

Э. Г. Мамедбейли (д.х.н., проф.) ¹, Е. А. Удалова (д.т.н., проф.) ², Г. Э. Гаджиева (к.х.н., доц.) ¹,
И. Г. Аюбов (д.х.н., доц.) ¹, С. В. Исмайлова (докторант) ¹, Ф. И. Гасимова (докторант) ¹

УСПЕХИ И ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ СИНТЕЗА И ПРИМЕНЕНИЯ КАМФОРЫ

¹ Институт нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева

Министерства науки и образования Azerbaijan,

лаборатория «Исследование антимикробных свойств и биоповреждений»

Республика Azerbaijan, AZ 1025, г. Баку, пр. Ходжалы, 30; e-mail: gulsum.mete@mail.ru

² Уфимский государственный нефтяной технический университет,

кафедра физической и органической химии

450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: vakil2004@mail.ru

E. H. Mammadbayli ¹, E. A. Udalova ², G. A. Hajiyeva ¹,

I. H. Ayubov ¹, S. V. Ismayilova ¹, F. I. Gasymova ¹

ACHIEVEMENTS AND ADVANCEMENTS IN THE SYNTHESIS AND APPLICATION OF CAMPHOR

¹ Y.H. Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education

30, Khojaly ave. 30, AZ1025, Baku, Republic of Azerbaijan; e-mail: gulsum.mete@mail.ru

² Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: vakil2004@mail.ru

Представлен анализ результатов исследований в области получения и изучения противовирусных, противовоспалительных, противораковых и других свойств камфоры – одного из важнейших бициклических терпеноидов, содержащих кетонную группу. Рассмотрены пути биологического и химического синтеза этого соединения, показаны известные и новые области его применения. Выявлены перспективные направления использования камфоры в качестве твердого источника углерода для получения графена, нанокатализаторов и нановолокон.

Ключевые слова: бициклические терпеноиды; камфора; камфорное масло; камфорный лавр; оптически активные изомеры

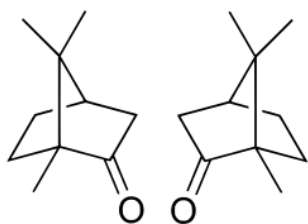
This article presents an analysis of research results on the production and study of the antiviral, anti-inflammatory, anticancer, and other properties of camphor, one of the most important bicyclic terpenoids containing a ketone group. The biological and chemical synthesis routes for this compound are discussed, and existing and emerging applications are highlighted. Promising applications for camphor as a solid carbon source for the production of graphene, nanocatalysts, and nanofibers are identified.

Key words: bicyclic terpenoids; camphor; camphor oil; camphor laurel; optically active isomers

Камфора (1,7,7-триметилбицикло-[2.2.1]-гептан-2-он) – это ароматический бициклический монотерпеновый кетон, который входит в состав многих эфирных масел, поэтому основными источниками ее получения являются растения и продукты их переработки. Так, *D*-(+)-форму камфоры (рис. 1) можно получить из древесины камфорного лавра (*Cinnamotum camphora*) методом паровой дистилляции, но крупномасштабное промышленное производство основано на синтетических методах, а *L*-(-)-форму камфоры (полу-

синтетическая форма) получают из пихтового масла.

Промышленный синтез камфоры включает следующие стадии: α -пинен, в большом количестве содержащийся в скипидаре, изомеризуется в камфен. Затем камфен обрабатывается уксусным ангидридом для получения изоборнилацетата, который гидролизуется до изоборнеола. Наконец, окисление изоборнеола дает рацемическую смесь камфоры ¹.



D-(+)-камфора *L*-(-)-камфора

Рис. 1. Формы камфоры

Биосинтез камфоры также используется на практике. В таких растениях, как шалфей, камфора биосинтезируется из нерилпирофосфата, который циклизуется до борнеола, а затем дегидрируется до камфоры. Неочищенная камфора очищается путем сублимации или перекристаллизации.

Основные методы синтеза камфоры хорошо известны²⁻⁴, однако исследования в области поиска новых эффективных методов синтеза камфоры остаются актуальными и по сегодняшний день. Так, в работе⁵ сообщается, что рацемическая камфора и изоборнеол легко доступны в качестве побочных продуктов промышленного производства, тогда как *D*(+)-камфора может быть получена только из природных источников, а оптически чистый изомер *L*(-)-камфоры получить еще сложнее. Синтез рацемической камфоры из α -пинена происходит через промежуточный рацемический изоборнилловый эфир, который затем гидролизуется и окисляется с образованием камфоры. Авторы работы предположили, что энантиоселективный гидролиз изоборнилловых эфиров обеспечит легкий доступ к оптически чистому изоборнеолу и изомерам камфоры соответственно. Хотя скрининг набора коммерческих липаз и эстераз в кинетическом разделении рацемических монотерпенов не привел к идентификации каких-либо энантиоселективных ферментов, цефалоспориновая эстераза В из *Burkholderia gladioli* (EstB) и эстераза С (EstC) из *Rhodococcus rhodochrous* продемонстрировали высокую энантиоселективность ($E > 100$) по отношению к бутириловым эфирам изоборнеола, борнеола и фенхола. Энантиоселективность была выше с увеличением длины цепи ацильной части субстрата. Кинетическое разделение изоборнилбутирата легко интегрируется в производство камфоры из α -пинена и, таким образом, позволяет легко синтезировать оптически чистые монотерпенолы из возобновляемого побочного продукта.

