

УДК 663.885

## Исследование влияния водного экстракта сульфорафана на показатели качества ферментированного продукта

Т.Н. Белякова, tnbelyakova517@gmail.com  
 д-р техн. наук Л.А. Забодалова, zabolalova@gmail.com  
 Университет ИТМО  
 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Исследовали возможность использования растительного сырья, обладающего онкопротекторными свойствами, при производстве ферментированного напитка на молочной основе. В качестве компонента-носителя онкопротекторных свойств был выбран корнеплод репы (*Brassica rapa L*). Проводили исследования по определению глюкорафанина, предшественника сульфорафана, в различных сортах репы. Метод основан на проведении гидролиза необезжиренного воздушно-сухого сырья концентрированной щелочью до образования сульфидов, обработке гидролизата концентрированной соляной кислотой до получения сероводорода, последующей его отгонке с водяным паром в колбу с поглотителем. Выделившийся сероводород улавливали и определяли количество йодометрическим методом. Получен водный экстракт сульфорафана из репы сорта «Петровская-1», как наиболее доступного в Северо-Западном регионе и имеющего высокое содержание глюкорафанина. Исследовано его влияние на процесс сквашивания молока и показатели качества готового продукта при внесении в различных дозах. Установлено, что содержание сульфорафана в 1 г сухой биомассы репы составляет  $(35,2 \pm 0,4)$  мг; в 1 см<sup>3</sup> экстракта –  $(0,83 \pm 0,03)$  мг. Внесение экстракта сульфорафана в молоко приводит к снижению вязкости продукта, но повышает его тиксотропные свойства. Различие в органолептических показателях обусловлено природой вносимого компонента и проявляется в наличии легкого послевкусия. Добавление экстракта в количестве 17,5% позволяет обеспечить с порцией продукта (200 мл) поступление в организм терапевтической дозы сульфорафана, продукт с минимальной дозировкой (3,5%) может быть использован для профилактических целей.

**Ключевые слова:** биотехнология; глюкорафанин; экстракт сульфорафана; ферментированный напиток; показатели качества.

DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-52-61

## The effect of the sulforaphane aqueous extract on the quality indicators of the fermented product

Tatyana N. Belyakova, tnbelyakova517@gmail.com  
 D. Sc. Lyudmila A. Zabolalova, zabolalova@gmail.com  
 ITMO University  
 9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia

The possibility of using plant raw materials with oncoprotective properties in the production of fermented milk-based beverage was investigated. The turnip root (*Brassica rapa L*) was chosen as the carrier component of oncoprotective properties. A research on the determination of glucoraphanin, the precursor of sulforaphane, in different varieties of turnips was carried out. The method is based on hydrolysis of non-fat-free air-dried raw materials with concentrated alkali to form sulfides, treatment of the hydrolysate with concentrated hydrochloric acid to produce hydrogen sulfide, and its subsequent distillation with water vapor in a flask with an absorber. An aqueous extract of sulforaphane from a turnip of Petrovskaya-1 variety was obtained, as it is the most accessible in the North-West region and has a high content of glucoraphanin. Its influence on the process of fermentation of milk and quality indicators of the finished product when introduced in various doses was investigated. It was established that the content of sulforaphane in 1 g of dry turnip biomass is  $(35.2 \pm 0.4)$  mg; in 1 cm<sup>3</sup> of extract –  $(0.83 \pm 0.03)$  mg. The introduction of sulforaphane extract into milk results in a decrease in the viscosity of the product, but increases its thixotropic properties. The difference in organoleptic characteristics is due to the nature of the component being introduced and is manifested in the presence of a slight aftertaste. Adding extract in the amount of 17.5% allows to provide the therapeutic dose of sulforaphane with a portion of the product (200 ml), the product with the minimum dosage (3.5%) can be used for prophylactic purposes.

**Keywords:** biotechnology; glucoraphanin; sulforaphane extract; fermented drink; quality indicators.

## Введение

Онкологические заболевания на сегодняшний день считаются самой распространенной патологией после инсульта и ишемической болезни сердца. В 2017 г. в Российской Федерации выявлено 617 177 случаев злокачественных новообразований. Статистические данные свидетельствуют о росте показателя распространенности злокачественных новообразований среди населения России [1].

Вопросы, касающиеся профилактики и лечения онкологических заболеваний, являются предметом исследований отечественных и зарубежных ученых на протяжении не одного десятилетия. Выявлено, что среди причин возникновения онкологических заболеваний – воспалительные процессы, снижение иммунитета, образование свободных радикалов. К факторам высокой степени риска возникновения раковых заболеваний относят также ожирение. Прослеживается четкая связь между употреблением алкоголя и раком печени, желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей, молочной железы, толстой кишки. Фондом всемирных онкологических исследований разработаны рекомендации по профилактике онкологических заболеваний, обусловленных питанием [2].

В организме человека заложена природой естественная система онкопротекции – так называемая система белой крови (лейкоциты), которая активно распознает и уничтожает видоизмененные и поврежденные клетки, включая раковые. Однако при сбое в работе этой системы данные функции не выполняются в полном объеме, что в дальнейшем может привести к развитию онкологического заболевания. В связи с этим достаточно актуальной является помощь природным механизмам организма в исполнении ими своих онкопротекторных функций за счет использования природных натуральных препаратов-онкопротекторов, предотвращающих образование раковых клеток в организме и их развитие в раковые опухоли [3].

