

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ

Հայաստանի քիմիական հանդես 58, №3, 2005 Химический журнал Армении

УДК 542.97:542.91+547.254.6

НОВЫЕ ХИРАЛЬНЫЕ САЛЕНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ Cu^{II}
КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ АСИММЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
 α -ЗАМЕЩЕННЫХ α -АМИНОКИСЛОТ В УСЛОВИЯХ
МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА

А. С. САГИЯН, С. А. ДАДАЯН, А. Х. ОГАНЕСЯН, Н. С. ИКОННИКОВ,
Ю. Н. БЕЛОКОНЬ и М. НОРТ

Научно-исследовательский институт «Биотехнология», Ереван

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, Москва

Королевский колледж Лондона, Департамент химии, Лондон

Поступило 7 VIII 2003

Синтезированы новые хиральные саленовые комплексы Cu^{II} , содержащие шиффовые основания салицилового или 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового альдегидов и хиральных диаминов, полученных из S-замещенных (R)-цистеинов. Исследована способность этих комплексов катализировать асимметрические реакции межфазного алкилирования шиффовых оснований эфиров аланина бромистым бензилом и бромистым аллилом с образованием α -метил- α -фенилаланина и α -аллил- α -аланина (R)-абсолютной конфигурации. Обнаружена высокая стереодифференцирующая способность комплексов, построенных на основе шиффового основания салицилового альдегида и хиральных диаминов.

Рис.1, табл.1, библиограф. ссылки 12.

Оптически активные α -замещенные α -аминокислоты являются важными компонентами многих физиологически активных препаратов [1,2], для получения которых в мире динамично развивается направление асимметрического синтеза, основанного на использовании различных хиральных реагентов и катализаторов [3-6]. На этом фоне выделяются методы асимметрического межфазного катализа, в которых при использовании хиральных катализаторов фазового переноса достигаются высокие энантиомерные выходы в реакциях асимметрического образования связи C-C [7-9].

В последнее время была обнаружена способность хиральных саленовых комплексов Cu^{II} , построенных на основе шиффовых оснований хиральных циклогексилдиаминов, катализировать асиммет-

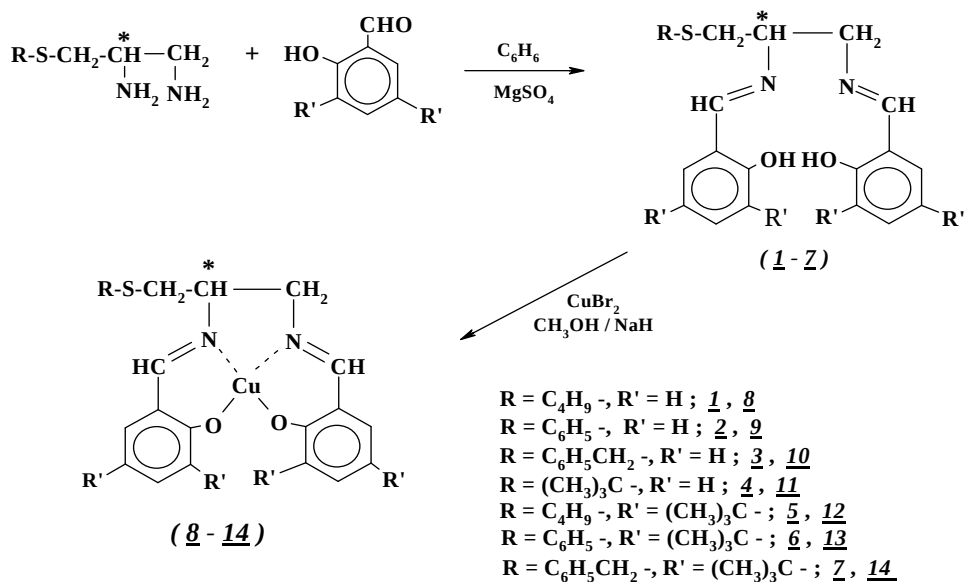
рическое межфазное алкилирование шиффовых оснований эфиров аминокислот [10,11].

