it is proved the products of 6,1- and 1,6-addition form by ion-radical mechanism.

Keywords: N-carbamoyl-1,4-benzoquinonemonoimines; sodium 4-tolylsulphinate; ion-radical addition; quantum-chemical calculations; 1,4-addition.

REFERENCES

1. Konovalova S.A., Avdeenko A.P., Polischuk M.V., Vasiljeva V.M. Sintez N-karbamoyl-1,4-benzokhinonmonoiminov [Synthesis of N-carbamoyl-1,4-benzoquinonemonoimines]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2013, vol. 4, pp. 9-12. (in Russian).
2. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Sergeeva A.G., Zubatyuk R.I., Palamarchuk G.V., Shishkin O.V. Synthesis and structure of N-alkyl(aryl)aminocarbonyl-1,4-benzoquinone imines. *Rus. J. Org. Chem.*, 2008, vol. 44, no. 12, pp. 1765-1772.
3. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Sergeeva A.G., Konovalova M.V. Vzaimodeystvie N-arylaminoakarbonil-1,4-benzokhinonmonoiminov s arilsulfinatami natriya [Interaction of N-arylaminoacarbonyl-1,4-benzoquinonemonoimines with sodium arylsulphinates]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2010, vol. 2, pp. 9-17. (in Russian).
4. Romankov D.A., Vzaimodeystvie N-zameschennikh 1,4-benzokhinoniminov s arilsulfinatami natriya i rodanidom kaliya [Interaction of N-substituted 1,4-benzoquinoneimines with sodium arylsulphinates and potassium thiocyanate]: thesis for the degree of Candidate of Chemical Sciences, Dnepropetrovsk Ukrainian State University of Chemical Technology, 2009. (in Russian).
5. Nichvолова В.М., Алаев Ю.Н., Lukyanenko L.V., Markov V.I., Burmistrov K.S. Khimicheski generirovannye anion-radikaly N-(toluol)sulfonil-1,4-benzoquinonemonoimines [Anion-radicals of N-(4-toluol)sulphonyl-1,4-benzoquinonemonoimines generated by chemical method]. *Zhurnal Organicheskoi Khimii*, 1986, vol. 22, no. 5, pp. 1111-1112. (in Russian).
6. Yurchenko A.G. Issledovanie reaktsii khinoniminov s nukleofilnymi agentami [Investigation of reactions of quinonimines with nucleophilic reagents]: thesis for the degree of Candidate of Chemical Sciences, Dnepropetrovsk Institute of Chemical Technology, 1993. (in Russian).
7. Burmistrov K.S. Sintez i reaktsionnaya sposobnost khinoniminov i ikh analogov [Synthesis and reaction ability of quinonimines and their analogs]: thesis for the degree of Doctor of Chemical Sciences, Dnepropetrovsk Institute of Chemical Technology, 1990. (in Russian).
8. Nichvолова В.М., Burmistrov K.S., Markov V.I. Reaktsiya N-(p-toluolsulfonil)-1,4-benzokhinonmonoimina s p-toluolsulfinoyoy kislotoy [Reaction of N-(p-toluen)sulphonyl-1,4-benzoquinoneimine with p-toluensulphinic acid]. *Zhurnal Organicheskoi Khimii*, 1985, vol. 21, no. 5, pp. 1069-1071. (in Russian).

9. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Vasilyeva V.M. Vzaimodeystvie N-aryl(benziliden, fenoksi)atsetyl-1,4-benzokhinonemonoiminov s 4-tolilsulfinatom natriya [Reaction of N-aryl-(cinamic, phenoxy)acetyl-1,4-benzoquinonemonoimines with sodium 4-tolylsulfinate]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2012, vol. 6, pp. 9-16. (in Russian).
10. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Romankov D.A., Burmistrov K.S., Nichvoloda V.M., Shishkin O.V., Zubatyuk R.I., Palamarchuk G.V. Reactions of N-substituted 2,6(3,5)-dialkyl-1,4-benzoquinone imines with arenesulfonic acids. *Rus. J. Org. Chem.*, 2009, vol. 45, no. 1, pp. 48-67.
11. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Romankov D.A., Marchenko I.L. Vzaimodeystvie nekotorykh N-zameschennukh 1,4-benzokhinoniminov s arilsulfinatami natriya [The interaction of N-substituted 1,4-benzoquinonemonoimines with sodium arylsulphinate]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2009, vol. 1, pp. 14-23. (in Russian).
12. Granovsky A.A., Firefly version 7.1.G. Available at: <http://www.classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html>.
13. Schmidt M.W., Baldridge K.K., Boatz J.A., Elbert S.T., Gordon M.S., Jensen J.H., Koseki S., Matsunaga N., Nguyen K.A., Su S., Windus T.L., Dupuis M., Montgomery J.A. Jr. General atomic and molecular electronic structure system. *J. Comput. Chem.*, 1993, vol. 14, no. 11, pp. 1347-1363.
14. *Sintezy organicheskikh preparatov* [Synthesizes of organic preparations, Vol. 1]. State Publ. of Foreign Literature, Moscow, 1949. 604 p. (in Russian).