

Татьяна Игоревна Угрюмова^{1✉}, Екатерина Валериевна Лисовая²,

Екатерина Романовна Данилейко³, Елена Павловна Викторова⁴

^{1,2,3,4}Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал СК ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹bronnichka@bk.ru

²e.kabalina@mail.ru

³danileykoekaterina01@mail.ru

⁴kornena@bk.ru

ВЛИЯНИЕ ЛИКОПИНСОДЕРЖАЩЕЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАФИНИРОВАННЫХ ДЕЗОДОРИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ К ОКИСЛЕНИЮ

Цель исследований – определение влияния ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость к окислению рафинированных дезодорированных растительных масел. Объекты исследования – образцы рафинированных дезодорированных подсолнечного, соевого и рапсового масел с внесением ликопинсодержащей пищевой добавки (экспериментальные) и без внесения (контрольные). Ликопинсодержащая пищевая добавка была получена из выжимок томатов по разработанной технологии, имеющей ноу-хау, и отличается высоким содержанием ликопина (5410 мг/100 г). В экспериментальных образцах масел содержание ликопина составляло 1, 3 и 5 мг/100 г. Исследование в контрольных образцах состава жирных кислот проводили методом газожидкостной хроматографии по стандартным методикам. Устойчивость к окислению контрольных и экспериментальных образцов определяли с помощью метода дифференциально сканирующей калориметрии при их ускоренном окислении в потоке кислорода при температурах 110, 120 и 130 °С. Установлено, что устойчивость к окислению рафинированных дезодорированных растительных масел определяется составом жирных кислот, а также соотношением мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот. По устойчивости к окислению исследуемые масла располагаются в ряд (по возрастанию): соевое → подсолнечное → рапсовое. Установлено положительное влияние ликопинсодержащей пищевой добавки на степень повышения устойчивости к окислению экспериментальных образцов. Наибольшее влияние содержания ликопина на повышение устойчивости к окислению экспериментальных образцов по отношению к контрольным образцам наблюдалось при 110 °С: для подсолнечного – на 71,3 %, для соевого – на 74,4, для рапсового – на 14,2 %. Выявлено, что для обеспечения высокой устойчивости к окислению образцов рафинированных дезодорированных подсолнечного и соевого масел необходимо содержание ликопина в них 5 мг/100 г, а для рафинированного дезодорированного рапсового масла – 1 мг/100 г.

Ключевые слова: пищевая добавка, ликопин, рафинированные дезодорированные растительные масла, жирные кислоты, время окислительной индукции, устойчивость к окислению

Для цитирования: Угрюмова Т.И., Лисовая Е.В., Данилейко Е.Р., и др. Влияние ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость рафинированных дезодорированных растительных масел к окислению // Вестник КрасГАУ. 2026. № 4. С. 255–265. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-255-265.

Финансирование: исследование выполнено в рамках комплексной темы FGRE-2022-0008 Государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Tatyana Igorevna Ugryumova^{1✉}, Ekaterina Valerievna Lisovaya²,
Ekaterina Romanovna Danileiko³, Elena Pavlovna Viktorova⁴

^{1,2,3,4}Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the FSC for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russia

¹bronnichka@bk.ru

²e.kabalina@mail.ru

³danileykoekaterina01@mail.ru

⁴kornena@bk.ru

LYCOPENE-CONTAINING FOOD ADDITIVE EFFECT ON OXIDATION STABILITY OF REFINED AND DEODORIZED VEGETABLE OILS

The aim of the study is to investigate the effect of a lycopene-containing food additive on the oxidation stability of refined deodorized vegetable oils. The objects of the study were samples of refined deodorized sunflower, soybean, and rapeseed oils with the addition of a lycopene-containing food additive (experimental) and without it (control). The lycopene-containing food additive was obtained from tomato pomace using a developed know-how technology and is characterized by a high lycopene content (5410 mg/100 g). In the experimental oil samples, the lycopene content was 1, 3, and 5 mg/100 g. The fatty acid composition of the control samples was studied by gas-liquid chromatography using standard techniques. The oxidation stability of the control and experimental samples was determined using differential scanning calorimetry during their accelerated oxidation in an oxygen stream at temperatures of 110, 120, and 130 °C. It has been established that the oxidation stability of refined deodorized vegetable oils is determined by the composition of fatty acids, as well as the ratio of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. In terms of oxidation stability, the oils studied are arranged in the following order (in ascending order): soybean → sunflower → rapeseed. A positive effect of the lycopene-containing food additive on the degree of increase in oxidation stability of the experimental samples was established. The greatest effect of lycopene content on the increase in oxidation stability of the experimental samples relative to the control samples was observed at 110 °C: for sunflower oil – by 71.3 %, for soybean oil – by 74.4 %, and for rapeseed oil – by 14.2 %. It was found that to ensure high oxidation stability of refined deodorized sunflower and soybean oils, a lycopene content of 5 mg/100 g is required, and for refined deodorized rapeseed oil – 1 mg/100 g.