Недавно нами сообщалось о синтезе и способности хиральных саленовых комплексов иона Ti^{IV} , содержащих шиффовые основания 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового альдегидов и хиральных диаминов, полученных из *S*-алкил- и арилзамещенных цистеинов, катализировать асимметрические реакции триметилсилилцианирования альдегидов [12].

В данной работе осуществлен синтез хиральных саленовых комплексов иона Cu^{II} , построенных на основе шиффовых оснований салицилового или 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового альдегидов и хиральных диаминов, полученных из *S*-замещенных цистеинов, и исследована их способность катализировать асимметрические реакции межфазного алкилирования шиффовых оснований эфиров α -аминокислот.

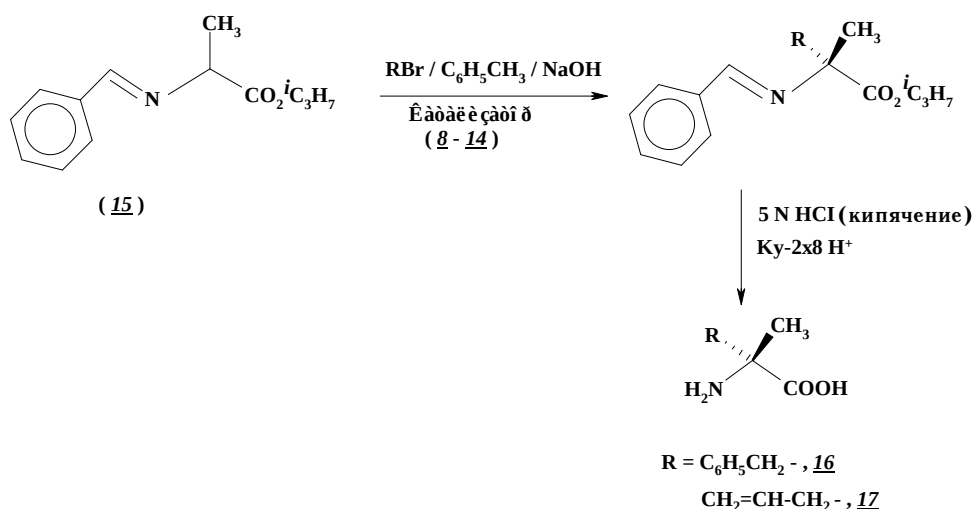
Схема 1 иллюстрирует синтез хиральных саленовых комплексов Cu^{II} . На первом этапе взаимодействием салицилового или 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового альдегида с хиральными диаминами в среде сухого C_6H_6 в присутствии $MgSO_4$ получены хиральные бис-салицилиденные основания Шиффа (**1-7**), которые в среде CH_3OH в присутствии $NaNH$ вступают в реакцию комплексообразования с $CuBr_2$ с образованием хиральных саленовых комплексов **8-14**. Все исходные хиральные диамины и их основания Шиффа с 3,5-ди-*t*-бутилсалициловым альдегидом (**5,6,7**) были синтезированы согласно ранее разработанному методу [12]. Хиральные бис-салицилиденные основания Шиффа **1-4** синтезированы впервые.

Схема 1



В качестве модельной реакции для испытания каталитической активности синтезированных саленовых комплексов использовали алкилирование бромистым бензилом или бромистым аллилом шиффового основания изо-пропилового эфира аланина с бензальдегидом (**15**) (схема 2).

