



## ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья/Research Article

УДК 663.05:664.34

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-230-243

Екатерина Валериевна Лисовая<sup>1✉</sup>, Татьяна Игоревна Угрюмова<sup>2</sup>, Мариет Руслановна Жане<sup>3</sup>, Екатерина Романовна Данилейко<sup>4</sup>, Елена Павловна Викторова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

<sup>1</sup>e.kabalina@mail.ru

<sup>2</sup>bronnichka@bk.ru

<sup>3</sup>mariyet.zhane\_87@bk.ru

<sup>4</sup>danileykoekaterina01@mail.ru

<sup>5</sup>kornena@bk.ru

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ – КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИКОПИНА

*Цель исследования – изучить особенности проявления пищевой добавкой – кристаллическим ликопином технологических и биологически активных свойств. Объект исследования – пищевая добавка – кристаллический ликопин, выработанная из концентрата каротиноидов в масле. Технологические свойства изучали в экспериментах на маслах, содержащих и не содержащих ликопин, по приросту перекисных чисел в процессе их ускоренного окисления в течение 5 ч при 120 °С и по индукционному периоду в процессе их окисления в потоке кислорода при 120 °С. Биологически активные свойства изучали в эксперименте (30 дней) на лабораторных крысах. Было отобрано по 10 крыс – контрольных и экспериментальных. Экспериментальные крысы дополнительно получали болюсы с 0,40 мг ликопина. Кристаллический ликопин эффективно проявлял технологические свойства – антиоксидантные, так как значения прироста перекисных чисел рафинированных дезодорированных подсолнечных и соевых масел, содержащих 0,005 и 0,010 % ликопина по сравнению с указанными маслами, не содержащими ликопин, снижаются в 1,9 и 2,7 раза для подсолнечного и в 1,8 и 2,6 раза для соевого масла, а индукционный период указанных масел повышается в 1,6 и 2,3 раза для подсолнечного и в 1,5 и 2,2 раза для соевого масла. Кристаллический ликопин эффективно проявляет гипохолестеринемические, гепатопротекторные и антиоксидантные свойства, так как в конце эксперимента в крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными снизились концентрация холестерина на 17,3 %, уровень активности ферментов печени АлАТ и АсАТ на 19,0 и 14,2 %, концентрации малонового диальдегида, диеновых конъюгатов и кетодиенов на 27,9; 25,3 и 22,8 % соответственно. Полученные знания позволят обоснованно выбрать эффективные направления применения пищевой добавки – кристаллического ликопина в пищевых системах.*

**Ключевые слова:** кристаллический ликопин, пищевая добавка, технологические свойства пищевой добавки, ускоренное окисление, биологически активные свойства, лабораторные крысы, пищевые системы

**Для цитирования:** Лисовая Е.В., Угрюмова Т.И., Жане М.Р., и др. Исследование технологических и биологически активных свойств пищевой добавки – кристаллического ликопина // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5. С. 230–243. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-230-243.

**Благодарности:** авторы выражают признательность за помощь доктору ветеринарных наук, доценту М.П. Семененко и доктору ветеринарных наук, доценту Е.В. Кузьминовой, главным научным сотрудникам Краснодарского научно-исследовательского ветеринарного института – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии».

**Ekaterina Valerievna Lisovaya**<sup>1✉</sup>, **Tatyana Igorevna Ugryumova**<sup>2</sup>, **Mariet Ruslanovna Zhane**<sup>3</sup>, **Ekaterina Romanovna Danileiko**<sup>4</sup>, **Elena Pavlovna Viktorova**<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup>e.kabalina@mail.ru

<sup>2</sup>bronnichka@bk.ru

<sup>3</sup>mariyet.zhane\_87@bk.ru

<sup>4</sup>danileykoekaterina01@mail.ru

<sup>5</sup>kornena@bk.ru

## STUDY OF TECHNOLOGICAL AND BIOLOGICALLY ACTIVE PROPERTIES OF FOOD ADDITIVE – CRYSTALLINE LYCOPINE

*The aim of the study is to investigate the features of manifestation of technological and biologically active properties of the food additive – crystalline lycopene. The object of the study was a food additive – crystalline lycopene, produced from a concentrate of carotenoids in oil. Technological properties were studied in experiments on oils containing and not containing lycopene, by the increase in peroxide numbers during their accelerated oxidation for 5 hours at 120 °C and by the induction period during their oxidation in an oxygen stream at 120 °C. Biologically active properties were studied in an experiment (30 days) on laboratory rats. Ten rats were selected – control and experimental. Experimental rats additionally received boluses with 0.40 mg of lycopene. Crystalline lycopene effectively demonstrated technological properties – antioxidant, since the values of the increase in peroxide numbers of refined deodorized sunflower and soybean oils containing 0.005 and 0.010% lycopene compared to the specified oils that do not contain lycopene are reduced by 1.9 and 2.7 times for sunflower and 1.8 and 2.6 times for soybean oil, and the induction period of the specified oils increases by 1.6 and 2.3 times for sunflower and 1.5 and 2.2 times for soybean oil. Crystalline lycopene effectively exhibits hypocholesterolemic, hepatoprotective and antioxidant properties, since at the end of the experiment in the blood of experimental rats, in comparison with the control, the concentration of cholesterol decreased by 17.3 %, the level of activity of liver enzymes ALT and AST by 19.0 and 14.2 %, the concentration of malonic dialdehyde, diene conjugates and ketodienes by 27.9; 25.3 and 22.8 %, respectively. The knowledge gained will allow to reasonably select effective areas of application of the food additive – crystalline lycopene in food systems.*

**Keywords:** crystalline lycopene, food additive, technological properties of the food additive, accelerated oxidation, biologically active properties, laboratory rats, food systems

**For citation:** Lisovaya EV, Ugryumova TI, Zhane MR, et al. Study of technological and biologically active properties of food additive – crystalline lycopine. *Bulletin of KSAU*. 2025;(5):230-243. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-230-243.

**Acknowledgments:** the authors are grateful to the Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor M.P. Semenenko and Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor E.V. Kuzminova, Chief Researches at the Krasnodar Research Veterinary Institute, a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Krasnodar Research Center for Animal Science and Veterinary Medicine for the assistance.

**Введение.** Известно, что ликопин является не только красящим веществом, но и мощным природным антиоксидантом [1, 2]. Это свойство ликопина можно объяснить структурой его молекулы, имеющей 11 сопряженных двойных связей. Такое количество сопряженных полиеновых цепей в молекуле ликопина обуславливает высокую реакционную способность ликопина по отношению к кислороду и свободным радикалам. Ликопин также может реагировать с пероксинитритом, таким образом эффективно функционируя как поглотитель нитрита. Более того, ликопин выполняет функцию улавливания диоксида азота, являющегося сильным окислителем [1].

