

RHEOLOGICAL ASPECTS OF EXTRUSION IN A SINGLE-SCREW GRANULATOR PRESS

Donya Denis Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Devices of Processing Industries, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, e-mail: d.donya@rgaumcxa.ru

Popov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, e-mail: popov4116@yandex.ru

Borodulin Dmitry Mikhailovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Director of the Technological Institute, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: borodulin@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russia, Moscow, e-mail: rector@rgau-msha.ru

Abstract: the article discusses some issues of the behavior of biomaterials during extrusion in a screw granulator press, as well as obtaining and processing flow curves according to various rheological equations.

Key words: auger, extruder, rheology, flow curves, rheological equations.

УДК 664.3

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ

Дубровская Ирина Александровна, канд. техн. наук., доцент кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», e-mail: dubrovskaya.ia@mail.ru

Бутина Елена Александровна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», e-mail: butina_elena@mail.ru

Герасименко Евгений Олегович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», e-mail: rosmaplus@gmail.com

Жданов Дмитрий Дмитриевич, ведущий инженер лаборатории
контроля качества и безопасности Испытательного центра,
e-mail: neodimmus@gmail.com

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,
Россия, г. Краснодар, e-mail: ktgr11@mail.ru

Аннотация: статья посвящена результатам исследований содержания новых контаминантов – сложных эфиров монохлорпропандиолов и 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.

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 составляющих 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), монохлорпропандиолы (МХПД) и их сложные эфиры с жирными кислотами (МХПДЭ) [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 агентством по исследованию рака (IARC) ГЛ отнесен к группе 2А, как высоковероятный генотоксичный канцероген, а ГЭ к аналогичной группе, как «вероятный канцероген для человека» [11, 12]. Аналогично ГЭ, антипитательные свойства сложных эфиров МХДП предположительно обусловлены повреждающим действием не самих сложных эфиров, а токсичностью 3-МХПД, высвобождающегося в пищеварительном тракте, и

оказывающего отрицательное воздействие на митохондрии и метаболизм клеток различных органов. При этом наиболее тяжелым поражениям подвержены почки, печень и органы репродуктивной системы [13-16]. Согласно классификации IARC 3-МХПД отнесен к группе 2Б, как негенотоксичный канцероген, тогда, как 2-МХПД (2-монохлорпропан-1,3-диол) в данной классификации отсутствует [11].

Впервые ГЛ и МХПД были обнаружены 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].

Подсолнечное масло, преобладающее в объеме растительных масел, производимых в РФ, является важным источником эссенциальных полиненасыщенных жирных в связи с чем широко используется в пищевых технологиях, в том числе при создании и производстве функциональных пищевых продуктов. Оценка безопасности подсолнечных масел осуществляется в соответствии с требованиями технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 024/2011, однако уровень допустимого содержания вышеуказанных контаминантов этими документами до настоящего времени не установлен.

Следует отметить, что разработка мер по снижению уровня ГЭ, МХПД и их производных в растительных маслах и других пищевых продуктах относится к приоритетным направлениям исследований в области обеспечения безопасности продуктов питания. Европейская федерация масложировой и протеиновой промышленности (FEDIOL) инициирует и поддерживает научные исследования и реализацию пилотных проектов с последующим внедрением в производство, по разработке мер, обеспечивающих уровень содержания ГЭ во всех растительных маслах, не превышающего 1 мг/кг, а в маслах предназначенных для производства продуктов детского питания – не более 0,5 мг/кг.

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, планируется ввести с 01.01.2025 года., включив соответствующее положение в ТР ТС 024/2011.

Период отсроченного ввода в действие норматива, а также отсутствие нормирования содержания МХПДЭ, прежде всего, обусловлены 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 МХПДЭ и ГЭ в подсолнечных маслах отечественных производителей.

Исходя из поставленной цели решались следующие задачи:

- сравнительная оценка стандартизованных методов определения МХПДЭ и ГЭ; - адаптация эффективного метода определения МХПДЭ и ГЭ с целью обеспечения возможности широкого использования для оперативного мониторинга и производственного контроля; - определение фактических уровней содержания контаминантов в подсолнечных маслах отечественных производителей; – анализ возможных причин возникновения и накопления контаминантов в подсолнечных маслах.