Схема 2



Процесс алкилирования протекает в межфазных условиях, поскольку в качестве основания используется твердая щелочь, не растворимая в толуоле, в котором проводится реакция. Из полученных результатов следует, что взаимодействие происходит только при наличии всех компонентов: основания, катализатора, алкилирующего агента и субстрата, что свидетельствует о том, что система реально является каталитической. Причем при отсутствии катализатора реакция алкилирования практически не протекает. Необходимо отметить очень низкую растворимость катализаторов в толуоле, однако в присутствии основания и галоидного алкила растворимость катализатора в толуоле значительно возрастает и цвет раствора становится ярко-фиолетовым. Однако в присутствии субстрата окраска реакционной смеси практически полностью исчезает (~через 8-10 ч) и катализатор выпадает в осадок. На основании этих данных можно предположить, что структура катализатора претерпевает некоторые обратимые изменения в ходе реакции. Наиболее вероятным представляется алкилирование фенольных кислородов салицилового альдегида. Полученный в результате алкилированный комплекс в дальнейшем сам может служить алкилирующим агентом для карбаниона субстрата.

Исследовалась зависимость каталитической активности комплексов от мольного соотношения катализатор/субстрат в реакциях алкилирования шиффового основания **15** в случае катализатора **8**. Показано,

что при изменении количества хирального катализатора от 1 до 10 мол.% химический выход и стереохимический результат реакции в основном не изменяются. Алкилирование шиффового основания аланина под действием других катализаторов (**9-14**) проводили при 5 мол. % катализатора относительно количества субстрата. Результаты представлены в таблице.

Таблица

Результаты алкилирования шиффового основания эфира аланина (15**) бромистым бензилом и бромистым аллилом в присутствии хиральных селеновых комплексов в условиях межфазного катализа (количество катализатора 5 мол.%)^a**

Хиральный катализатор (комплекс)	Алкилирующий агент	Аминокислота (R)-абсолютной конфигурации	
		Хим. выход, (%)	<i>e.e.</i> ^b (%)
8	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	78	64
8	CH ₂ = CH–CH ₂ Br	81	68
9	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	74	82
9	CH ₂ = CH–CH ₂ Br	77	73
10	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	83	76
10	CH ₂ = CH–CH ₂ Br	81	75
11	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	76	82
11	CH ₂ = CH–CH ₂ Br	79	84
12-14	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	64–81	0
12-14	CH ₂ = CH–CH ₂ Br	72–86	0

^a условия реакции: 1 экв. основания Шиффа **15**, 1,5 экв. C₆H₅CH₂Br (или CH₂=CH–CH₂Br), 5 мол.% катализатора, 2,2 экв. NaOH;

^b определено методом хиральной ГЖХ.

На примере алкилирования шиффового основания аланина бромистым бензилом в присутствии катализатора **8** исследовалась также зависимость *e.e.* (энантиомерный избыток) продукта реакции от *e.e.* катализатора. Наблюдался нелинейный эффект при использовании катализатора не 100% оптической чистоты, свидетельствующий о том, что в стереодифференцирующей стадии процесса участвуют как минимум две молекулы катализатора и процесс алкилирования протекает через гомохиральную ионную пару (рис.). В переходном состоянии молекулы хирального комплекса катализатора сольватируют ион Na⁺, который является противоионом карбаниона, образовавшегося из шиффового основания **15** на поверхности раздела фаз (т.е. на поверхности твердого NaOH). За счет этого ионная пара становится достаточно липофильной для того, чтобы перейти в объем раствора, где и происходит алкилирование. Аналогичный процесс наблюдался раньше в реакциях алкилирования шиффового основания эфиров аминокислот

алкилгалоидами, катализируемых хиральными саленовыми комплексами Cu^{II} на основе циклогексилдиамина [11].

