УДК 664.3

ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГЛИЦИДИЛОВЫХ ЭФИРОВ В ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЛАХ

♦♦♦♦♦

PROBLEMS OF REGULATING THE CONTENT OF GLYCIDYL ESTERS IN SUNFLOWER OILS

Дубровская Ирина Александровна
канд. техн. наук,
доцент кафедры технология жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов,
Кубанский государственный технологический университет
dubrovskaya.ia@mail.ru

Бутина Елена Александровна
д-р техн. наук,
профессор,
профессор кафедры технология жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов,
Кубанский государственный технологический университет
butina_elena@mail.ru

Калманович Светлана Александровна
д-р техн. наук,
профессор,
профессор кафедры технология жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов,
Кубанский государственный технологический университет
rosmaplus@gmail.com

Жданов Дмитрий Дмитриевич
ведущий инженер лаборатории контроля качества и безопасности Испытательного центра,
Кубанский государственный технологический университет
neodimmus@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена результатам исследований содержания новых контаминантов – глицидиловых эфиров в подсолнечных маслах отечественных производителей, которые широко используются в РФ в пищевых технологиях, в том числе при создании и производстве продуктов функционального назначения.

Ключевые слова: оценка безопасности, контаминанты, глицидол, монохлорпропандиолы, масло подсолнечное.

Dubrovskaya Irina Aleksandrovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus,
Kuban State Technological University
dubrovskaya.ia@mail.ru

Butina Elena Aleksandrovna
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus,
Kuban State Technological University
butina_elena@mail.ru

Kalmanovich Svetlana Aleksandrovna
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus,
Kuban State Technological University
rosmaplus@gmail.com

Zhdanov Dmitry Dmitrievich
Leading Engineer of the quality control laboratory and safety of the Testing Center,
Kuban State Technological University
neodimmus@gmail.com

Annotation. The article is devoted to the results of studies of the content of new contaminants - glycidyl esters in sunflower oils of domestic producers, which are widely used in the Russian Federation in food technologies, including in the creation and production of functional products.

Keywords: safety assessment, contaminants, glycidol, monochloropropane diol, sunflower oil.

Благодарность. *Исследования выполнены в рамках госзадания Минобрнауки РФ, проект № FZEZ-2023-0004.*

Актуальность. Обеспечение продовольственной безопасности является одним из важных вызовов современности, в том числе определяющим необходимость мониторинга уровня содержания загрязняющих веществ в продовольственном сырье и продуктах питания, что имеет определяющее значение для здоровья и безопасности человека [1, 2].

Вопросы безопасности пищевого сырья и ингредиентов особенно актуальны при разработке и производстве функциональных пищевых продуктов, как важных состав-

ляющих рациона здорового питания. Использование нового и нетрадиционного продовольственного сырья, внедрение инновационных технологий, в том числе глубокой переработки, сопровождаются возрастанием рисков возникновения и накопления новых контаминантов. [3, 4]. Однако, и при использовании традиционных сырья и ингредиентов, существуют риски в обеспечении безопасности, связанные с присутствием в них новых контаминантов, выявление и обнаружение которых стало возможно только с развитием новых знаний и при расширении возможностей аналитических методов инструментального анализа.

К числу таких контаминантов принадлежат глицидол (ГЛ), глицидиловые эфиры жирных кислот (ГЭ) [5, 6].

ГЛ, предположительно образующийся при гидролизе ГЭ в пищеварительном тракте, может провоцировать развитие онкологических заболеваний, приводить к мутациям ДНК, к бесплодию, а также вызывать поражения центральной нервной системы и других органов [7–10]. Международным агенством по исследованию рака (IARC) ГЛ отнесен к группе 2А, как высоковероятный генотоксичный канцероген, а ГЭ к аналогичной группе, как «вероятный канцероген для человека» [11–16].

