

ОЦЕНКА ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ КОНСЕРВИРОВАННОЙ ЦВЕТНОЙ КАПУСТЫ В МОДЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЕ

А.В. Самойлов, кандидат биологических наук, **Н.М. Сураева**, доктор биологических наук, **М.В. Зайцева**, аспирант

*Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, 142703, Московская обл., Видное, ул. Школьная, 78
E-mail: a.samoilov@fneps.ru*

В пищевых продуктах из растений семейства крестоцветных (Brassicaceae) кроме полезных для здоровья известных макроэлементов, многочисленных фитохимических соединений и природных антиоксидантов могут присутствовать компоненты, оказывающие токсическое воздействие на организм человека. В контексте оценки безопасности продуктов из этих овощей особый интерес представляет анализ отсроченных во времени проявления эффектов. В первую очередь обращают внимание на генотоксичный и мутагенный потенциал указанных соединений, однако возможны и нарушения, связанные с метаболическими процессами роста и развития тканей и органов. Цель исследования – оценка побочных эффектов воздействия овощного продукта в условиях биотестирования. В качестве объекта исследования было выбрано консервированное пюре для детского питания из цветной капусты. Оценку неблагоприятных побочных эффектов проводили с использованием растительного модельного организма – лука репчатого. Корни лука репчатого сначала инкубировали в 0,1 %-ном и 0,25 %-ном водных растворах экстрактов этого пюре, затем переносили в воду с целью дальнейшего восстановительного прорастания. В ходе опыта фиксировали такие показатели, как масса корней, митотический индекс и хромосомные нарушения в клетках апикальной меристемы. Частота патологий митоза в опытных образцах достоверно не отличалась от контрольных значений. Прирост массы корней был достоверно в 2 раза ниже после обработки корней 0,25 %-ым экстрактом, однако скорость прироста в этих образцах в течение восстановительного периода была в 1,5 раза выше, чем в контроле. При анализе процесса пролиферации в меристеме корней опытных образцов были выявлены негативные эффекты, связанные с достоверным увеличением до 28 % доли делящихся клеток, по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют о необратимом митотоксичном эффекте экстракта пюре в условиях теста.

ASSESSMENT OF TOXIC SIDE EFFECTS OF CANNED CAULIFLOWER IN A MODEL PLANT TEST SYSTEM

Samoylov A.V., Suraeva N.M., Zaytseva M.V.

*Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems for RAS, 142703, Moskovskaya obl., Vidnoe, ul. Shkol'naya, 78
E-mail: a.samoilov@fneps.ru*

Health-promoting known macronutrients, numerous phytochemicals and natural antioxidants are presents in plants. In addition compounds that have a toxic effect on the human body may also be present in food products from plants of the cruciferous family (Brassicaceae). Analysis of time-delayed manifestations of the effects of toxic effects is of particular interest in the context of assessing the safety of products from these vegetables. First of all, genotoxic and mutagenic potential of some substances contained in these plants is drawn to the attention, however, disturbances associated with the metabolic processes of growth and development of tissues and organs are also possible. The aim of this study was to evaluate the side effects of the impact of a vegetable product under bioassay conditions. Canned cauliflower puree for baby food was chosen as the object of the study. The assessment of adverse side effects was carried out using a plant model organism onion. Onion roots were first incubated in 0,1 % and 0,25 % aqueous solutions of the extracts of this puree, and then transferred to water for the purpose of further regenerative germination. Such indicators as root mass, mitotic index, and chromosomal abnormalities in the cells of the apical meristem were recorded. It was found that the frequency of pathologies of mitosis in the experimental samples did not differ significantly from the control values. The increase in root mass was significantly twice lower after root treatment with 0,25 % extract, however, the growth rate in these samples during the recovery period was one and a half times higher than in the control. When analyzing the proliferation process in the meristem of the roots of the experimental samples, negative effects were revealed associated with a significant increase of up to 28 % in the proportion of dividing cells compared to the control. These results indicated an irreversible mitotoxic effect of the puree extract under the conditions of this test.

Ключевые слова: безопасность, консервированное пюре, Brassicaceae, биотестирование, токсичность, необратимость побочных эффектов.

Key words: safety, canned puree, Brassicaceae, biotesting, toxicity, irreversibility of side effects.

