

И. Матушко, канд. хим. наук
mipigor@gmail.com,
Л. Олексенко, д-р хим. наук,
Н. Максимович, канд. хим. наук,
Г. Сколяр, ведущ. инж.,
А. Роик, д-р хим. наук,
Г. Федоренко, канд. хим. наук,
Л. Луценко, канд. хим. наук,
А. Рипко, ведущ. инж.,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕНСОРОВ ВОДОРОДА

При использовании метода соосаждения и золь-гель технологии получены полупроводниковые микрокристаллические и наноразмерные материалы на основе $\text{SnO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$ и $\text{Co}/\text{SnO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$. Изучено морфологию и фазовый состав полученных материалов. Установлено, что полученные Co -содержащие сенсоры, газочувствительный слой которых создан на основе наноразмерного материала $\text{SnO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$ (0,15 %Sb), демонстрируют большую чувствительность к микроконцентрациям H_2 (40 ppm) в сравнении с сенсорами с газочувствительным слоем на основе микрокристаллического материала. Исследованиями динамических параметров сенсоров показано, что сенсоры на основе наноматериала имеют почти в два раза лучшее быстродействие и меньшее время релаксации в сравнении с сенсорами на основе микрокристаллического материала, близкого по химическому составу. Полученные данные объяснены с точки зрения энергетической неоднородности наноразмерного и микрокристаллического материалов поверхности газочувствительного слоя сенсора.

Ключевые слова: полупроводниковые материалы $\text{Co}/\text{SnO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$, сенсоры, водород, чувствительность, быстродействие.

УДК 547.759.4

DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2020.1\(57\).11](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2020.1(57).11)

Т. Єгорова, канд. хім. наук
tve2008@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
Б. Барнич, канд. хім. наук,
Каліфорнійський університет, Девіс, США,
З. Войтенко, д-р хім. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

РЕАКЦИЯ ПИРИДО[2,1-а]ИЗОИНДОЛУ 3 (R)- І (S)- N-α-МЕТИЛБЕНЗИЛМАЛЕИНИДАМИ

Уперше досліджено реакцію N-хіральних малеїнімідів із конденсованими ізоіндолами на прикладі піридо[2,1-а]ізоіндолу за стандартних умов для даного перегрупування та в умовах кінетичного контролю реакції в інертній атмосфері за $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ із використанням TiCl_4 як каталізатора. Показано, що перебіг реакції є аналогічним дослідженому раніше, а продуктами є аддукти перегрупування першого типу, які у твердому стані мають скручений подвійний зв'язок, а в розчинах існують у вигляді суміші атроподіастереомерів унаслідок наявності асиметричного атома Карбону й ускладненого обертання навколо зв'язку C–C між екзоциклічним подвійним зв'язком і 2-(α-піридил)фенільним фрагментом. Співвідношення атроподіастереомерів відрізняється від попередньо досліджених реакцій, у яких не використовувалися оптично активні дієнофіли.

Ключові слова: піридо[2,1-а]ізоіндол, (R)-N-α-метилбензилмалеїнімід, (S)-N-α-метилбензилмалеїнімід, [4+2]-циклоприєднання, асиметрична індукція.

Вступ. Селективність хімічних реакцій створює нові можливості керованого синтезу речовин із заданими властивостями для потреб медичної хімії, матеріалознавства й інших суміжних галузей науки. Особливо це стосується такого потужного синтетичного методу побудови нових структур, як [4+2]-циклоприєднання. Натепер відомі різноманітні шляхи вирішення проблеми селективності реакції Дільса – Альдера. Так, для підвищення ендо-селективності використовують умови кінетичного контролю (помірні температури та невеликий час проведення реакції), кислоти Льюїса і спеціально підібрані молекулярні реактори. Для підвищення діастереоселективності та енантіоселективності використовують хіральні субстрати, хіральні реагенти, хіральні каталізатори або хіральне середовище. Іноді ці фактори поєднують і роблять ставку на подвійну асиметричну індукцію. Контроль діастерео- та енантіоселективності визначається стабілізацією одного з можливих перехідних станів. Нас цікавить не лише перевірка можливості асиметричної індукції в реакції Дільса – Альдера, але й програмування цієї індукції на подальший синхронний процес перегрупування першого типу в системі конденсованих ізоіндолів в умовах реакцій [4+2]-циклоприєднання, що потребує вивчення ряду конкретних класичних питань: як проходитиме реакція з хіральним малеїнімідом, буде відбуватися таке саме перегрупування аддуктів складу 1:2 чи є шанс використати дальню індукцію (асиметричний атом