Немаловажная роль отводится поддерживающей терапии, включающей различные методы обеспечения жизнедеятельности организма онкологического больного в период лечения и после него, позволяя уменьшить болевой синдром и негативные последствия противоопухолевой терапии [4]. В лечении многих заболеваний с каждым годом возрастает эффективность применения биологически активных веществ, полученных из растительного сырья, в том числе природных онкопротекторов и антиоксидантов, нетоксичных и не вызывающих привыкание.

Так, одним из источников сырья, обладающим онкопротекторными свойствами является корень лопуха. Лопух большой это двухлетнее растение, относится к семейству сложноцветных (*Asteraceae*), 60–180 см высотой. Инулиновую фракцию из корня лопуха большого используют для профилактики и лечения сахарного диабета; нормализации функции поджелудочной железы и в качестве заменителя сахара; доказана ее иммуностимулирующая активность. В настоящее время лопух входит в фармакопеи некоторых стран Европы. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что водный экстракт корней лопуха и выделенный из него  $\beta$ -аспарагин обладают противоопухолевой и антиметастатической активностью. Препараты рекомендованы в комплексном лечении онкологических заболеваний [5].

В конце 60-х годов прошлого столетия группа японских ученых установила онкостатическое действие полисахаридов, выделенных из плодовых тел некоторых грибов семейств *Polyporaceae*, *Tricholomataceae*, *Agaricaceae*. Это привело к активному изучению данных соединений, а также поиску их продуцентов. Большинство биологически активных полисахаридов грибов являются линейными или разветвленными  $\beta$ -1,3- $\alpha$ -глюканами, гетерогликанами или комплексами  $\beta$ -D-глюкана с белками. Активированные макрофаги являются первым звеном в каскаде иммунных реакций. Они не только ликвидируют чужеродные тела по механизму фагоцитоза, но и продуцируют цитокины, являющиеся регуляторами иммунной системы. Активация иммунной системы  $\beta$ -1,3-глюканом неспецифическая, что позволяет использовать  $\beta$ -глюкан как в профилактических целях, так и в качестве вспомогательного лекарственного средства при различных заболеваниях, сопровождающихся общим снижением иммунитета. Полисахариды грибов обладают также гепатопротекторным, антиоксидантным, хемо- и радиопротекторным, антимикробным, противовирусным, гипополипидемическим и другим действиями [6]. *Pleurotus ostreatus* – это базидиомицет, обладающий широким спектром медицинских эффектов. Одними из наиболее активных соединений этого гриба являются полисахариды (в частности  $\beta$ -глюканы), которые входят в состав клеточной стенки [7]. Водные экстракты из плодовых тел гриба *P. ostreatus* продемонстрировали значительное иммуностимулирующее действие, включающее активацию почти

всех иммунокомпетентных клеток. Кроме того, стимулировались нейтрофилы периферической крови человека, увеличивалась продукция интерлейкина 1- $\beta$ . В исследованиях *in vivo* показано, что при пероральном приеме препаратов уменьшается средний размер опухоли у мышей с трансплантированной меланомой B-16 и снижается опухолевая интоксикация, при этом выживаемость таких мышей увеличивается до 2,5 раз. Очищенные водорастворимые гетерополисахариды, полученные горячей водной экстракцией из плодовых тел гриба *P. ostreatus*, показали сильное противоопухолевое действие на клетках линии HeLa и не имели прямой цитотоксичности по отношению к нераковым клеткам [8]. В других исследованиях изучалась эффективность водонерастворимых фракций полисахаридов *P. ostreatus* в отношении Саркомы 180 *in vivo*. Исследованные препараты полисахаридов показали уменьшение объема и массы опухолей, уровень ингибирования развития Саркомы 180 составил около 90% [9]. Изучались противоопухолевые эффекты водорастворимых полисахаридов известных как РОМР2 с молекулярной массой 29 кДа, выделенных из мицелия *P. ostreatus* на рак желудка *in vivo* и *in vitro*. Было показано выраженное ингибирующее действие на клеточную линию рака желудка BGC-823.

В лечении многих заболеваний, в том числе в онкотерапии, значительная роль отводится обеспечению правильного питания больного.

В 2013 году Всемирная организация здравоохранения опубликовала список продуктов, которые способны останавливать рост раковых клеток, укреплять иммунную систему, оказывать антидепрессивное воздействие на психику, повышать общий тонус организма. К ним относятся растения семейства крестоцветных (брокколи, цветная капуста), соя и продукты из нее, красное вино, лук разных сортов и чеснок, а также репа, тыква, томаты, орехи, плодовые семечки и многое другое [10].

Наиболее изучены и рекомендованы к использованию в профилактических целях овощи семейства крестоцветных, среди которых пальма первенства принадлежит брокколи. Это связано с высоким содержанием соединения глюкорафанина — предшественника сульфорафана, являющегося мощным онкопротектором [11, 12].