Следует отметить, что среди различных каротиноидов ликопин обладает самой высокой антиоксидантной способностью, уступающей только астаксантину, и является важным ингибитором активных форм кислорода [1]. Антиоксидантные свойства ликопина обуславливают его противовоспалительные, антиканцерогенные и кардиопротекторные, гепатопротекторные, иммуномодулирующие, антипролиферативные и антиоксидантные функции в организме человека [3–5].

Применение ликопина для обогащения продуктов питания не только способствует профилактике и лечению хронических заболеваний человека, но и продлению сроков годности продуктов питания за счет его антиоксидантной активности [6].

В мировой практике в пищевых технологиях в основном применяется ликопин, полученный из томатов, так как его содержание в указанном овоще очень велико [6]. Следует отметить, что в кожице томата содержание ликопина в 5 раз больше, чем в его мякоти (пульпе) [7]. Учитывая особенности состава выжимок томатов, а именно высокое содержание в их составе кожицы, они являются перспективным с экономической точки зрения сырьем для получения пищевых ликопинсодержащих добавок. Следует отметить, что в настоящее время выжимки томатов, как правило, вывозятся на специальные полигоны для утилизации, а в некоторых случаях используются в качестве корма сельскохозяйственным животным [7–9].

Самым простым и экономически предпочтительным способом получения ликопинсодержащей пищевой добавки является сушка выжимок томатов и последующее измельчение высушенного продукта с получением порошка. Однако скорость деградации и/или изомеризации ликопина находится в прямолинейной зависимости

от режимов проведения процесса сушки, а также от выбранного способа сушки [10]. Несмотря на то, что оптимизация режимов и выбор наиболее щадящего способа сушки может значительно снизить скорость деградации ликопина, для достижения эффективного проявления свойств ликопина требуется высокая дозировка порошка из выжимок томатов, что может снижать потребительские свойства обогащаемого продукта.

Прямая экстракция ликопина из выжимок томатов с применением различных растворителей позволяет получить так называемый олеорезин – ликопинсодержащий концентрат каротиноидов в масле (далее по тексту «концентрат каротиноидов в масле»), при этом в концентрате каротиноидов в масле содержание ликопина значительно выше, чем в порошке из высушенных и измельченных выжимок томатов.

Следует отметить, что в концентрате каротиноидов в масле, полученном прямой экстракцией выжимок томатов, содержание ликопина может варьироваться в широких пределах и зависит от многих факторов, в частности от вида и состава применяемого экстрагента – растворителя, продолжительности и температуры процесса и некоторых других [11].

Кроме этого, на эффективность процесса экстракции с целью получения концентрата каротиноидов в масле с более высоким содержанием ликопина значительное влияние оказывают методы и технологические режимы подготовки выжимок томатов к процессу экстракции.

Известно, что эффективными методами, позволяющими значительно интенсифицировать последующий процесс экстракции выжимок томатов, а следовательно, повысить содержание ликопина в конечном продукте, являются физические и биотехнологические методы подготовки выжимок томатов [12, 13].

Установлено, что применение физических методов подготовки выжимок томатов, включающих их обработку в ЭМП СВЧ, последующую ИК-сушку и измельчение до размера частиц 1 мм, а также биотехнологического метода подготовки выжимок томатов путем их обработки комплексом ферментов, включающим целлюлазу, ксиланазу, протеазу и пектиназу, позволяет в значительной степени повысить содержание ликопина в конечном продукте [14, 15].

Однако концентраты каротиноидов в масле наряду с ликопином содержат в своем составе сопутствующие вещества, например свободные

жирные кислоты, которые в пищевых системах при повышении температуры могут выступать в качестве прооксидантов.

Преимуществом применения в пищевых системах кристаллического ликопина, полученного из концентрата каротиноидов в масле, является его высокое содержание, что позволяет при минимальной дозировке достичь мощного антиоксидантного действия.

Известно, что ликопин характеризуется высокой чувствительностью к внешним факторам окружающей среды – кислороду, свету, повышению температуры, воздействию которых приводит к его деградации и изомеризации [11, 16]. Необходимо отметить, что при извлечении ликопина из выжимок томатов молекула ликопина в различной степени подвергается как деградации, так и изомеризации. При этом изомерная форма молекулы ликопина в значительной степени обуславливает его стабильность при хранении и биодоступность при употреблении [16]. Так, известно, что в природных источниках, в частности в томатах, молекулы ликопина присутствуют в виде полностью транс-изомера, тогда как после обработки томатов молекулы ликопина изомеризуются в различные цис-изомеры [16].

В работе [17] показано, что цис-изомеры молекул ликопина являются более биодоступными по сравнению с полностью транс-изомером, которому еще только предстоит пройти процесс изомеризации в желудке после перорального приема ликопина.

Однако, несмотря на высокую биодоступность, а, следовательно, и высокую биологическую активность цис-изомеров молекул ликопина, их основным недостатком по сравнению с полностью транс-изомером молекулы ликопина является более высокая чувствительность к кислороду, свету, повышению температуры и действию поливалентных металлов, а, следовательно, и более высокая склонность к деградации. В некоторых источниках указано, что присутствие масла в концентрате каротиноидов также может негативно влиять на молекулу ликопина, вызывая процесс ее изомеризации и автоокисления, а кристаллический ликопин более устойчив к указанным процессам [18, 19]. Однако, несмотря на более высокую устойчивость ликопина в кристаллической форме к процессам деградации и изомеризации, необходимы такие технологические режимы получения пищевой добавки – кристаллического ликопина из концентрата каротиноидов в масле, которые бы в максимальной степени исключили протекание процессов его

деградации и изомеризации, а, следовательно, обеспечили высокую эффективность проявления ликопином технологических и биологических свойств.

В связи с этим нами разработаны такие технологические режимы, которые включают растворение концентрата каротиноидов в масле путем его смешивания с комплексным растворителем, состоящим из *n*-гексана и 96 %-го этанола, обработку полученного раствора с применением УЗ воздействия, кристаллизацию ликопина из обработанного УЗ воздействием раствора и очистку кристаллов ликопина с применением 75 %-го водного раствора этанола [20].

Однако для эффективного использования полученной добавки – кристаллического ликопина в пищевых системах обязательным условием является изучение особенностей проявления ликопином технологических и биологически активных свойств. Следует отметить, что экспериментальные данные, характеризующие проявление указанных свойств кристаллическим ликопином, будут иметь решающее значение для выбора направлений его использования в пищевых системах.

**Цель исследования** – изучить особенности проявления пищевой добавкой – кристаллическим ликопином технологических и биологически активных свойств.