Объекты и методы исследования. На территории Российской Федерации одним из основных пищевых растительных масел как по объемам производства, так и по использованию структуре питания населения является подсолнечное, что и определило его выбор в качестве основного объекта исследования. Учитывая, что в Испытательный центр ФГБОУ ВО «КубГУ» поступает продукция из различных регионов РФ, имелась возможность проведения достаточно масштабных исследований на большой выборке объектов, произведенных в период 2022-2024 гг.

В результате анализа достоинств и недостатков стандартизованных в РФ методов определения МХПДЭ и ГЭ в качестве базового был выбран косвенный метод, основанный на ферментативном гидролизе липидов, регламентированный ГОСТ 34900-2022, как наиболее эффективный в аспектах оперативности и получения корректных результатов.

В качестве стандартных образцов использовали 3-МХПД, 2-МХПД,

глицидол, 3-МХПД-Д5, 2-МХПД-Д5, 3-МБПД, 3-МБПД-Д5.

Для анализа проб использовали хромато-масс-спектрометр компании «Хроматэк» - «Кристалл 5000.2» с масс-селективным детектором (МСД), оборудованный кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,25 мм, с неподвижной фазой толщиной 0,25 мкм (ZB-5plus).

Установленные параметры:

Газовый хроматограф:

- газ-носитель: гелий, постоянный поток 1,2 мл/мин;

- объем пробы: 1,5 мкл;

- режим ввода пробы: без деления потока, время продувки: 1,5 мин;

- температура инжектора: 250 °С;

- программирование температуры термостата ГХ (общее время 21 мин);

- начальная температура — 60 °С;

- изотермический режим — 1 мин;

- программируемый нагрев — до температуры 170 °С со скоростью 10 °С/мин;

- изотермический режим — 3 мин;

- программируемый нагрев — до температуры 300 °С со скоростью 100 °С/мин;

- изотермический режим — 5 мин;

Масс-спектрометр:

- метод ионизации: электронный удар, положительный режим;

- температура интерфейса: 300 °С;

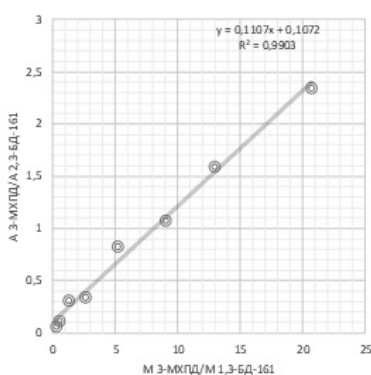
- температура ионного источника: 230 °С;

- время сканирования: 0,05—0,10.

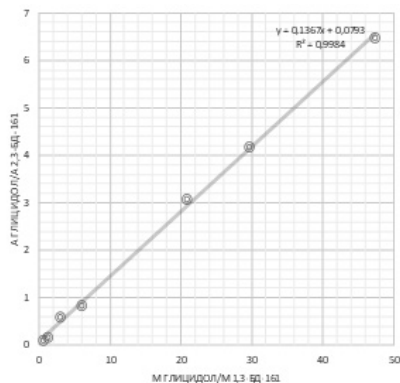
Результаты обрабатывали посредством программного обеспечения для хроматографии «Аналитик 3.1».

Результаты и их обсуждение. Практическая реализация метода определения МХПДЭ и ГЭ, регламентированного ГОСТ 34900-2022, показала, что основными ограничениями его широкого использования испытательными и производственными лабораториями является сложности в обеспечении стандартными образцами - пентадецированными соединениями 3-МХПД, 2-МХПД, и 3-МБПД, в которых пять атомов водорода замещены на пять атомов дейтерия (D5). Необходимо отметить, что аналогичная проблема существует и для других, стандартизованных в настоящее время РФ методов определения этих контаминантов.

На основании проведенных нами исследований было предложено использовать в качестве альтернативных внутренних стандартов вещества из класса гликолей, например, 1,3 – бутандиола (1,3БД) [21]. Были получены калибровочные графики относительно альтернативного внутреннего стандарта с коэффициентом корреляции, приближающимся к 0,99, что является удовлетворительным значением при количественном анализе (рисунок 1).