Однако выращивание брокколи сопряжено с определенными трудностями, поскольку культура весьма чувствительна к климатическим условиям и составу почв, на которых возделывается. В этой связи заслуживает внимания такой традиционный для России и весьма неприхотливый корнеплод, как репа. Растение выращивается практически во всех регионах нашей страны. Репа является скороспелой культурой, что позволяет сеять ее несколько раз за сезон. Преимущественно ее выращивают в два, реже — три срока. Для летнего потребления семена высевают весной — на Кубани в конце марта–апреле, а в средней полосе России — конце апреля–начале мая. Урожай бывает готов через 60–70 дней [13]. В сравнении с брокколи находится в выгодном ценовом сегменте.

Репа (лат. *Brassica rapa*) — однолетнее или двулетнее травянистое растение, вид рода Капуста (*Brassica*) семейства Капустные (*Brassicaceae*), или Крестоцветные (*Cruciferae*). Корнеплод репы — богатый источник витаминов, углеводов и ряда химических элементов, необходимых для жизнедеятельности организма человека. Состав репы обуславливает ее ценность как диетического продукта. Углеводы в репе и остальных крестоцветных представлены в виде пищевых волокон, сахаров, а также в виде глюкозинолатов, главным из которых является глюкорафанин (прекурсор сульфорафана). При нарушении целостности (переработке) растения растительный фермент мирозиназа преобразует глюкорафанин в сульфорафан (рисунок 1), который считается антибактериальным агентом и принимает участие в системе растительной защиты от инфекции. При этом молярное количество глюкорафанина равноценно содержанию молей антиоксиданта сульфорафана [3, 14].

Мирозиназа принадлежит к семейству 1 гликозилгидролаз и обладает уникальным свойством — она гидролизует  $\beta$ -D-тиогликозиды [9]. Фермент мирозиназа содержится в специализированных клетках идиопластах. Рядом с ними находятся клетки, в вакуолях которых находятся глюкозинолаты и аскорбат [15, 16].



Рисунок 1 – Механизм перехода глюкорафанина в сульфорафан  
Figure 1. Transformation of glucoraphanin into sulforaphane

Мирозиназа отщепляет от глюкорафанина глюкозу и образующийся тиогидроксамат-О-сульфонат (агликон) изомеризуется в нейтральных и щелочных условиях ( $\text{pH} > 7$ ) в изотиоцианат (сульфорафан), который, по данным зарубежных исследований, ингибирует развитие многих видов рака, в частности, рака почки [15]. Недавние исследования зарубежных ученых свидетельствуют о возможности использования сульфорафана в качестве потенциального фактора, предотвращающего рецидив заболевания, метастазирование и резистентность благодаря его способности ингибировать ферменты, которые ответственны за активацию про-канцерогенов, и последующей активации ферментов, которые способны элиминировать мутаген. Кроме того, сульфорафан опосредует ряд противоопухолевых путей, включая активацию апоптоза [8]. В последние годы сульфорафан вызывает большой интерес унутрицевтической и фармацевтической промышленности из-за его противоракового эффекта [17, 18].

В ходе предварительных исследований было установлено количество глюкорафанина в различных сортах репы. Его количество варьирует от 40 до 55 мг/100 г [2, 3, 19]. Показатели по содержанию данного соединения сравнимы с содержанием глюкорафанина в таких овощах семейства крестоцветных, как брокколи (60 мг/100 г) и кольраби (50 мг/100 г) [10].

В качестве рабочей гипотезы принято предположение о том, что включение сульфорафана как носителя онкопротекторных свойств в рецептуру ферментированного напитка на молочной основе в сочетании с рациональными режимами обработки сырья позволит получить конкурентоспособный продукт с заданными свойствами.

Цель данного исследования – теоретически обосновать и экспериментально доказать возможность и целесообразность применения дешевого отечественного сырья – репы в качестве источника сульфорафана при производстве ферментированного продукта с онкопротекторными свойствами. Для этого необходимо изучить влияние экстракта сульфорафана на показатели качества продукта и выявить допустимую дозу его внесения.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись молоко коровье сырое по ГОСТ 31449-2013, репа столовая молодая свежая сортов «Белый шар», «Петровская-1», «Голден Болл», «Дуняша» по ГОСТ 32791-2014, водный экстракт сульфорафана, молочно-растительная смесь и сгустки, полученные в процессе ее сквашивания, образцы готового продукта.

На первом этапе работы исследовали возможность применения корнеплодов репы в качестве компонента-носителя онкопротекторных свойств. В указанных сортах репы определяли содержание глюкорафанина в соответствии с методикой, описанной в [20]. Определение основано на проведении гидролиза необезжиренного воздушно-сухого сырья концентрированной щелочью до образования сульфидов, обработке гидролизата концентрированной соляной кислотой до получения сероводорода, последующей его отгонке с водяным паром в колбу с поглотителем. Выделившийся сероводород улавливали и определяли количество йодометрическим методом. По количеству выделенной с сероводородом серы рассчитывали количество глюкозинолатов в пересчете на глюкорафанин [3].