**Задачи:** изучить особенности проявления пищевой добавкой – кристаллическим ликопином технологических (антиоксидантных) свойств; изучить особенности проявления пищевой добавкой – кристаллическим ликопином биологически активных свойств (гипохолестеринемических, гепатопротекторных и антиоксидантных) в экспериментах на лабораторных крысах (*in vivo*).

**Объекты и методы.** Объект исследования – пищевая добавка – кристаллический ликопин, выработанный в лабораторных условиях следующим путем: смешивание концентрата каротиноидов в масле и растворителя, в состав которого входит *n*-гексан и 96 %-й этанол (1 : 1), при температуре 40 °С, в соотношении (масс/объем) концентрат каротиноидов в масле : растворитель, равном 1 : 2, в течение 2 мин при постоянном перемешивании с получением раствора; обработка полученного раствора в течение 5 мин УЗ воздействием с удельной мощностью 0,28 Вт/см<sup>3</sup>; охлаждение обработанного раствора до 10 °С и его выдерживание в течение 4 ч при указанной температуре с образованием кристаллов ликопина; отделение кристаллов ликопина путем фильтрования под вакуумом при темпера-

туре 10 °С; промывка кристаллов ликопина 75 %-м водным раствором этанола при соотношении (масс/объем) кристаллы ликопина : 75 %-й водный раствор этанола, равном 1 : 3, и температуре 10 °С; сушка кристаллов ликопина под вакуумом при температуре 40 °С и охлаждение до температуры 20 °С [20].

Выработанная пищевая добавка представляет собой кристаллический порошок темно-красного цвета с содержанием целевого компонента – ликопина – 85 % и содержанием влаги 0,5 %.

Исследование технологических (антиоксидантных) свойств пищевой добавки – кристаллического ликопина осуществляли в экспериментах на рафинированных дезодорированных маслах, содержащих ликопин и не содержащих ликопин, путем определения значений прироста перекисных чисел в указанных маслах за 1 ч при их ускоренном окислении в течение 5 ч при температуре 120 °С, а также путем определения значений индукционного периода – времени окислительной индукции указанных масел при их окислении в потоке кислорода при температуре 120 °С. Перекисное число указанных рафинированных дезодорированных масел определяли титриметрическим методом по ГОСТ 26593-85.

Значение прироста перекисного числа в указанных маслах в процессе их ускоренного окисления рассчитывали по формуле

$$\Delta П. ч. = \frac{П. ч._1 - П. ч.}{5},$$

где П.ч.<sub>1</sub> – перекисное число образца после процесса окисления, ммоль активного кислорода/кг; П.ч. – перекисное число образца до процесса окисления, ммоль активного кислорода/кг.

Определение значений индукционного периода – времени окислительной индукции масел в процессе их окисления в потоке кислорода при 120 °С осуществляли методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 200 (Labxui, Китай).

Для проведения термического анализа использовали алюминиевые тигли объемом 25 мкл. Для калибровки прибора использовали индий (температура плавления 156,6 °С), а базовая линия была получена нагреванием пустого алюминиевого тигля. Масса навески образцов составляла (5,0 ± 0,5) мг. Нагрев образцов до температуры 120 °С осуществлялся со скоростью 10 °С/мин в условиях постоянной продувки инертным газом (азотом). Термограммы ДСК бы-

ли получены в потоке кислорода со скоростью 60 мл/мин. Индукционный период – время окислительной индукции на полученной термограмме определяли по пересечению изотермы окислительной реакции с продленной нулевой линией методом касательных.

Для подготовки экспериментальных образцов были выбраны рафинированное дезодорированное подсолнечное и рафинированное дезодорированное соевое масла. Выбор подсолнечного и соевого масел обусловлен различием в триацилглицеринах указанных масел состава и степени ненасыщенности жирных кислот, а, следовательно, и различием их стабильности к окислению. Особенностью состава жирных кислот, содержащихся в триацилглицеринах соевого масла, в отличие от подсолнечного, является присутствие линоленовой кислоты (C<sub>18:3</sub>) в количестве 6 % от общей суммы жирных кислот. Ликопин в выбранные рафинированные дезодорированные масла вводили при постоянном перемешивании в таком количестве, чтобы в готовых экспериментальных образцах его содержание составляло 0,005 и 0,010 %. Содержание ликопина в экспериментальных образцах перед проведением исследований контролировали спектрофотометрическим методом в диапазоне длин волн 450–503 нм с использованием в качестве растворителя гексана марки «ОСЧ».

Исследование биологически активных свойств – гипохолестеринемических, гепатопротекторных и антиоксидантных пищевой добавки кристаллического ликопина проводили в экспериментах (*in vivo*) на лабораторных животных – половозрелых нелинейных лабораторных крысах, полученных разведением в виварии.

Для проведения экспериментов было отобрано 10 голов (n) контрольных крыс и 10 голов (n) экспериментальных крыс. Следует отметить, что масса как контрольных, так и экспериментальных крыс была примерно одинаковой и составляла (230 ± 10) г.

Условия содержания контрольных и экспериментальных крыс в виварии были идентичными. Все крысы получали одинаковый сбалансированный основной рацион. Контрольные крысы дополнительно получали болюсы из овсяно-ржаной муки, а экспериментальные крысы – болюсы из овсяно-ржаной муки с добавлением 50 мг раствора ликопина в рафинированном дезодорированном подсолнечном масле, содержащем 0,40 мг ликопина. Продолжительность эксперимента составила 30 дней, в тече-

ние которых проводили ежедневный учет сохранности и клинического состояния крыс. В середине (через 15 дней) и в конце эксперимента (через 30 дней) у контрольных и экспериментальных крыс отбирали кровь для биохимических исследований – забор крови производили путем сердечной пункции прижизненно.

Исследование гипохолестеринемических свойств пищевой добавки кристаллического ликопина осуществляли путем определения в сыворотке крови экспериментальных крыс концентрации холестерина в сравнении с контрольными крысами, а исследование гепатопротекторных свойств – путем определения в сыворотке крови экспериментальных крыс уровня активности ферментов печени – аланинаминотрансферазы (АлАТ) и аспартатаминотрансферазы (АсАТ) в сравнении с контрольными крысами.

Концентрацию холестерина и уровень активности ферментов АлАТ и АсАТ определяли с применением автоматического анализатора Vitalab Selectra Junior с версией программного обеспечения 1.0, при этом использовали реактивы ELITech Clinical Systems (производство Франция).

Исследование антиоксидантных свойств пищевой добавки кристаллического ликопина осуществляли путем определения в цельной крови экспериментальных крыс концентраций малонового диальдегида (МДА), диеновых

конъюгатов (ДК) и кетодиенов (КД) в сравнении с контрольными крысами. Концентрации МДА, ДК и КД определяли с применением спектрофотометрического метода на спектрофотометре «Эковью УФ-1100». Следует отметить, что указанные показатели характеризуют процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) в организме крыс.