В последние десятилетия особое внимание в отношении качественных характеристик овощей уделяли фитохимическим соединениям и пищевым волокнам. По рекомендации Всемирной организации здравоохранения в ежедневном рационе человека должны присутствовать не менее 400 г овощей и фруктов [1]. Благодаря биоактивным веществам продукция растительного происхождения служит ценным источником природных антиоксидантов, которые участвуют в защите организма человека от повреждения активными

формами кислорода [2, 3]. Эпидемиологические данные свидетельствуют о том, что диета, богатая овощами и фруктами, оказывает положительный эффект на здоровье человека. Так, рацион с высокой долей овощей коррелирует с меньшим риском возникновения и развития сердечно-сосудистых заболеваний [4], связан с улучшением состояния желудочно-кишечного тракта, профилактикой против развития диабета [5, 6]. В исследованиях на клеточных линиях раковых клеток было выяснено, что природное фитохимическое соединение

индол-3-карбинол может действовать как химиопротекторное средство, оказывая влияние на гормональный гомеостаз, ход клеточного цикла и пролиферацию клеток [7]. Наличие этих и многих других соединений с доказанной антиоксидантной активностью снижает проявление симптомов дегенеративных заболеваний, способствует уменьшению болевого синдрома и аллергических проявлений [8, 9].

Однако в овощах также могут содержаться вещества небезопасные для человека. Так, потребление шпината, ревеня, петрушки и других продуктов, содержащих оксалаты, может стать причиной образования камней в почках, снижения темпов роста костей, вызывать почечную токсичность, диарею [10]. Клубни картофеля содержат такие ядовитые гликоалкалоиды, как соланин и чаконин, воздействующие на нервную систему человека и приводящие к тяжелым расстройствам пищеварения, диарее, головным болям, слабости, судорогам, когнитивным нарушениям [11]. При введении в корм сельскохозяйственных животных большого количества рапса продукты распада глюкозинолатов, тиоцианаты, препятствуют усвоению йода и синтезу гормонов щитовидной железы, вызывая гипотиреоз [12]. Известны данные, указывающие на генотоксичный потенциал экстрактов лекарственных растений. В исследовании с оценкой аква-метанольного и н-гексанового экстрактов растения *K. laciniata* с использованием теста Эймса была выявлена значительная мутагенность обоих экстрактов. При этом аква-метанольный экстракт проявлял большую активность при воздействии на штамм TA-102 в максимальной дозе 150 мг (мутагенный индекс 54,7). Далее в МТТ-тесте на линии клеток почек хомячка ВНК-21 также было зафиксировано, что оба экстракта цитотоксичны с IC_{50} равным 321,9 и 638,5 мкг/мл для акваметанольного и н-гексанового экстрактов соответственно [13].

Кроме того, любой из компонентов пищевых матриц может оказывать негативное влияние на здоровье, будучи включенным в индивидуальную диету, в случае избыточного или частого употребления с вероятным последующим накоплением в организме токсичных продуктов обмена, генетических нарушений или способностью вызывать аллергические реакции [14]. Поэтому анализ проявления отсроченного во времени токсического воздействия веществ, содержащихся в продуктах питания, важный аспект оценки безопасности их употребления, так как возникающие в таком случае необратимые физиологические и биохимические изменения могут негативно отразиться на тех или иных обменных процессах и работе органов человека. Особый интерес вызывает обратимость возникающих генотоксических проявлений после воздействия ксенобиотиков, опасность которых связана, прежде всего, с возможностью наследования этих нарушений через половые клетки. Результаты анализа отсроченных эффектов одного из метаболитов растений – бензойной кислоты – с использованием Аллиум-теста свидетельствуют, что это соединение может инициировать появление необратимых хромосомных нарушений в клетках меристемы корней лука *Allium cepa* [15]. Некоторые эксперты рассматривают оценку генотоксичности тех или иных веществ в качестве предварительного этапа их скрининга на канцерогенность [16].

Для изучения токсичности растительных пищевых и лекарственных компонентов разработаны различные модели, в которых в качестве биоиндикаторов предусмотрены штаммы микроорганизмов, клеточные линии млекопитающих и лабораторные животные.