Получение водного экстракта проводили по разработанной методике: корнеплоды очищали, подвергали двукратному циклу замораживания-размораживания для увеличения выхода активного вещества из растительных клеток. Замораживание проводили при температуре минус  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  в течение 12 ч, размораживание – в течение 6 ч при комнатной температуре. Далее корнеплоды измельчали до состояния пюре, подогревали на водяной бане до  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  и оставляли на 60 мин для ферментации, в ходе которой под действием фермента миразиназы глюкорафанин переходит в сульфорафан. Далее

следует процесс сушки в конвекторной печи Snol до постоянного веса при температуре  $55 \pm 2^\circ\text{C}$ . Затем навеску репы, высушенной указанным способом, помещали в стеклянную стерильную колбу, добавляли экстрагент, в качестве которого использовали дистиллированную воду, и выдерживали в течение 24 ч при температуре  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  при постоянном перемешивании. Полученный экстракт отделяли путем фильтрования через бумажный фильтр под вакуумом. В экстракте определяли содержание глюкорафанина в соответствии с методом, описанным выше.

Для исследования влияния водного экстракта сульфорафана на процесс сквашивания молока и показатели качества готового продукта использовали лиофилизированную концентрированную закваску прямого внесения YO-MIX TM 305 LYO 250 DCU (Дания), в состав которой входят *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbuckii subsp. bulgaricus*.

В нормализованное до м.д.ж. 2,5% молоко вносили экстракт, количество которого варьировали от 3,5 до 17,5% (масс.) с шагом 3,5. Поскольку стремились получить эффект от употребления порции продукта, расчет вели на 200 мл продукта.

Расчет количества вносимого экстракта проводили, опираясь на результаты зарубежных исследователей, изучавших действие сульфорафана на линии клеток рака яичника мыши С3 и Т3. Было выявлено, что терапевтическая доза, обеспечивающая апоптозиндуцирующее действие, составляет 26 мг на 100 г продукта [12].

Контролем служил образец без добавления препарата. Продукт вырабатывали по технологии йогурта. Количество вносимой закваски составляло 3% от массы заквашиваемой смеси. Процесс сквашивания проводили при температуре  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 8 ч. Для анализа отбирали пробы продукта по достижении титруемой кислотности  $(80 \pm 5)^\circ\text{T}$ .

Влагоудерживающую способность сгустка и ферментированного продукта определяли методом центрифугирования по количеству выделившейся сыворотки за определенный период времени. 10 см<sup>3</sup> разрушенного сгустка вносили в центрифужную пробирку вместимостью 15 см<sup>3</sup> и центрифугировали при установленной частоте вращения в течение 30 мин, контролируя объем выделившейся сыворотки путем декантации ее в градуированную центрифужную пробирку через каждые 5 мин. По количеству выделившейся сыворотки судили о способности сгустков к влагоотдаче. Результаты выражали в процентах выделившейся сыворотки от общего объема образца.

Реологические исследования проводили с использованием ротационного вискозиметра «Реотест-2» (Германия). Образцы подвергали воздействию однородного поля сдвига при постоянном градиенте скорости сдвига, равном  $145,8 \text{ с}^{-1}$  в течение 2 мин, снимая показания прибора каждые 15 с. По результатам измерения коэффициента динамической вязкости в неразрушенной, разрушенной (через 2 мин) и восстановленной (после выдержки в течение 15 мин без нагрузки) структуре рассчитывали коэффициент потерь вязкости ( $\Pi\eta$ ), коэффициент механической стабильности (КМС) и коэффициент, характеризующий способность структуры к восстановлению после снятия нагрузки ( $V\eta$ ).

Органолептическую оценку образцов полученного продукта проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011.

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования было установлено, что наибольшее количество глюкорафанина ( $55 \pm 2,5 \text{ мг/100 г}$  продукта) содержится в репе сорта «Голден Болл». Однако в связи с тем, что сорт репы «Петровская-1» выращивается и поставляется в регионы Северо-Запада традиционно и по содержанию глюкорафанина незначительно отличается от сорта «Голден Болл» ( $51 \pm 2,5 \text{ мг/100 г}$  продукта), именно он был выбран в качестве источника сырья для дальнейших исследований.

Следующим этапом работы было получение водного экстракта сульфорафана, в котором определяли содержание глюкорафанина по описанному выше методу. Содержание сульфорафана рассчитывали в соответствии с уравнением материального баланса с учетом его молекулярной массы. В результате расчетов получили, что содержание сульфорафана в 1 г сухой биомассы репы составляет  $(35,2 \pm 0,4) \text{ мг}$ ; в 1 см<sup>3</sup> экстракта –  $(0,83 \pm 0,03) \text{ мг}$ .

На рисунке 2 приведены результаты изменения титруемой кислотности в процессе сквашивания молока с добавлением различного количества экстракта.