Keywords: food additive, lycopene, refined deodorized vegetable oils, fatty acids, oxidative induction time, oxidation stability

For citation: Ugryumova TI, Lisovaya EV, Danilejko ER, et al. Effect of a lycopene-containing food additive on the oxidation stability of refined and deodorized vegetable oils. *Bulletin of KSAU*. 2026;(4):255-265: (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-255-265.

Funding: the study was conducted within the framework of the comprehensive topic FGRE-2022-0008 of the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Введение. Известно, что рафинированные дезодорированные растительные масла и эмульсионно-жировые продукты, полученные с их применением, в значительной степени склонны к протеканию окислительных процессов, вследствие чего происходит снижение их потребительских свойств.

Следует отметить, что в результате процесса окисления растительных масел происходит образование и накопление токсичных веществ (альдегидов, кетонов), оказывающих негативное влияние на здоровье человека, так как накопление указанных веществ приводит к разрушению клеточных мембран, ускоряя процессы старе-

ния, а также к возникновению атеросклероза и других заболеваний [1].

Учитывая это, устойчивость к окислению растительных масел является ключевым фактором, определяющим их качество, безопасность и сроки годности.

На устойчивость растительных масел к окислению влияют особенности состава жирных кислот, а именно степень их ненасыщенности, наличие в составе масел прооксидантов, например, хлорофиллов, ионов металлов (Fe^{3+} и Cu^{2+}), и антиоксидантов, а также условия хранения и транспортирования [2].

Известно, что в процессе рафинации и дезодорации растительные масла теряют значительную часть нативных антиоксидантов, в частности токоферолов, в связи с этим для повышения их устойчивости к окислению широко применяются такие коммерчески доступные синтетические антиоксиданты, как бутилированный гидроксанизол (BHA), бутилированный гидрокситолуол (BHT), третбутилгидрохинон (TBHQ) и пропилгаллат (PG) [1]. Однако синтетические антиоксиданты могут оказывать канцерогенное воздействие на организм человека [3, 4].

Применение антиоксидантов природного происхождения является более перспективным и безопасным альтернативным способом увеличения устойчивости рафинированных дезодорированных растительных масел к окислению и повышения их сроков годности.

В этом аспекте перспективными являются исследования по получению антиоксидантов из вторичных ресурсов, образующихся при переработке растительного сырья, богатых биологически активными соединениями с высокими антиоксидантными свойствами. Одним из таких источников природных антиоксидантов являются выжимки томатов, образующиеся при промышленной переработке томатов [5].

Содержащиеся в выжимках томатов каротины, особенно ликопин, обладают высокими антиоксидантными свойствами, что подтверждено многочисленными исследованиями [6–8].

Кроме того, выявлена эффективность внесения пищевых добавок, содержащих ликопин и/или бета-каротин, в некоторые растительные масла для повышения их устойчивости к окислению [9–11].

Так, например, в работе [9] была проведена сравнительная оценка эффективности применения полученного из выжимок томатов экстракта с высоким содержанием ликопина и синтетического антиоксиданта – бутилированного гидрокситолуола (BHT) для обеспечения устойчивости к окислению рафинированных оливкового и подсолнечного масел. Было исследовано влияние четырех концентраций экстракта в исследуемых маслах – 250, 500, 1000 и 2000 мкг/г, при этом указанные концентрации экстракта обеспечивали содержание ликопина в маслах 5, 10, 20 и 40 мкг/г соответственно. Синтетический антиоксидант BHT вносили в масла в максимально высокой допустимой концентрации, равной 200 мкг/г. Эксперимент длился пять ме-

сяцев, при этом отслеживание устойчивости к окислению образцов масел проводили на протяжении всего эксперимента путем контроля следующих показателей окислительной порчи: значений перекисного и кислотного чисел, содержания конъюгированных диенов и триенов. Результаты эксперимента показали, что внесение экстракта из выжимок томатов в концентрациях 250 и 2000 мкг/г в рафинированные оливковое и подсолнечное масла соответственно обеспечивает получение равнозначных значений показателей окислительной порчи исследуемых масел по сравнению с маслами, содержащими синтетический BHT.

В работе [10] приведены результаты исследований кинетики реакций гидролиза триацилглицеринов и окисления свободных жирных кислот оливкового масла холодного отжима, обогащенного пищевой добавкой, содержащей бета-каротин, в процессе его хранения. Установлено, что внесение в оливковое масло бета-каротина в количестве 400 мг/л способствует замедлению в нем окислительных процессов, протекающих при хранении, и увеличению срока годности на 2 месяца по сравнению с контрольным образцом, не содержащим бета-каротин.