Карбону в дієнофілі розташований через три сигма-зв'язки від реакційних центрів). Використання хіральних дієнофілів в асиметричних реакціях циклоприєднання для інших типів дієнів описане раніше [1-4], зокрема кілька досліджень присвячені C- та N-хіральним малеїнімідам [5-7]. Так, у роботі [7] подані результати вивчення реакції між різноманітними 1,3-бутадієнами та N-α-метилбензилмалеїнімідом **1**, де у присутності TiCl_4 чи EtAlCl_2 за $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ співвідношення діастереомерів складало 15:1.

Ця робота присвячена дослідженню реакції оптично активних ізомерних малеїнімідів **1** і **2** із центральною хіральністю (рис. 1) з циклічними дієнами ряду піридоізоіндолу **3**. Піридо[2,1-а]ізоіндол **3** виявився найбільш зручним об'єктом для першого випадку дослідження асиметричного варіанту реакції Дільса – Альдера серед конденсованих ізоіндолів, оскільки раніше [8] нами було встановлено, що ця гетероциклічна система, на відміну від інших азино- та азоізоіндолів, у реакції циклоприєднання з малеїнімідами **4** утворює винятково аддукти перегрупування першого типу **5** (рис. 2).

Продукти реакції **5** є цікавими у стереохімічному плані: у твердому стані вони мають скручений подвійний зв'язок (кут скручування становить $7\text{--}10^{\circ}$), а в розчинах існують у вигляді суміші атроподіастереомерів унаслідок наявності асиметричного атома Карбону та ускладненого обертання навколо зв'язку C–C між екзоциклічним подвійним зв'язком і 2-(α-піридил)фенільним фрагментом [8]. Нами

очікувалось, що хіральна індукція впливатиме на співвідношення утворюваних атроподіастереомерів. Стандартний підрахунок свідчить про те, що можуть утворюватися як мінімум чотири атроподіастереомери за рахунок хірального центру та врахування найбільш стерично навантаженої хіральної осі. У випадку нехіральних дієнофілів продуктами реакції є два мажорних діастереомери (назвемо їх A і B) у співвідношенні 70:30 і два міnorних ізомери (назвемо їх C і D), сумарна кількість яких не

перевищує 5 %. Мажорні та міnorні ізомери перебувають у рівновазі. Ця складна рівновага контролюється з одного боку повільним обертанням навколо осі відповідного C—C зв'язку (причина існування атропоізомерії між мажорними формами А і В, що доведено дослідженням ЯМР спектрів за різних температур), а з іншого – швидкими перетвореннями внаслідок 1,5-сигматропного зміщення (причина існування міnorних форм) [9].