В работе⁶ был разработан новый лабораторный экологически чистый метод окисления с использованием тройной соли пероксисульфата калия, сульфата калия и бисульфата калия $2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ и каталитического коли-

чества хлорида натрия для превращения борнеола в камфору (рис. 2). Эта простая реакция в течение 1 ч при комнатной температуре позволяет получить продукт высокого качества с хорошим выходом и является экологически безопасной. Эксперимент проводился с использованием (1*S*)-борнеола, что позволило получить большое количество менее распространенной (1*S*)-камфоры.

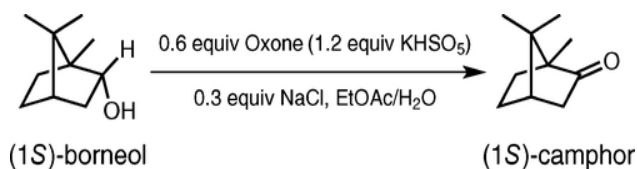


Рис. 2. Схема получения камфоры из борнеола

Авторы⁷ осуществили синтез двух ионных жидкостей, содержащих катион 1-гексил-3-метилимидазолия ($[\text{hmim}]^+$) в сочетании либо с анионами трифторацетата ($[\text{CF}_3\text{COO}]^-$), либо с анионами гексафторфосфата ($[\text{PF}_6]^-$). Показано, что эти ионные жидкости могут заменить традиционные органические растворители и использоваться для окисления изоборнеола с образованием камфоры. Ионные жидкости могут стабилизировать заряженные промежуточные соединения лучше, чем традиционные растворители, и выход продукта обычно значительно выше. Например, описанная реакция дает увеличение выхода продукта на 17–26 % при использовании ионной жидкости в качестве реакционного растворителя.

Камфора является одним из основных компонентов летучего масла шалфея (*Salvia officinalis*). Растворимый ферментный препарат, полученный из гомогенатов молодых листьев шалфея, превращает ациклический предшественник нерилпирофосфат в борнеол в присутствии Mg^{2+} , а в присутствии NAD дегидрирует образовавшийся борнеол до камфоры. Биосинтетические продукты были идентифицированы путем синтеза производных и радиохроматографического анализа. Представленные результаты убедительно свидетельствуют о том, что камфора образуется путем циклизации нерилпирофосфата в борнеол с последующим дегидрированием этого бициклического спирта⁸. Это первое сообщение о ферментах, участвующих в биосинтезе камфоры.

На практике наибольшее применение находит не только сама камфора, но и ее функционально-замещенные производные⁹. Так, в работе¹⁰ из природной (+)-камфоры и полусинтетической (-)-камфоры был синтезирован ряд гетероциклических продуктов. Затем с помощью трехстадийной методики были получены 2-имино-4-тиазолидиноны и 2,3-дигидротиазолы (рис. 3). Для синтезированных соединений была изучена их проти-

вовирусная активность против вируса оспы и вируса Марбурга. Среди протестированных соединений были обнаружены новые перспективные агенты, активные против обоих вирусов.

Стереоселективное алкилирование бициклического лактона, полученного из (+)-камфоры, лежит в основе синтетического пути к бициклическому енону, который может быть использован в качестве ключевого промежуточного соединения в синтезе геленанолидов¹¹.

Показано¹², что соединения, содержащие две алкиновые группы в непосредственной близости от жесткого скелета камфорсульфонамида, проявляют уникальную реакционную способность при обработке электрофилами или каталитическими количествами платины (II). Структуры образующихся продуктов зависят не только от используемых реагентов, но и от заместителей, присоединенных к тройным связям. Циклоизомеризация с идеальной атомной экономией приводит к полициклическим гетероциклам, которые в

некоторой степени напоминают кольцевую систему АВ паклитаксела. В данной работе представлены практические методы синтеза предшественников диалкинов, содержащих различные заместители (алкильные, арильные) у тройных связей, на основе кеталей или имина в качестве защитных групп (рис. 4).

Для получения из камфоры биологически активных соединений исследовались как сонохимические, так и классические методы^{13, 14}. Реакции такого производного камфоры, как нитроамин, с нуклеофилами позволили классическими методами получить биологически активные соединения с различными выходами (рис. 5). При оценке активности против *Mycobacterium tuberculosis* одно из них показало наилучшую активность (минимальная ингибирующая концентрация (МИК) = 3.12 мкг/мл), сравнимую с активностью противотуберкулезного препарата этамбутола. Другие производные проявили умеренную антимикобактериальную активность в концентрациях 25–50