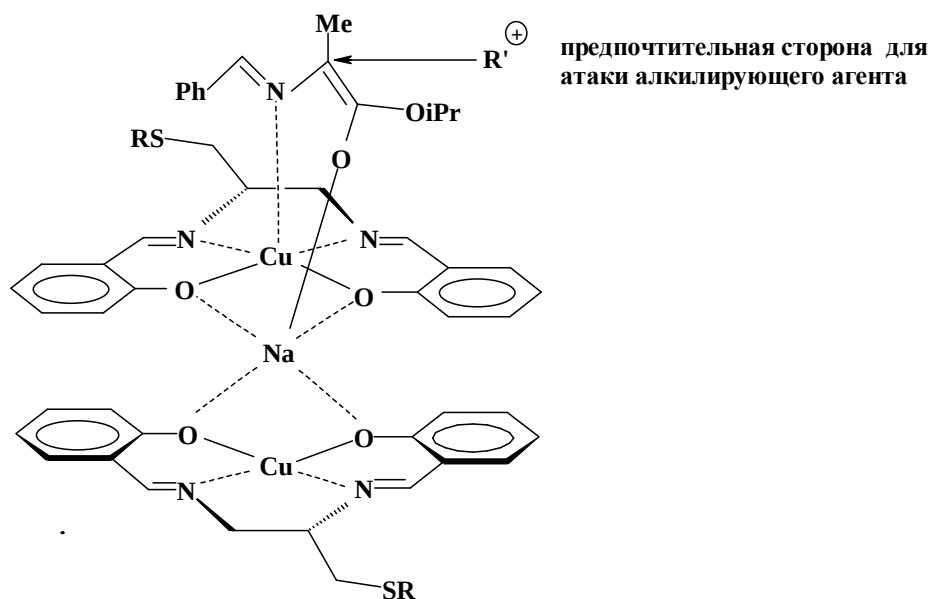
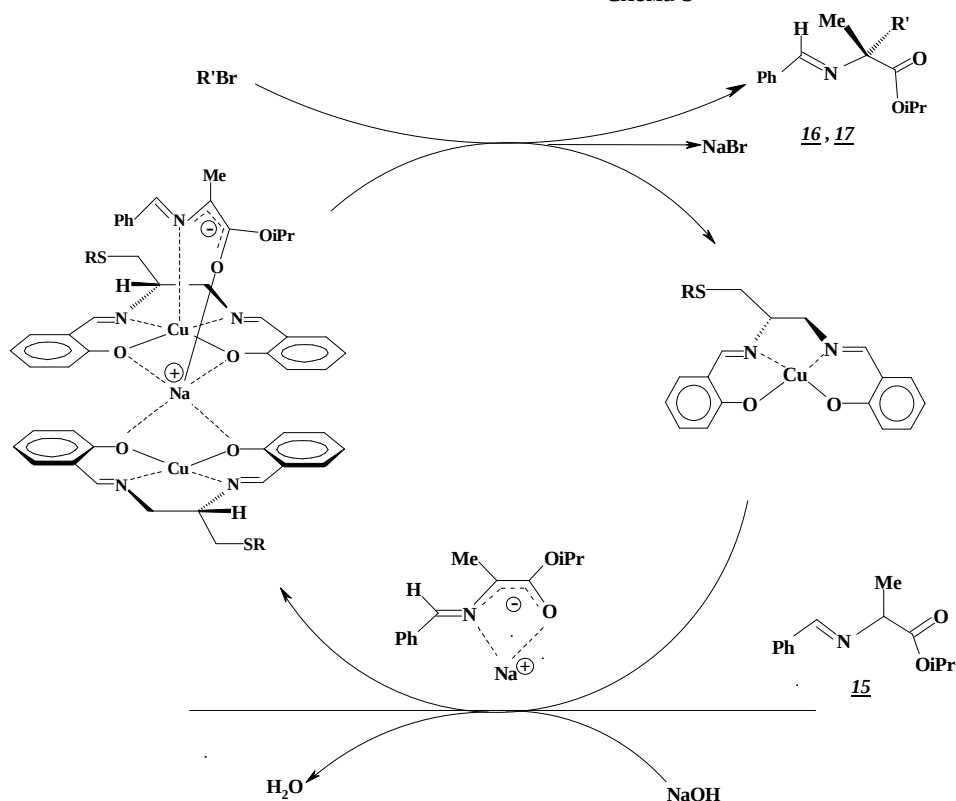


Рис. Гипотетическая модель переходного состояния межфазного алкилирования шиффового основания эфира аланина при катализе хиральными саленовыми комплексами иона Cu^{II} .