Впервые глицидол был обнаружен в гидролизованных растительных белках в 1978 году [7]. В настоящее время установлено, что одним из основных источников вышеуказанных контаминантов являются рафинированные дезодорированные растительные масла [6, 17–20].

В 2023 году был принят новый Регламент Европейской комиссии ЕС (COMMISSION REGULATION (EU) 2023/915 of 25 April 2023, устанавливающий нормы показателей безопасности пищевых продуктов взамен Регламента 1881/2006. Новый регламент, аналогично прежнему, предусматривает дифференцированное нормирование суммы 3-МХПД и сложных эфиров жирных кислот 3-МХПД, выраженных как 3-МХПД, для растительных масел и жиров в зависимости от их вида и направления использования. Для большинства растительных масел, включая масло кокосовое, кукурузное, рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмоядровое и оливковое (состоящее из рафинированного оливкового масла и оливкового масла первого отжима) и смеси масел с маслами только из данной категории значение указанного показателя не должно превышать 1250 мкг/кг. Максимально допустимый уровень для прочих растительных масел (включая оливковое масло из жмыха), рыбьего жира и масла других морских организмов, а также смеси масел с маслами и жирами только из данной категории – 2500 мкг/кг, при этом для всех масел, используемых в составе продуктов детского питания – 750 мкг/кг. Допустимые уровни для глицидиловых эфиров жирных кислот в пересчете на глицидол для большинства растительных масел составляют 1000 мкг/кг, при этом для масел, используемых в производстве продуктов детского питания – 500 мкг/кг.

В Российской Федерации нормирование глицидиловых эфиров (ГЭ) в пересчете на ГЛ в растительных маслах и другой пищевой масложировой продукции на уровне, не превышающем 1,0 мг/кг, введено с 01.01.2025 года., в виде соответствующего положения в ТР ТС 024/2011.

Период отсроченного ввода в действие норматива обусловлен необходимостью проведения исследований в целях разработки мероприятий, обеспечивающих выполнение вводимых нормативов в отношении масел, производимых на территории РФ, среди которых подавляющую долю составляет подсолнечное масло.

Учитывая изложенное, в настоящее время актуальным является проведение мониторинга содержания новых контаминантов в подсолнечных массах, вырабатываемых отечественными предприятиями, с целью выявления факторов, инициирующих их образование и разработки мер по минимизации присутствия ГЭ и МХПДЭ в продуктах питания и, прежде всего продуктах питания специализированного назначения, на основе и с использованием таких масел.

Цель и задачи. Целью настоящих исследований является анализ результатов мониторинга содержания ГЭ в подсолнечных маслах отечественных производителей.

Исходя из поставленной цели решались следующие задачи:

– адаптация эффективного метода определения МХПДЭ и ГЭ с целью обеспечения возможности широкого использования для оперативного мониторинга и производственного контроля;

– определение фактических уровней содержания глицидиловых эфиров в подсолнечных маслах отечественных производителей;

– анализ факторов, обусловливающих образование глицидиловых эфиров в подсолнечных маслах.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали также образцы рафинированных дезодорированных масел, получаемые отечественными масложировыми предприятиями из производственных смесей семян подсолнечника современной отечественной и зарубежной селекции, выращенных в различных регионах РФ.

На основе анализа достоинств и недостатков, стандартизованных в РФ методов определения глицидиловых эфиров, в качестве базового был выбран метод, основанный на ферментативном гидролизе липидов, регламентированный ГОСТ 34900-2022 «Жиры и масла животные и растительные? как наиболее эффективный в аспектах оперативности и получения корректных результатов [21, 22].

Данный метод относится к непрямым методам определения, сущность которого заключается в «высвобождении» измеряемых соединений (монохлорпропандиолов и глицидола), присутствующих в маслах в виде эфиров с различными жирными кислотами, их дериватизации, извлечения методом жидкостно-жидкостной экстракции, концентрирования и анализе методом ГХ-МСД [23].