В другом исследовании [11] авторы оценили влияние томатного экстракта, содержащего ликопин, на устойчивость к окислению льняного масла. Устойчивость к окислению оценивали на приборе Rancimat при 110 °С по индукционному периоду образцов льняного масла без внесения и с внесением томатного экстракта в таком количестве, чтобы в исследуемых образцах масла содержание ликопина составило 40, 80 и 120 мг/кг, а также по индукционному периоду контрольного образца льняного масла, содержащего 200 мг/кг синтетического BHT. Установлено, что льняное масло, содержащее 80 мг/кг ликопина, имело более высокий индукционный период по сравнению с другими образцами льняного масла, не содержащими томатный экстракт или содержащими его в меньших дозировках, и соответствовало индукционному периоду образца льняного масла, содержащего синтетический BHT.

Таким образом, исследования в области применения в рафинированных дезодорированных растительных маслах пищевых добавок, содержащих ликопин или бета-каротин и обладающих высоким потенциалом для замены син-

тетических антиоксидантов, являются актуальными и перспективными.

Цель исследования – определение влияния ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость к окислению рафинированных дезодорированных растительных масел.

Задачи: исследовать влияние состава жирных кислот триацилглицеринов рафинированных дезодорированных растительных масел на их устойчивость к окислению; исследовать влияние ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость рафинированных дезодорированных растительных масел к окислению.

Объекты и методы. Объектами исследования являлись образцы рафинированных дезодорированных растительных масел с внесением и без внесения ликопинсодержащей пищевой добавки.

Для проведения исследований были выбраны вырабатываемые в промышленном масштабе рафинированные дезодорированные подсолнечное, соевое и рапсовое масла, характеристика показателей окислительной порчи, а именно значений кислотного (К.ч.) и перекисного (П.ч.) чисел которых приведена ниже:

- для подсолнечного: К.ч. – 0,15 мг КОН/г, П.ч. – 1,9 ммоль активного кислорода/кг;
- для соевого: К.ч. – 0,18 мг КОН/г, П.ч. – 2,1 ммоль активного кислорода/кг;
- для рапсового: К.ч. – 0,12 мг КОН/г, П.ч. – 1,5 ммоль активного кислорода/кг.

Ликопинсодержащая пищевая добавка представляет собой жидкий экстракт краснокоричневого цвета с содержанием ликопина (5410 ± 16 мг)/100 г, который был получен из выжимок томатов по разработанной нами технологии, имеющей ноу-хау и предусматривающей предварительную подготовку выжимок томатов к экстракции и собственно процесс экстракции ликопина из подготовленных выжимок. Предварительная подготовка выжимок томатов включает отделение семян от выжимок флотацией, ферментативную обработку (целлюлазой, ксиланазой, протеазой и пектиназой) при 40 °С в течение 1 ч, отделение осадка под вакуумом, СВЧ-инактивацию ферментов в осадке (60–65 °С) и сушку осадка под вакуумом (40–45 °С) до влажности 10 %. Процесс экстракции ликопина из высушенного осадка одностадийный с УЗ-обработкой по следующим режимам: комплексный растворитель ацетон : гексан (2 : 1), соотношение осадок:комплексный растворитель

(1 : 15), продолжительность 50 мин, из них 10 мин при УЗ-обработке и 40 мин при постоянном перемешивании. Завершающая стадия получения ликопинсодержащей пищевой добавки – удаление из полученного экстракта комплексного растворителя под вакуумом.

Для проведения исследования влияния состава жирных кислот и ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость к окислению рафинированных дезодорированных масел были подготовлены контрольные образцы без внесения ликопинсодержащей пищевой добавки и экспериментальные образцы.

Экспериментальные образцы рафинированных дезодорированных растительных масел с внесением ликопинсодержащей пищевой добавки готовили следующим образом. На первом этапе готовили образец масла с высокой концентрацией ликопинсодержащей пищевой добавки, навеску которой определяли с таким расчетом, чтобы в готовом образце масла содержание ликопина было не менее 10 мг на 100 г масла. После внесения расчетной навески ликопинсодержащей пищевой добавки в образец масла его подвергали термостатированию при температуре 60 °С и постоянном перемешивании в течение 1 ч. В полученном после термостатирования образце масла определяли содержание ликопина спектрофотометрическим методом. Затем из полученного образца масла с известным содержанием ликопина методом разведения готовили экспериментальные образцы масла с содержанием ликопина 1, 3 и 5 мг на 100 г масла, которые помещали в пробирки с притертыми пробками и хранили при температуре (4 ± 2) °С без доступа кислорода воздуха в темном месте до проведения исследований.