Все полученные данные обрабатывали с использованием пакета программ MS Excel и Statistica 9.0.

**Результаты и их обсуждение.** Учитывая эффективность применения ликопина для обеспечения окислительной стабильности растительных масел, которая приведена во многих исследованиях [21, 22], эффективность проявления антиоксидантных свойств выработанной по разработанным технологическим режимам пищевой добавкой кристаллическим ликопином исследовали на рафинированных дезодорированных растительных маслах в процессе их ускоренного окисления.

На рисунке 1 приведены данные по изменению значений прироста перекисных чисел (ΔП.ч.) экспериментальных и контрольных образцов рафинированных дезодорированных подсолнечных и соевых масел в процессе их ускоренного окисления.

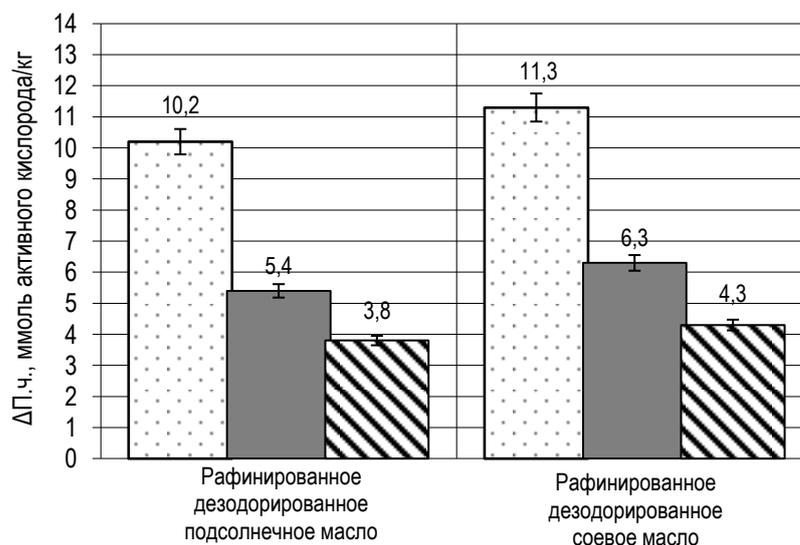


Рис. 1. Изменение значений прироста перекисных чисел (ΔП.ч.) контрольного образца (□) и экспериментальных образцов, содержащих ликопин в количестве 0,005 (■) и 0,010 % (▨), в процессе их ускоренного окисления

Change in the values of the increase in peroxide numbers (ΔPN) of control sample (□) and experimental samples containing lycopene in an amount of 0.005 % (■) and 0.010 % (▨) during their accelerated oxidation

Данные рисунка 1 показывают, что значения прироста перекисных чисел экспериментальных образцов рафинированных дезодорированных подсолнечных масел с содержанием 0,005 и 0,010 % ликопина, в 1,9 и в 2,7 раза ниже, чем значение прироста перекисного числа контрольного образца, не содержащего ликопин. Кроме этого, из рисунка 1 видно, что значения прироста перекисных чисел экспериментальных образцов рафинированных дезодорированных соевых масел, содержащих ликопин в количестве 0,005 и 0,010 %, в 1,8 и 2,6 раза ниже, чем значение прироста перекисного числа конт-

рольного образца, не содержащего ликопин. Следует отметить, что с повышением в экспериментальных образцах содержания ликопина с 0,005 до 0,010 % значения прироста перекисных чисел экспериментальных образцов по сравнению со значениями прироста перекисных чисел контрольных образцов снижаются в 1,4 раза.

На рисунке 2 приведены данные по изменению значений индукционного периода – времени окислительной индукции ( $T_0$ ) контрольных и экспериментальных образцов, содержащих ликопин в количестве 0,005 и 0,010 %, в процессе их окисления в потоке кислорода при 120 °С.

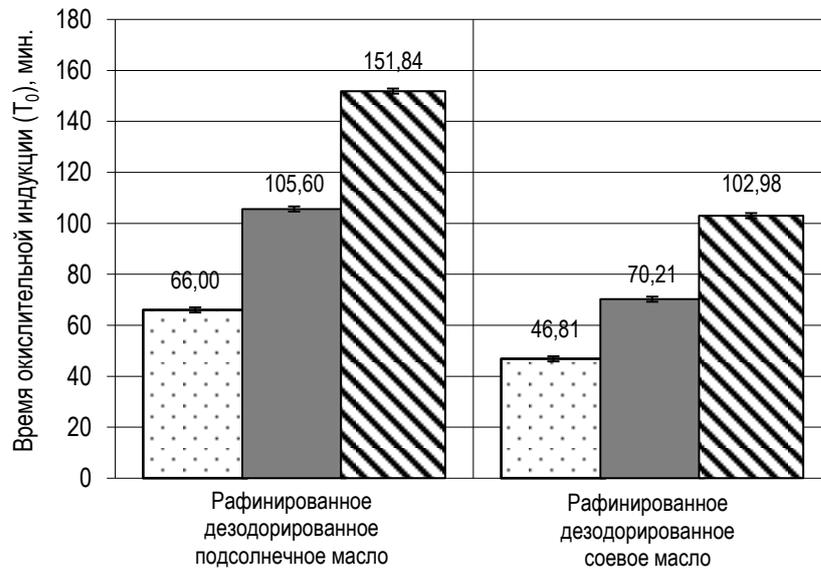


Рис. 2. Изменение значений времени окислительной индукции ( $T_0$ ) контрольного (□) и экспериментальных образцов, содержащих ликопин в количестве 0,005 (■) и 0,010 % (▨), в процессе их окисления в потоке кислорода при 120 °С  
Changes in the values of oxidative induction time ( $T_0$ ) of control (□) and experimental samples containing lycopene in amounts of 0.005 % (■) and 0.010 % (▨) during their oxidation in an oxygen stream at 120 °С

Данные рисунка 2 показывают, что значения индукционного периода – времени окислительной индукции ( $T_0$ ) экспериментальных образцов – рафинированных дезодорированных подсолнечных масел, содержащих ликопин в количестве 0,005 и 0,010 %, в 1,6 и в 2,3 раза выше, чем значение  $T_0$  контрольного образца, не содержащего ликопин. Кроме этого, из рисунка 2 видно, что значения  $T_0$  экспериментальных образцов – рафинированных дезодорированных соевых масел, содержащих ликопин в количестве 0,005 и 0,010 %, в 1,5 и в 2,2 раза выше, чем значение  $T_0$  контрольного образца, не содержащего ликопин.