В качестве стандартных образцов использовали 3-МХПД (3-Chloropropane-1,2-diol), 2-МХПД (2-Chloro-1,3-propanediol), 3-МХПД-Д5 (2-Chloro-1,3-propanediol) , 2-МХПД-Д5 (2-Chloro-1,3-propanediol-d5), 3-МБПД (3-Bromo-1,2-propanediol), 3-МБПД-Д5 (3-Bromo-1,2-propanediol-d5) закупленные у компании «Toronto Research Chemicals, TRC», (Торонто, Канада).

Фенилборная кислота с чистотой ≥ 97,0 % была приобретена в Fluka Analytical (Шанхай, Китай). Все растворители, реагенты и химикаты, используемые для анализов, были аналитической чистоты.

Для анализа проб использовали хромато-масс-спектрометр компании «Shimadzu» модели «GCMS-QP2010» с масс-селективным детектором, оборудованный кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,25 мм, с неподвижной фазой толщиной 0,25 мкм (CR-5MS).

Установленные параметры:

Газовый хроматограф:

– газ-носитель: гелий, постоянный поток 1,0 мл/мин;
– объем пробы: 1,5 мкл;
– режим ввода пробы: без деления потока, время продувки: 1,0 мин;
– температура инжектора: 250 °С;
– программирование температуры термостата ГХ (общее время 24 мин):
– начальная температура – 80 °С;
– изотермический режим – 1 мин;
– программируемый нагрев –до температуры 170 °С со скоростью 10 °С/мин;
– изотермический режим – 3 мин;
– программируемый нагрев – до температуры 280 °С со скоростью 10 °С/мин;

Масс-спектрометр:

– метод ионизации: электронный удар, положительный режим;
– температура интерфейса: 280 °С;
– температура ионного источника: 200 °С;
– время сканирования: 0,05–0,10.

Результаты и их обсуждение. В целях широкого внедрения метода контроля глицидиловых эфиров были продолжены исследования по изучению возможности применения альтернативных стандартных образцов в целях обеспечения импортозамещения и решения проблемы широкого внедрения метода контроля глицидиловых эфиров в производственные лаборатории.

В качестве альтернативного внутреннего стандарта на данном этапе исследований использовали гексахлорбензол, со степенью чистоты 99 %, (ГСО 9106-2008 ООО «Научно-производственный и аналитический центр «Эколан») (рис. 1).

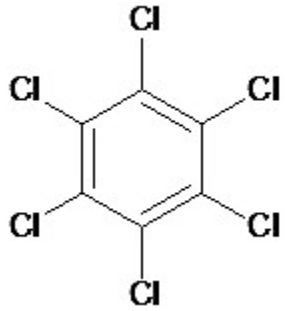

Рисунок 1 – Структурная формула гексахлорбензола

Выбор указанного соединения для использования в качестве альтернативы дейтерированным стандартам при анализе МХПД и глицидола обусловлен его доступностью на российском рынке, относительной дешевизной, а также наличием большого количества фрагментов молекулы, при ионизации в ионном источнике, в том числе с массами близкими к массам фрагментов определяемых молекул в виде дериватов фенилборной кислоты (рис. 2).