Исследование в контрольных образцах рафинированных дезодорированных растительных масел состава жирных кислот проводили по методике, приведенной в ГОСТ 30418-96, с применением газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000», предварительно получив метиловые эфиры жирных кислот по методике, приведенной в ГОСТ 31665-2012.

Устойчивость к окислению контрольных и экспериментальных образцов масла определяли с помощью метода термического анализа – дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 200, производства Labxui (Китай). Прибор перед проведением испытаний был откалиброван по индию (темпера-

тура плавления 156,6 °С) в качестве эталона. Затем испытуемый образец масла массой (10 ± 0,5) мг помещали в открытый алюминиевый тигель, который устанавливали внутрь измерительной камеры. Симметрично тиглю с испытуемым образцом масла устанавливали пустой тигель в качестве образца сравнения. Нагрев измерительной камеры прибора до достижения температуры исследования проводили в потоке азота, а затем переключали поток инертного азота на активный кислород. Скорость потока кислорода составляла 60 мл/мин. Исследования проводили при температуре 110, 120 и 130 °С. Полученные ДСК-термограммы обрабатывали в MS Excel. Время окислительной индукции испытуемых масел (Т₀), характеризующие их устойчивость к окислению, определяли как время,

прошедшее от начала изотермического воздействия до точки пересечения изотермы окислительной реакции с продленной нулевой базовой линией, определенной методом касательных.

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования, были обработаны с помощью пакета программ MS Excel и Statistica 9.0.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследовали влияние состава жирных кислот, содержащихся в контрольных образцах рафинированных дезодорированных подсолнечного, соевого и рапсового масел, на их устойчивость к окислению методом дифференциально сканирующей калориметрии.

В таблице 1 приведены результаты исследования состава жирных кислот (ЖК) контрольных образцов масел.

Таблица 1

Состав жирных кислот контрольных образцов масел
Fatty acid composition of control oil samples

Наименование ЖК	Содержание ЖК в образце рафинированного дезодорированного масла, % к общему содержанию ЖК		
	Подсолнечного	Соевого	Рапсового
Миристиновая (C14:0)	0,07	0,08	0,05
Пальмитиновая (C16:0)	6,31	10,83	4,46
Стеариновая (C18:0)	3,32	4,58	1,78
Арахидиновая (C20:0)	0,25	0,49	0,52
Бегеновая (C22:0)	0,72	0,52	0,28
Σ насыщенных ЖК (ΣНЖК)	10,67	16,50	7,09
Пальмитолеиновая (C16:1)	0,15	0,13	0,24
Олеиновая (C18:1)	32,79	25,32	64,34
Эйкозеновая (C20:1)	0,25	0,23	1,47
Эруковая (C22:1)	Отсутствие	Отсутствие	0,45
Σ мононенасыщенных ЖК (ΣМНЖК)	33,19	25,68	66,50
Линолевая (C18:2)	56,14	51,81	26,41
Линоленовая (C18:3)	Отсутствие	6,01	Отсутствие
Σ полиненасыщенных (ΣПНЖК)	56,14	57,82	26,41
Соотношение ΣМНЖК/ΣПНЖК	0,59	0,44	2,52

Из данных таблицы 1 видно, что степень ненасыщенности жирных кислот исследуемых образцов масел отличается. Следует отметить, что исследуемые масла характеризуются высоким содержанием ненасыщенных (МНЖК и ПНЖК) жирных кислот по сравнению с содержанием НЖК.

Среди ненасыщенных жирных кислот содержание МНЖК наиболее высокое в рапсовом масле (66,50 %), затем в подсолнечном (33,19 %), а в соевом – самое низкое, 25,68 %. Превали-

рующей жирной кислотой среди МНЖК во всех исследуемых маслах является олеиновая кислота (C18:1), причем ее содержание в рапсовом масле достигает 64,34 %, а в подсолнечном и соевом – 32,79 и 25,32 % соответственно.

Наиболее высокое содержание ПНЖК отмечено для соевого масла (57,82 %), затем идет подсолнечное (56,14 %), а в рапсовом самое низкое содержание ПНЖК – 26,41 %. Превалирующей жирной кислотой из ПНЖК для всех исследуемых образцов масел является линоле-

вая кислота (С18:2), содержание которой наиболее высокое в подсолнечном масле (56,14 %) и соевом (51,81 %), а в рапсовом значительно ниже – 26,41 %. Следует отметить, что образец соевого масла отличается от подсолнечного и рапсового содержанием более ненасыщенной, по сравнению с С18:2, линоленовой кислоты (С18:3) – 6,01 %.