Однако использование растительных тестов имеет ряд преимуществ. Они удобны в исполнении, экономичны, отличаются высокой чувствительностью, при этом их результаты хорошо коррелируют с аналогичными данными полученными на других моделях [17]. Чаще всего для оценки неблагоприятных генотоксичных и метаболических эффектов ксенобиотиков используются Аллиум-тест [18, 19, 20].

В культуре потребления в России широко распространены такие овощи из семейства крестоцветных (*Brassicaceae*), как цветная капуста, брокколи и белокочанная капуста. Одна из самых ярких особенностей этого ботанического семейства – наличие нескольких видов вторичных метаболитов с характерным вкусом, а также доказанной биоактивностью. Наиболее полно изучены глюкозинолаты и продукты их распада – изотиоцианаты и индолы [21, 22, 23]. Кроме того, перечисленные виды обладают уникальными профилями фенольных соединений, каротиноидов и других групп менее изученных веществ (фитоалексины, терпены, фитостероиды и токоферолы). Так, в брокколи, редисе и капусте грюнколь были найдены флавоноиды (кверцетин, цианидин), фенольные кислоты (хлорогеновая и феруловая кислоты), многочисленны глюкозинолаты (глюкобрафин, глюкоберин), изотиоцианаты (сульфорафен, сульфорафан и индол-3-карбинол) [7]. Учитывая немалый объем потребления цветной капусты особенно в консервированном виде для детского питания, а также принимая во внимание приведенные данные о характере токсичности и генотоксичности различных растительных соединений, представляются актуальными исследования по изучению отсроченных эффектов негативного воздействия этого продукта.

Цель исследования – изучение характера токсического воздействия (обратимое или необратимое) экстракта пюре из цветной капусты на проросты массы, цитологические и цитогенетические показатели корней *Allium cepa*.

Методика. В качестве объекта исследования было выбрано обезличенное консервированное пюре для детского питания из цветной капусты российского производства, приобретенное в местной торговой сети. Подготовку образцов осуществляли согласно ранее разработанной методике [24]. Для этого на первом этапе готовый продукт распределяли тонким слоем на поверхности поддона и сушили в вакуумном шкафу при температуре 65 °С и давлении 88,3 кПа в течение 210 мин. Затем высушенный порошок экстрагировали горячей (70 °С) бутилированной водой. Раствор с концентрацией экстракта 0,25 % разливали по пробиркам и центрифугировали при 1000 g. Далее отбирали жидкость над осадком и очищали ее от нерастворимых частиц с помощью бумажного фильтра. Полученный раствор экстракта разбавляли бутилированной водой до концентрации 0,1 %.

В работе использовали модифицированный вариант классического биотестирования с луком репчатый [25]. Для процедуры были отобраны луковицы сорта Штутгартен Ризен одинаковой массы (5...7 г) и диаметра (до 3 см), с которых предварительно удаляли сухую чешую. Перед тем как поместить лук-севок в тестируемые растворы, донце каждой луковицы зачищали ножом для ускорения прорастания корней. Луковицы помещали в пробирки с бутилированной водой на сутки в термостат (24±1 °С) для предварительного проращивания. Затем отбирали образцы с наибольшим количеством проросших корней длиной не менее 1 см и помещали в растворы экстракта пюре двух указанных ранее кон-

центраций (опыт) и бутилированную воду (контроль). В каждом варианте опытных и контрольных групп использовали по десять луковиц. Инкубацию в растворах проводили еще в течение суток. Затем половина луковиц извлекали, срезали корни и измеряли их массу. Для оценки обратимости токсических эффектов в биосистеме вторая половина луковиц после экспозиции в экстрактах овощного пюре перемещали в бутилированную воду еще на 24 ч. Отрезанные кончики корней луковиц всех опытных и контрольных вариантов помещали в фиксатор Кларка. Для анализа цитогенетических параметров апикальной меристемы корней лука использовали моментальные давленные препараты [25, 26]. Определяли митотический индекс (МИ) и количество хромосомных aberrаций (ХА):

$$\text{МИ (\%)} = \frac{\text{количество клеток в митозе}}{\text{общее количество проанализированных клеток}};$$

$$\text{ХА (\%)} = \frac{\text{количество просмотренных хромосомных aberrаций}}{\text{общее количество проанализированных клеток (делящиеся клетки)}}.$$

На один вариант опыта в среднем было просмотрено порядка 7000 клеток.