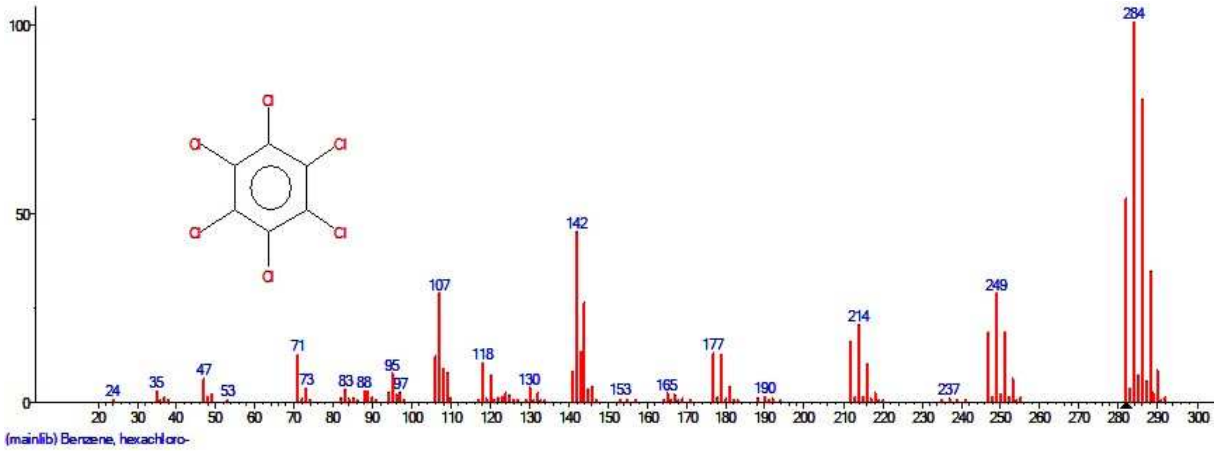

Рисунок 2 – Масс-спектр гесахлорбензола

Контроль ионов осуществлялся согласно данным, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Регистрируемые ионы

Фенилбор-производные определяемых соединений	Регистрируемые ионы m/z	Назначение	Соотношение m/z определяемого компонента
Внутренний стандарт			
Гексахлорбензол	142	количественный расчет 3-МХПД	147
		количественный расчет глицидола	
	214	количественный расчет 2-МХПД	196
	284	подтверждающий	–
Определяемые аналиты			
3-МХПД:	147	количественный расчет	–
	196	количественный расчет	–
	198	подтверждающий	–
2-МХПД	196	количественный расчет	–
	198	подтверждающий	–
3-МБПД (Глицидол)	147	количественный расчет	–
	240	подтверждающий	–

Временной диапазон регистрации определяемых веществ составлял от 8 до 15 мин.

В указанных условиях были получены хроматограммы всех калибровочных смесей. При помощи программного обеспечения «GCMS Postrun analysis» вычислили площади пиков исследуемых компонентов. Типичная хроматограмма с обозначением регистрируемых аналитов представлена на рисунке 3.

По полученным данным строили калибровочные графики альтернативного внутреннего стандарта. Коэффициент корреляции составлял не менее, что является удовлетворительным значением при количественном анализе.

Проведение сравнительных исследований образцов масел с использованием регламентированных дейтерированных и альтернативного внутренних стандартов показали удовлетворительную сходимость результатов (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа

Образец масла	Содержание, мг/кг					
	3-МХПД		2-МХПД		Глицидол	
	ВС d5	ВС ГХБ	ВС d5	ВС ГХБ	ВС d5	ВС ГХБ
Рафинированное дезодорированное пальмовое масло	0,93	0,96	0,77	0,72	1,33	1,37
Рафинированное дезодорированное подсолнечное масло	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	0,55	0,52
Рафинированное дезодорированное рапсовое масло	Менее 0,23	Менее 0,21	Менее 0,1	Менее 0,1	0,68	0,72

При решении следующей задачи проводили анализ содержания исследуемых глицидиловых эфиров в образцах рафинированных подсолнечных масел отечественных производителей.

Результаты исследований представлены на рисунках 3 и 4.

Как следует из данных, представленных на рисунках 3 и 4, масла, выработанные в период с мая по ноябрь 2024 г. характеризуются снижением уровня содержания глицидиловых эфиров, что объясняется внедрением на ряде предприятий различных технологических мероприятий, основными из которых являются снижение температуры дистилляционной рафинации и переход на переработку масел по схеме «кислотная нейтрализация – отбелка дезодорация».