Исходя из вышесказанного можно предположить, что процесс алкилирования протекает по следующему механизму (схема 3). На начальном этапе субстрат на поверхности раздела фаз под действием твердой щелочи дает карбанион, который сольватируется двумя (или более) молекулами комплекса Cu^{II} и в таком виде переносится в объем органического растворителя. Одновременно часть комплекса Cu^{II} присоединяет галоидный алкил, давая своеобразный «металлокомплексный алкилирующий реагент». Реакция алкилирования хелатированного карбаниона «металлокомплексным алкилирующим реагентом» протекает в органической фазе с высокой стереоселективностью благодаря тому, что взаимодействуют две хиральные частицы. В результате алкилирования образуется продукт реакции и высвобождается комплекс-катализатор. После этого каталитический цикл повторяется.

Нулевая стереоселективность в реакциях алкилирования шиффового основания эфиров аланина бромистым бензилом и бромистым аллилом в случае использования в качестве катализаторов хиральных саленовых комплексов Cu^{II} на основе шиффовых оснований 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового альдегидов, по-видимому, обусловлена пространственными затруднениями фиксации субстрата на координационной сфере двух молекул хиральных катализаторов, связанных через ионную пару сольватированию иона Na^+ .

Схема 3



Экспериментальная часть

Спектры ЯМР 1H регистрировали на приборах «Varian 300» и «Bruker 400» в $CDCl_3$. Оптическое вращение измеряли на спектрополяриметре «Perkin-Elmer 341». Энантиомерный ГЖХ-анализ аминокислот в виде N-трифторацетильных производных их *n*-пропиловых эфиров проводили на хиральной фазе типа Chirasil-L-Val на капиллярных кварцевых колонках (40 м x 0,23 мм) с толщиной пленки 0,12 мкм при температуре колонок 125°C, газ-носитель – гелий. В работе использовали (R,S)-аланин фирмы «Reanal» (Будапешт) и другие реактивы фирмы «Aldrich» и «Реахим».

Все хиральные диамины были получены из сопутствующих S-замещенных (R)-цистеинов по описанной ранее методике [12].

Шиффовые основания **1-7** были синтезированы из соответствующих хиральных диаминов по следующей стандартной методике: к раствору 12 ммоль хирального диамин в 30 мл сухого бензола добавляли 12 ммоль салицилового (или 3,5-ди-*t*-бутилсалицилового)

альдегида. Реакционную смесь кипятили с MgSO_4 6-8 ч, затем фильтровали, фильтрат упаривали досуха и перекристаллизовали, полученные основания Шиффа из гексана (в случае **2** и **7**) или метанола (в случае **1**, **3** - **6**). Шиффовые основания **1-4** синтезированы впервые.

(R)-[N,N'-бис(2'-Гидроксibenзилиден)]-1,2-диамино-3-н-бутилтиопропан (1): $[\alpha]_D^{25} = -16,82^\circ$ ($c=1$, CHCl_3). Найдено, %: C 68,04; H 6,84; N 7,72. $\text{C}_{21}\text{H}_{26}\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$. Вычислено, %: C 68,11; H 7,02; N 7,56. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 0,92 т (3H, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-S-}$); 1,38 м (2H, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-S-}$); 1,55 м (2H, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-S-}$); 2,60 т (2H, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-S-}$); 2,82 2д (1H, АВ, S- CH_A , $J=6,36$ и $14,05$ Гц); 2,96 2д (1H, АВ, S- CH_B , $J=3,81$ и $14,0$ Гц); 3,64-3,78 (2м, 2H, $\text{-CH}_2\text{-N}$); 4,11 2д (1H, $\alpha\text{-H}$, $J=3,8$ и $6,4$ Гц); 6,82-7,42 м (8H, ароматика); 8,36 и 8,42 2с (2H, 2(-CH=N-)).