Статистическую обработку результатов проводили в программах Microsoft Excel 2016 и Statistica 12. Для показателя прироста массы корней использовали двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим апостериорным сравнением средних по критерию Тьюки ($p \leq 0,05$). Перед предварительно проводили анализ данных на нормальное распределение по критерию Шапиро-Уилка ($p \leq 0,05$) и гомогенность распределения дисперсий по критерию Левана ($p \leq 0,05$). Анализ показателей митотического индекса и частоты хромосомных aberrаций, характеризующихся биномиальным распределением, осуществляли с использованием точного критерия Фишера ($p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение. Дозозависимую задержку в приросте массы корней в опытных образцах, по сравнению с контрольными, наблюдали до и после восстановительного проращивания (рис. 1). Однако скорость прироста массы в опытных образцах в течение восстановительного периода превышала величину

этого показателя в контроле. В итоге после прекращения воздействия экстракта в концентрации 0,1 %, статистически достоверных различий не наблюдали. В образцах с более высокой дозой экстракта (0,25 %) масса корней значительно отличалась от контроля. Таким образом, хотя полученные результаты и продемонстрировали обратимый характер токсичного действия исследуемого экстракта на прирост массы корней, полное восстановление наблюдали только при обработке 0,1 %-ным экстрактом.

В работе по оценке прироста массы корней лука после обработки бензойной и сорбиновой кислотами в условиях восстановительного проращивания также была отмечена достоверная разница, по сравнению с контролем, при небольших дозах консервантов (50 и 100 мг/л) [15]. Как известно [27], этот показатель отражает весь комплекс адаптационных реакций организма на внешний стресс. Поэтому при оценке потенциальной токсичности тех или иных ксенобиотиков, возможно, следует обращать внимание на уровень его восстановления (полный или частичный).

Известно, что как снижение, так и увеличение скорости деления меристемных клеток в биотесте может свидетельствовать о наличии неблагоприятных процессов [27]. После обработки корней экстрактом митотический индекс достоверно уменьшался, по сравнению с контролем, а после восстановительного проращивания, наоборот, был выше контрольных значений (рис. 2). Доля делящихся клеток в меристеме корней в образцах с концентрацией экстракта 0,1 % и 0,25 % после восстановительного проращивания была выше, чем в контроле, на 28 % и 16,5 %, соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о необратимом негативном эффекте на процесс пролиферации клеток. При оценке токсичных эффектов лимонной кислоты на корни чеснока был обнаружен похожий результат. После обработки корней этой кислотой в дозе 200 мг/л и последующего этапа восстановительного проращивания в течение суток уровень митотического индекса также был значительно выше контрольных значений [28]. В на-