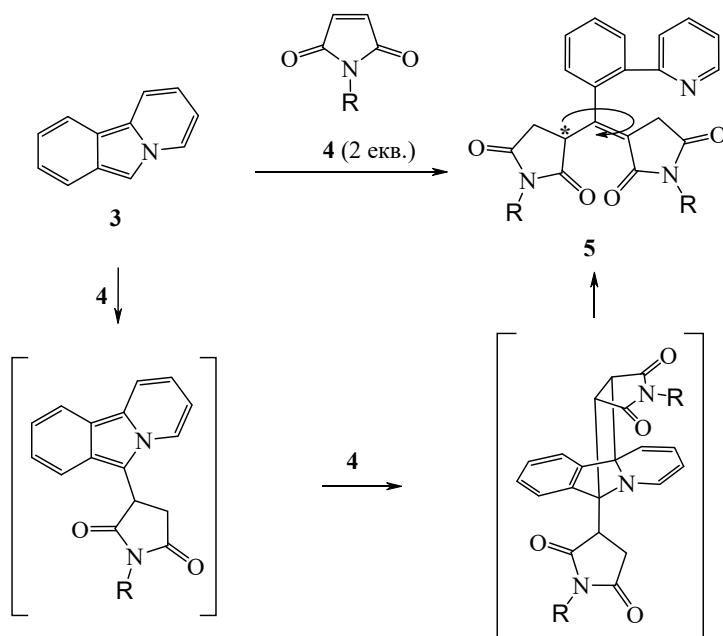
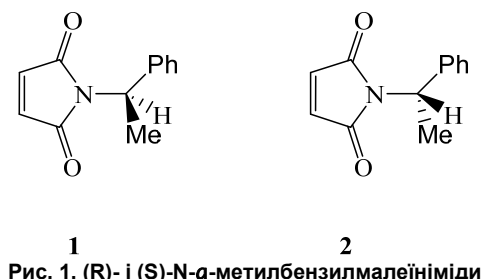


Рис. 2. Схема синтезу аддуктів перегрупування *першого* типу в реакції піридо[2,1-а]ізоіндолу з малеїнімідами (літературні дані)

Результати досліджень та обговорення. На першому етапі досліджень реакцію проводили за умов, описаних у роботі [8], оскільки кип'ятіння у спирті є стандартними умовами одержання аддуктів перегрупування *першого* типу (рис. 3). Порівняння хромато-мас-спектрів реакційної суміші та виділених кристалічних продуктів показує, що співвідношення ізомерів у реакційній суміші дорівнює такому в перекристалізованих продуктах реакції, за винятком деяких мікродомішок, які відсутні в перекристалізованих речовинах. Спектри ^1H ЯМР сполук **6** та **7** на перший погляд схожі. Порівняно з літературними даними [8] у обох випадках збільшилась кількість мінорних форм C і D, а також змінилося співвідношення мажорних форм A і B.

На другому етапі досліджені реакція була проведена за умов, наближених до описаних у роботі [7], для дослідження впливу кислоти Льюїса та температурного фактору (рис. 3, верхня схема реакції). Реакція проводилась в інертній атмосфері за $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ із використанням TiCl_4 як каталізатора, як розчинник був використаний сухий хлористий метилен. За допомогою хромато-мас-спектрометрії в реакційній суміші був зафіксований один продукт із

молекулярною масою, що відповідає аддукту перегрупування *першого* типу, але виділити речовину в індивідуальному стані не вдалось. Імовірно, навіть під час використання меншої кількості каталізатора та за нижчої температури, ніж описано у статті [7], у випадку піридо[2,1-а]ізоіндолу відбувається суттєва полімеризація дієну. Ці дослідження є сенс продовжувати, підібравши кращі умови кінетичного контролю.

Експериментальна частина. Контроль за перебігом реакції здійснювали за допомогою методу ТШХ (пластинки Merck 60F₂₅₄). ¹H ЯМР спектри записували на приладі Bruker Avance drx 500: ¹H (500 МГц). Для LC/MS (APSI MS) спектрів використовували систему Agilent 1100\DAD\MSD VL G1965a. Колонкову хроматографію виконували на силікагелі (63–200 mesh, Merck). Вихідний піридоіндол синтезували за відомою методикою [8].

Аdditук переeрyпуvання першого тyлу 6. 0,295 г (1,77 ммоль) пiридоiзоiндулy **3** розчинили в 30 мл киплячого етанолу, додали розчин 0,71 г (3,53 ммоль) **1** у 5 мл етанолу й кип'ятили 24 год. Реакцiйну сумiш охолодили до -10°C i вiдфiльтрували. Залишок розчинили в мiнiмальнiй кiлькостi етанолу пiд час нагiвання, розчин охолодили до -10°C i вiдфiльтрували.