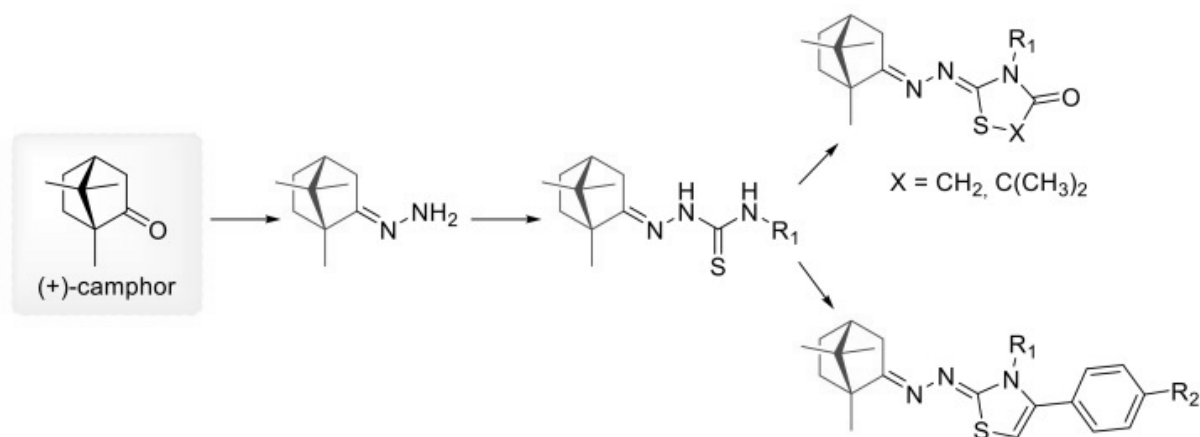


Рис. 3. Синтез 2-имино-4-тиазолидинонов и 2,3-дигидротиазолов на основе камфоры

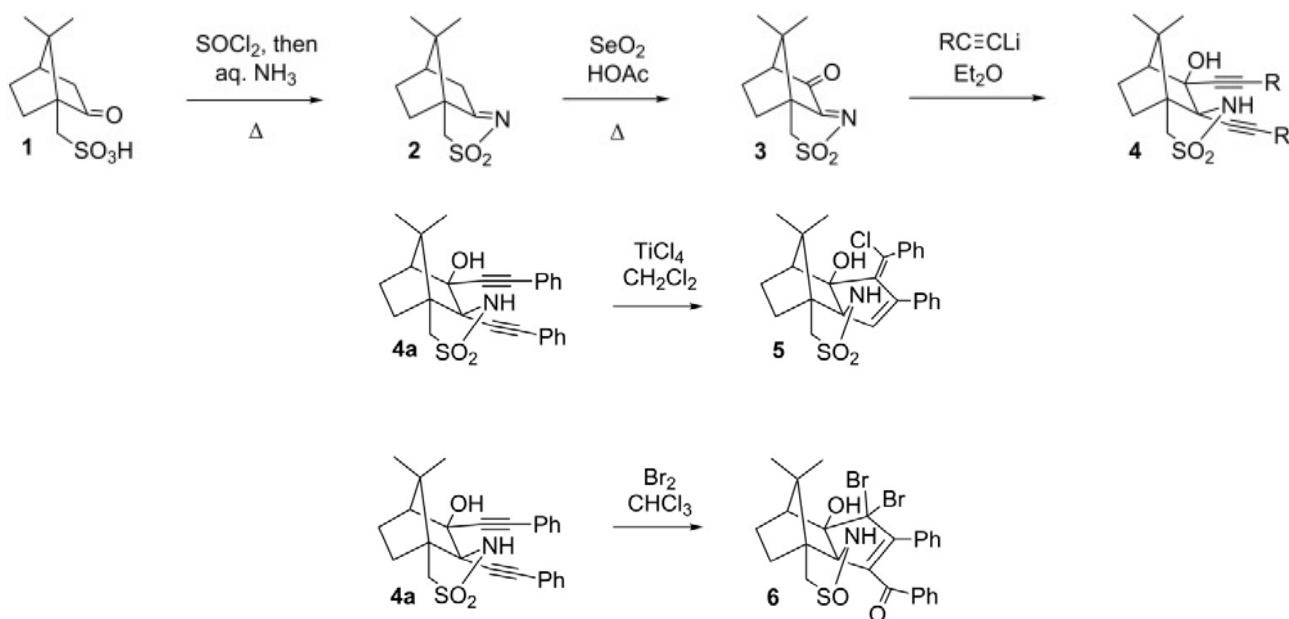


Рис. 4. Синтез биологически активных производных камфоры

мкг/мл. Следует отметить, что в ходе исследований *in vitro* на линиях раковых клеток ни одно из синтезированных соединений камфоры не проявило цитотоксической активности.

В работе¹⁵ рассматриваются синтез и применение в асимметрическом катализе пиридиновых лигандов на основе камфоры. Эти лиганды можно условно разделить на две группы: 1 – в которых камфора аннелирована в положениях 2,3 относительно β -границ пиридинового кольца; 2 – в которых пиридин находится в качестве бокового заместителя на атомах C2 или C3 камфорного каркаса. Пиридиновые лиганды на основе камфоры также могут содержать другие донорные центры, распо-

ложенные на пиридиновом кольце или камфорном скелете. Некоторые из этих лигандов продемонстрировали интересную энантиоселективность в ряде асимметрических реакций, таких как реакции SN_2' , аллильное окисление, присоединение карбонильных групп к органоцинкам реагентам и гидрирование (рис. 6).

Сообщается¹⁶, что суматранский камфорный гриб *Dryobalanops aromatica* является эндемичным видом, произрастающим на островах Суматра и Калимантан и продуцирует борнеол/камфорные соединения, которые можно выделить в масляной или кристаллической форме.