(R)-[N,N'-бис(2'-Гидроксibenзилиден)]-1,2-диамино-3-фенилтиопропан (2): $[\alpha]_D^{25} = -23,02^\circ$ ($c=1$, CHCl_3). Найдено, %: C 70,57; H 5,24; N 7,36. $\text{C}_{23}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$. Вычислено, %: C 70,77; H 5,64; N 7,18. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 3,16 2д (1H, АВ, S- CH_A , $J=6,38$ и $13,8$ Гц); 3,42 2д (1H, АВ, S- CH_B , $J=3,8$ и $14,0$ Гц); 3,72-3,86 2м (2H, $\text{CH}_2\text{-N}$); 4,06 м (1H, $\alpha\text{-H}$); 6,8-7,6 м (13H, ароматика); 8,24 и 8,32 2с (2H, 2(-HC=N-)).

(R)-[N,N'-бис(2'-Гидроксibenзилиден)]-1,2-диамино-3-бензилтиопропан (3): $[\alpha]_D^{25} = -24,04^\circ$ ($c=1$, CHCl_3). Найдено, %: C 71,04; H 5,68; N 7,18. $\text{C}_{24}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$. Вычислено, %: C 71,28; H 5,94; N 6,93. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 2,70 2д (1H, АВ, S- CH_A , $J=6,4$ и $14,0$ Гц); 2,85 2д (1H, АВ, S- CH_B , $J=4$ и $14,0$ Гц); 3,60 м (1H, $\alpha\text{-H}$); 3,74 2м (4H, S- $\text{CH}_2\text{-}$ и $\text{CH}_2\text{-N}$); 7,0-7,64 м (13H, ароматика); 8,35 с (2H, 2(-N=CH-)).

(R)-[N,N'-бис(2'-Гидроксibenзилиден)]-1,2-диамино-3-т-бутилтиопропан (4): $[\alpha]_D^{25} = -34,06^\circ$ ($c=1$, CHCl_3). Найдено, %: C 68,38; H 7,44; N 7,24. $\text{C}_{21}\text{H}_{26}\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$. Вычислено, %: C 68,11; H 7,02; N 7,56. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1,36 с (9H, 3(CH_3)); 2,79 2д (1H, АВ, S- CH_A , $J=6,4$ и $14,0$ Гц); 2,98 2д (1H, АВ, S- CH_B , $J=3,8$ и $14,0$ Гц); 3,66-3,74 2м (2H, $\text{CH}_2\text{-N}$); 4,08 2д (1H, $\alpha\text{-H}$, $J=3,8$ и $6,4$ Гц); 6,78-7,38 м (8H, ароматика); 8,32 и 8,40 2с (2H, 2(-CH=N-)).

Использованные в работе шиффовые основания **5**, **6** и **7** были синтезированы ранее [12].

Синтез хиральных селеновых комплексов Cu^{II} (**8-14**) проводили по следующей стандартной методике: к раствору 6 ммолей **1-7** в 100 мл CH_3OH добавляли 6 ммоль CuBr_2 и 12 ммолей NaH . Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 4-6 ч, затем удаляли растворитель, добавляли CHCl_3 и хроматографировали смесь на SiO_2 в системе растворителей $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5\text{-CHCl}_3$ (3:1). Выход комплексов **8-4** 54-72%.

Комплекс 8. Т.пл. = $286\text{-}288^\circ\text{C}$. $[\alpha]_D^{25} = -237,02^\circ$ ($c=0,05$; CHCl_3). Найдено, %: C 58,44; H 5,34; N 6,62. $\text{C}_{21}\text{H}_{24}\text{O}_2\text{N}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: C 58,33; H 5,55; N 6,48.

Комплекс 9. Т.пл.= 296-299°C. $[\alpha]_D^{25} = -548,02^\circ$ ($c=0,04$; CHCl_3). Найдено, %: С 61,38; Н 4,54; N 5,94. $\text{C}_{23}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{O}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 61,06; Н 4,42; N 6,19.