Учитывая, что соотношение МНЖК/ПНЖК может косвенно характеризовать устойчивость масел к окислению, при этом чем соотношение выше, тем выше устойчивость к окислению, так как ПНЖК, по сравнению с МНЖК, в большей

степени чувствительны к воздействию кислорода и окисляются быстрее, определяли указанное соотношение для исследуемых масел.

Для подсолнечного масла соотношение МНЖК/ПНЖК составило 0,59, для соевого – 0,44, а для рапсового – 2,52.

В связи с этим, исследуемые масла по степени ненасыщенности содержащихся ЖК можно расположить в ряд по убыванию: соевое масло → подсолнечное масло → рапсовое масло.

Результаты оценки устойчивости к окислению контрольных образцов исследуемых масел представлены в таблице 2.

Таблица 2

Время окислительной индукции (Т0) контрольных образцов рафинированных дезодорированных растительных масел
Oxidative induction time (T0) of control samples of refined deodorized vegetable oils

Контрольный образец рафинированного дезодорированного масла	Т0 контрольного образца рафинированного дезодорированного масла, мин при температуре		
	110 °С	120 °С	130 °С
Подсолнечного	143,0±3	89,0±2	58,0±3
Соевого	133,0±2	79,0±3	52,0±2
Рапсового	317,0±4	143,0±2	90,0±2

Анализ таблицы 2 показывает, что Т0 рапсового масла при 110 °С значительно выше, чем при 120 и 130 °С (317,0 мин против 143,0 и 90,0 мин соответственно). Для подсолнечного и соевого масел указанная закономерность аналогична.

Более высокое Т0 исследуемых масел при 110 °С по сравнению с Т0 при 120 и 130 °С можно объяснить тем, что при более высоких температурах интенсивность протекания процессов окисления во всех исследуемых образцах увеличивается.

Необходимо отметить, что рапсовое масло характеризуется более высокой устойчивостью к окислению по сравнению с подсолнечным и соевым. Его Т0 при 110 °С выше в 2,2 и 2,4 раза, чем Т0 подсолнечного и соевого соответственно: при 120 °С – в 1,6 и 1,8 раза, а при 130 °С – в 1,55 и в 1,7 раза.

Сравнение Т0 подсолнечного и соевого масел при 110 °С показало, что Т0 подсолнечного масла выше почти в 1,1 раза. Данная закономерность подтверждается и при температурных режимах 120 и 130 °С. Это указывает на более высокую устойчивость подсолнечного масла к окислению.

На основании Т0 контрольных образцов масел, полученных при различных изотермических температурах в результате их ускоренного окисления в потоке кислорода, исследуемые образцы масел по устойчивости к окислению можно расположить в ряд по возрастанию: соевое масло → подсолнечное масло → рапсовое масло.

Таким образом, состав жирных кислот, а также соотношение МНЖК/ПНЖК в маслах оказывает значительное влияние на их устойчивость к окислению.

Полученные данные коррелируют с данными, приведенными в работе [12]. В результате исследования состава жирных кислот и устойчивости к окислению оливкового, кукурузного и подсолнечного масел авторами сделан вывод о значительном влиянии степени ненасыщенности жирных кислот, содержащихся в маслах, на их устойчивость к окислению. Показано, что оливковое масло с наиболее высоким содержанием мононенасыщенных жирных кислот является более устойчивым к окислению по сравнению с кукурузным и подсолнечным, что подтверждено данными, полученными в результате ускоренного окисления исследуемых масел кондуктомет-

рическим методом по стандартной методике на приборе Rancimat и методом дифференциально сканирующей калориметрии на приборе DSC. Следует отметить, что данные, полученные на приборе Rancimat, и данные, полученные на приборе DSC, имеют высокую корреляцию (коэффициент корреляции Пирсона > 0,98), что подтверждает объективность и эффективность

применения метода дифференциально сканирующей калориметрии для оценки устойчивости к окислению растительных масел.

На втором этапе оценивали влияние ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость к окислению экспериментальных образцов исследуемых масел. Полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Время окислительной индукции (T₀) экспериментальных образцов рафинированных дезодорированных растительных масел
Oxidative induction time (T₀) of experimental samples of refined deodorized vegetable oils

Экспериментальный образец рафинированного дезодорированного масла	T ₀ экспериментального образца рафинированного дезодорированного масла, мин при температуре		
	110 °C	120 °C	130 °C
Подсолнечного с содержанием ликопина, мг/100 г:			
1	203±3	105±2	65±2
3	216±4	118±3	69±3
5	245±2	130±3	70±2
Соевого с содержанием ликопина, мг/100 г:			
1	188±3	92±3	58±3
3	207±2	107±3	62±2
5	232±2	119±4	65±2
Рапсового с содержанием ликопина, мг/100 г:			
1	362±2	177±4	92±2
3	365±3	180±3	95±3
5	366±2	181±2	95±3

