

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 615.322:581.19:635.11

**ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
ПИГМЕНТОВ КРАСНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ НАИБОЛЕЕ
УГРОЖАЮЩИХ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ****Колдаев В.М.***Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: info@biosoil.ru*

Беталаины являются природными пигментами красной свеклы, опунции и других растений порядка *Caryophyllales*, имеют высокую антиоксидантную активность, инактивируют активные формы кислорода, свободные радикалы и устраняют последствия окислительного стресса. Беталаины применяются в медицине сравнительно недавно. Целью работы являются обзор и анализ публикаций по лечебно-профилактическим возможностям малоизученных антиоксидантов беталаинов при угрожающих патологических состояниях. Для достижения цели в библиографических базах Scopus, Medline, Google Scholar просмотрено 158 источников за последние 10 лет, для анализа из них выбрано 35 наиболее валидных публикаций. Проведенный анализ показывает, что беталаины и фитопрепараты красной свеклы эффективны в коррекции метаболических нарушений сахарного диабета 2-го типа, снижают риски сердечно-сосудистых заболеваний. Обогащенная беталаинами диета оказывает широкий спектр противоракового действия. Беталаины защищают от окислительных повреждений дофаминергические нейроны головного мозга и уменьшают тяжесть нейродегенеративных расстройств при болезнях Альцгеймера и Паркинсона. В отличие от других известных антиоксидантов (антоцианов и каротиноидов) беталаины широко распространены, малотоксичны, обладают высокой биодоступностью из-за хорошей растворимости в воде, имеют сравнительно низкую стоимость. Кроме того, беталаины являются, по существу, единственными диетическими поставщиками оксида азота – важнейшего компонента в регуляции обменных процессов. Беталаины являются многообещающими агентами терапии нарушений, связанных с окислительным стрессом, их целесообразно включать в пищевую промышленность и смежные отрасли, что может снизить риски угрожающих заболеваний. Вместе с тем, беталаины малоустойчивы, подвергаются деградации при переработке и хранении растительного сырья. Динамика беталаинов в организме человека изучена недостаточно полно. В будущем необходимы разработки щадящих технологий беталаинсодержащих фитопрепаратов и определения их фармакодинамических параметров.

Ключевые слова: антиоксидант, антоциан, каротиноид, беталаин, оксидативный стресс*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200183-8).***THERAPEUTIC AND PREVENTIVE EFFECTS OF RED BEET PIGMENTS
IN THE MOST THREATENING PATHOLOGICAL CONDITIONS****Koldaev V.M.***Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: info@biosoil.ru*

Betalains are natural pigments of red beets, prickly pears and other plants of the order *Caryophyllales*; they have high antioxidant activity, inactivate reactive oxygen species, free radicals and eliminate the effects of oxidative stress; they have recently been used in medicine. The purpose of the work is to review and analyze publications on the therapeutic and preventive capabilities of little-studied antioxidants betalains in threatening pathological conditions. To achieve the goal, 158 sources over the past 10 years were reviewed in the bibliographic databases Scopus, Medline, Google Scholar, 35 of the most valid publications were selected for analysis. The analysis shows that betalains and red beet herbal remedies are effective in correcting metabolic disorders of type 2 diabetes mellitus and reducing the risks of cardiovascular diseases. A diet enriched with betalains has a wide range of anticancer effects. Betalains protect dopaminergic neurons of the brain from oxidative damage and reduce the severity of neurodegenerative disorders in Alzheimer's and Parkinson's diseases. Unlike other known antioxidants, anthocyanins and carotenoids, betalains are widely distributed, have low toxicity, have high bioavailability due to their good solubility in water and have a relatively low cost. In addition, betalains are essentially the only dietary suppliers of nitric oxide, the most important component in the regulation of metabolic processes. Betalains are promising agents for the treatment of disorders associated with oxidative stress, and it is advisable to include them in the food industry and related industries, which can reduce the risks of threatening diseases. At the same time, betalains are not very stable and are subject to degradation during processing and storage of plant materials. The dynamics of betalains in the human body have not been fully studied. In the future, it is necessary to develop gentle technologies for betalain-containing herbal remedies and determine their pharmacodynamic parameters.