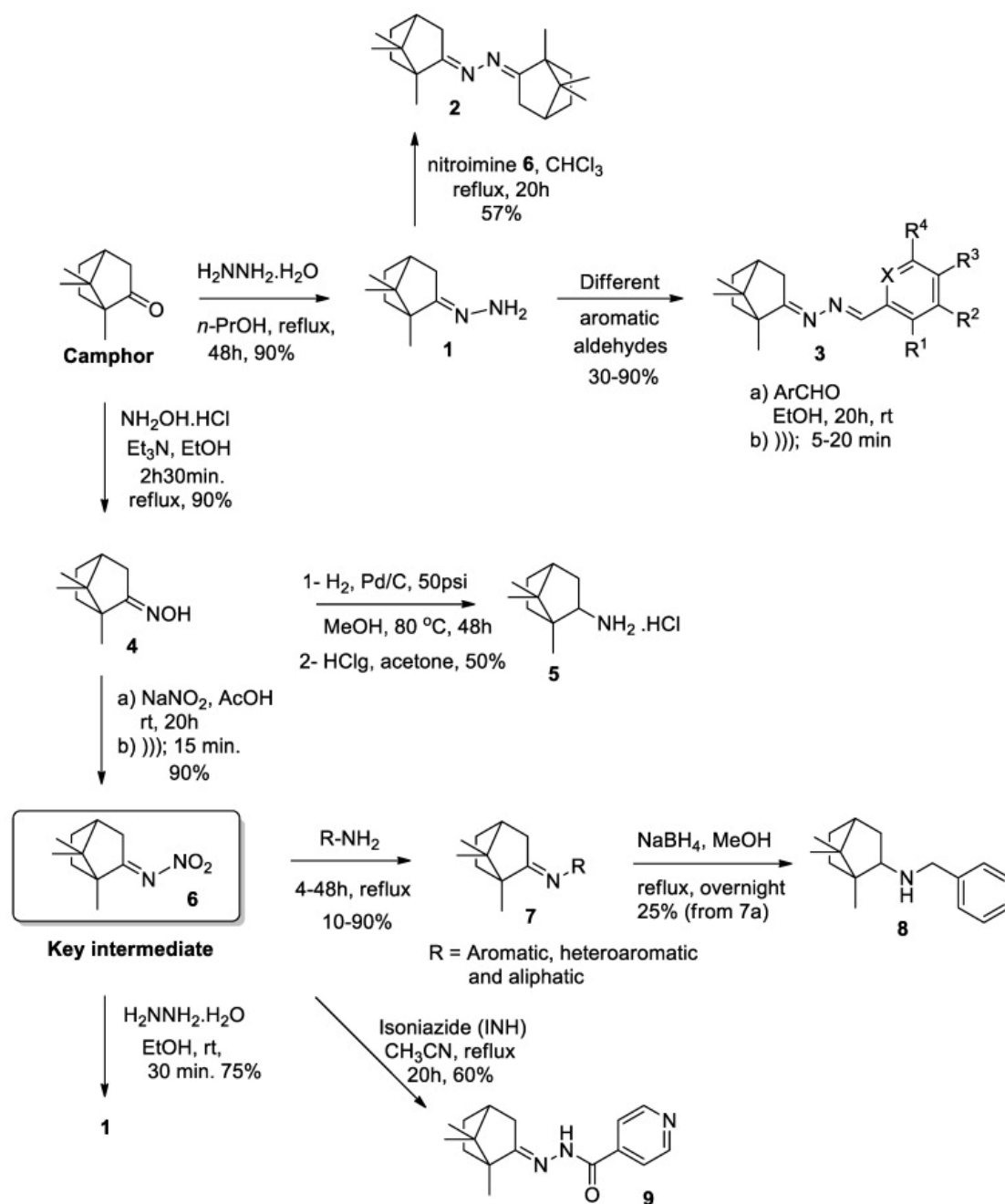


Рис. 5. Синтез биологически активных гидразонов и иминов камфоры

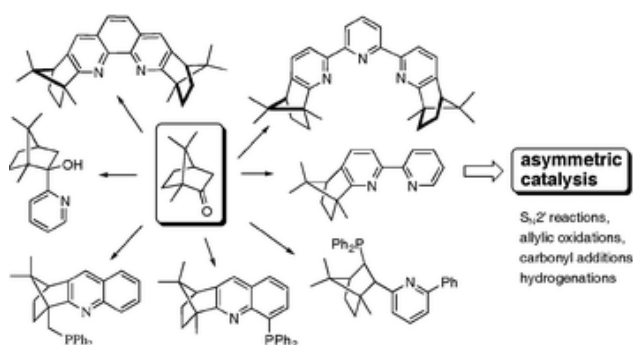


Рис. 6. Синтез и применение камфора-содержащих пиридиновых лигандов

В данном исследовании кристаллы были выделены из масла *Dryobalanops aromatica*, а затем окислены до камфоры. Синтез был продолжен путем реакции камфоры с семикарбазидом и этил-2-хлорацетатом с образованием оксазолкамфоры с катализатором ацетатом натрия. Образование кристаллов *D. aromatica*, кристаллов камфоры и оксазолкамфоры было охарактеризовано с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ), ИК-спектроскопии, УФ-спектроскопии и ГХ-МС/ЖХ-МС. Кристаллы *D. aromatica*, кристаллы камфоры и оксазолкамфоры были успешно синтезированы с массой 0.6211, 0.1564 и 0.5535 г соответственно. Антиоксидантная активность измерялась с использованием метода свободных радикалов DPPH. Соединение камфороксазола обладает очень сильной антиоксидантной активностью со значением $IC_{50}=1.03$ ppm, что является очень высоким показателем. В то же время, масло *D. aromatica* имеет значение $IC_{50}=4293$ ppm, кристаллы *D. aromatica* имеют значение выше 10000, а камфора не обладает антиоксидантной активностью¹⁷.