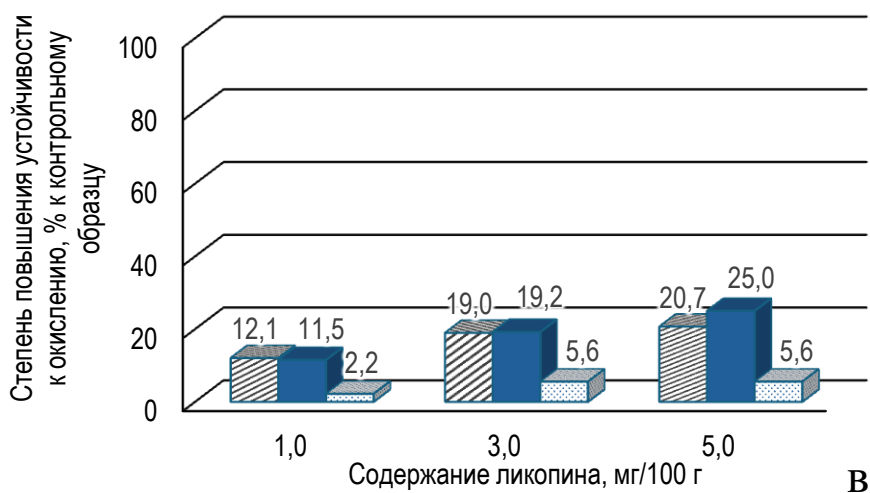
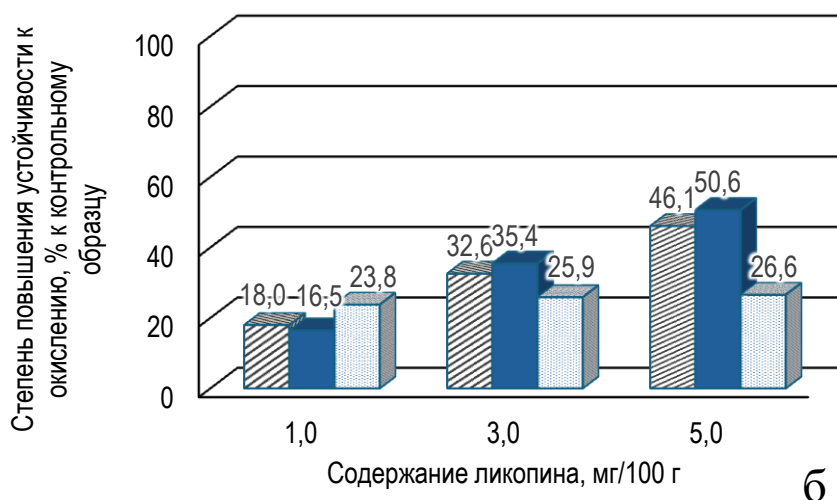
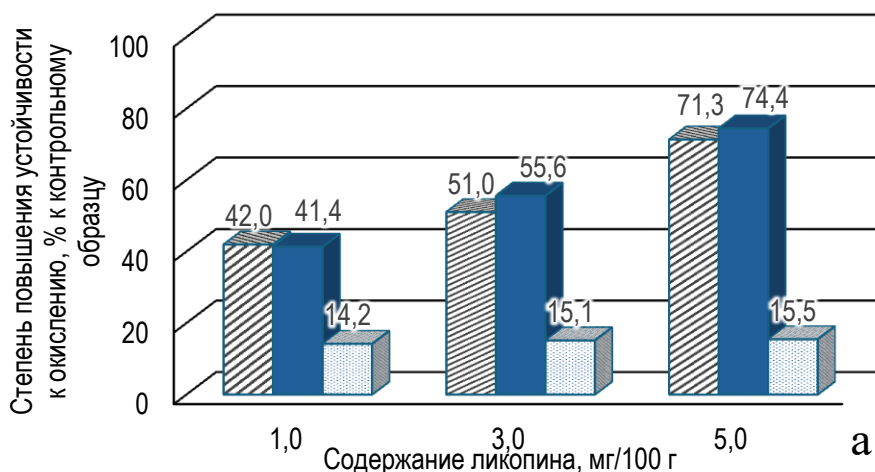
Из приведенных данных видно, что T₀ экспериментальных образцов масел при температуре 110 °C значительно выше, чем при 120 и 130 °C, что можно объяснить повышением скорости окисления масел при температурах 120 и 130 °C.

Результаты, характеризующие степень повышения устойчивости к окислению экспериментальных образцов рафинированных дезодорированных растительных масел по сравнению с контрольными образцами, приведены на рисунке.

Из данных, приведенных на рисунке, видно, что внесение в экспериментальные образцы рафинированных дезодорированных растительных масел ликопинсодержащей пищевой добавки оказывает положительное влияние на степень повышения устойчивости к окислению указанных образцов по отношению к контрольным образцам без внесения ликопинсодержащей пищевой добавки.

