

удк 535.518+57.083.3

Иммунные методы определения пестицидов в объектах окружающей среды

Мухаметова Лилия Инилевна^{1, 2(*)} mukhametovali@bmstu.ru
Еремин Сергей Александрович¹ eremin_sergei@hotmail.com

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Иммунохимические анализы для малых молекул, таких как пестициды, быстро завоевывают признание среди химиков-аналитиков. Среди известных форматов иммуноанализа выделяется поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (FPIA), который относится к гомогенным анализам и благодаря имеющимся на рынке портативным приборам может быть использован практически в любом месте. Метод FPIA известен для определения многих пестицидов, которые широко применяются в сельском хозяйстве и являются загрязнителями объектов окружающей среды и пищевых продуктов.

Ключевые слова: пестициды, загрязнение окружающей среды, поляризация флуоресценции

Immunoassays for determination of pesticides in environmental objects

Mukhametova Liliya Inilevna^{1, 2(*)} mukhametovali@bmstu.ru
Eremin Sergey Aleksandrovich¹ eremin_sergei@hotmail.com

¹ Lomonosov MSU, Moscow, Russia

² BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Immunoassays for small molecules such as pesticides are rapidly gaining recognition among analytical chemists. Among the known immunoassay formats, fluorescence polarization immunoassay (FPIA) stands out, which is a homogeneous assay and can be used almost anywhere due to the portable devices available on the market. The FPIA method is known for the determination of many pesticides that are widely used in agriculture and are pollutants of environmental objects and food products.

Keywords: pesticides, environmental pollution, fluorescence polarization

Введение. Загрязнение окружающей среды пестицидами признано всемирной проблемой. Учитывая стойкость, токсичность и распространенность пестицидов, эффективность их рутинного мониторинга в воде, почве, сельскохозяйственной продукции и других образцах, имеет первостепенное значение. Традиционные аналитические методы, используемые для выявления пестицидов, включают многоэтапные процедуры очистки проб с последующим исследованием газовой хроматографией (ГХ/МС) или жидкостной хромато-

графией (ВЭЖХ-МС) с масс-спектрометрией. Однако эти методы являются дорогостоящими, сложными, трудоемкими, требуют высокоочищенных газов и больших объемов растворителей, дорогостоящего оборудования, длительной пробоподготовки и дериватизации аналитов. Поэтому необходимы быстрые и доступные методы обнаружения пестицидов, которые могут быть проведены на месте. Иммунные методы анализа наиболее предпочтительны, поскольку основаны на высокоспецифичной реакции антиген(Ag)/антитело(Ab). В настоящее время иммунохимические анализы (IA) обычно применяются для анализа загрязняющих веществ в воде, почве, пище и биологических жидкостях. Результат реакции связывания между Ab и аналитом обычно визуализируется с помощью ферментативных, хемилюминесцентных, флуоресцентных или радиоактивных маркеров, которые можно классифицировать на иммуноферментные анализы (ELISA), иммунохроматографические (IHA), радиоиммуноанализы (RIA), флуоресцентные иммуноанализы (FIA), хемилюминесцентные иммуноанализы (CLIA) и поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (FPIA). Однако не все анализы полностью специфичны для одного единственного соединения. Может наблюдаться перекрестная реакция Ab с веществами, структурно похожими на аналит. Поэтому необходимо проводить валидацию анализов для исследуемой матрицы. Поскольку IA обычно нацелены на один аналит или группу аналитов, применяются многоаналитные подходы с использованием массивов Ab или комбинации иммунохимических методов с ВЭЖХ.

Материалы и методы; результаты. Метод FPIA представляет собой мощный инструмент в области иммунохимии, отличающийся рядом преимуществ перед другими методами, например, ELISA. Его ключевыми достоинствами являются высокая специфичность, чувствительность, производительность и автоматизация анализа. Современное оборудование позволяет проводить FPIA в микропланшетах, обеспечивая одновременный анализ большого количества образцов — от 96 до 384 в одной серии измерений.