а



б

Рисунок 1 – Калибровочные графики 3-МХПД (а) и глицидола (б) относительно 1,3-бутандиола

Проведение сравнительных исследований образцов масел с использованием регламентированных дейтерированных и альтернативного внутренних стандартов показали некоторое занижение получаемых результатов в последнем случае (таблица 1).

Таблица 1

Результаты сравнительного исследования образцов масел с использованием регламентированных и альтернативного внутренних стандартов

Рафинированное дезодорированное подсолнечное масло	Содержание, мг/кг					
	3-МХПД		2-МХПД		Глицидол	
	Д5	1,3-БД	Д5	1,3-БД	Д5	1,3-БД
Образец № 1	0,16	0,14	Менее 0,1	Менее 0,1	0,27	0,23
Образец №2	0,24	0,21	Менее 0,1	Менее 0,1	2,51	2,34
Образец № 3	0,81	0,74	0,20	0,18	0,45	0,32
Образец № 4	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	1,44	1,29
Образец № 5	0,49	0,37	0,14	0,11	0,89	0,67

Указанный факт может быть связан с рядом причин, основными из которых являются: некоторое отличие в величинах m/z количественных ионов 1,3-бутандиола, составляющих 161 и 176, и количественных ионов определяемых

аналитов, для которых величины m/z составляют 147 и 196; существенно большая (около 10 раз), чувствительностью МСД к производному 1,3-бутандиола, чем к производным определяемых аналитов. Вместе с тем использование предлагаемых альтернативных стандартных образцов может быть вполне оправданным для осуществления оперативного мониторинга и производственного контроля, когда требуется проведение достаточно большого числа анализов, что особенно актуально в условиях изменчивости качества поступающего сырья и необходимости получения сравнимых данных при подборе технологических режимов.

В рамках решения следующей задачи проводили анализ содержания исследуемых контаминантов в образцах подсолнечных масел, поступивших на исследования в Испытательный центр ФГБОУ ВО «КубГТУ».

Согласно результатам наших исследований нерафинированные подсолнечные масла практически не содержат ни МХПДЭ, ни ГЭ, что согласуется с литературными данными [20, 22].

В таблице 2 приведены данные по содержанию МХПДЭ и ГЭ в образцах рафинированных дезодорированных подсолнечных масел отечественных производителей, сгруппированных по регионам локализации перерабатывающих масложировых предприятий.

Таблица 2

Содержание исследуемых контаминантов в образцах рафинированных дезодорированных подсолнечных масел отечественных производителей, локализованных в основных регионах выращивания и переработки подсолнечника

Наименование региона РФ	Наименование показателя		
	Содержание (концентрация) сложных эфиров 3-монохлорпропандиола (3-МХПД), мг/кг	Содержание (концентрация) сложных эфиров 2-монохлорпропандиола (2-МХПД), мг/кг	Содержание (концентрация) сложных эфиров глицидиола, мг/кг
Воронежская область	Менее 0,1	Менее 0,1	3,92±0,14
	Менее 0,1	Менее 0,1	3,74±0,14
	0,24±0,01	Менее 0,1	2,51±0,09
	Менее 0,1	Менее 0,1	1,69±0,06
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,87±0,03
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,76±0,03
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,73± 0,03
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,63±0,02
	0,14±0,01	Менее 0,1	0,72±0,03
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,28±0,01
Алтайский край	0,16±0,01	Менее 0,1	0,27±0,01
	Менее 0,1	Менее 0,1	1,44±0,05
	0,19±0,01	Менее 0,1	1,38±0,05
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,79± 0,03