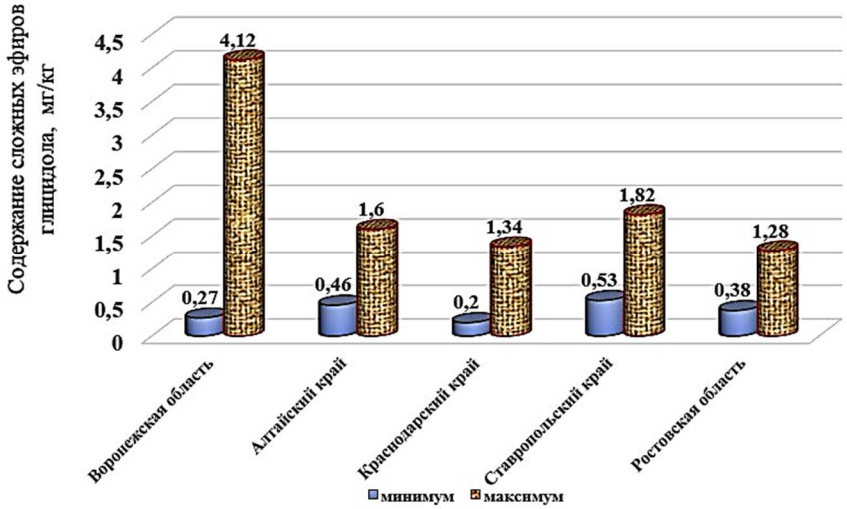

Рисунок 3 – Содержание глицидиловых эфиров в пересчете на глицидол в подсолнечных рафинированных дезодорированных маслах, выработанных отечественными предприятиями в период сентябрь 2023 – апрель 2024 гг. (выборка 210 образцов)

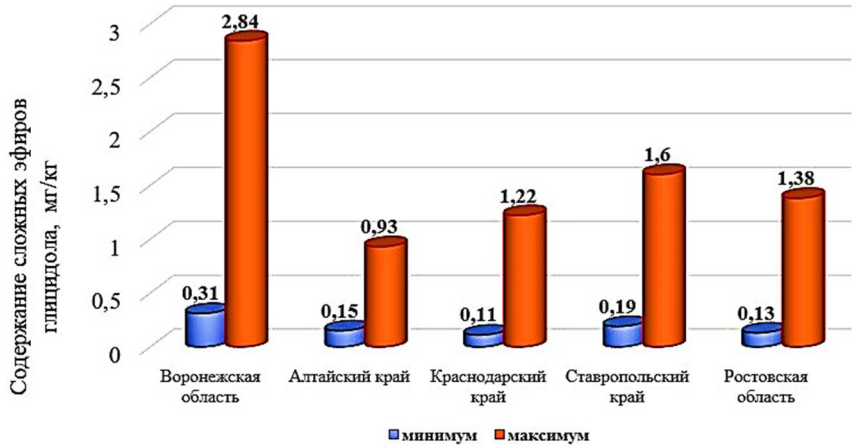

Рисунок 4 – Содержание глицидиловых эфиров в пересчете на глицидол в подсолнечных рафинированных дезодорированных маслах, выработанных отечественными предприятиями в период май – ноябрь 2024 гг. (выборка 97 образцов)

Влияние различных способов рафинации подсолнечных масел, включая дистилляционную рафинацию, температурные режимы, которой составляют от 245 до 255 °С, и нейтрализационную рафинацию с последующей дезодорацией, температурные режимы которой составляют от 225 до 235 °С на уровень содержания глицидиловых эфиров представлено на рисунке 5.