Світло-коричнева кристалічна речовина (0,21 г, 21 %). ^1H ЯМР (CDCl_3) δ 1,77 (6H, уш. м, 2CH_3), δ 2,44-2,95 (4H, уш. м, CH), δ 3,91 (0,5H, с, H_e), δ 5,2-5,51 (2H, м, 2CH), δ 6,5; 6,92 (0,5H, д, H_e), δ 7,05-7,54 (16H, уш. м, Ar), δ 7,72 (1H, м), δ 8,33-8,51 (1H, м, $\alpha\text{-CH Py}$).

Аддукт перегрупування першого типу **7**. 0,5 г (3 ммоль) піридоізоіндолу **3** розчинили в 40 мл ізопропанолу, додали розчин 1,2 г (6 ммоль) **2** у 5 мл ізопропанолу та кип'ятили 12 год. Реакційну суміш охолодили та відфільтрували утворений осад. Твердий залишок тричі перекристалізували з етанолу та відфільтрували.

Чорна кристалічна речовина (0,33 г, 19 %). ^1H ЯМР (CDCl_3) δ 1,77 (6H, уш. м, 2CH_3), δ 2,44-2,95 (3H, уш. м,

CH), δ 3,91 (0,5H, с, H_e), δ 5,2-5,51 (2H, м, 2CH), δ 6,5; 6,92 (0,5H, д, H_e), δ 7,05-7,54 (16H, уш. м, Ar), δ 7,72 (1H, м), δ 8,33-8,51 (1H, м, $\alpha\text{-CH Py}$).

Реакція піридоізоіндолу **3** із малеїнімідом **1** в умовах кінетичного контролю. 0,2 г (1,2 ммоль) піридоізоіндолу **3** розчинили в 25 мл сухого хлористого метилу, розчин охолодили до -80°C і додали розчин 0,48 г (2,4 ммоль) **1** в 5 мл сухого CH_2Cl_2 . До реакційної суміші додали розчин 0,091 г (0,24 ммоль) TiCl_4 в 0,2 мл хлористого метилу. Реакційну суміш витримали при -80°C 5 год., а потім повільно довели до кімнатної температури. Розчинник випарили, а залишок двічі перекристалізували з етанолу.

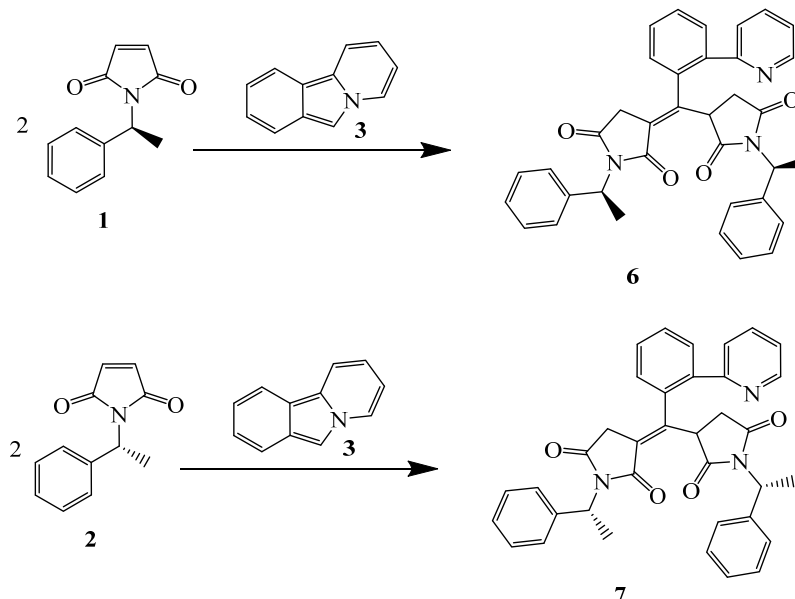


Рис. 3. Взаємодія N-хіральних малеїнімідів **1** і **2** з піридо[2,1-а]ізоінделом **3**

Висновки. Уперше показано принципову можливість проведення перегрупування *першого* типу з асиметричним індуктором у дієнофілі, у реакцію з піридоізоінделом були введені оптично чисті (R)- і (S)-N- α -метилбензилмалеїміди. Показано, що перебіг реакції є аналогічним дослідженому раніше, а продуктами – аддукти перегрупування *першого* типу. Співвідношення атроподіастереомерів (і мажорних, і міnorних форм) відрізняється від попередньо досліджених реакцій з оптично неактивними 2-заміщеними малеїнімідами. Асиметрична індукція спонтанно переходить від впливу на стереохімію реакції Дільса–Альдера на такий вплив щодо синхронного сигматропного перегрупування, що є кінцевою стадією перегрупування *першого* типу в конденсованих ізоіндольних системах.