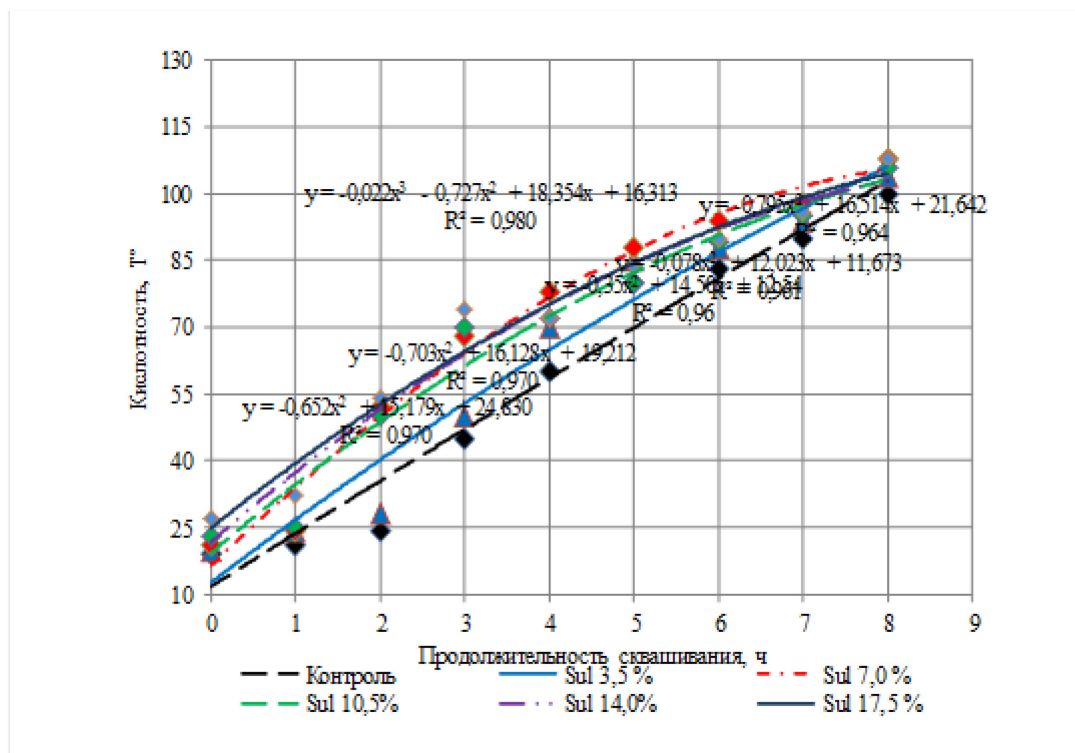


Рисунок 2 — Изменение титруемой кислотности образцов процессе сквашивания  
 Figure 2. Change in the titration acidity of the samples during fermentation

В процессе сквашивания коллоидная система молока претерпевает ряд изменений, которые связаны с накоплением молочной кислоты в системе в результате жизнедеятельности микроорганизмов закваски и нарастанием кислотности. В итоге образуется пространственная структура сгустка, характер которой определяет потребительские свойства продукта, поэтому важно знать, как будет вести себя готовый продукт при перемешивании, перекачивании, хранении и т.п. Для исследования поведения структуры полученных сгустков применяли реологические методы.

Полученные результаты показали, что внесение экстракта влияет на консистенцию продукта, делая ее более жидкой, чем в контрольном образце, о чем свидетельствует снижение абсолютного значения эффективной вязкости образцов (в неразрушенной структуре) по мере увеличения количества вносимого экстракта (таблица 1). Вряд ли можно говорить о наличии строгой зависимости структурно-механических показателей от количества вносимого экстракта, однако, тот факт, что степень восстановления структуры возрастает, очевиден. Визуальные наблюдения показали следующее: при хранении в течение 12 часов в условиях домашнего холодильника на поверхности образцов, начиная с третьего, отмечалось выделение сыворотки. Количество ее несколько возрастало с увеличением дозы вносимого экстракта. Однако после перемешивания сыворотка равномерно распределялась по объему сгустка, и ее последующего выделения не наблюдалось в течение нескольких часов, то есть можно предположить, что структура сгустка восстанавливалась, и сыворотка вновь связывалась и удерживалась белковыми элементами структурного каркаса сгустка.

Таблица 1 — Влияние дозы вносимого экстракта на структурно- механические показатели напитка  
 Table 1. The effect of the introduced extract dose on the structural and mechanical parameters of the drink

Количество внесенного экстракта, %	Показатели					
	Пη, %	КМС	Вη, %	вязкость структуры, Пас		
				неразрушенной	разрушенной	восстановленной
0 (контроль)	19,0	1,2	41,0	0,575	0,464	0,494
3,5	11,0	1,1	91,5	0,416	0,371	0,381
7,0	19,9	1,3	81,8	0,515	0,413	0,422
10,5	23,8	1,3	78,6	0,445	0,339	0,349
14,0	11,8	1,1	90,9	0,388	0,342	0,353
17,5	9,3	1,1	90,7	0,303	0,275	0,274

Исследование влагоудерживающей способности сгустков по методу центрифугирования показало, что при длительном механическом воздействии (центрифугирование при 1000 об/мин в течение 30 мин) наблюдается прямая зависимость между количеством внесенного экстракта и количеством выделившейся сыворотки, т. е. влагоудерживающая способность сгустков снижается (рисунок 3).