	0,14±0,01	Менее 0,1	0,51±0,02
Краснодарский край	Менее 0,1	Менее 0,1	1,08±0,04
	0,20±0,01	Менее 0,1	0,82±0,03
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,58±0,02
	Менее 0,1	Менее 0,1	0,50±0,02
	0,27±0,01	Менее 0,1	0,75±0,03
	0,20±0,01	Менее 0,1	0,26±0,09
Ставропольский край	0,18±0,01	Менее 0,1	0,25±0,01
	0,35±0,01	Менее 0,1	1,60±0,06
	0,42±0,02	Менее 0,1	1,41±0,05
	Менее 0,1	Менее 0,1	1,14±0,04
	0,41±0,01	Менее 0,1	0,88±0,03
Ростовская область	0,37±0,01	Менее 0,1	0,58±0,02
	0,54±0,02	0,12±0,01	1,26±0,05
	0,39±0,01	Менее 0,1	0,54±0,02
	0,44±0,02	Менее 0,1	0,41±0,01
	0,31±0,01	Менее 0,1	0,44±0,02

Показано, что 2-МХПД в подавляющем большинстве исследуемых образцов отсутствует, что согласуется с литературными данными [23, 24]. Содержание 3-МХПД колеблется в пределах от менее 0,1 мг/кг (предел обнаружения) до 0,54 мг/кг, а содержание ГЭ в пересчете на глицидол находится в диапазоне от 0,27 мг/кг до 3,92 мг/кг. Таким образом, тогда, как содержание 3-МХПД не превышает нормы, установленные Регламентом ЕС 2023/915 от 25.04.2023, содержание ГЭ в отдельных образцах превышает регламентированную норму более, чем 3 раза, что свидетельствует об актуальности разработки мер по снижению содержания ГЭ в подсолнечных маслах, получаемых отечественными предприятиями.

Образцы с наибольшим содержанием ГЭ характерны для Воронежской области. Это может быть связано, как с особенностями характеристик исходного сырья, поступающего на переработку, так и с особенностями технологических режимов, используемых при переработке подсолнечных масел предприятиями, расположенными с данным регионом. Следует отметить, что масла, поступающие от предприятий Краснодарского края, практически не имели превышение норматива по содержанию ГЭ.

Достаточный интерес представляют данные, представленные в таблице 3, где приведено содержание исследуемых контаминантов в так называемых «точечных» пробах, безотносительно региональной принадлежности предприятий.

Следует отметить, что, хотя для этих проб практически (кроме одной пробы) не было выявлено превышение нормируемого уровня содержания ГЭ, для отдельных из них отмечается достаточно высокое содержание 3-МХПД, достигающее 0,81 мг/кг, а также присутствие 2-МХПД на уровне от 0,11 до 0,20 мг/кг.

Таблица 3

Содержание исследуемых контаминантов в образцах рафинированных дезодорированных подсолнечных масел безотносительно региональной принадлежности

Порядковый номер образца	Наименование показателя		
	Содержание (концентрация) сложных эфиров 3-монохлорпропандиола (3-МХПД), мг/кг	Содержание (концентрация) сложных эфиров 2-монохлорпропандиола (2-МХПД), мг/кг	Содержание (концентрация) сложных эфиров глицидола, мг/кг
1	0,21±0,01	Менее 0,1	0,19±0,01
2	0,13±0,01	Менее 0,1	0,20±0,007
3	0,21±0,01	Менее 0,1	0,24±0,01
4	0,21±0,01	Менее 0,1	0,37±0,01
5	0,24±0,01	Менее 0,1	0,39±0,01
6	0,40±0,01	Менее 0,1	0,39±0,01
7	0,45±0,02	0,12±0,01	0,39±0,01
8	0,11±0,01	Менее 0,1	0,42±0,02
9	0,31±0,01	Менее 0,1	0,45±0,02
10	0,81±0,03	0,20±0,01	0,45±0,02
11	0,31±0,01	Менее 0,1	0,47±0,02
12	0,38±0,01	Менее 0,1	0,50±0,02
13	0,24±0,01	Менее 0,1	0,55±0,02
14	0,33±0,01	0,11±0,01	0,62±0,02
15	0,18±0,01	Менее 0,1	0,67±0,02
16	0,25±0,01	Менее 0,1	0,80±0,03
17	0,28±0,01	Менее 0,1	0,82±0,03
18	0,13±0,01	Менее 0,1	0,85±0,03
19	0,49±0,02	0,14±0,01	0,89±0,03
20	0,41±0,01	0,12±0,01	0,89±0,03
21	0,31±0,01	Менее 0,1	0,94±0,03
22	0,27±0,01	0,12±0,01	1,07±0,04

Анализ данных таблиц 2 и 3 свидетельствует об отсутствии корреляции между содержанием 3-МХПД, 2-МХПД и ГЭ. Для объяснения данного факта, а также для разработки мер по снижению уровня образования данных контаминантов следует обратиться к представлениям о механизмах их образования в растительных маслах.