Следует отметить, что с повышением в экспериментальных образцах содержания ликопи-

на с 0,005 до 0,010 % время окислительной индукции, т. е. значения индукционного периода экспериментальных образцов, по сравнению со значениями индукционного периода контрольных образцов повышается в 1,4 раза для подсолнечного масла и практически в 1,5 раза – для соевого. Экспериментальные данные по увеличению значений индукционного периода – времени окислительной индукции образцов рафинированных дезодорированных масел, содержащих ликопин, согласуются с экспериментальными данными по снижению значений прироста перекисных чисел указанных образцов.

Следует также отметить, что для повышения окислительной стабильности соевого масла, ха-

рактизирующегося содержанием жирных кислот большей степени ненасыщенности, по сравнению с подсолнечным маслом необходима более высокая дозировка ликопина. Аналогичные закономерности были показаны в работе [21] по исследованию влияния ликопина на окислительную стабильность рафинированного оливкового и рафинированного подсолнечного масел. Так, для рафинированного подсолнечного масла, содержащего большее количество ненасыщенных жирных кислот в своем составе по сравнению с рафинированным оливковым, дозировка ликопина для замедления реакции окисления при длительном хранении была выше по сравнению с дозировкой ликопина для замедления реакции окисления при длительном хранении оливкового масла (0,004 % против 0,0005 %).

Таким образом, на основании комплекса экспериментальных исследований установлено, что выработанный по разработанной техноло-

гии кристаллический ликопин в достаточной степени проявляет антиоксидантные свойства, что имеет важное значение для его применения в качестве эффективной добавки в пищевых системах, в т. ч. функциональных.

На следующем этапе изучали особенности проявления биологически активных свойств пищевой добавки – кристаллического ликопина в экспериментах на лабораторных крысах (в экспериментах *in vivo*).

Выявлено, что 30-дневное пероральное применение лабораторным крысам ликопина не вызывало изменений в поведенческих реакциях животных. Аппетит и потребление воды сохранялись в пределах нормы, соответствующей данному возрастному периоду крыс. В таблице 1 приведены данные по изменению в сыворотке крови экспериментальных и контрольных крыс концентрации холестерина, уровня активности АлАТ и АсАТ в процессе эксперимента.

Таблица 1

**Изменение в сыворотке крови экспериментальных и контрольных крыс концентрации холестерина, уровня активности АлАТ и АсАТ в процессе эксперимента**  
**Changes in the blood serum of experimental and control rats in cholesterol concentration, ALAT and ASAT activity levels during the experiment**

Дни эксперимента	Лабораторные крысы					
	контрольные (n = 10)			экспериментальные (n = 10)		
	Концентрация холестерина, ммоль/л	Уровень активности, ед/л		Концентрация холестерина, ммоль/л	Уровень активности, ед/л	
		АлАТ	АсАТ		АлАТ	АсАТ
15	2,290±0,012	42,00±1,53	110,60±2,36	2,033±0,008***	34,77±2,13**	99,00±3,18**
30	2,472±0,015	44,85±1,75	112,70±2,90	2,044±0,009***	36,33±2,40**	96,67±3,21**

Здесь и далее: степень достоверности по отношению к контрольным крысам – \*\*p ≤ 0,01; \*\*\*p ≤ 0,001.

Из таблицы 1 видно, что в сыворотке крови экспериментальных крыс концентрация холестерина как через 15 дней эксперимента, так и в конце эксперимента (через 30 дней) достоверно снижается в сравнении с концентрацией холестерина в сыворотке крови контрольных крыс.

Кроме этого, из данных таблицы 1 также можно отметить достоверное снижение в сыворотке крови экспериментальных крыс уровня активности ферментов АлАТ и АсАТ как через 15 дней эксперимента, так и в конце эксперимента (через 30 дней) в сравнении с уровнем активности указанных ферментов печени в сыворотке крови контрольных крыс.

Данные по изменению в сыворотке крови экспериментальных крыс концентрации холестерина, уровня активности ферментов АлАТ и АсАТ в сравнении с контрольными крысами приведены на рисунке 3.

Указанные на рисунке 3 данные характеризуют эффективность проявления ликопином гипохолестеринемических и гепатопротекторных свойств.

Анализ рисунка 3, а, показывает, что по сравнению с контрольными крысами в сыворотке крови экспериментальных крыс концентрация холестерина снизилась на 11,2 % через 15 дней эксперимента и на 17,3 % через 30 дней (в конце эксперимента).

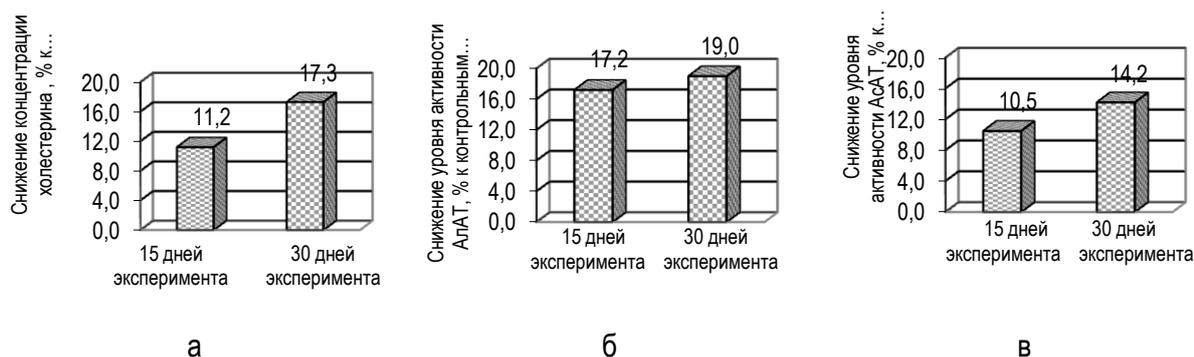


Рис. 3. Снижение в сыворотке крови экспериментальных крыс концентрации холестерина (а), уровня активности АлАТ (б) и АсАТ (в) в сравнении с контрольными крысами в процессе эксперимента

*Reduction in the serum of experimental rats of cholesterol concentration (a), activity level of ALAT (б) and ASAT (в) in comparison with control rats during the experiment*

Из рисунка 3, б, в, видно, что по сравнению с контрольными крысами в сыворотке крови экспериментальных крыс снизился уровень активности ферментов АлАТ и АсАТ. Так, через 15 дней эксперимента уровень активности АлАТ и АсАТ снизился на 17,2 и 10,5 % соответственно, а через 30 дней (в конце эксперимента) уровень активности АлАТ и АсАТ снизился на 19,0

и 14,2 % соответственно. Данные рисунка 3 свидетельствуют о положительном влиянии ликопина с точки зрения улучшения липидного обмена и улучшения состояния печени крыс.