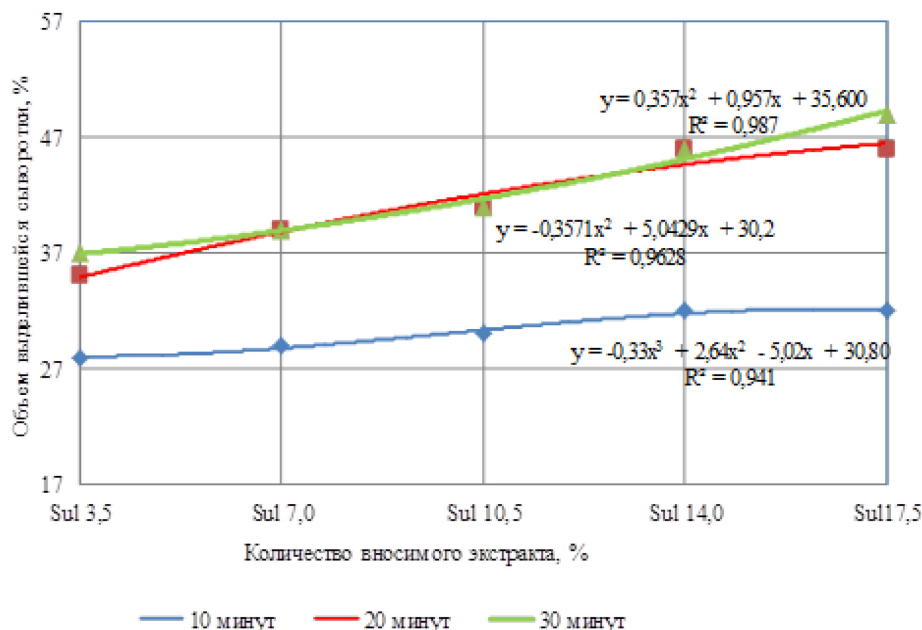


Рисунок 3 – Зависимость объема выделившейся сыворотки от дозы внесенного экстракта при различной продолжительности центрифугирования образцов

Figure 3. Dependence of the volume of the released serum on the dose of the introduced extract at different duration of the samples' centrifugation

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости применения щадящих режимов механического воздействия на продукт или введения дополнительного стабилизирующего фактора, например, внесения водосвязывающих компонентов.

Органолептическая оценка ферментированного напитка проводилась комиссией экспертов в составе 6 человек в соответствии с нижеизложенными требованиями к показателям готового продукта:

- ✓ внешний вид, консистенция: однородная, с ненарушенным сгустком при термостатном способе производства, в меру вязкая; однородная, с нарушенным сгустком, текучая, в меру вязкая – при резервуарном;
- ✓ вкус и запах: чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов;
- ✓ цвет: молочно-белый, однородный по всей массе.

Бальную оценку проводили с учетом цифровой дискретной интервальной шкалы, показывающей величину отклонения при оценке (таблица 2).

Таблица 2 – Цифровая дискретная интервальная шкала, характеризующая величину отклонения при оценке  
Table 2. Digital discrete interval scale characterizing the value of deviation in the assessment

Баллы	Устное описание
5	Нет отклонения от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
4	Минимальное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
3	Заметное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
2	Значительное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
1	Очень значительное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам

По органолептическим показателям сквашенная молочная смесь отличалась от контрольного образца, все образцы обладали однородной, вязкой консистенцией, однако с увеличением дозы

вносимого экстракта появлялся привкус, характерный для крестоцветных. На рисунке 4 показаны результаты органолептической оценки образцов с различным количеством вносимого наполнителя.

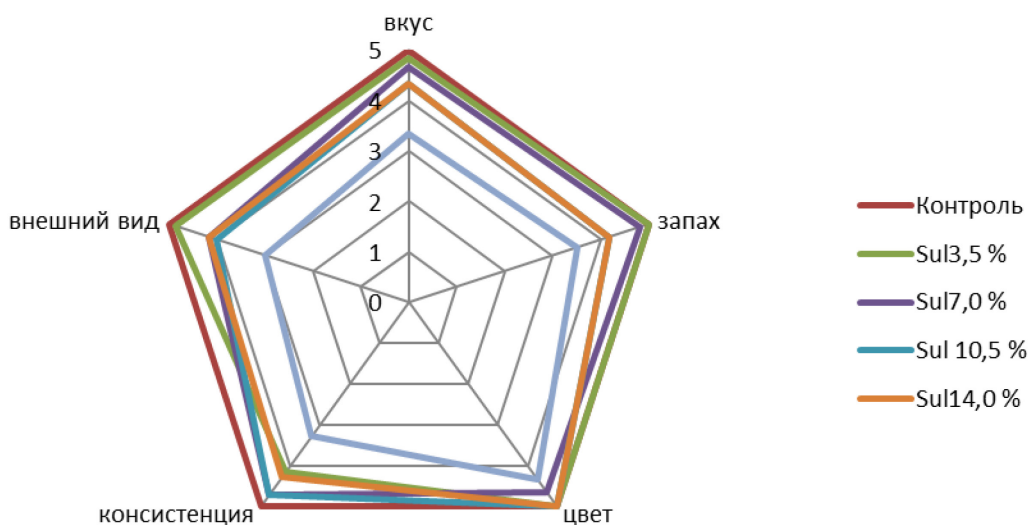


Рисунок 4 – Профилограмма образцов продукта с добавлением экстракта сульфорафана  
 Figure 4. Profilogram of product samples with the addition of sulforaphane extract

### Выводы

Показана целесообразность использования репы сорта «Петровская-1» в качестве источника вещества с онкопротекторными свойствами на основании его доступности и высокого содержания глюкорафанина — предшественника сульфорафана.