Список використаної літератури

1. Asymmetric Synthesis. Stereodifferentiating Reactions, Part B., Vol. 3 / Ed.: J. D. Morrison. – New York : AP, 1984.
2. Oppolzer W. Asymmetric Diels-Alder and Ene Reactions in Organic Synthesis. New Synthetic Methods (48) / W. Oppolzer // Angew. Chem., Int. Ed. Engl. – 1984. – Vol. 23. – № 11. – P. 876–889.
3. Evans D.A. Asymmetric Diels-Alder cycloaddition reactions with chiral α,β -unsaturated N-acyloxazolidinones / D.A. Evans, K.T. Chapman, J. Bisaha. // J. Am. Chem. Soc. – 1988. – V. 110. – № 4. – P. 1238–1256.
4. Cycloaddition Reactions in Organic Synthesis, Vol. 8 / Ed.: W. Carruthers. – New York : Pergamon Press, 1990.
5. Yoshitsugu A. A Novel Approach to Bicyclic Alkaloids Using a Tandem Diastereoselective Acyliminocyclization and Retro Diels-Alder Reaction Sequence. Synthesis of (+)-Indolizidine and (+)-Laburnine / A. Yoshitsugu, K. Tohru, K. Toru // Chem. Lett. – 1991. – Vol. 20. – № 12. – P. 2135–2138.
6. Asymmetric Diels-Alder reaction of optically active α -(2-exo-hydroxy-10-boryl)sulfinylmaleimides and its application to optically active 5-functionalised

pyrrolines via retro-Diels-Alder reaction / A. Yoshitsugu, M. Makoto, F. Akihito, K. Tohru, O. Toshiyuki, K. Toru, S. Motoo // J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1. – 1994. – № 1. – P. 25–39.

7. Diastereoselective Diels-Alder reactions between substituted 1,3-butadienes and N- α -methylbenzylmaleimide / S. W. Baldwin, P. Greenspan, C. Alaimo, A.T. McPhail // Tetrahedron Lett. – 1991. – Vol. 32. – № 42. – P. 5877–5880.

8. Structure of the Cycloaddition Products of Pyrido[2,1-a]isoindole with Maleimide Derivatives: X-ray Diffraction Analysis and ^1H NMR Variable-Temperature Spectra / Z. V. Voitenko, O. A. Pocholenko, O. O. Chkarov, O. V. Shishkin, S. V. Shishkina, A. Dall'Ava, M. Vedrenne, M. Sanchez, J. G. Wolf // Eur. J. Org. Chem. – 2001. – Vol. 2001. – № 7. – P. 1401–1405.

9. Войтенко З.В. Нові перегрупування в реакції циклоприєднання конденсованих по грані а ізоіндолів: стереохімічні особливості та проміжні продукти : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра хім. наук : спец. 02.00.03 "Органічна хімія" / З. В. Войтенко. – К., 2005.