Легкодоступный хиральный вспомогательный реагент, полученный из камфоры, был синтезирован с помощью высокоэффективного и короткого общего метода¹⁸. Реакция Дарзена вспомогательного реагента с альдегидами в присутствии основания дала глицидные эфиры с почти полным диастереоконтролем и высоким выходом.

Синтез различных функционально-замещенных производных камфоры также рассматривался в работах^{19–24}.

Что касается применения, камфоры, известно, что камфорное дерево *Cinnamomum camphora* издавна культивируется для получения камфоры²⁵.

Камфора обладает многочисленными преимуществами для здоровья, помимо своего уникального аромата. В ароматерапии камфора хорошо известна своими успокаивающими и расслабляющими свойствами, способствуя расслаблению и снятию стресса. Вдыхание камфоры также мо-

жет улучшить ясность ума и концентрацию внимания. Для здоровья дыхательной системы камфора действует как мощное противоотечное средство, облегчая кашель и заложенность носа. Ингаляционная терапия с камфорой может облегчить симптомы простуды, гриппа и синусита. При местном применении камфорное масло эффективно успокаивает боль в мышцах и уменьшает воспаление, поэтому оно является распространенным ингредиентом в линиментах, бальзамах и массажных маслах. Оно особенно полезно при боли, связанной с артритом и общими болями.

Камфора также полезна для кожи. Ее антимикробные свойства помогают бороться с акне и экземой, а охлаждающий эффект облегчает солнечные ожоги, зуд и раздражение. Это делает камфору ценным ингредиентом в средствах по уходу за кожей, обеспечивая очищающий и освежающий эффект.

На протяжении веков камфора была надежным природным средством для отпугивания вредителей, насекомых и комаров. В отличие от агрессивных химических инсектицидов и репеллентов, камфора предлагает безопасную и эффективную альтернативу.

Камфора – это один из важнейших монотерпеноидов, который используется в качестве исходного материала для получения различных производных с антимикробными, противовирусными, антиоксидантными, анальгетическими и противораковыми свойствами²⁶. Многие из этих простых производных коммерчески доступны в виде камфорсульфоновой кислоты или кетопиновой кислоты. Это соединение в основном используется в качестве хирального исходного материала в энантиоспецифическом синтезе природных продуктов благодаря доступным методам прямого или косвенного введения функциональных групп в атомы углерода C3, C5, C8, C9 и C10.

Исследования показали, что некоторые компоненты *Cinnamomum camphora* обладают подавляющим и антимуtagenным действием на ряд человеческих раковых клеток, не причиняя вреда здоровым клеткам^{27, 28}.

Обнаружен новый класс соединений, содержащих камфорный фрагмент, проявляющих мощную ингибирующую активность против вирусов гриппа A(H1N1)pdm09 и A(H5N1)²⁹. Синтезированные соединения были охарактеризованы с помощью спектроскопического анализа. Были проведены исследования зависимости структуры от активности для идентификации 1,7,7-триметилбицикло[2.2.1]гептан-2-илиденовой группы как ключевой функциональной группы, ответственной за наблюдаемую противовирусную активность.

Особый интерес в последние годы вызывают исследования, связанные с вовлечением камфоры в синтез новых каталитических систем. Так, в работе ³⁰ описан синтез, характеристика и каталитические свойства наносфер Fe₃O₄/камфорное ядро/оболочка в качестве магнитного композитного нанокатализатора. Характеризация проводилась с помощью Фурье-преобразовательной инфракрасной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии с полевой эмиссией, просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, термогравиметрического анализа, вибрационного магнитометра, адсорбции-десорбции N₂ методом БЭТ и анализа индуктивно связанной плазмы. Восстанавливаемый гетерогенный наноструктурный катализатор был легко получен и эффективно использован в одностадийном многокомпонентном синтезе β-аминокарбонильных соединений в этаноле в качестве экологически чистого растворителя при комнатной температуре. Дополнительными преимуществами этого нового метода являются короткое время реакции, высокие выходы, простая процедура обработки, недорогой и экологически чистый метод, а также магнитная восстанавливаемость и многократное использование нанокатализатора без существенного снижения каталитической активности.

Особое внимание уделяется синтезу графеновых листов с использованием природных источников углерода в качестве твердых прекурсоров. Одной из рассматриваемых проблем является низкочастотный процесс получения графена в больших масштабах с использованием природной камфоры в качестве твердого источника углерода ³¹.