Выявлено, что внесение экстракта сульфорафана в молоко приводит к получению ферментированного продукта с однородной, но менее вязкой по сравнению с контролем консистенцией, однако, более выраженными тиксотропными свойствами. С увеличением дозы вносимого экстракта при опробовании продукта ощущалось легкое послевкусие, обусловленное природой вносимого наполнителя, что в целом не оказывало отрицательного влияния на восприятие продукта.

На основании полученных результатов можно рекомендовать вносить экстракт сульфорафана в молоко при производстве кисломолочного продукта в количестве от 3,5 до 17,5%. При этом максимальная дозировка позволяет обеспечить с порцией продукта (200 мл) поступление в организм терапевтической дозы сульфорафана, продукт с минимальной дозировкой может быть использован для профилактических целей.

### Литература

1. Каприна А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. (ред.) Состояние онкологической помощи населению России в 2018 году. М.: Моск. науч.-исслед. онкологический ин-т им. П.А. Герцена, 2019. 236 с.
2. Ларионова В.Б., Крысанов И.С., Снеговой А.В., Зейналова П.А., Крысанова В.С., Ермакова В.Ю. Рациональная тактика поддерживающей терапии анемии, индуцированной химиотерапией: фармакоэкономический анализ применения эритропоз-стимулирующих препаратов у пациентов с онкологическими заболеваниями в условиях здравоохранения Российской Федерации // Онкогематология. 2018. Т. 13. № 2. С. 48–61.
3. Белякова Т.Н., Забодалова Л.А., Шевченко М.Ю. Использование репы (*Brassica Rapa L.*) при производстве ферментированного напитка на молочной основе с онкопротекторными свойствами // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2018. № 3. С. 111–119.
4. Снеговой А.В., Салтанов А.И., Манзюк Л.В., Сельчук В.Ю. Нутритивная недостаточность и методы ее лечения у онкологических больных // Практическая онкология. 2009. Т. 10. № 1. С. 49–53.
5. Боев Р.С. Вещество с цитостатической и апоптозиндуцирующей активностью из корня лопуха // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 3. С. 119–122.
6. Корсун Е.В., Малышко М.А. История использования лекарственных растений в онкологии [Электронный ресурс] // Материалы 2-й Международной научно-практической конференции «Сопроводительная фитотерапия в онкологии» (Москва, 23 мая 2015 г.). С. 91–99. URL: <https://repository.rudn.ru/ru/recordsources/recordsource/5718>.
7. Антонцева Е.В., Белякова Т.Н., Забодалова Л.А., Шамцян М.М. Полисахариды вешенки в производстве йогурта // Молочная промышленность. 2019. № 2. С. 54–55.



8. *Facchini J.M. et al.* Antitumor activity of Pleurotus ostreatus polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014, V. 68, pp. 72–77.
9. *Cao X. Y. et al.* Antitumor activity of polysaccharide extracted from Pleurotus ostreatus mycelia against gastric cancer in vitro and in vivo. *Molecular Medicine Reports*. 2015. V. 12, no. 2, pp. 2383–2389.
10. De Souza C.G., Sattler J.A., de Assis A.M., et al. Metabolic effects of sulforaphane oral treatment in streptozotocin-diabetic rats. *J. Med. Food*. 2012. V. 15, no. 9, pp. 795–801.
11. Zhang Y., Talalay P., Cho C.G., et al. A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: isolation and elucidation of structure. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1992. V. 89, no. 6, pp. 2399–2403.
12. Tortorella S.M., Royce S.G., Licciardi P.V., Karagiannis T.C. Dietary sulforaphane in cancer chemoprevention: the role of epigenetic regulation and HDAC inhibition. *Antioxidants & Redox Signaling*. 2014, V. 22, no. 16, pp. 1382–1424.
13. Выращивание репы в открытом грунте, агротехника [Электронный ресурс] // Сад и Огород. URL: <http://ogorod23.ru/vyrashhivanie-repy/#vyrashhivanie-repy-optimalnye-usloviya> (дата обращения 15.05.2019).
14. *Белякова Т.Н., Шевченко М.Ю., Забодалова Л.А.* Применение растительных компонентов с онкопротекторными свойствами // Переработка молока. 2017. №. 12. С. 52–53.
15. *Дамодорян Ш., Паркин К.Л., Финнема О.Р.* Химия пищевых продуктов. СПб.: Профессия, 2012. 1040 с.
16. *Burmeister W.P., Cottaz S., Drigues H., Iori R., Palmieri S., Henrissat B.* The crystal structures of Sinapis alba myrazinase and a covalent glycosyl-enzyme intermediate provides insights into the substrate recognition and active-site machinery of an S-glucosidase. *Structure*. 1997, no.5, pp. 663–665.
17. Fahey J.W., Zalcmann A.T., Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*. 2001, V. 56, no. 1, pp. 5–51.
18. *Наймушина Л. В., Зыкова И. Д., Саторник А. Д.* Перспективность репы (*Brassica rapa L.*) в качестве источника ценных биологически активных веществ // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 4. С. 120–125.
19. Conaway C.C., Getahun S.M., Liebes L.L., et al. Disposition of glucosinolates and sulforaphane in humans after ingestion of steamed and fresh broccoli. *Nutr Cancer*. 2000, no. 38, pp. 168–178.
20. *Вешняков В.А., Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д.* Сравнение методов определения редуцирующих веществ: метод Берграна, эбулиостатический и фотометрический методы // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 47–50.