Комплекс 10. Т.пл.= 304-306°C. $[\alpha]_D^{25} = -462,18^\circ$ ($c=0,04$; CHCl_3). Найдено, %: С 61,448; Н 4,54; N 6,32. $\text{C}_{24}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 61,80; Н 4,72; N 6,01.

Комплекс 11. Т.пл.= 310-312°C. $[\alpha]_D^{25} = -418,24^\circ$ ($c=0,05$; CHCl_3). Найдено, %: С 58,04; Н 5,26; N 6,72. $\text{C}_{21}\text{H}_{24}\text{O}_2\text{N}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 58,33; Н 5,55; N 6,48.

Комплекс 12. Т.пл.= 312-314°C. $[\alpha]_D^{25} = -316,12^\circ$ ($c=0,05$; CHCl_3). Найдено, %: С 61,14; Н 6,36; N 5,98. $\text{C}_{25}\text{H}_{32}\text{N}_2\text{O}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 61,47; Н 6,56; N 5,74.

Комплекс 13. Т.пл.= 324-327°C. $[\alpha]_D^{25} = -684,04^\circ$ ($c=0,05$; CHCl_3). Найдено, %: С 64,02; Н 5,84; N 5,26. $\text{C}_{27}\text{H}_{28}\text{N}_2\text{O}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 63,78; Н 5,51; N 5,51.

Комплекс 14. Т.пл.= 308-310°C. $[\alpha]_D^{25} = -536,24^\circ$ ($c=0,05$; CHCl_3). Найдено, %: С 64,14; Н 5,48; N 5,52. $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{N}_2\text{O}_2\text{SCu}$. Вычислено, %: С 64,36; Н 5,75; N 5,36.

Общая методика каталитического асимметрического алкилирования. В заполненную аргонем круглодонную двухгорлую колбу помещали 0,01 ммоль катализатора (**8-4**), 1 ммоль основания Шиффа изо-пропилового эфира (R,S)-аланина (**15**) и 0,4 ммоль $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br}$ (или $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Br}$) в 2 мл абс. толуола, затем прибавляли 2,0 ммоль NaOH. Реакционную смесь перемешивали 12 ч в атмосфере аргона. Затем осадок отфильтровывали, фильтрат упаривали досуха, добавляли 5 мл 5N HCl и гидролизвали основания Шиффа кипячением раствора в течение 5 ч. После удаления растворителя добавляли H_2O и выделяли аминокислоту ионообменным методом с помощью смолы Ку-2(8 в H^+ форме. Оптическую чистоту выделенной аминокислоты определяли методом энантиомерного ГЖХ анализа (табл.).

Cu^{II} ԻՈՆԻ ՆՈՐ ՔԻՐԱԼԱՅԻՆ ԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ α -ԱՄԻՆԱԹՈՒՆԵՐԻ ԱՍԻՄԵՏՐԻԿ ՄԻՆԹԵԶԻ ՄԻՋՖԱԶԱՅԻՆ ԿԱՏԱԼԻԶԱՏՈՐՆԵՐ

Ա. Ս. ՄԱՂՅԱՆ, Ս. Ա. ԴԱՂԱՅԱՆ, Ա. Խ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ն. Ս. ԻԿՈՆՆԻԿՈՎ, ՅՈՒ. Ն. ԲԵԼՈՎՈՆ և Մ. ՆՈՐԹ

Մինթեզվել են Cu^{II} իոնի նոր քիրալային սալենային կոմպլեքսներ, կազմված սալիցիլալդեհիդի կամ 3,5-դի-*t*-բուտիլսալիցիլալդեհիդի և S-տեղակալված (R)-ցիստեիններից ստացված քիրալային դիամինների Շիֆֆի հիմքերից: Մինթեզված կոմպլեքսները հետազոտվել են բենզիլլըրոմիդով կամ ալիլլըրոմիդով (R,S)-ալանինի իզոպրոպիլային եթերի և բենզալդեհիդի շիֆային հիմքում ալանինի միջֆազային C-ալկիլացման ռեակցիաներում որպես քիրալային կատալիզատորներ: Արդյունքում սինթեզվել են (R)-