В таблице 2 приведены данные по изменению в цельной крови экспериментальных и контрольных крыс концентраций МДА, ДК и КД в процессе эксперимента.

Таблица 2

**Изменение в цельной крови экспериментальных и контрольных крыс концентраций МДА, ДК и КД в процессе эксперимента**  
**Changes in the concentration of malondialdehyde, diene conjugates and ketodienes in the whole blood of experimental and control rats during the experiment**

Дни эксперимента	Лабораторные крысы					
	контрольные (n=10)			экспериментальные (n=10)		
	Концентрация					
	МДА, мкмоль/л	ДК, ед.опт.пл./мг липидов	КД, ед.опт.пл./мг липидов	МДА, мкмоль/л	ДК, ед.опт.пл./мг липидов	КД, ед.опт.пл./мг липидов
15	1,480±0,090	1,447±0,013	1,540±0,032	1,193±0,025**	1,200±0,070**	1,286±0,015***
30	1,510±0,060	1,517±0,024	1,580±0,018	1,088±0,043***	1,133±0,008***	1,219±0,018***

Данные таблицы 2 показывают, что в цельной крови экспериментальных крыс концентрации МДА, ДК и КД как через 15 дней эксперимента, так и в конце эксперимента (через 30 дней) достоверно снижаются в сравнении с концентрациями указанных показателей в цельной крови контрольных крыс.

Данные по снижению в цельной крови экспериментальных крыс концентраций МДА, ДК и КД в сравнении с контрольными крысами приведены на рисунке 4.

Указанные на рисунке 4 данные характеризуют эффективность проявления ликопином антиоксидантных свойств. Анализ рисунка 4, а, показывает,

что в цельной крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами снизилась концентрация МДА на 19,4 % через 15 дней эксперимента и на 27,9 % через 30 дней (в конце эксперимента). Из рисунка 4, б, в, видно, что в цельной крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами снизились концентрации ДК и КД. Так, через 15 дней эксперимента концентрации ДК и КД снизились на 17,0 и 16,5 % соответственно, а через 30 дней (в конце эксперимента) – концентрации ДК и КД снизились на 25,3 и 22,8 % соответственно. Данные рисунка 4 свидетельствуют о положительном влиянии ликопина на антиоксидантный статус крыс.

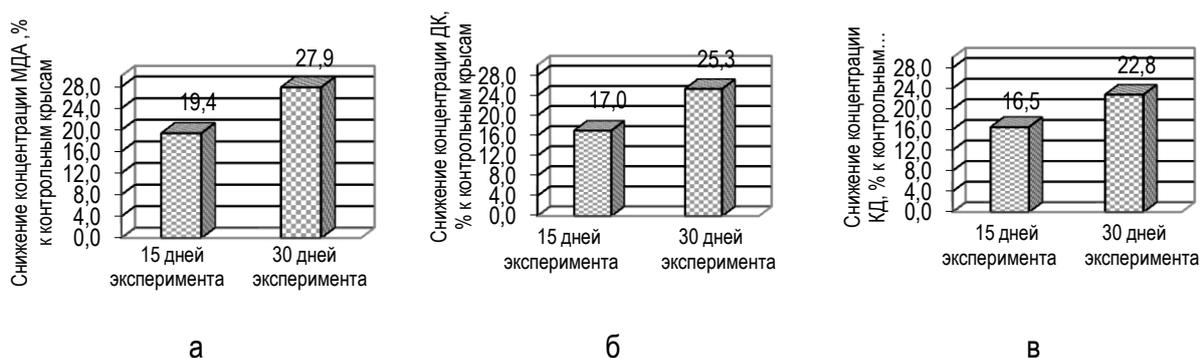


Рис. 4. Снижение в цельной крови экспериментальных крыс концентраций МДА (а), ДК (б) и КД (в) в сравнении контрольными крысами в процессе эксперимента  
 Reduction in the concentration of malondialdehyde (a), diene conjugates (b) and ketodienes (c) in the whole blood of experimental rats in comparison with control rats during the experiment

В результате исследований, проведенных в экспериментах на лабораторных крысах, выявлены закономерности эффективности проявления пищевой добавкой кристаллическим ликопином биологически активных свойств – гипохолестеринемических, гепатопротекторных и антиоксидантных.

Следует отметить, что, полученные нами данные коррелируют с данными, полученными в работе D. Arslan Atessahin и др. [23] и работе С. Сао и др. [24] по исследованию влияния ликопина на снижение концентрации в крови и тканях общего холестерина, изменению уровня активности гепатоиндикаторных ферментов и некоторых других показателей, а также на снижение окислительного стресса по показателям ПОЛ в экспериментах на лабораторных крысах. Однако следует отметить, что в указанных работах экспериментальные животные получали не сбалансированный рацион, а гиперхолестеринемический [23] и гиперлипидемический [24] рационы, которые приводили к развитию у экспериментальных животных как гиперлипидемии, так и гиперхолестеринемии, являющихся факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний и образования бляшек, приводящих к прогрессированию окислительного стресса и эндотелиальной дисфункции. Введение в указанные рационы ликопина позволило достоверно снизить концентрации общего холестерина и значения показателей ПОЛ в крови и тканях органов крыс, при этом даже у следующего их потомства [24].

На основании проведенных исследований в экспериментах на лабораторных крысах, получавших сбалансированный основной рацион и

дополнительно выработанную по разработанному нами технологическим режимам пищевую добавку кристаллический ликопин, установлено, что эффективность проявления указанной пищевой добавкой биологически активных свойств можно расположить в следующем порядке по убыванию: антиоксидантные → гепатопротекторные → гипохолестеринемические.

**Заключение.** Таким образом, установлено, что пищевая добавка – кристаллический ликопин, выработанная по разработанным технологическим режимам, проявляет:

- технологические свойства, а именно антиоксидантные, при этом эффективность проявления указанных свойств ликопином характеризуется снижением значений прироста перекисных чисел за 1 ч в процессе ускоренного окисления рафинированных дезодорированных подсолнечных и соевых масел, содержащих 0,005 и 0,010 % ликопина, в 1,9 и 2,7 раза – для подсолнечного масла и в 1,8 и 2,6 раза – для соевого масла соответственно по сравнению с контрольными образцами масел, не содержащих ликопин, а в процессе инициированного окисления кислородом характеризуется повышением значений индукционного периода (времени окислительной индукции указанных масел) в 1,6 и 2,3 раза – для подсолнечного масла и в 1,5 и 2,2 раза – для соевого масла соответственно по сравнению с контрольными образцами масел, не содержащих ликопин;

- гипохолестеринемические свойства, при этом эффективность их проявления характеризуется снижением в конце эксперимента в сыворотке крови экспериментальных крыс в срав-

нении с контрольными крысами концентрации холестерина на 17,3 %, что свидетельствует о положительном влиянии ликопина с точки зрения улучшения липидного обмена крыс;

– гепатопротекторные свойства, при этом эффективность их проявления характеризуется снижением в конце эксперимента в сыворотке крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами уровня активности ферментов АлАТ и АсАТ на 19,0 и 14,2 % соответственно, что свидетельствует о положительном влиянии ликопина с точки зрения улучшения состояния печени крыс;

– антиоксидантные свойства, при этом эффективность их проявления характеризуется снижением в конце эксперимента в цельной

крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами концентраций МДА, ДК и КД на 27,9; 25,3 и 22,8 % соответственно, что свидетельствует о положительном влиянии ликопина на антиоксидантный статус крыс.