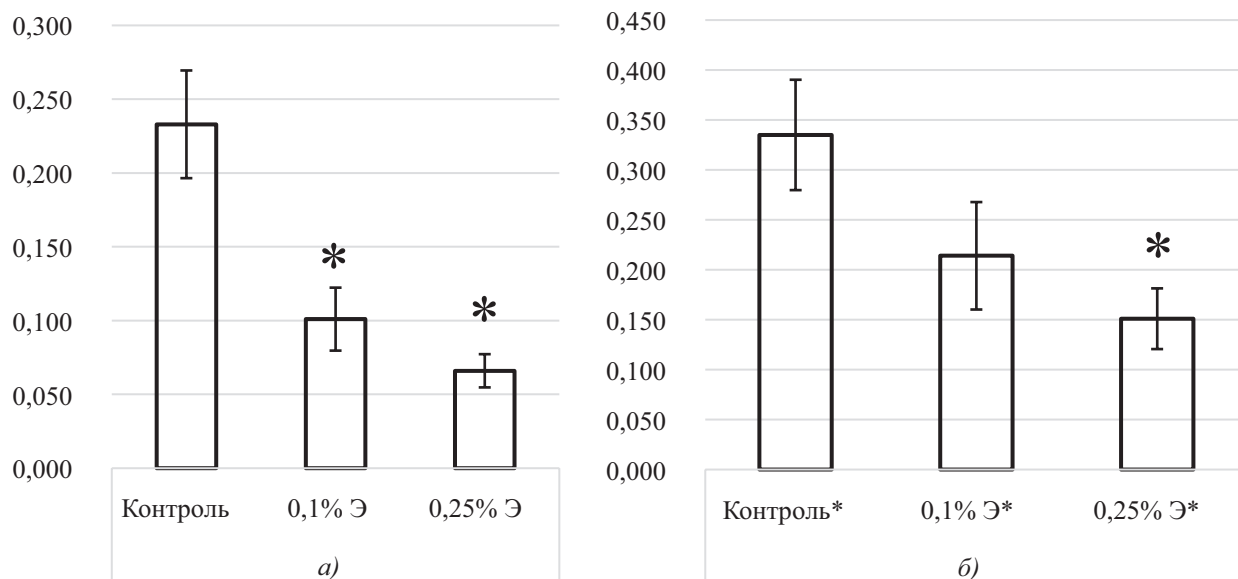


Рис. 1. Масса корней, г/луковицу: а) без последующего проращивания в воде; б) с последующим проращиванием в воде; Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, *варианты опыта, статистически достоверно отличающиеся от контроля (планки погрешности обозначают величину стандартного 95 %-ного интервала, значения F-статистики: $F_{1,11}=39,2$ ($p \leq 0,001$) и $F_{1,11}=43,0$ ($p \leq 0,001$) для факторов «последующее проращивание» и «концентрация экстракта» соответственно).

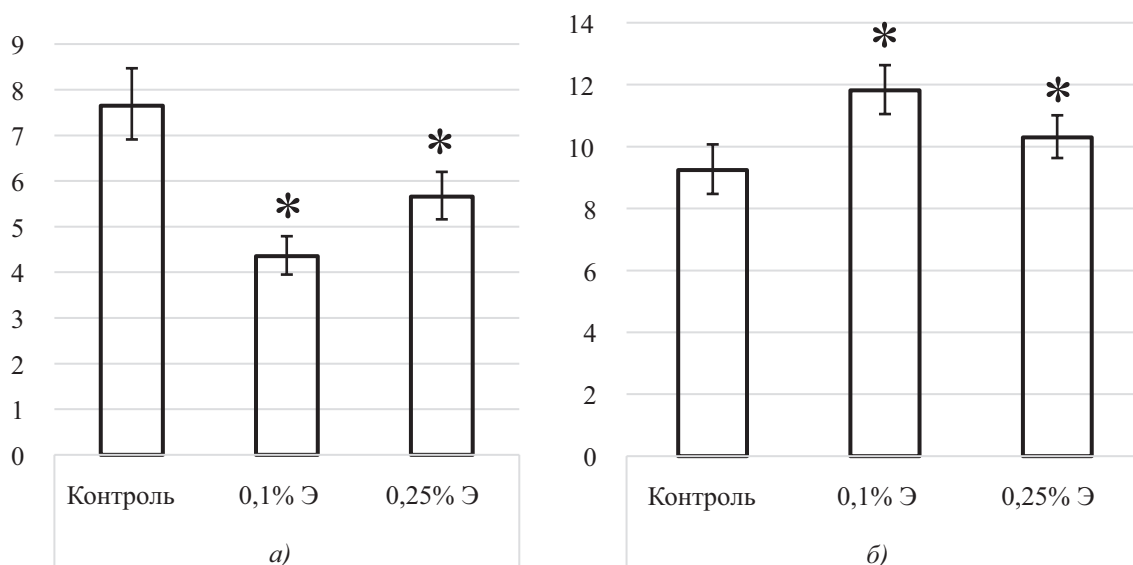


Рис. 2. Митотический индекс, %: а) без последующего проращивания в воде; б) с последующим проращиванием в воде; Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, *варианты опыта, статистически достоверно отличающиеся от контроля (планки погрешности обозначают величину стандартного 95 %-ного интервала по методу Уилсона с коррекцией непрерывности).