բացարձակ կոնֆիգուրացիայով α -մեթիլֆենիլալանին և α -ալիլալանին: Ցույց է տրված սալիցիլալդեհիդի և քիրալային դիամինների շիֆային հիմքերի հետ Cu^{II} իոնի առաջացրած կոմպլեքս կատալիզատորների բարձր ստերեոտարբերակող հատկությունները:

CHIRAL Cu^{II} SALEN-METAL COMPLEXES AS NOVEL CATALYSTS FOR THE ASYMMETRIC SYNTHESIS OF α -SUBSTITUTED α -AMINO ACIDS UNDER PHASE-TRANSFER CATALYSIS CONDITIONS

A. S. SAGHIYAN, S. A. DADAYAN, A. Kh. HOVHANNISYAN, N. S. IKONNIKOV,
Yu. N. BELOKON' and M. NORTH

A new class of chiral Cu^{II} salen complexes containing Schiff's bases of salicyl or 3,5-di-*t*-butylsalicyl aldehyde and chiral diamines derived from S-substituted (R)-cysteines has been synthesized. Their unique ability to catalyze asymmetric reaction of phase-transfer alkylation of Schiff's bases of alanine esters with benzyl bromide and allyl bromide was resulted in formation of α -methyl- α -phenylalanine and α -allyl- α -alanine of (R)-absolute configuration. High stereoselectivity of the complexes formed using Schiff's bases salicylic aldehyde and chiral diamines was revealed. The alkylation reaction was shown to proceed under phase-transfer catalysis involving at least 2 molecules of the catalyst via homochiral Na^+ ion-pair formation.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чипенс Г.И., Славинская В.А., Силе Д.Е., Крейле Д.Л., Корчагова Э.Х., Страутиня А.К. // Изв. АН Латв. ССР, сер. хим., 1985, с.259.
- [2] Reinhold D.F., Slettinger M. // Pat. USA № 3344023; C.A. 1968, v.68, 96127z.
- [3] Seeboch D., Pfammatter E., Gzamlich V., Breml T., Kuhnle F., Portmoun S., Tironi I.// Liebigs Ann. Chem., 1992. p.1145.
- [4] O'Donnell M.J., Bennett W.D., Wu S. // J. Am. Chem. Soc., 1989, v.111, p.2353.
- [5] Tang X., Soloshonok V.A., Hruby V. // Tetrahedron: Asymmetry, 2000, v.11, p.2817.
- [6] Belokon' Yu.N., Ikonnikov N.S., Strelkova T.V., Harutyunyan S.R., Saghiyan A.S.// Tetrahedron: Asymmetry, 2001, v.12, p.481.
- [7] Casas J., Najera C., Sansano J., Gonzalez J., Saa J., Vega M. // Tetrahedron: Asymmetry, 2001, v.12, p.699.
- [8] Lugo B., Grosby J., Peterson J.A. // Tetrahedron Lett., 1999, v.40, p.1385.
- [9] Horikawa M., Busch-Peterson J., Corey E.J. // Tetrahedron Lett., 1999, v.40, p.3843.
- [10] Belokon' Yu.N., North M., Kublitski V.S., Ikonnikov N.S., Maleev V.I. //Tetrahedron Lett., 1999, v.40, p.6105.
- [11] Белоконь Ю.Н., Петросян А.А., Малеев В.И., Савельева Т.Ф., Гпачев А.В., Иконников Н.С., Сагиян А.С. // Изв. АН, сер. хим., 2002, №11, с. 1931.
- [12] Сагиян А.С., Амбарцумян А.А., Дадаян С.А., Арутюнян С.Р., Оганесян А.Х., Оганесян А.М., Тараров В.И., Малеев В.И., Белоконь Ю.Н., Норт М. // Хим. ж. Армении, 2002, т. 55, №1-2, с.73.