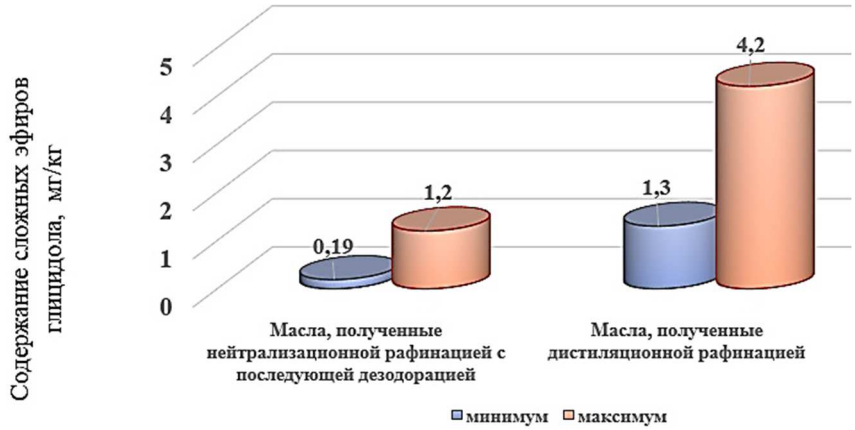

Рисунок 5 – Влияние способа рафинации подсолнечных масел на уровень содержания глицидиловых эфиров

Полученные данные подтверждают мнение большинства исследователей о том, что одним из основных технологических факторов, инициирующих процесс образования глицидиловых эфиров, является повышенная (более 150 °С) температура [24–26]. Однако, широкий интервал варьирования полученных нами данных свидетельствует о том, что температурные воздействия являются, хотя и важным, но отнюдь не единственным фактором, интенсифицирующим образование ГЭ и МХПДЭ.

Вместе с тем, верхний предел содержания глицидолов в подсолнечных маслах остается достаточно высоким и выходит за установленный норматив – не более 1,0 мг/кг.

Таким образом, проведение исследований механизмов образования глицидиловых эфиров и разработка мер по их снижению остается актуальным.

Литература

1. Food Systems – Definition, Concept and Application for the UN Food Systems Summit / Joachim von Braun, Kaosar Afsana, Louise O. Fresco, Mohamed Hassan, Maximo Torero // A paper from the Scientific Group of the UN Food Systems Summit March 5. – 2021. – URL : https://sc-fss2021.org