References

1. Paquette L.A. In: Asymmetric Synthesis. Stereodifferentiating Reactions, Part B., Vol. 3 (Ed.: Morrison J.D.), AP, New York, 1984.
2. Oppolzer W. Angew. Chem., Int. Ed. Engl., 1984, 23, 876–889.
3. Evans D.A., Chapman K.T., Bisaha J. J. Am. Chem. Soc., 1988, 110, 1238–1256.
4. Carruthers W. Cycloaddition Reactions in Organic Synthesis. Pergamon Press, New York, 1990, 61–72.
5. Yoshitsugu A., Tohru K., Toru K. Chem. Lett., 1991, 20, 2135–2138.
6. Yoshitsugu A., Makoto M., Akihito F., Tohru K., Toshiyuki O., Toru K., Motoo S. J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1994, 1, 25–39.
7. Baldwin S.W., Greenspan P., Alaimo C., McPhail A.T. Tetrahedron Lett., 1991, 42, 5877–5880.
8. Voitenko Z.V., Pocholenko O.A., Chkarov O.O., Shishkin O.V., Shishkina S.V., Dall'Ava A., Vedrenne M., Sanchez M., Wolf J.G., Eur. J. Org. Chem., 2001, 7, 1401–1405.
9. Voitenko Z.V. New rearrangements in cycloaddition of annelated at a side isoindoles: stereochemical phenomena and intermediary products. Thesis for Doctor's degree by speciality 02.00.03 organic chemistry, Kyiv, 2005.

Надійшла до редколегії 18.10.2020

T. Yegorova, PhD,
tve2008@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
B. Barnych, PhD,
University of California, Davis, USA,
Z. Voitenko, Dr. Sci.,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

REACTION OF PYRIDO[2,1-a]ISOINDOLE WITH 3 (R)- AND (S)- N- α -METHILBENZYLMALEIMIDE

Selective chemical reactions create new possibilities for controlled synthesis of compounds with pre-designed properties for further use in medical chemistry, material science and other fields. This is especially useful for such synthetic methodology as [4+2] cycloaddition.

Current work is dedicated to study of reactions between N-chiral maleimides with cyclic dienes based on the pyridoisindole. Pyrido[2,1-a]isoindole turned out to be the most practical object to study the first example of asymmetric variant of the Diels-Alder reaction involving condensed isoindols. Previously, we established that this heterocyclic system, in contrast to other azino- and azoloisoindols, upon undergoing cycloaddition with non-chiral maleimides gives only rearranged adducts of the first type. This type of compounds have also interesting stereochemistry: in solid state they have twisted double bond (twist angle 7-10°), while in solution they exist as a mixture of atropodiastereomers due to the asymmetric Carbon atom and hindered rotation around C-C bond between exocyclic double bond and 2-(α -pyridyl)phenyl fragment. Initial expectation was that chiral induction would influence the ratio of corresponding atropodiastereomers. Calculations show that there are four possible atropodiastereomers due to the chiral center and sterically hindered chiral axis. In case of non-chiral dienophiles, reaction results in two major diastereomers (for our purposes marked as A and B) with 70:30 ration and two minor isomers (marked C and D respectively), the latter constituting less than 5% of the total amount. Major and minor isomers are in constant complex equilibrium, controlled via slow rotation of around corresponding C-C bond on one hand (which is the reason for atropodiastereomers between major forms A and B, shown via NMR spectra at different temperatures), and on the other hand – fast equilibrium due to the 1,5-sigmatropic shift (cause for the minor forms C and D).

Target reaction was studied under standard conditions for this rearrangement and under the kinetic control in the inert atmosphere at -80°C using $TiCl_4$ as catalyzer. We therefore show that reaction pathway is similar to our previous examples and results in rearranged adducts of the first type. Ratio of atropodiastereomers (both major and minor forms) is different from previous examples using non-chiral 2-substituted maleimides. Asymmetric induction spontaneously transfers from influencing the Diels-Alder reaction to influencing synchronic sigmatropic rearrangement, which is the final stage in the formation of the rearranged adduct of the first type in condensed isoindole systems.

Keywords: pyrido[2,1-a]isoindole, (R)-N- α -methylbenzylmaleimide, (S)-N- α -methylbenzylmaleimide, [4+2]-cycloaddition, asymmetric induction.