Новизна результатов исследований заключается в получении новых знаний об особенностях проявления пищевой добавкой кристаллическим ликопином, выработанной по разработанному технологическому режиму из концентрата каротиноидов в масле, технологических и биологически активных свойств. Полученные знания позволяют обоснованно выбрать эффективные направления применения пищевой добавки кристаллического ликопина в пищевых системах, в т. ч. функциональных.

### Список источников

1. Long Y., Paengkoum S., Lu S., et al. Physicochemical properties, mechanism of action of lycopene and its application in poultry and ruminant production // *Front. Vet. Sci.* 2024. Vol. 11. P. 1364589. DOI: 10.3389/fvets.2024.1364589. EDN: KMYTRI.
2. Шаповалов Ю.А., Гладышев П.П., Тулеуханов С.Т., и др. Радикалы в структурах клетки // *Биофизика*. 2020. Т. 65, № 4. С. 691–704. DOI: 10.31857/S0006302920040092. EDN: CJLVLH.
3. Elgawish R.A., El-Beltagy M.A., El-Sayed R.M., et al. Protective role of lycopene against metabolic disorders induced by chronic bisphenol A exposure in rats // *Environ Sci Pollut.* 2020. Vol. 27. P. 9192–9201. DOI: 10.1007/s11356-019-07509-5. EDN: WBXPPV.
4. Ачмиз А.Д., Лисовая Е.В., Викторова Е.П., и др. Физиологическая роль каротиноидов и их применение в технологиях пищевых продуктов // *Новые технологии*. 2023. Т. 19, № 1. С. 14–25. DOI: 10.47370/2072-0920-2023-19-1-14-25. EDN: PKGVVF.
5. Khan U.M., Sevindik M., Zarrabi A., et al. Lycopene: Food Sources, Biological Activities, and Human Health Benefits // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2021. Vol. 2021, Is. 1. P. 2713511. DOI: 10.1155/2021/2713511. EDN: EPXYSG.
6. Li Z., Yu F. Recent Advances in Lycopene for Food Preservation and Shelf-Life Extension // *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 3121. DOI: 10.3390/foods12163121. EDN: DZSUJY.
7. Kehili M., Sayadi S., Frikha F., et al. Optimization of lycopene extraction from tomato peels industrial by-product using maceration in refined olive oil // *Food and Bioproducts Processing*. 2019. Vol. 117. P. 321–328. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.08.004. EDN: UMYAXI.
8. Gu M., Fang H., Gao Y., et al. Characterization of enzymatic modified soluble dietary fiber from tomato peels with high release of lycopene // *Food Hydrocolloids*. 2020. Vol. 99. P. 105321. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105321. EDN: DZMQUW.
9. Ефремов Д.П., Жаркова И.М., Плотникова И.В., и др. Томаты: основные направления использования в пищевой промышленности (обзор) // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84, № 1. С. 181–195. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-181-195. EDN: XMPOZL.
10. Tahmasebi M., Emam-Djomeh Z. Lycopene degradation and color characteristics of fresh and processed tomatoes under the different drying methods: a comparative study // *Chem. Pap.* 2021. Vol. 75. P. 3617–3623. DOI: 10.1007/s11696-021-01611-0. EDN: WXQEOX.
11. Li Y., Cui Z., Hu L. Recent technological strategies for enhancing the stability of lycopene in processing and production // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 405, Part A. P. 134799. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134799. EDN: QWWWMK.

12. Adadi P., Barakova N.V., Krivoshapkina E.F. Selected Methods of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review // *J. Agric. Food Chem.* 2018. Vol. 66, Is. 24. P. 5925–5947. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01407. EDN: YCEFSP.
13. Nadar S.S., Rao P., Rathod V.K. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review // *Food Research International.* 2018. Vol. 108. P. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006.
14. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Свердличенко А.В., и др. Технология подготовки выжимок томатов с применением физических методов для извлечения каротиноидов // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология.* 2023. № 2-3. С. 58–62. DOI: 10.26297/0579-3009.2023.2-3.8. EDN: PBZUKY.
15. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Великанова Е.В., и др. Технология ферментативной обработки выжимок томатов для извлечения ликопина // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология.* 2023. № 4. С. 33–38. DOI: 10.26297/0579-3009.2023.4.6. EDN: DYOFMY.
16. 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 (15). P. 4495. DOI: 10.3390/molecules26154495. EDN: FFHHPN.
17. Zakynthinos G., Varzakas T. Carotenoids: from Plants to Food Industry // *Current Research in Nutrition and Food Science.* 2016. Vol. 4, special is. 1. P. 38–51. DOI: 10.12944/CRNFSJ.4.Special-Is.1.04.
18. Martínez-Hernández G.B., Boluda-Aguilar M., Taboada-Rodríguez A., et al. Processing, Packaging, and Storage of Tomato Products: Influence on the Lycopene Content // *Food Eng Rev.* 2016. Vol. 8. P. 52–75. DOI: 10.1007/s12393-015-9113-3. EDN: VTIEXR.
19. Saini R.K., Bekhit AED A., Roohinejad S., et al. Chemical Stability of Lycopene in Processed Products: A Review of the Effects of Processing Methods and Modern Preservation Strategies // *J. Agric. Food Chem.* 2020. Vol. 68, Is. 3. P. 712–726. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b06669.
20. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Угрюмова Т.И., и др. Разработка технологических режимов получения кристаллического ликопина из концентрата каротиноидов в масле // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология.* 2024. № 5-6. С. 41–45. DOI: 10.26297/0579-3009.2024.5-6.6. EDN: JUISRK.
21. 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 Chemistry.* 2018. Vol. 246. P. 295–304. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.034.
22. Xie C., Ma Z.F., Li F., et al. Storage quality of walnut oil containing lycopene during accelerated oxidation // *J Food Sci Technol.* 2018. Vol. 55. P. 1387–1395. DOI: 10.1007/s13197-018-3053-x.
23. Arslan Atessahin D., Erman O., Servi K., et al. Effects of Lycopene on Hypercholesterolaemic Rats with Experimental, Theoretical and Density Functional Theory Findings // *Social Science Research Network.* 2024. Preprint. P. 4917556. DOI: 10.2139/ssrn.4917556.
24. Cao C., Sun S., Li J., et al. Lycopene modulates lipid metabolism in rats and their offspring under a high-fat diet // *Food & Function.* 2021. Vol. 12. P. 8960–8975. DOI: 10.1039/d1fo01039e. EDN: PYPOAQ.