учной литературе обсуждался механизм этого явления, и было выдвинуто предположение, что токсическое воздействие могло индуцировать задержку пролиферации клеток меристемы в профазе и метафазе, что и приводило к увеличению доли делящихся клеток [29]. Однако

митозе. При этом слипание и фрагментация хромосом, как и в нашем исследовании, были наиболее частыми aberrациями [30]. При анализе развития побочных токсичных эффектов в корнях лука после их обработки водными растворами яблочных соков от различных про-

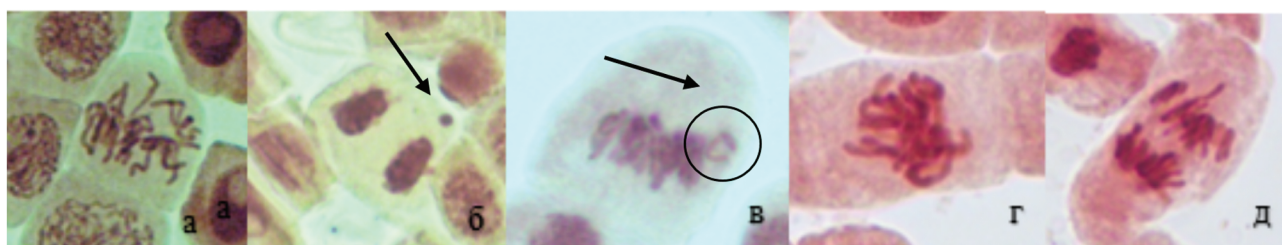


Рис. 3. Препараты клеток меристемы корней лука с характерными патологиями митоза: а) дезорганизация хромосом в метафазе, б) микродро, в) отрыв хромосомы в метафазе, г) слипание хромосом в метафазе, д) дезорганизация хромосом в анафазе.

при анализе аналогичных данных в нашем исследовании указанной закономерности обнаружить не удалось.

При анализе препаратов апикальной меристемы отмечали следующие виды патологий деления: дезорганизация, слипание, отставание хромосом в метафазе и анафазе, небольшая часть нарушений приходилась на образование микроядер и фрагментов хромосом в делящихся клетках (рис. 3).

Результаты анализа частоты патологий митоза, выявленных при тестировании экстрактов из пюре цветной капусты свидетельствуют, что уровни хромосомных aberrаций до и после восстановительного проращивания, как в опытных, так и в контрольных образцах статистически не различались (см. табл.). Наиболее часто встречающимися нарушениями во всех вариантах опыта были слипание хромосом в метафазе и дезорганизация хромосом в анафазе (до 42 % и 36 % соответственно). Следует отметить, что при анализе цитогенетических эффектов в Аллиум-тесте двух часто используемых пищевых консервантов – бензоата натрия и метабисульфита натрия – были зарегистрированы необратимые эффекты в отношении уровня хромосомных aberrаций при

Оценка последствий побочных эффектов воздействия экстрактов пюре из цветной капусты на показатели генотоксичности корней лука

Вариант	Хромосомные aberrации, % в расчете на*	
	общее число клеток	делящиеся клетки
До восстановительного проращивания		
Контроль	0,22/0,37/0,61 ^a	2,93/4,84/7,79 ^a
0,1 % Э	0,14/0,22/0,34 ^{ab}	3,30/5,16/7,90 ^{ab}
0,25 % Э	0,29/0,42/0,60 ^{ac}	5,28/7,48/10,45 ^{ab}
После восстановительного проращивания		
Контроль	0,15/0,27/0,46 ^a	1,66/2,90/4,94 ^a
0,1 % Э	0,17/0,28/0,45 ^a	1,43/2,33/3,73 ^a
0,25 % Э	0,15/0,25/0,40 ^a	1,52/2,45/3,87 ^a

* данные представлены в следующем формате: нижняя граница 95 %-ного интервала по методу Уилсона/среднее значение/верхняя граница 95 %-ного интервала по методу Уилсона (с коррекцией непрерывности), Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, одинаковыми буквами обозначены данные, не различающиеся статистически (p ≤ 0,05).

изводителей также наблюдали значительное повышение хромосомных aberrаций вплоть до шестикратных значений во всех опытных группах, по сравнению с контролем [31]. Таким образом, различные пищевые компоненты в силу своей структуры и состава влияли на развитие побочных генотоксических эффектов. Однако результаты наших исследований продемонстрировали отсутствие побочных генотоксических эффектов консервированного пюре из цветной капусты.

Таким образом, в условиях Allium-теста отмечены частично отсроченные эффекты воздействий 0,25 %-ным раствором экстракта консервированного пюре из цветной капусты в отношении прироста массы корней. Наиболее очевидные побочные негативные последствия обработки корней экстрактом в концентрациях 0,1 % и 0,25 % наблюдали при оценке пролиферативного потенциала клеток меристемы корней. Генотоксических и мутагенных нарушений в этих клетках обнаружить не удалось. Тем не менее, учитывая функциональность и возможность длительного употребления продукта, следует принять во внимание обнаруженные побочные эффекты с целью дальнейшего изучения.