Проведенный анализ современной научной литературы показал, что систематизированные статистически достоверные научные знания о механизмах образования глицидиловых эфиров, МХПД и их производных до настоящего времени отсутствуют. Предположительно ГЭ образуются путем трансформации диацил- и моноацилглицеринов в результате воздействия высоких температур, например, при дезодорации или дистилляционной рафинации масел.

Существует также теория, согласно которой может происходить двунаправленный процесс трансформации ГЛ и 3-МХПД, а также между их

этерифицированными формами в присутствии ионов хлора⁻ (рисунок 2).

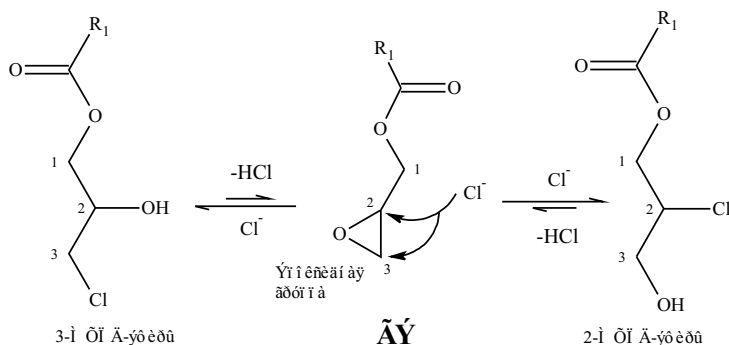


Рисунок 2 – Предполагаемый механизм двунаправленной трансформации МХПДЭ и ГЭ

В работах [25, 26] высказывается предположение о том, что ГЭ, а также эфиры 3-МХПД, вначале образуют промежуточный ион ацилоксония, а затем перегруппировываются путем миграции заряда, в конечном итоге образуя ГЭ. Однако, согласно исследованиям [26, 27], ГЭ и сложные эфиры 3-МХПД могут образовываться и другим путем, в зависимости от температуры и времени реакции.

Несмотря на существование различных теорий относительно механизмов образования МХПДЭ и ГЭ, все они сходятся в том, что одним из основных факторов, инициирующих образование данных контаминантов, является воздействие высоких (более 150 °С) температур.

Учитывая, что среди исследуемых образцов рафинированных дезодорированных подсолнечных масел были масла получены, как в результате физической рафинации, температурные режимы которой составляют от 240 до 260 °С, так и путем химической рафинации, с последующей дезодорацией, при которой температура не превышает 230°С, представляло интерес провести анализ накопления контаминантов в маслах, полученных по разным технологиям.

Результаты анализа представлены на рисунке 3. Показано, что содержание ГЭ в маслах, полученных физической рафинацией, значительно превышает допустимые нормы по сравнению с маслами, полученными химической рафинацией с последующей дезодорацией. Аналогичный вывод, касается и содержания сложных эфиров 3-МХПД.

Полученные данные подтверждают мнение большинства исследователей о том, что одним из основных технологических факторов, инициирующих процесс образования ГЭ и МХПДЭ, является повышенная (более 150 °С) температура [28, 29]. 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.