Исследователи создали углеродные нановолокна (УНВ) и многослойные углеродные нанотрубки (МСУ) из камфоры, которые находят применение в электронных эмиттерах для оптических дисплеев и микроизготовленных источниках рентгеновского излучения ³². Учитывая растущую обеспокоенность по поводу воздействия синтетических углеродных продуктов на окружающую среду в сочетании с истощением запасов нефти, исследователи искали альтернативные исходные материалы. Камфора, будучи экологически чистым и широко используемым в традиционной индийской медицине, представлялась подходящим вариантом. Многослойные углеродные нанотрубки (МУУНТ) выращивали на кремниевой подложке с использованием смеси ферроцена (железосодержащего соединения) и камфоры. Расщепление ферроцена приводит к образованию наночастиц железа, которые способствуют росту углеродных нанотрубок. Расщепление молекулы камфоры обеспечивает необходимый углерод для роста углеродных нанотрубок в виде МУУНТ.

Литература

1. Mahdy A.S., Zayed S.E., Abo-Bakr A.M., Hassan E.A. Camphor: Synthesis, reactions and uses as a potential moiety in the development of complexes and organocatalysts // *Tetrahedron*. – 2022. – V.121, №4. – Pp.132913-132921.
2. Ponomarev D., Mettee H. Camphor and its Industrial Synthesis // *Chemical Educational Journal*. – 2016. – V.18, №2 – Pp.102-105.
3. Fairlie J.C., Hodgson G.L., Money Th. Synthesis of (±)-camphor // *Journal of the Chemical Society Perkin Transactions 1*. – 1973. – V.19. – Pp.2109-2112.
4. Fanning Ch. Synthesis of camphor by the oxidation of borneol // *Journal of American Chemical Society*. – 2021. – V.127. – Pp.2347-2352.
5. Calderini E., Drienovska I., Myrtollari K., Pressnig M. Simple Plug-In Synthetic Step for the Synthesis of (–)-Camphor from Renewable Starting Materials // *ChemBioChem*. – 2021. – V.22. – Pp.1-7.
6. Lang P.T., Harned A.M., Wissinger J.E. Oxidation of Borneol to Camphor Using Oxone and Catalytic Sodium Chloride: A Green Experiment for the Undergraduate Organic Chemistry Laboratory // *J. Chem. Educ.* – 2011. – V.88, №5. – Pp.652-656.
7. Allen M., Carpenter N., Sparks J., Mayville F.C. Synthesis of camphor using ionic liquids // *Journal of Undergraduate Chemistry Research*. – 2023. – V.22, №4. – Pp.96-98.

References

1. Mahdy A.S., Zayed S.E., Abo-Bakr A.M., Hassan E.A. [Camphor: Synthesis, reactions and uses as a potential moiety in the development of complexes and organocatalysts]. *Tetrahedron*, 2022, vol.121, no.4, pp.132913-132921.
2. Ponomarev D., Mettee H. [Camphor and its Industrial Synthesis]. *Chemical Educational Journal*, 2016, vol.18, no.2, pp.102-105.
3. Fairlie J.C., Hodgson G.L., Money Th. [Synthesis of (±)-camphor]. *Journal of the Chemical Society Perkin Transactions 1*, 1973, vol.19, pp.2109-2112.
4. Fanning Ch. [Synthesis of camphor by the oxidation of borneol]. *Journal of American Chemical Society*, 2021, vol.127, pp.2347-2352.
5. Calderini E., Drienovska I., Myrtollari K., Pressnig M. [Simple Plug-In Synthetic Step for the Synthesis of (–)-Camphor from Renewable Starting Materials]. *ChemBioChem*, 2021, vol.22, pp.1-7.
6. Lang P.T., Harned A.M., Wissinger J.E. [Oxidation of Borneol to Camphor Using Oxone and Catalytic Sodium Chloride: A Green Experiment for the Undergraduate Organic Chemistry Laboratory]. *J. Chem. Educ.*, 2011, vol.88, no.5, pp.652-656.
7. Allen M., Carpenter N., Sparks J., Mayville F.C. [Synthesis of camphor using ionic liquids]. *Journal of Undergraduate Chemistry Research*, 2023, vol.22, no.4, pp.96-98.