### References

1. Kaprina A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V. (Ed.) The status of cancer care for the population of Russia in 2018. Moscow, Mosc. scientific researcher oncological institute named after A.I. Herzen, 2019. 236 p. (*In Russian*).
2. Larionova V.B., Krysanov I.S., Snegova A.V., Zeynalova P.A., Krysanova V.S., Ermakova V.Yu. Rational tactics of maintenance therapy for chemotherapy-induced anemia: pharmacoeconomic analysis of the use of erythropoiesis-stimulating drugs in patients with cancer in the health care system of the Russian Federation. *Oncohematology*. 2018, V. 13, no. 2, pp. 48–61 (*In Russian*).
3. Belyakova T.N., Zabodalova L.A., Shevchenko M.Yu. The use of turnips (*Brassica Rapa l.*) in the production of a fermented milk-based drink with oncoprotective properties. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*. 2018, no. 3, pp. 111–119 (*In Russian*).
4. Snegovoy A.V., Saltanov A.I., Manzyuk L.V., Selchuk V.Yu. Nutritional deficiency and methods of its treatment in cancer patients. *Practical Oncology*. 2009, V. 10, no. 1, pp. 49–53 (*In Russian*).
5. Boev R.S. A substance with cytostatic and apoptosis-inducing activity of burdock root. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2005, no 3, pp. 119–122 (*In Russian*).
6. Korsun E.V., Malyshko M.A. The history of the use of medicinal plants in oncology. *Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Scientific-practical Conference "Accompanying herbal medicine in oncology"* (Moscow, May 23, 2015). pp. 91–99. URL: <https://repository.rudn.ru/ru/recordsources/recordsource/5718>. (*In Russian*).
7. Antontseva E.V., Belyakova T.N., Zabodalova L.A., Shamtsyan M.M. Oyster mushroom polysaccharides in yogurt production. *Dairy Industry*. 2019, no. 2, pp. 54–55 (*In Russian*).
8. *Facchini J.M. et al.* Antitumor activity of Pleurotus ostreatus polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014, V. 68, pp. 72–77.
9. *Cao X. Y. et al.* Antitumor activity of polysaccharide extracted from Pleurotus ostreatus mycelia against gastric cancer in vitro and in vivo. *Molecular Medicine Reports*. 2015. V. 12, no. 2, pp. 2383–2389.
10. De Souza C.G., Sattler J.A., de Assis A.M., et al. Metabolic effects of sulforaphane oral treatment in streptozotocin-diabetic rats. *J. Med. Food*. 2012. V. 15, no. 9, pp. 795–801.
11. Zhang Y., Talalay P., Cho C.G., et al. A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: isolation and elucidation of structure. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1992. V. 89, no. 6, pp. 2399–2403.
12. Tortorella S.M., Royce S.G., Licciardi P.V., Karagiannis T.C. Dietary sulforaphane in cancer chemoprevention: the role of epigenetic regulation and HDAC inhibition. *Antioxidants & Redox Signaling*. 2014, V. 22, no. 16, pp. 1382–1424.
13. Growing turnips in the open field, agricultural technology. *Garden*. URL: <http://ogorod23.ru/vyrashhivanie-repy/#vyrashhivanie-repy-optimalnye-usloviya> (accessed 15.05.2019).

14. Belyakova T.N., Shevchenko M.Yu., Zabodalova L.A. The use of plant components with oncoprotective properties. *Milk Processing*. 2017, no. 12, pp. 52–53 (In Russian).
15. Damodoryan S., Parkin K.L., Finnema O.R. *Chemistry of food*. St. Petersburg, Profession Publ., 2012. 1040 p. (In Russian).
16. Burmeister W.P., Cottaz S., Drigues H., Iori R., Palmieri S., Henrissat B. The crystal structures of Sinapis alba myrazinase and a covalent glycosyl-enzyme intermediate provides insights into the substrate recognition and active-site machinery of an S-glucosidase. *Structure*. 1997, no.5, pp. 663–665.
17. Fahey J.W., Zalcmann A.T., Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*. 2001, V. 56, no. 1, pp. 5–51.
18. Naimushina L.V., Zykova I.D., Satornik A.D. Prospects for turnips (*Brassica rapa L.*) as a source of valuable biologically active substances. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2016, no. 4, pp. 120–125 (In Russian).
19. Conaway C.C., Getahun S.M., Liebes L.L., et al. Disposition of glucosinolates and sulforaphane in humans after ingestion of steamed and fresh broccoli. *Nutr Cancer*. 2000, no. 38, pp. 168–178.
20. Veshnyakov V.A., Khabarov Yu.G., Kamakina N.D. comparison of reducing compounds determination methods: bertrand's method, ebulliostatical and photometrical methods. *Chemistry of Plant Materials*. 2008, no. 6, pp. 47–50 (In Russian).

Статья поступила в редакцию 25.07.2019