

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИТИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ФЕРУЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Лихачева А. М.¹

Научный руководитель – канд. биол. наук, доцент Зайцев В. Г.¹

¹Университет ИТМО
amlikhacheva@niuitmo.ru

Введение

Феруловая кислота (ФК) является антиоксидантом, который находит применение в пищевой, фармацевтической, косметической и сельскохозяйственной отраслях [1]. Высокая антиоксидантная активность делает контроль содержания ФК актуальной задачей. В традиционных методах определение ФК осуществляется с помощью ВЭЖХ, капиллярного электрофореза и спектрофотометрии, часто в комплексе с масс-спектрометрией [2]. Эти методы обеспечивают высокую точность и селективность, однако требуют дорогостоящего оборудования, квалифицированного персонала и пробоподготовки. Даже современные альтернативные решения преимущественно основаны на электрохимических принципах детекции и подразумевают использование аналитического оборудования [3]. Это ограничивает возможность их применения в скрининговых исследованиях, ресурсно-ограниченных лабораториях и *in situ* анализе. В последние десятилетия активно развиваются аналитические системы на основе молекулярно-импринтированных полимеров (МИП) [4]. Однако во многих классических протоколах синтеза МИП в качестве органического порогена применяется этанол, а удаление шаблона проводится путем экстракции в аппарате Сокслета с использованием подкисленного метанола. Это не только удорожает процесс, но и создает экологические и токсикологические риски [5]. В связи с этим, разработка простых и воспроизводимых методик получения МИП для создания доступных тест-систем является актуальной задачей в области анализа биологически активных веществ.

Основная часть

В настоящей работе предложен подход, использующий изопропанол как доступный растворитель на всех стадиях. Применение кремнийорганических прекурсоров позволяет проводить синтез в мягких условиях, получая воспроизводимый результат. Введение флуоресцентной метки на стадии полимеризации обеспечивает возможность детекции связывания целевого аналита. Результат работы заключается в создании флуоресцентного МИП, селективно взаимодействующего с феруловой кислотой, что проявляется в визуальном детектируемом изменении интенсивности флуоресценции при связывании и её восстановлении после отмывки шаблона.

Для синтеза молекулярно-импринтированного полимера в качестве функционального мономера и сшивающего агента были использованы 3-аминопропилтриэтоксисилан (APTES) и тетраэтоксисилан (TEOS), соответственно. В качестве флуоресцентного зонда использовали флуоресцеин. Функциональный мономер, меченный флуоресцеином, получали предварительной обработкой APTES спиртового раствора FITC в условиях непрерывного перемешивания в течение 24 часов. Синтез проводили в течение 24 часов при комнатной температуре с использованием смеси изопропанола и воды в качестве растворителя. Для создания молекулярных отпечатков в структуре полимера использовали феруловую кислоту. Отмывку импринтированной ФК проводили смесью изопропанола и уксусной кислоты. В тех же условиях, но без добавления ФК проводили синтез неимпринтированного полимера (НИП), получая образец сравнения. В ходе синтеза была получена суспензия

полимерного материала оранжевого цвета, которая подвергалась сушке до состояния порошка. Полимерные имеют сферическую форму, о чем свидетельствуют снимки сканирующего электронного микроскопа.

Установлено, что связывание феруловой кислоты с МИП сопровождается тушением флуоресценции FITC на 80 %, тогда как для НИП подобный эффект выражен минимально и не превышает 16 %. При отмывке шаблона флуоресценция восстанавливалась, что подтверждает обратимость связывания и формирование селективных полостей. В экспериментах по повторному связыванию из растворов феруловой кислоты с концентрациями 0,1-5 мМ показана концентрационная зависимость степени тушения флуоресценции. На основании данных об изменении интенсивности флуоресценции полимеров после связывания с шаблонной молекулой был рассчитан коэффициент импринтинга, равный 4,9. Для оценки специфичности связывания феруловой кислоты был определен коэффициент перекрестной реактивности, значение которого составило 87,8.

Выводы

В ходе исследования разработана простая методика синтеза кремнийорганических молекулярно-импринтированных полимеров из доступных реагентов. Полученные данные демонстрируют возможность использования разработанного материала для количественного определения феруловой кислоты в жидких средах. Предлагаемое решение упрощает процедуру синтеза, исключает использование токсичных растворителей и делает технологию доступной для создания тест-систем экспресс-анализа.

Литература

1. Kumar M. et al. Ferulic acid: extraction, estimation, bioactivity and applications for human health and food //Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2025. – Т. 105. – №. 8. – С. 4168-4177.
2. Sammani M. S., Clavijo S., Cerdà V. Recent, advanced sample pretreatments and analytical methods for flavonoids determination in different samples //TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2021. – Т. 138. – С. 116220.
3. Ebrahimi P., Shahidi S. A., Bijad M. A rapid voltammetric strategy for determination of ferulic acid using electrochemical nanostructure tool in food samples //Journal of Food Measurement and Characterization. – 2020. – Т. 14. – №. 6. – С. 3389-3396.
4. Carballido L. et al. Applications of molecularly imprinted polymers and perspectives for their use as food quality trackers //Chem. – 2022. – Т. 8. – №. 9. – С. 2330-2341.
5. Arabi M. et al. Molecular imprinting: green perspectives and strategies //Advanced Materials. – 2021. – Т. 33. – №. 30. – С. 2100543.