## References

1. Long Y, Paengkoum S, Lu S, et al. Physicochemical properties, mechanism of action of lycopene and its application in poultry and ruminant production. *Front. Vet. Sci.* 2024;11:1364589. DOI: 10.3389/fvets.2024.1364589. EDN: KMYTRI.
2. Shapovalov YuA, Gladyshev PP, Tuleukhanov ST, et al. Radicals in the structures of a cell. *Biofizika.* 2020;65(4):691-704. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0006302920040092. EDN: CJLVLH.
3. Elgawish RA, El-Beltagy MA, El-Sayed RM, et al. Protective role of lycopene against metabolic disorders induced by chronic bisphenol A exposure in rats. *Environ Sci Pollut.* 2020;27:9192–9201. DOI: 10.1007/s11356-019-07509-5. EDN: WBXPPV.

4. Achmiz AD, Lisovaya EV, Viktorova EP, et al. The physiological role of carotenoids and their use in food technologies. *New Technologies*. 2023;19(1):14-25. (In Russ.). DOI: 10.47370/2072-0920-2023-19-1-14-25. EDN: PKGVVF.
5. Khan UM, Sevindik M, Zarrabi A, et al. Lycopene: food sources, biological activities, and human health benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2021;2021(1):2713511. DOI: 10.1155/2021/2713511. EDN: EPXYSG.
6. Li Z, Yu F. Recent advances in lycopene for food preservation and shelf-life extension. *Foods*. 2023;12:3121. DOI: 10.3390/foods12163121. EDN: DZSUJY.
7. Kehili M, Sayadi S, Frikha F, et al. Optimization of lycopene extraction from tomato peels industrial by-product using maceration in refined olive oil. *Food and Bioproducts Processing*. 2019;117:321-328. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.08.004. EDN: UMYAXI.
8. Gu M, Fang H, Gao Y, et al. Characterization of enzymatic modified soluble dietary fiber from tomato peels with high release of lycopene. *Food Hydrocolloids*. 2020;99:105321. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105321. EDN: DZMQUW.
9. Efremov DP, Zharkova IM, Plotnikova IV, et al. Tomatoes: main uses in the food industry (review). *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022;84(1):181-195. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-181-195. EDN: XMPOZL.
10. Tahmasebi M, Emam-Djomeh Z. Lycopene degradation and color characteristics of fresh and processed tomatoes under the different drying methods: a comparative study. *Chem. Pap.* 2021;75:3617–3623. DOI: 10.1007/s11696-021-01611-0. EDN: WXQEOX.
11. Li Y, Cui Z, Hu L. Recent technological strategies for enhancing the stability of lycopene in processing and production. *Food Chemistry*. 2023;405(Part A):134799. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134799. EDN: QWWWMK.
12. Adadi P, Barakova NV, Krivoshapkina EF. Selected methods of extracting carotenoids, characterization, and health concerns: a review. *J. Agric. Food Chem.* 2018;66(24):5925-5947. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01407. EDN: YCEFSP.
13. Nadar SS, Rao P, Rathod VK. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*. 2018;108:309-330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006.
14. Lisovaya EV, Viktorova EP, Sverdlichenko AV, et al. Technology of preparation of tomato pump using physical methods to extract carotenoids. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2023;2-3:58-62. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2023.2-3.8. EDN: PBZUKY.
15. Lisovaya EV, Viktorova EP, Velikanova EV, et al. Technology of enzymatic processing of tomato purposes for extraction of lycopine. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2023;4:33-38. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2023.4.6. EDN: DYOFMY.
16. 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. EDN: FFHHPN.
17. Zakynthinos G, Varzakas T. Carotenoids: from plants to food industry. *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2016;4(special is. 1):38-51. DOI: 10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue1.04.
18. Martínez-Hernández GB, Boluda-Aguilar M, Taboada-Rodríguez A, et al. Processing, packaging, and storage of tomato products: influence on the lycopene content. *Food Eng Rev*. 2016;8:52-75. DOI: 10.1007/s12393-015-9113-3. EDN: VTIEXR.
19. Saini RK, Bekhit AED A, Roohinejad S, et al. Chemical stability of lycopene in processed products: a review of the effects of processing methods and modern preservation strategies. *J. Agric. Food Chem.* 2020;68(3):712-726. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b06669.
20. Lisovaya EV, Viktorova EP, Ugryumova TI, et al. Technological modes for producing crystalline lycopine from carotenoid concentrate in oil. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2024;5-6:41-45. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2024.5-6.6. EDN: JUISRK.
21. 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 Chemistry*. 2018;246:295-304. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.034.

22. Xie C, Ma ZF, Li F, et al. Storage quality of walnut oil containing lycopene during accelerated oxidation. *J Food Sci Technol*. 2018;55:1387-1395. DOI: 10.1007/s13197-018-3053-x.
23. Arslan Atessahin D, Erman O, Servi K, et ail. Effects of lycopene on hypercholesterolaemic rats with experimental, theoretical and density functional theory findings. *Social Science Research Network (SSRN)*. 2024;Preprint:4917556. DOI: 10.2139/ssrn.4917556.
24. Cao C, Sun S, Li J, et al. Lycopene modulates lipid metabolism in rats and their offspring under a high-fat diet. *Food & Function*. 2021;12:8960-8975. DOI: 10.1039/d1fo01039e. EDN: PYPOAQ.

Статья принята к публикации 03.04.2025 / The article accepted for publication 03.04.2025.

Информация об авторах:

**Екатерина Валериевна Лисовая**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, кандидат технических наук

**Татьяна Игоревна Угрюмова**<sup>2</sup>, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

**Мариет Руслановна Жане**<sup>3</sup>, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

**Екатерина Романовна Данилейко**<sup>4</sup>, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

**Елена Павловна Викторова**<sup>5</sup>, главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

**Ekaterina Valerievna Lisovaya**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Candidate of Technical Sciences

**Tatyana Igorevna Ugryumova**<sup>2</sup>, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

**Mariet Ruslanovna Zhane**<sup>3</sup>, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

**Ekaterina Romanovna Danileiko**<sup>4</sup>, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

**Elena Pavlovna Viktorova**<sup>5</sup>, Chief Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Doctor of Technical Sciences, Professor