2. Тарасова О.Б. Продовольственная безопасность России как комплекс взаимосвязанных факторов // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 2. – URL : https://esj.today/PDF/49ECVN222.pdf
3. Basso B. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems / B. Basso, J. Antle // Nature Sustainability. – 2020. – Vol. 3(4). – P. 254–256.
4. Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? / P. Smith, K. Calvin, J. Nkem, D. Campbell, F. Cherubini, G. Grassi, ... & E. Nkonya // Global change biology. – 2020. – Vol. 26(3). – P. 1532–1575.
5. A pilot survey of 2- and 3-monochlor-opropanediol and glycidol fatty acid esters in foods on the Canadian market 2011–2013 / A. Becalski [et al.] // Food Comp Anal. – 2015. – Vol. 37. – P. 58–66.
6. 3-MCPD Esters: A new challenge for the palm oil industry / N. Ibrahim [et al.] // Conference Paper November – 2016. – URL : C:/Users/HP/Downloads/3-MCPDE-Anewchallengeforpalmoilindustry. pdf
7. Монохлорпропандиолы, глицидол и их эфиры в детском питании / М.А. Макаренко [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2019. – № 17(1). – С. 38–48.
8. Моргунова Е. Глицидиловые эфиры жирных кислот. Мировой тренд в безопасности продуктов питания / Е. Моргунова, В. Бабодей, А. Пчельникова // Наука, питание и здоровье. – 2021. – Т. 1 (Часть 2). – С. 400–407.
9. Чернова А.В. О нормировании содержания глицидиловых эфиров жирных кислот и глицидола в пищевой продукции / А.В. Чернова, Л.А. Доскач // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2022. – Т. 60. – № 2. – С. 13–22.
10. 3-MCPD and glycidol coexposure induces systemic toxicity and synergistic nephrotoxicity via NLRP3 inflammasome activation, necroptosis, and autophagic cell death / P.W. Liu [et al.] // J. Hazard. Mater. – 2021. – Vol. 405. – P. 124–241.
11. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans // World Health Organization: International Agency for Research on Cancer. – 2000. – Vol. 77. – P. 469–486.
12. Some chemicals present in industrial and consumer products // International Agency for Research on Cancer. Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. – 2012. – Vol. 101. – P. 349–374.
13. 3-Chloro-1, 2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells / J. Lu [et al.] // Food Chem. – Toxicol. – 2020. – Vol. 144. – P. 111–575
14. 3-MCPD as contaminant in processed foods: state of knowledge and remaining challenges / A. Eisenreich [et al.] // Food Chem. – 2022. – P. 134–332.
15. Proteomic analysis of 3-MCPD and 3-MCPD dipalmitate toxicity in rat testis / S. Sawada [et al.] // Food Chem. Toxicol. – 2015. – Vol. 83. – P. 84–92.
16. 3-Monochloropropane-1, 2-diol causes irreversible damage to reproductive ability independent of hormone changes in adult male rats / H.Z. Xing [et al.] // Food Chem. Toxicol. – 2019. – Vol. 124. – P. 10–16.
17. On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters / F. Pudel [et al.] // Eur J Lipid Sci Technol. – 2011. – Vol.113. – P. 368–373.
18. Occurrence, formation mechanism, detection methods, and removal approaches for chloropropanols and their esters in food: An updated systematic review / Sun Changxia [et al.] // Food Chemistry: X 17. – 2023. – Vol. 100529. – P. 1–10.
19. Монохлорпропандиолы, глицидол и их эфиры в детском питании / М.А. Макаренко [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2019. – № 17(1). – С. 38–48.
20. Determination of 3-mcpd in grilled meat using pressurized liquid extraction and gas chromatography-high resolution mass spectrometry / K. Schallschmidt [et al.] // J. Verbrauch. Lebensm. – 2012. – Vol. 7. – P. 203–210.
23. Development of a QuEChERS method for simultaneous analysis of 3-Monochloropropane-1,2-diol monoesters and Glycidyl esters in edible oils and margarine by LC-APCI-MS/MS / A. Jorge Custodio-Mendoza [et al.] // Analytica Chimica Acta. – 2023. – Vol. 1239. – Part A. 340712. – P. 1–9.
24. Optimization of an indirect enzymatic method for the simultaneous analysis of 3-MCPD, 2-MCPD, and glycidyl esters in edible oils / K. Koyama [et al.] // J Oleo Sci. – 2015. – 64:1057–64.
25. Esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) in vegetable oils: Significance in the formation of 3-MCPD / W. Seefelder [et al.] // Food Addit. Contam. – 2008. – Vol. 25. – Part A. – P. 391–400.
26. A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes / Kok Ming Goh [et al.] // Current Research in Food Science. – 2021. – № 4. – P. 460–469.

References

1. Food Systems – Definition, Concept and Application for the UN Food Systems Summit / Joachim von Braun, Kaosar Afsana, Louise O. Fresco, Mohamed Hassan, Maximo Torero // A paper from the Scientific Group of the UN Food Systems Summit March 5. – 2021. – URL : https://sc-fss2021.org

