

УДК 543.544:664

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ НЕДОБРОСОВЕСТНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ПИЩЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ НА ОСНОВЕ МАРКИРОВАНИЯ ЛАКТИТОЛОМ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Вычужанина Е.И.

Научные руководители - к.т.н., заместитель директора по ЕНО Киселева В.Л.,
студент ИТМО Кошман Т.В.

ГБОУ СОШ №77 с углублённым изучением химии Петроградского района Санкт-Петербурга

Введение. В системе организованного питания России ежедневно обслуживаются десятки миллионов граждан. Несмотря на прямой запрет повторного использования возвратной пищевой продукции, установленный ТР ТС 021/2011 и СП 2.3.6.1066-01, надзорные органы фиксируют системный характер нарушений: по данным Роспотребнадзора, в 2022–2023 годах возбуждено более 1 200 административных дел, связанных с нарушениями условий хранения и реализации готовых блюд. Экономическая мотивация нарушения очевидна: стоимость сырья составляет 40–60% от себестоимости блюда, а включение возвратной продукции позволяет существенно снизить расходы. С микробиологической точки зрения повторное использование блюд представляет угрозу здоровью потребителей вследствие накопления термостабильных стафилококковых энтеротоксинов, контаминации вирусами кишечных инфекций и микотоксинами плесневых грибов. Особую уязвимость демонстрируют организованные коллективы детей и иммунокомпрометированных лиц.

Существующие методы контроля — визуальный осмотр, органолептическая оценка, микробиологические и физико-химические методы — обладают принципиальными ограничениями и не позволяют документально подтвердить факт повторного использования блюда. Концептуальная идея настоящей работы восходит к историческому эксперименту физика Р.В. Вуда (1890-е гг.), который использовал хлорид лития в качестве маркера для выявления недобросовестного повара. Однако LiCl токсичен и непригоден для практического применения, что и определяет цель данного исследования — разработать безопасный, аналитически надёжный и юридически значимый метод контроля.

Основная часть. Для достижения поставленной цели разработана система из шести формализованных критериев отбора маркирующего вещества: физиологическая безопасность ($LD_{50} \geq 5\ 000$ мг/кг, статус пищевой добавки), термическая стабильность (температура разложения не ниже 220 °С), низкая фоновая концентрация в типовых блюдах, органолептическая нейтральность, наличие аттестованного аналитического метода и экономическая доступность. По итогам сравнительного анализа трёх классов кандидатов — неорганических солей металлов, пищевых красителей и сахарных спиртов (полиолов) — оптимальным маркером признан лактитол (E966, 4-О-β-D-галактопиранозил-D-глюцитол, CAS 585-86-4).

Лактитол представляет собой дисахаридный полиол, получаемый каталитическим гидрированием лактозы. Его LD_{50} составляет 18 160 мг/кг (5-й класс опасности по ВОЗ GHS — «практически нетоксичные вещества»), что в 6 раз превышает аналогичный показатель поваренной соли. Температура начала разложения 250 °С обеспечивает запас в 30 °С относительно максимальных кулинарных температур. Отсутствие карбонильной группы полностью исключает реакцию Майяра. Лактитол отсутствует в стандартных рецептурах общественного питания, органолептически нейтрален при рабочих концентрациях (53,6 мг/кг — в 37 раз ниже порога вкусовой чувствительности) и разрешён как пищевая добавка в ЕС, России и США. JECFA и EFSA не устанавливают допустимого суточного потребления, что соответствует наивысшему уровню подтверждения пищевой безопасности.

Рабочая концентрация маркирования рассчитана из условия 10-кратного запаса надёжности относительно предела количественного обнаружения (LOQ) при разбавлении возвратного блюда в соотношении до 1:10. Маркирование однородных блюд осуществляется введением водного раствора лактитола с последующим перемешиванием, мясных изделий — методом многоточечных инъекций. Разработана и оптимизирована пятиэтапная методика пробоподготовки: роторно-статорная гомогенизация, двухстадийная фильтрация, обезжиривание экстракцией *n*-гексаном (три экстракции, степень удаления жиров более 99,5%), осаждение белков методом Карреза (реагент $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$) и твёрдофазная экстракция на аминопропиловых картриджах NH_2 с элюированием.

Идентификация и количественное определение лактитола проводятся методом ВЭЖХ в режиме гидрофильного взаимодействия (HILIC) на аминопропиловой колонке с испарительным светорассеивающим детектором (ELSD) — единственным детектором, пригодным для нелетучих аналитов, лишённых хромофора. Хроматографическое разрешение пары лактоза–лактитол составляет 3,5–4,2, что вдвое превышает нормативное значение (не менее 1,5 по ГОСТ EN 15086-2015). Методика валидирована в соответствии с ГОСТ EN 15086-2015 и ICH Q2(R1): LOD — 1,6 мг/кг в матрице, LOQ — 5,6 мг/кг, правильность — 95%, RSD повторяемости — 1,25% (норматив не более 2,56%), RSD воспроизводимости — 7% (норматив не более 14,6%), линейность в логарифмических координатах $R^2 = 0,999$. Показано, что во всех пяти типовых сценариях трансформации блюд (гуляш → котлеты; тушёная свёкла → борщ; отварной картофель → пюре; варёный рис → плов; отварные макароны → запеканка) концентрация маркера во вторичном блюде превышает LOQ в 2–10 раз.

Выводы. Разработан комплексный научно обоснованный метод контроля повторного использования недоеденных блюд, основанный на маркировании лактитолом с последующим количественным определением методом ВЭЖХ-ELSD. Метод является единственным среди рассмотренных альтернатив, одновременно удовлетворяющим требованиям биологической безопасности, аналитической точности, органолептической нейтральности и нормативно-методического обеспечения. Все валидационные показатели соответствуют или превышают требования ГОСТ EN 15086-2015. Метод рекомендован для внедрения в практику испытательных лабораторий Роспотребнадзора при стоимости анализа одной пробы 850–1 100 руб. Стоимость маркирования одной партии блюда (50 кг) по затратам на маркер составляет менее 1 копейки.

Перспективными направлениями развития являются создание иммунохроматографических экспресс-тест-полосок для скрининга непосредственно на месте проверки, применение изотопно-меченого ^{13}C -лактитола в качестве внутреннего стандарта для ВЭЖХ-МС/МС, разработка мобильного аналитического комплекса, а также расширение концепции маркирования на задачи прослеживаемости пищевой продукции и контроля утилизации пищевых отходов.

Список использованных источников

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». — Москва: Евразийская экономическая комиссия, 2011. — 242 с.
2. ГОСТ EN 15086-2015. Продукция пищевая. Определение содержания изомальтита, лактита, мальтита, маннита, сорбита и ксилита методом ВЭЖХ. — М.: Стандартинформ, 2016. — 32 с.
3. Martinez-Monteagudo S.I., Enteshari M., Metzger L. Lactitol: Production, properties, and applications // Trends in Food Science & Technology. — 2019. — Vol. 83. — P. 181–191.
4. EFSA ANS Panel. Scientific Opinion on the re-evaluation of lactitol (E 966) as a food additive // EFSA Journal. — 2011. — Vol. 9, No. 7. — P. 2311.
5. ICH Q2(R1). Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology. — Geneva: International Council for Harmonisation, 2005. — 17 p.

6. Роспотребнадзор. Государственный доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году. — М.: ФБУЗ ФЦГИЭ, 2024. — 380 с.