Т. Егорова, канд. хим. наук, tve2008@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина
Б. Барнич, канд. хим. наук,
Калифорнийский университет, Девис, США,
З. Войтенко, д-р хим. наук,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

РЕАКЦИЯ ПИРИДО[2,1-a]ИЗОИНДОЛА С (R)- И (S)- N- α -МЕТИЛБЕНЗИЛМАЛЕИНИМИДАМИ

Впервые исследована реакция N-хиральных малеинимидов с конденсированными изоиндолами на примере пиридо[2,1-a]изоиндола в стандартных для данной перегруппировки условиях и в условиях кинетического контроля реакции в инертной атмосфере при -80 °C с использованием $TiCl_4$ в качестве катализатора. Показано, что протекание реакции аналогично исследованному ранее, а продуктами являются аддукты перегруппировки первого типа, у которых в твердом состоянии двойная связь скручена, а в растворах они существуют в виде смеси атроподиастереомеров вследствие наличия асимметрического атома углерода и затрудненного вращения вокруг связи C-C между экзоциклической двойной связью и 2-(α -пиридил)фенильным фрагментом. Соотношение атроподиастереомеров отличается от изученных ранее реакций, в которых не использовались оптически активные диенофилы.

Ключевые слова: пиридо[2,1-a]изоиндол, (R)-N- α -метилбензилмалеинимид, (S)-N- α -метилбензилмалеинимид, [4+2]-циклоприсоединение, асимметрическая индукция.

УДК 547.727, 547.781.2, 547.789.61

DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2020.1\(57\).12](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2020.1(57).12)

Р. Шемеген, асп.
ruslana_shemegen@ukr.net,
О. Хиля, канд. хим. наук,
Ю. Воловенко, д-р хим. наук.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

РЕАКЦІЇ 2-ГЕТАРИЛ-2-(ДИГІДРОФУРАН-2(3H)-ІЛІДЕН)АЦЕТОНИТРИЛІВ З АРОМАТИЧНИМИ АМІНАМИ

Досліджено реакції 2-гетарил-2-(дигідрофурани-2(3H)-іліден)ацетонітрилів з ароматичними амінами. Отримано продукти розкриття фуранового фрагмента – 2-(2-гетарил)-6-гідрокси-3-ариламіно-2-гексенонітрили та рециклізації – 2-гетарил-2-(1-арилпіролідін-2-іліден)ацетонітрили.

Ключові слова: 2-гетарил-2-(дигідрофурани-2(3H)-іліден)ацетонітрили, 2-гетарил-2-(N-арилпіролідін-2-іліден)ацетонітрили, 2-(2-гетарил)-6-гідрокси-3-ариламіно-2-гексенонітрили, ароматичні аміни, амінування.

Вступ. 2-Гетарил-2-(дигідрофурани-2(3H)-іліден)ацетонітрили **1** є поліфункціональними похідними, у структурі молекул яких наявні два активні електрофільні центри: атом Карбону нітрильної групи, четвертинний C-2 атом насиченого гетероциклічного фрагменту. Як наслідок, такі сполуки легко вступають у взаємодію з різними нуклеофілами, що дозволяє проводити їхню цілеспрямовану модифікацію [1–3]. Наприклад, унаслідок взаємодії 2-гетарил-2-(дигідрофурани-2(3H)-іліден)ацетонітрилів із первинними аліфатичними амінами проходить розкриття циклу з утворенням 2-(2-гетарил)-6-гідрокси-3-алкіламіно-2-гексенонітрилів [4]. Дією вторинних амінів каталізують розщеплення зв'язку

C=C акрилонітрильного фрагменту й утворення 2-гетарил-ацетонітрилів [5]. Застосування конформаційно жорстких третинних амінів дозволяє отримувати біполярні сполуки, наприклад, 1-(2-гетарил)-5-(піридиній-1-іл)-1-ціано-1-пентен-2-олати і 5-(4-аза-1-азонійбіцикло[2.2.2]окт-1-іл)-1-(2-гетарил)-1-ціанопент-1-ен-2-олати [6].

Метою цієї роботи було вивчення взаємодії сполук **1** з ароматичними амінами як N-нуклеофілами. Унаслідок реакції очікувалось отримання E- та Z-ізомерів енамінонітрилу **2**. Однак було встановлено, що залежно від умов проведення реакції, утворюється два типи продуктів: Z-енамінонітрили **2**, а також продукти **3** (рис. 1).