2. Tarasova O.B. Food security of Russia as a complex of interrelated factors // Bulletin of Eurasian Science. – 2022. – Vol. 14. – № 2. – URL : https://esj.today/PDF/49ECVN222.pdf
3. Basso B. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems / B. Basso, J. Antle // Nature Sustainability. – 2020. – Vol. 3(4). – P. 254–256.
4. Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? / P. Smith, K. Calvin, J. Nkem, D. Campbell, F. Cherubini, G. Grassi, ... & E. Nkonya // Global change biology. – 2020. – Vol. 26(3). – P. 1532–1575.
5. A pilot survey of 2- and 3-monochlor-opropanediol and glycidol fatty acid esters in foods on the Canadian market 2011–2013 / A. Becalski [et al.] // Food Comp Anal. – 2015. – Vol. 37. – P. 58–66.
6. 3-MCPD Esters: A new challenge for the palm oil industry / N. Ibrahim [et al.] // Conference Paper November – 2016. – URL : C:/Users/HP/Downloads/3-MCPDE-Anewchallengeforpalmoilindustry.pdf
7. Monochloropropanediols, glycidol and their esters in baby food / M.A. Makarenko [et al.] // Issues of pediatric dietetics. – 2019. – № 17(1). – P. 38–48.
8. Morgunova E. Glycidyl esters of fatty acids. World trend in food safety / E. Morgunova, V. Babody, A. Pchelnikova // Science, nutrition and health. – 2021. – Vol. 1 (Part 2). – P. 400–407.
9. Chernova A.V. On the standardization of the content of glycidyl esters of fatty acids and glycidol in food products / A.V. Chernova, L.A. Doskach // Scientific works of the Far Eastern Fisheries Technical University. – 2022. – Vol. 60. – № 2. – P. 13–22.
10. 3-MCPD and glycidol coexposure induces systemic toxicity and synergistic nephrotoxicity via NLRP3 inflammasome activation, necroptosis, and autophagic cell death / P.W. Liu [et al.] // J. Hazard. Mater. – 2021. – Vol. 405. – P. 124–241.
11. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans // World Health Organization: International Agency for Research on Cancer. – 2000. – Vol. 77. – P. 469–486.
12. Some chemicals present in industrial and consumer products // International Agency for Research on Cancer. Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. – 2012. – Vol. 101. – P. 349–374.
13. 3-Chloro-1, 2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells / J. Lu [et al.] // Food Chem. – Toxicol. – 2020. – Vol. 144. – P. 111–575
14. 3-MCPD as contaminant in processed foods: state of knowledge and remaining challenges / A. Eisenreich [et al.] // Food Chem. – 2022. – P. 134–332.
15. Proteomic analysis of 3-MCPD and 3-MCPD dipalmitate toxicity in rat testis / S. Sawada [et al.] // Food Chem. Toxicol. – 2015. – Vol. 83. – P. 84–92.
16. 3-Monochloropropane-1, 2-diol causes irreversible damage to reproductive ability independent of hormone changes in adult male rats / H.Z. Xing [et al.] // Food Chem. Toxicol. – 2019. – Vol. 124. – P. 10–16.
17. On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters / F. Pudel [et al.] // Eur J Lipid Sci Technol. – 2011. – Vol.113. – P. 368–373.
18. Occurrence, formation mechanism, detection methods, and removal approaches for chloropropanols and their esters in food: An updated systematic review / Sun Changxia [et al.] // Food Chemistry: X 17. – 2023. – Vol. 100529. – P. 1–10.
19. Monochloropropanediols, glycidol and their esters in baby food / M.A. Makarenko [et al.] // Issues of pediatric dietetics. – 2019. – № 17(1). – P. 38–48.
20. Determination of 3-mcpd in grilled meat using pressurized liquid extraction and gas chromatography-high resolution mass spectrometry / K. Schallschmidt [et al.] // J. Verbrauch. Lebensm. – 2012. – Vol. 7. – P. 203–210.
23. Development of a QuEChERS method for simultaneous analysis of 3-Monochloropropane-1,2-diol monoesters and Glycidyl esters in edible oils and margarine by LC-APCI-MS/MS / A. Jorge Custodio-Mendoza [et al.] // Analytica Chimica Acta. – 2023. – Vol. 1239. – Part A. 340712. – P. 1–9.
24. Optimization of an indirect enzymatic method for the simultaneous analysis of 3-MCPD, 2-MCPD, and glycidyl esters in edible oils / K. Koyama [et al.] // J Oleo Sci. – 2015. – 64:1057–64.
25. Esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) in vegetable oils: Significance in the formation of 3-MCPD / W. Seefelder [et al.] // Food Addit. Contam. – 2008. – Vol. 25. – Part A. – P. 391–400.
26. A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes / Kok Ming Goh [et al.] // Current Research in Food Science. – 2021. – № 4. – P. 460–469.