При этом видно, что варьирование содержания ликопина в экспериментальных образцах рафинированных дезодорированных растительных масел оказывает более значимое влияние на степень повышения их устойчивости к окислению по отношению к контрольным образцам при температуре ускоренного окисления 110 °C (рис., а).

При 120 °C (рис., б) указанная закономерность повторяется, но в меньшей степени, а при температуре ускоренного окисления 130 °C (рис., в) увеличение содержания ликопина в экспериментальных образцах не оказывает значимого влияния на изменение степени повышения их устойчивости к окислению по отношению к контрольным образцам. Это можно объяснить тем, что более высокая температура окисления в присутствии кислорода ускоряет процесс частичной деградации термолабильного ликопина.



Влияние содержания ликопина в экспериментальных образцах рафинированных дезодорированных подсолнечном (затененный), соевом (синий) и рапсовом (белый) маслах на степень повышения их устойчивости к окислению по отношению к контрольным образцам при температуре ускоренного окисления 110 °C (а), 120 °C (б) и 130 °C (в)

The effect of lycopene content in experimental samples of refined deodorized sunflower (затененный), soybean (синий) and rapeseed (белый) oils on the degree of increase in their oxidation stability in relation to control samples at an accelerated oxidation temperature of 110 °C (a), 120 °C (б) and 130 °C (в)

Таким образом, для оценки влияния ликопинсодержащей пищевой добавки на устойчивость к окислению исследуемых масел наиболее информативны данные рисунка а, согласно которым для повышения устойчивости к окислению рафинированных дезодорированных подсолнечного и соевого масел на 71,3 и 74,4 % соответственно по отношению к контрольным образцам содержание ликопина в указанных маслах должно соответствовать 5 мг/100 г.

Для рафинированного дезодорированного рапсового масла содержание 1 мг/100 г позволяет повысить его устойчивость к окислению на 14,2 % по отношению к контрольному образцу. Дальнейшее увеличение содержания ликопина незначительно влияет на степень повышения его устойчивости к окислению.

Заключение. В результате проведенного исследования методом дифференциально сканирующей калориметрии подтверждено определяющее влияние состава и соотношения жирных кислот на устойчивость к окислению рафинированных дезодорированных растительных масел. По устойчивости к окислению исследуемые образцы растительных масел располагаются в следующем ряду (в порядке возрастания): соевое → подсолнечное → рапсовое.

Установлено положительное влияние ликопинсодержащей пищевой добавки, полученной по разработанной технологии из выжимок тома-

тов и отличающейся высоким содержанием ликопина, на повышение устойчивости к окислению рафинированных дезодорированных подсолнечного, соевого и рапсового масел.

Установлено, что для обеспечения высокой устойчивости к окислению образцов рафинированных дезодорированных подсолнечного и соевого масел необходимо внесение такой дозировки ликопинсодержащей пищевой добавки, которая обеспечивает содержание ликопина в указанных маслах 5 мг/100 г, а для рафинированного дезодорированного рапсового масла необходима такая дозировка ликопинсодержащей пищевой добавки, которая обеспечивает содержание ликопина 1 мг/100 г.

Новизна полученных результатов заключается в обосновании эффективности применения ликопинсодержащей пищевой добавки, полученной по разработанной технологии из выжимок томатов и отличающейся высоким содержанием ликопина, для повышения устойчивости к окислению рафинированных дезодорированных растительных масел. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку эмульсионно-жировых продуктов питания с заданными свойствами с применением в качестве рецептурных компонентов рафинированных дезодорированных подсолнечного, соевого и рапсового масел, обогащенных ликопинсодержащей пищевой добавкой.

Список источников

1. Fadda A., Sanna D., Sakar E.H. et al. Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 849. DOI: 10.3390/su14020849. EDN: NIKMZM.
2. Zhang Y., Wang M., Zhang X., et al. Mechanism, indexes, methods, challenges, and perspectives of edible oil oxidation analysis // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023. Vol.63, N 21. P. 4901–4915. DOI: 10.1080/10408398.2021.2009437. EDN: FFIZUU.
3. Xu X., Liu A., Hu S., et al. Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action // *Food Chem*. 2021. Vol. 353. P. 129488. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129488. EDN: OGDQYY.
4. Zhang X.J., Diao M.N., Zhang Y.F. A review of the occurrence, metabolites and health risks of butylated hydroxyanisole (BHA) // *J Sci Food Agric*. 2023. Vol. 103, N 13. P. 6150–6166. DOI: 10.1002/jsfa.12676. EDN: PBJYGU.
5. Taghvaei M., Jafari S.M. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives // *J Food Sci Technol*. 2015. Vol. 52, N 3. P. 1272–1282. DOI: 10.1007/s13197-013-1080-1. EDN: VSBVQ.
6. Trombino S., Cassano R., Procopio D. et al. Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids // *Molecules*. 2021. Vol. 26, N 16. P. 5062. DOI: 10.3390/molecules26165062. EDN: ADRCUB.
7. Madia V.N., De Vita D., Ialongo D., et al. Recent Advances in Recovery of Lycopene from Tomato Waste: A Potent Antioxidant with Endless Benefits // *Molecules*. 2021. Vol. 26, N 15. P. 4495. DOI: 10.3390/molecules26154495. EDN: FFHHPN.