Результаты FPIA для скрининга пестицидов

Пестицид	Распознающий реагент	Предел обнаружения	Ссылка
Бензотиостробин	MAb	19.7 ng/mL	[1]
Имидоклаприд	MAb	1.7 ug/L	[2]
Тиабендазол и тетраконазол	MAb	20 and 200 µg/kg	[3]
Фосфорорганические пестициды	Ацетилхолин	0.01 ng/mL	[4]
Прописохлор	PAb	8.4 ng/mL	[5]
3-Феноксисукусная кислота	Нанотела	IC50 — 20.2 ng/mL	[6]
2,4-Дихлорфеноксисукусная кислота	MAb		[7]
Тиаклоприд	MAb	2.43 ng/mL	[8]

FPIA имеет определенные ограничения, которые, тем не менее, активно исследуются и преодолеваются. Одно из основных ограничений — применимость метода преимущественно для определения низкомолекулярных соединений. Для минимизации влияния матрицы применяются различные стратегии, например, уменьшение объема вносимого образца или его предварительное разбавление. Еще одним недостатком FPIA, хотя и постепенно преодолеваемым, является более высокий предел обнаружения по сравнению с другими иммунохимическими методами, в частности, на два-три порядка выше, чем у ELISA. Известно достаточно много методик определения пестицидов и основные приведены в таблице.

Закключение. Таким образом, иммунные методы анализа являются наиболее предпочтительными для скрининга пестицидов. Необходимо подчеркнуть, что все иммунохимические методы, включая FPIA, требуют тщательной оптимизации параметров анализа и контроля качества для получения достоверных результатов. Следует отметить, что, несмотря на существующие ограничения, FPIA остается ценным и широко используемым инструментом, особенно в тех случаях, когда требуется высокая скорость и производительность анализа.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова 123032300028-0.

Список источников

- [1] Chen H., You T., Zong L., Mukhametova L.I., Zherdev D.O., Eremin S.A. et al. Competitive and noncompetitive fluorescence polarization immunoassays for the detection of benzothiostrubin using FITC-labeled dendrimer-like peptides. *Food Chemistry*, 2021, vol. 360, art. no. 130020.
- [2] Zhou L., Yang J., Tao Z., Eremin S.A., Hua X., Wang M. Development of fluorescence polarization immunoassay for imidacloprid in environmental and agricultural samples. *Frontier in Chemistry*, 2020, vol. 8, art. no. 615594.
- [3] Boroduleva A., Manclús J., Montoya A., Eremin S. Fluorescence polarization immunoassay design for rapid screening of the pesticides thiabendazole and tetraconazole in wheat. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2018, vol. 410, pp. 6923–6934.
- [4] Qin Y., Ye G., Liang H., Li M., Zhao J. An amplified fluorescence polarization assay for sensitive sensing of organophosphorus pesticides via MnO₂ nanosheets. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2022, vol. 269, art. no. 120759.
- [5] Liu Y., Wang L.T., Zhou K., Eremin S.A., Huang X.A., Sun Y.M. et al. Rapid and homologous immunoassay for the detection of herbicide propisochlor in water. *Food and Agricultural Immunology*, 2018, vol. 29, pp. 67–83.
- [6] Wang Y., Li Z., Barnych B., Huo J., Wan D., Vasylieva N. et al. Investigation of the small size of nanobodies for a sensitive fluorescence polarization immunoassay for small molecules: 3-phenoxybenzoic acid, an exposure biomarker of pyrethroid insecticides as a model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, vol. 67, pp. 11536–11541.
- [7] Mukhametova L.I., Kolokolova M.K., Shevchenko I.A. et al. Fluorescence polarization immunoassay for rapid, sensitive detection of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in juice and water samples. *Biosensors*, 2025, vol. 15, art. no. 32.
- [8] Ding Y., Chen H., Yang Q., Feng L., Hua X., Wang M. A fluorescence polarization immunoassay for detection of thiacloprid in environmental and agricultural samples. *RSC Advances*, 2019, vol. 9, pp. 36825–36830.