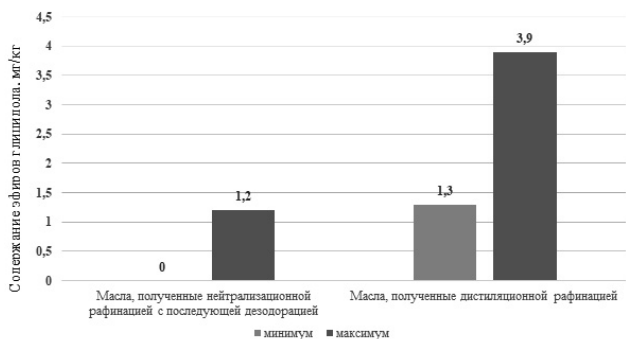


Рисунок 3 - Оценка содержания эфиров глицидола в зависимости от способа получения масел

Существенно меньшее содержание сложных эфиров 3-МХПД или 2-МХПД может быть связано, как с низкой интенсивностью их образования в подсолнечных маслах в процессе рафинации, так и, с их интенсивной трансформацией в ГЭ. Для формулирования окончательного вывода по данному вопросу необходимо проведение углубленных дополнительных исследований.

Выводы. Сравнительная оценка стандартизованных в РФ методов определения МХПДЭ и ГЭ показала, что наиболее эффективным для проведения оперативного контроля с получением достаточно корректных результатов является косвенный метод, основанный на ферментативном гидролизе липидов, регламентированный ГОСТ 34900-2022.

Для обеспечения доступности использования стандартизованных в РФ методов определения МХПДЭ и ГЭ предложено использовать в качестве альтернативных внутренних стандартов вещества из класса гликолей, например, 1.3 – бутандиола.

Мониторинг подсолнечных масел, вырабатываемых отечественными предприятиями, показал, что содержание сложных эфиров 3-МХПД не превышает нормы, установленные Регламентом ЕС 2023/915 от 25.04.2023, тогда, как содержание ГЭ в отдельных образцах превышает регламентированную норму более, чем 3 раза, что свидетельствует об актуальности разработки мер по снижению содержания ГЭ в подсолнечных маслах, получаемых отечественными предприятиями.

Одним из основных технологических факторов, инициирующих процесс образования ГЭ и МХПДЭ, является повышенная (более 230 °С) температура. Обеспечение снижения уровня МХПДЭ и ГЭ прежде всего связано с необходимостью снижением температурных воздействий на масла в процессе их

переработки, при этом следует также продолжать исследования с целью выявления других факторов, интенсифицирующих процессы образования указанных контаминантов.

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

Библиографический список

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. <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., Antle J. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*. 2020. V. 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. V. 26(3). P. 1532-1575.
5. Becalski A, Feng S, Lau BP-Y, Zhao T. A pilot survey of 2- and 3-monochloropropanediol and glycidol fatty acid esters in foods on the Canadian market 2011–2013. *Food Comp Anal*. 2015. V.37.P. 58-66.
6. 3-MCPD Esters: A new challenge for the palm oil industry/ N.Ibrahim, A.A. Razak , R. Ramli, M. Ramli, A. Kuntom // Conference Paper November 2016. Available from: <file:///C:/Users/HP/Downloads/3-MCPDE-Anewchallengeforpalmoilindustry.pdf>
7. Монохлорпропандиолы, глицидол и их эфиры в детском питании / М.А. Макаренко, А.Д. Малинкин, Д.О. Боков, В.В. Бессонов // *Вопросы детской диетологии*. 2019. № 17(1). С. 38–48. DOI: 10.20953/1727-5784-2019-1-38-48.
8. Моргунова Е., Бабодей В, Пчельникова А. Глицидиловые эфиры жирных кислот. Мировой тренд в безопасности продуктов питания // *Наука, питание и здоровье*. Том 1. Часть 2. 2021. С. 400-407.
9. Чернова А.В., Доскач Л.А. О нормировании содержания глицидиловых эфиров жирных кислот и глицидола в пищевой продукции // *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. 124241.
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 / Lu J. et al. // *Food Chem. Toxicol.* 2020. Vol. 144. A. 111575

14. 3-MCPD as contaminant in processed foods: state of knowledge and remaining challenges / A. Eisenreich, B.H. Monien, M.E. Götzt, T. Bührke, A. Oberemm, K. Schultrich, K. Abraham, A. Braeuning, B. Schäfer // *Food Chem.* 2022. P. 134332.

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, P. Benecke, P. Fehling, A. Freudenstein, B. Matthäus, A. Schwaf // *Eur J Lipid Sci Technol.* 2011. V.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, Wu Ni, Kou Shunli, Wu Haolin, Liu Yu, Pei Annan, Li Qiang // *Food Chemistry: X* 17. 2023. Vol. 100529. P. 1-10.