Литература

1. World Health Assembly 55. Resolution WHA55.23. Diet, physical activity and health. Geneva, 2002. 75 p.
2. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health // *Arch. Biochem. Biophys.* 2018. No. 652. P. 18–26. doi: 10.1016/j.abb.2018.06.001.
3. Antioxidants from plants protect against skin photoaging / G. Petruk, R. Del Giudice, M.M. Rigano, D.M. Monti // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* 2018. 1454936. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2018/1454936/> (дата обращения: 12.05.2022). doi: 10.1155/2018/1454936.
4. Mullie P., Clarys P. Association between cardiovascular disease risk factor knowledge and lifestyle // *Food and Nutrition Science.* 2011. No. 2. P. 1048–1053. doi:10.4236/fns.2011.210140.
5. Carbone K. *Cultivars: Chemical properties, antioxidant activities and health benefits.* New York: Nova Science Publishers, 2013. 281 p.
6. Phytochemical characterization of five edible purple-reddish vegetables: anthocyanins, flavonoids, and phenolic acid derivatives / A.D. Frond, C.I. Iuhas, I. Stirbu, et al. // *Molecules.* 2019. Vol. 24. No. 8:1536. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/8/1536/html> (дата обращения: 12.05.2022).
7. Anti-cancer and cardioprotective effects of indol-3-carbinol in doxorubicin-treated mice / A.A. Adwas, A.A. Elkhoely, A.M. Kabel, et al. // *J. Infect. Chemother.* 2016. Vol. 22. No. 1. P. 36–43. doi: 10.1016/j.jiac.2015.10.001.
8. Broccoli and radish sprouts are safe and rich in bioactive phytochemicals / N. Baenas, I. Gómez-Jodar, D.A. Moreno, et al. // *Postharvest Boil. Technol.* 2017. No. 127. P. 60–67. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.01.010.
9. Wang C., Wang C. Anti-nociceptive and anti-inflammatory actions of sulfuraphane in chronic constriction injury-induced neuropathic pain mice // *Inflammopharmacology.* 2017. Vol. 25. No. 1. P. 99–106. doi: 10.1007/s10787-016-0307-y.
10. Vegetable food toxicants and their harmful effects on health / A. Sultan, B. Afroza, S. Mufit, et al. // *International journal current microbiology and applied sciences.* 2020. No. 11. P. 1923–1936.
11. Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study / T. Mensinga, A. Sips, C. Rompelberg, et al. // *Regulatory toxicology and pharmacology.* 2005. Vol. 41. No. 1. P. 66–72. doi: 10.1016/j.yrtph.2004.09.004.
12. Griffiths D.W., Birch A.N.A., Hillmann J.R. Antinutritional compounds in the Brassicaceae – analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects // *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 1998. Vol. 73. No. 1. P. 1–18. doi: 10.1080/14620316.1998.11510937. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.1998.11510937> (дата обращения: 14.05.2022).
13. Genotoxic and cytotoxic potential of whole plant extracts of *Kalanchoe laciniata* by Ames and MTT assay / A. Sharif, M.F. Akhtar, B. Akhtar, et al. // *EXCLI J.* 2017. No. 16. P. 593–601. doi: 10.17179/excli2016-748.
14. Molecular mechanisms of toxicity of important food-borne phytotoxins / I.M.C.M. Rietjens, M.J.M. Martena, M.G. Boersma, et al. // *Mol. Nutr. Food. Res.* 2005. Vol. 49. No. 2. P. 131–158. doi: 10.1002/mnfr.200400078.
15. Оценка последствий токсических эффектов пищевых консервантов методом биотестирования / А.В. Самойлов, Н.М. Сураева, М.В. Зайцева и др. // *Российская сельскохозяйственная наука.* 2021. № 4. С. 71–75. doi:10.31857/S2500262721040153.
16. (Q)SAR methods for predicting genotoxicity and carcinogenicity: scientific rationale and regulatory frameworks / C. Bossa, R. Benigni, O. Tcheremenskaia, et al. // *Methods Mol Biol.* 2018. No. 1800. P. 447–473. doi: 10.1007/978-1-4939-7899-1_20.
17. In vitro and in vivo evaluation of enzymatic and antioxidant activity, cytotoxicity and genotoxicity of curcumin-loaded solid dispersions / I. Silva de Sá, A.P. Peron, F.V. Leimann, et al. // *Food Chem Toxicol.* 2019. No. 125. P. 29–37. doi: 10.1016/j.fct.2018.12.037.
18. Industrial milk powder in bioassays for evaluation of cytotoxicity and genotoxicity / R.A.M. Moura, M.M.M. Marques, H.M. Pereira, et al. // *Bioscience Journal.* 2017. Vol. 33. No. 6. P. 1622–1631. doi: 10.14393/BJ-v33n6a2017-37266.
19. Chandraker S., Singh P., Pandey B. Clastogenic effect of soft drink on root tip of *Allium cepa* // *International journal of current microbiology and applied sciences.* 2014. Vol. 3. No. 5. P. 200–206.
20. Evaluation of cytogenotoxic effects of cold aqueous extract from *Achyrocline satureioides* by *Allium cepa* L test / M.C. Sabini, L.N. Cariddi, F.M. Escobara, et al. // *Nat Prod Commun.* 2011. Vol. 6. No. 7. P. 995–998. doi: 10.1177/1923478X1100600718.
21. Functional ingredients from Brassicaceae species: overview and perspectives / D. Ramirez, A. Abellán-Victorio, V. Beretta, A. Camargo, D.A. Moreno // *International Journal of Molecular Sciences.* 2020. Vol. 21. No. 6. P. 1998. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/6/1998> (дата обращения: 11.05.2022). doi: 10.3390/ijms21061998.
22. Argento S., Melilli M.G., Branca F. Enhancing greenhouse tomato-crop productivity by using *Brassica macrocarpa* Guss. leaves for controlling root-knot nematodes // *Agronomy.* 2019. Vol. 9. No. 12. P. 820. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/820> (дата обращения: 15.05.2022). doi: 10.3390/agronomy9120820.
23. The glucosinolates and variation of antioxidant compounds in seeds and sprouts of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and rocket (*Eruca sativa* L.) in relation to temperature and germinative stage / F. Branca, R. Lucia, T. Alessandro, et al. // *Acta Hort.* 2013. No. 1005. 271–278. doi:10.17660/ActaHortic.2013.1005.30.
24. Исследование токсичного потенциала экстракта консервированного пюре из цветной капусты в