8. Croteau R., Karp F. Enzymatic synthesis of camphor from neryl pyrophosphate y a soluble preparation from sage (*Salvia Officinalis*) // Biochemical and Biophysical Research Communications.– 1976.– V.72, №2.– Pp.440-447.
9. Money Th. Camphor: A chiral starting material in natural product synthesis // Natural Product Reports.– 1985.– V.2, №3.– Pp.253-289.
10. Oreshko V.V., Kovaleva K.S., Mordvinovs E.D., Yarovaya O.I. Synthesis and Antiviral Properties of Camphor-Derived Iminothiazolidine-4-Ones and 2,3-Dihydrothiazoles // Molecules.– 2022.– V.27, №15.– Pp.4761-4769.
11. Hutchinson J.H., Money Th., Piper S.E. Use of camphor in pseudoguaianolide synthesis // Canadian Journal of Chemistry.– 1986.– V.64, №7.– Pp.127-136.
12. Carvalho M.F., Herrmann R., Wagner G. Synthesis of alkynyl-substituted camphor derivatives and their use in the preparation of paclitaxel-related compounds // Beilstein Journal Org. Chem.– 2017.– V.13, №1.– Pp.1230-1238.
13. Alwan E., Bayoumy M., Mohareb R. Synthesis of heterocyclic compounds from camphor // Organic Communications.– 2023.– V.27.– Pp.54-74.
14. da Silva E.T., Araujo A., Moraes A.M., Souza L.A. Synthesis and Biological Activities of Camphor Hydrazone and Imine Derivatives // Sci Pharm.– 2015.– V.84, №3.– Pp.467-483.
15. Chelucci G. Synthesis and application in asymmetric catalysis of camphor-based pyridineligands // Chemical Society Reviews.– 2006.– V.35, №12.– Pp.1230-1243.
16. Santika G., Cahyana A.H. Synthesis of camphor oxazole from isolates of sumatran camphor (*Dryobalanops aromatica*) and its antioxidant activity using the free radical DPPH method // AIP Conference Proceedings.– 2024.– V.3027.– Pp.20005-20010.
17. Cahyana H., Santika G., Phukan K. Synthesis of camphor thiazole derivatives from *Dryobalanops aromatica* and its bioactivity as antioxidants and antidiabetes against alpha glucosidase enzymes // MethodsX.– 2023.– V.11, №12.– Pp.102479-102485.
18. Yamu X., Haixin L., Dai X. Synthesis of a Camphor-Derived Auxiliary and the Application to the Asymmetric Darzens Reaction // Journal of Chemical Research.– 2013.– №1.– Pp.10429-10436.
19. Mciteka L.P., Lobb K., Kave P. Synthesis of camphor-derived chiral auxiliaries and their application in asymmetric Morita-Baylis-Hillman reactions // Archive for Organic Chemistry.– 2016.– V.5.– Pp.737-745.
20. Peraman R., Tiwari A.K., Vani M.G. New camphor hybrids: lipophilic enhancement improves antimicrobial efficacy against drug-resistant pathogenic microbes and intestinal worms // Medicinal Chemistry Research.– 2018.– V.27, №2.– Pp.9-15.
21. Ricko S., Pozgan F., Bogdan S., Svete J. Stereodivergent Synthesis of Camphor-derived diamines and their application as thiourea organocatalysts // Molecules.– 2020.– V.25, №13.– Pp.2978-2984.
22. Oza G., Ravichandran M., Merupo V-I., Shinde S. Camphor-mediated synthesis of carbon nanoparticles, graphitic shell encapsulated carbon nanocubes and carbon dots for bioimaging // Scientific Reports.– 2016.– V.6.– Pp.21286-21293.
8. Croteau R., Karp F. Enzymatic synthesis of camphor from neryl pyrophosphate y a soluble preparation from sage (*Salvia Officinalis*) // Biochemical and Biophysical Research Communications.– 1976.– vol.72, no.2.– pp.440-447.
9. Money Th. [Camphor: A chiral starting material in natural product synthesis]. *Natural Product Reports*, 1985, vol.2, no.3, pp.253-289.
10. Oreshkovol.V., Kovaleva K.S., Mordvinovs E.D., Yarovaya O.I. [Synthesis and Antiviral Properties of Camphor-Derived Iminothiazolidine-4-Ones and 2,3-Dihydrothiazoles]. *Molecules*, 2022, vol.27, no.15, pp.4761-4769.
11. Hutchinson J.H., Money Th., Piper S.E. [Use of camphor in pseudoguaianolide synthesis]. *Canadian Journal of Chemistry*, 1986, vol.64, no.7, pp.127-136.
12. Carvalho M.F., Herrmann R., Wagner G. [Synthesis of alkynyl-substituted camphor derivatives and their use in the preparation of paclitaxel-related compounds]. *Beilstein Journal Org. Chem.*, 2017, vol.13, no.1, pp.1230-1238.
13. Alwan E., Bayoumy M., Mohareb R. [Synthesis of heterocyclic compounds from camphor]. *Organic Communications*, 2023, vol.27, pp.54-74.
14. da Silva E.T., Araujo A., Moraes A.M., Souza L.A. [Synthesis and Biological Activities of Camphor Hydrazone and Imine Derivatives]. *Sci. Pharm.*, 2015, vol.84, no.3, pp.467-483.
15. Chelucci G. [Synthesis and application in asymmetric catalysis of camphor-based pyridineligands]. *Chemical Society Reviews*, 2006, vol.35, no.12, pp.1230-1243.
16. Santika G., Cahyana A.H. [Synthesis of camphor oxazole from isolates of sumatran camphor (*Dryobalanops aromatica*) and its antioxidant activity using the free radical DPPH method]. *AIP Conference Proceedings*, 2024, vol.3027, pp.20005-20010.
17. Cahyana H., Santika G., Phukan K. [Synthesis of camphor thiazole derivatives from *Dryobalanops aromatica* and its bioactivity as antioxidants and antidiabetes against alpha glucosidase enzymes]. *MethodsX*, 2023, vol.11, no.12, pp.102479-102485.
18. Yamu X., Haixin L., Dai X. [Synthesis of a Camphor-Derived Auxiliary and the Application to the Asymmetric Darzens Reaction]. *Journal of Chemical Research*, 2013, no.1, pp.10429-10436.
19. Mciteka L.P., Lobb K., Kave P. [Synthesis of camphor-derived chiral auxiliaries and their application in asymmetric Morita-Baylis-Hillman reactions]. *Archive for Organic Chemistry*, 2016, vol.5, pp.737-745.
20. Peraman R., Tiwari A.K., Vani M.G. [New camphor hybrids: lipophilic enhancement improves antimicrobial efficacy against drug-resistant pathogenic microbes and intestinal worms]. *Medicinal Chemistry Research*, 2018, vol.27, no.2, pp.9-15.
21. Ricko S., Pozgan F., Bogdan S., Svete J. [Stereodivergent Synthesis of Camphor-derived diamines and their application as thiourea organocatalysts]. *Molecules*, 2020, vol.25, no.13, pp.2978-2984.
22. Oza G., Ravichandran M., Merupo V-I., Shinde S. [Camphor-mediated synthesis of carbon nanoparticles, graphitic shell encapsulated carbon nanocubes and carbon dots for bioimaging]. *Scientific Reports*, 2016, vol.6, pp.21286-21293.