8. Szabo K., Cătoi A.F., Vodnar D.C. Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients // *Plant Foods Hum Nutr.* 2018. Vol. 73. P. 268–277. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.034. EDN: TKCDAP.
9. Kehili M., Choura S., Zammel A., et al. Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage // *Food Chem.* 2018. Vol. 246. P. 295–304. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.034.
10. Колодязная В.С., Алнакуд М., Алексеева Т.В. Влияние температуры и бета-каротина на процессы гидролиза и окисления триацилглицеринов оливкового масла холодного отжима при хранении // *Вестник ВГУИТ.* 2021. Т. 83, № 2. С. 126–132. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-2-126-132. EDN: GECPRJ.
11. Condori M.A.V., Chagman G.J.P., Sanchez M.E.B., et al. Effect of tomato lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed oil // *Food Chemistry.* 2020. Vol. 302. P. 125327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125327. EDN: TUHPVY.
12. Almoselhy R. Comparative study of vegetable oils oxidative stability using DSC and Rancimat methods // *Egyptian Journal of Chemistry.* 2021. Vol. 64, N. 1. P. 299–312. DOI: 10.21608/EJCHEM.2021.51238.3051. EDN: JNAPTS.

References

1. Fadda A, Sanna D, Sakar EH, et al. Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability.* 2022;14:849. DOI: 10.3390/su14020849.
2. Zhang Y, Wang M, Zhang X, et al. Mechanism, indexes, methods, challenges, and perspectives of edible oil oxidation analysis. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2023;63(21):4901-4915. DOI: 10.1080/10408398.2021.2009437.
3. Xu X, Liu A, Hu S, et al. Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. *Food Chem.* 2021;353:129488. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129488.
4. Zhang XJ, Diao MN, Zhang YF. A review of the occurrence, metabolites and health risks of butylated hydroxyanisole (BHA). *J Sci Food Agric.* 2023;103(13):6150-6166. DOI: 10.1002/jsfa.12676.
5. Taghvaei M, Jafari SM. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. *J Food Sci Technol.* 2015;52(3):1272-1282. DOI: 10.1007/s13197-013-1080-1.
6. Trombino S, Cassano R, Procopio D, et al. Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. *Molecules.* 2021;26(16):5062. DOI: 10.3390/molecules26165062.
7. Madia VN, De Vita D, Ialongo D, et al. Recent Advances in Recovery of Lycopene from Tomato Waste: A Potent Antioxidant with Endless Benefits. *Molecules.* 2021;26(15):4495. DOI: 10.3390/molecules26154495.
8. Szabo K, Cătoi AF, Vodnar DC. Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods Hum Nutr.* 2018;73:268-277. DOI: 10.1007/s11130-018-0691-0.
9. Kehili M, Choura S, Zammel A, et al. Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chem.* 2018;246:2950-304. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.034.
10. Kolodiaznaia VS, Alnakoud M, Alekseeva TV. Influence of temperature and beta-carotene on the processes of hydrolysis and oxidation of triacylglycerins in extra virgin olive oil during storage. *Proceedings of VSUET.* 2021;83(2):126–132. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2021-2-126-132.
11. Condori MAV, Chagman GJP, Sanchez MEB, et al. Effect of tomato lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed oil. *Food Chemistry.* 2020;302:125327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125327.
12. Almoselhy R. Comparative study of vegetable oils oxidative stability using DSC and Rancimat methods. *Egyptian Journal of Chemistry.* 2021;64(1):299-312.

Статья принята к публикации 27.02.2026 / The article accepted for publication 27.02.2026

Информация об авторах:

Татьяна Игоревна Угрюмова, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Екатерина Валериевна Лисовая, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, кандидат технических наук

Екатерина Романовна Данилейко, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Елена Павловна Викторова, главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

Tatyana Igorevna Ugryumova, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization

Ekaterina Valerievna Lisovaya, Senior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization, Candidate of Technical Sciences

Ekaterina Romanovna Danileiko, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization

Elena Pavlovna Viktorova, Chief Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization, Doctor of Technical Sciences, Professor