19. Монохлорпропандиолы, глицидол и их эфиры в детском питании / М.А. Макаренко, А.Д. Малинкин, Д.О. Боков, В.В. Бессонов // *Вопросы детской диетологии.* 2019. № 17(1). С. 38–48. DOI: 10.20953/1727-5784-2019-1-38-48

20. Determination of 3-mcpd in grilled meat using pressurized liquid extraction and gas chromatography-high resolution mass spectrometry / K. Schallschmidt, A. Hitzel, M. Pöhlmann, F. Schwägele, K. Speer, W. Jira // *J. Verbrauch. Lebensm.* 2012. Vol. 7. P. 203-210.

21. Жданов Д.Д., Сонин С.А., Попкова П.О. Разработка метода определения монохлорпропандиолов и глицидола в растительных маслах с использованием доступных внутренних стандартов // *Известия вузов. Пищевая технология.* 2023. № 5-6, С. 140-147.

22. 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 / Jorge A. Custodio-Mendoza, Raquel Send'on, Ana Rodríguez-Bernaldo de Quir'os, Rosa A. Lorenzo, Antonia M. Carro // *Analytica Chimica Acta.* 2023. Vol. 1239 A. 340712. P.1-9.

23. Koyama K, Miyazaki K, Abe K, Ikuta K, Egawa Y, Kitta T, Kido H, Sano T, Takahashi Y, Nezu T. Optimization of an indirect enzymatic method for the simultaneous analysis of 3-MCPD, 2-MCPD, and glycidyl esters in edible oils. *J Oleo Sci.* 2015. 64:1057–64.

24. Esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) in vegetable oils: Significance in the formation of 3-MCPD / W. Seefelder, N. Varga, A. Studer, G. Williamson, F.P. Scanlan, R.H. Stadler // *Food Addit. Contam. Part A.* 2008. Vol. 25. P. 391–400.

25. Weißhaar R, Perz R. 2010. Fatty acid esters of glycidol in refined fats and oils. *Eur J Lipid Sci Technol* 112:158–65.

26. Rahn AKK, Yaylayan VA. Monitoring cyclic acyloxonium ion formation in palmitin systems using infrared spectroscopy and isotope labelling technique. Eur J Lipid Sci Technol. 2011. 113:330–4.

27. Haines TD, Adlaf KJ, Pierceall RM, Lee I, Venkitasubramanian P, Collison MW. Direct determination of MCPD fatty acid esters and glycidyl fatty acid esters in vegetable oils by LC–TOFMS. J Am Oil Chem Soc. 2011. 88:1–14.

28. Effects of temperature and NaCl on the formation of 3-MCPD esters and glycidyl esters in refined, bleached and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips / Yu, H. W., Muhamad, H., Abas, F., et al. // Food Chemistry. 2017. V. 219. P. 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.130>

29. A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes Kok Ming Goh, Yu Hua Wong, Chin Ping Tan, Kar Lin Nyam // Current Research in Food Science. 2021. 4. P. 460–469.

NEW ASPECTS OF ENSURING THE SAFETY OF FUNCTIONAL PRODUCTS BASED ON SUNFLOWER OILS

Dubrovskaya Irina Aleksandrovna, Ph.D. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatus, Kuban State Technological University,
e-mail: dubrovskaya.ia@mail.ru

Butina Elena Aleksandrovna, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Devices, Kuban State Technological University,
e-mail: butina_elena@mail.ru

Gerasimenko Evgeniy Olegovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Devices, Kuban State Technological University,
e-mail: rosmaplus@gmail.com

Zhdanov Dmitry Dmitrievich, leading engineer of the quality control and safety laboratory of the Testing Center, e-mail: neodimmus@gmail.com

Kuban State Technological University,
Russia, Krasnodar, e-mail: ktgr11@mail.ru

Abstract: the article is devoted to the results of studies of the content of new contaminants - esters of monochloropropanediols and glycidyl ethers 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.

Key words: safety assessment, contaminants, glycidol, monochloropropanediols, sunflower oil.