23. Wulan P., Fathony A., Ulfa A.S. Utilization of camphor as an alternative carbon source for the synthesis of carbon nanotubes using floating catalysts // *Journal of Physics. Conference Series.*– 2019.– V.1349.– Pp.12059-12063.
24. Groselj U. Camphor-derived heterocycles synthesis and potential applications // *Organic Communications.*– 2023.– V.27, №2.– Pp.131-138.
25. Lee S-H., Kim D-Sh., Park S-H., Hyun P. Phytochemistry and Applications of Cinnamomum camphora Essential Oils // *Molecules.*– 2022.– V.27, №9.– Pp.2695-2702.
26. Anjaneyulu B., Sangeeta I., Saini N. A Study on Camphor Derivatives and Its Applications: A Review // *Current Organic Chemistry.*– 2021.– V.25, №12.– Pp.1404-1428.
27. Zhou Y., Wende Y. Conservation and applications of camphor tree (*Cinnamomum camphora*) in China: ethnobotany and genetic resources // *Genetic Resources and Crop Evolution.*– 2015.– V.63, №6.– Pp.127-142.
28. Hamidpour R., Soheila R., Mohsen R., Shahlari M. Camphor (*Cinnamomum camphora*), a traditional remedy with the history of treating several diseases // *International Journal of Case Reports and Images.*– 2013.– V.4, №2.– Pp.86-89.
29. Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Shemyukov A.V., Gatilov Y.V. Discovery of a new class of antiviral compounds: Camphor imine derivatives // *European Journal of Medicinal Chemistry.*– 2015.– V.105, №6.– Pp.263-273.
30. Chaliyawala H., Kashinath L., Gupta G., Mukhopadhyay I. Fabrication of Graphene from Camphor // Chapter in book *Emerging Energy Applications.*– 2021.– 74 p.
31. Maleki A., Zand P., Mohseni Z. Design and development of a novel magnetic camphor nanospheres core/shell nanostructure // *Journal of Nanostructure in Chemistry.*– 2017.– V.7.– Pp.149-157.
32. Biplab Das A. Camphor nanotubes // *Nature India.*– 2008.– №2.– Pp.317-326.
23. Wulan P., Fathony A., Ulfa A.S. [Utilization of camphor as an alternative carbon source for the synthesis of carbon nanotubes using floating catalysts]. *Journal of Physics. Conference Series*, 2019, vol.1349, pp.12059-12063.
24. Groselj U. [Camphor-derived heterocycles synthesis and potential applications]. *Organic Communications*, 2023, vol.27, no.2, pp.131-138.
25. Lee S-H., Kim D-Sh., Park S-H., Hyun P. [Phytochemistry and Applications of Cinnamomum camphora Essential Oils]. *Molecules*, 2022, vol.27, no.9, pp.2695-2702.
26. Anjaneyulu B., Sangeeta I., Saini N. [A Study on Camphor Derivatives and Its Applications: A Review]. *Current Organic Chemistry*, 2021, vol.25, no.12, pp.1404-1428.
27. Zhou Y., Wende Y. [Conservation and applications of camphor tree (*Cinnamomum camphora*) in China: ethnobotany and genetic resources]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2015, vol.63, no.6, pp.127-142.
28. Hamidpour R., Soheila R., Mohsen R., Shahlari M. [Camphor (*Cinnamomum camphora*), a traditional remedy with the history of treating several diseases]. *International Journal of Case Reports and Images*, 2013, vol.4, no.2, pp.86-89.
29. Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Shemyukov A.V., Gatilov Y.V. [Discovery of a new class of antiviral compounds: Camphor imine derivatives]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2015, vol.105, no.6, pp.263-273.
30. Chaliyawala H., Kashinath L., Gupta G., Mukhopadhyay I. [Fabrication of Graphene from Camphor]. Chapter in book *Emerging Energy Applications*, 2021.– 74 p.
31. Maleki A., Zand P., Mohseni Z. [Design and development of a novel magnetic camphor nanospheres core/shell nanostructure]. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 2017, vol.7, pp.149-157.
32. Biplab Das A. [Camphor nanotubes]. *Nature India*, 2008, no.2, pp.317-326.