- модельной растительной тест-системе / А.В. Самойлов, Н.М. Сураева, М.В. Зайцева и др. // Пищевая промышленность. 2021. № 7. С. 32-35. doi: 10.52653/PPI.2021.7.7.013.
25. Fiskesjö G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas*. 1985. Vol. 102. No. 1. P. 99-112. doi: 10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x.
26. Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В. Оценка микроструктурных изменений в переработанных продуктах из зелёного горошка // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 3. С. 213-220. doi:10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219.
27. Leme D.M., Marin-Morales M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application // *Mutat Res*. 2009. Vol. 682. No. 1. P.71-81. doi: 10.1016/j.mrrev.2009.06.002.
28. Cytogenetic effects of citric acid and benzoic acid on *Allium* chromosomes / S. Yilmaz, F. Unal, H. Aksoy, et. al. // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2008. Vol. 17. No. 8. P. 1029-1037.
29. Dovgaljuk A.I., Kalinjak T.B., Blum Ya.B., Cytogenetic effects of toxic metals salts on germs apical meristem cells of *Allium cepa* L. / *Tsitol. Genet*. 2001. Vol. 35. No. 2. P. 3-10.
30. Onyemaobi O.I., Williams G.O., Adekoya K.O. Cytogenetic effects of two food preservatives, sodium metabisulphite and sodium benzoate on the root tips of *Allium* // *Ife Journal of Science*. 2012. Vol. 14. No. 1. P.155-165.
31. Bioassay of oxidative properties and toxic side effects of apple juice / A.V. Samoylov, N.M. Suraeva, M.V. Zaytseva, et. al. // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10. No. 1. P. 176-184. doi:10.21603/2308-4057-2022-1-176-184.

Поступила в редакцию 23.05.2022

После доработки 15.07.2022

Принята к публикации 30.08.2022