Keywords: antioxidant, anthocyanin, carotenoid, betalain, oxidative stress*The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 124012200183-8).*

Одно из важнейших мест в жизненных процессах занимает окислительно-восстановительный динамический гомеостаз, а его сдвиги в неблагоприятных условиях сопровождаются окислительным стрессом (ОС) – причиной большинства патологических состояний [1]. Коррекция последствий ОС природными антиоксидантами (антоцианами и каротиноидами) составляет основу лечебно-профилактических (ЛП) стратегий хронических заболеваний [2].

В последние годы показано, что, кроме указанных антиоксидантов, антиоксидантную активность (АОА) проявляют также водорастворимые азотсодержащие растительные пигменты беталаины, впервые выделенные из корнеплодов красной свеклы обыкновенной *Beta vulgaris* (отсюда и тривиальное их название) [3]. Беталаины синтезируются в растениях на основе беталамовой кислоты с включением азотистого ядра в двух модификациях: фиолетово-бордовых бетацианинов и желтых бетаксантинов; идентифицировано 78 их разновидностей в растениях 17 семейств порядка гвоздикоцветных *Caryophyllales* и в некоторых высших грибах [4]. Первые же результаты экспериментов на животных и клинических наблюдений продемонстрировали многообещающие перспективы беталаиновой терапии [5, 6].

Однако лечебные свойства беталаинов изучены еще недостаточно полно, а научные сообщения о них размещены в многочисленных разрозненных изданиях, при этом затрудняется сравнительно-обобщенное представление об их ЛП возможностях в практической медицине, что и послужило поводом для проведения настоящего обзора.

Целью работы являлись обзор и анализ публикаций о лечебных и профилактических возможностях малоизученных антиоксидантов беталаинов при угрожающих патологических состояниях.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели было рассмотрено 158 источников за последние 10 лет в библиографических базах данных Scopus, Medline, Google Scholar, для анализа отобрано 35 наиболее валидных публикаций.

Безусловно, первоочередной интерес представляют ЛП мероприятия, направленные на снижение рисков наиболее угрожающих патологических состояний. Среди них, по-видимому, можно выделить (не считая травм и инфекций) сердечно-сосудистые, легочные и онкологические заболевания, деменции, сахарный диабет [7], а также поражения почек, ЛП эффектам беталаинов относительно которых в основном и посвящен настоящий обзор.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный обзорный анализ показывает, что в ЛП практике сердечно-сосудистых заболеваний беталаины имеют двойное значение: во-первых, как антиоксиданты они корректируют последствия ОС, и, во-вторых, являются единственными природными пищевыми поставщиками оксида азота (NO) [8], играющего решающую роль в регуляции многих физиологических процессов, в частности сердечно-сосудистого гомеостаза [9]. Действительно, у пациентов, например, с ишемической болезнью сердца, получавших богатые беталаинами пищевые добавки из красной свеклы и опунции (*Opuntia stricta*), улучшалось самочувствие [10], снижалось содержание общего холестерина, триглицеридов и липопротеидов низкой плотности в крови, а также нормализовалось артериальное давление [11] и уменьшалась жесткость сосудов [12], что, по-видимому, дает основания рассматривать указанные пигменты как новые средства ЛП мероприятий сердечно-сосудистых заболеваний.

Применение беталаинов в лечении заболеваний легких только начинает изучаться. На животных моделях получено, что беталаины эффективно снижают инфильтрацию воспалительных клеток в лаважной жидкости, уровни иммуноглобулинов IgE и цитокинов у мышей, страдающих астмой [13]. Вместе с тем, однако, в других работах показано [14], что свекольный сок в эксперименте усугубляет астму и усиливает воспаление бронхов, но для здоровых животных безопасен и не влияет на состояние дыхательных путей, при этом рекомендуется при легочной астме избегать употребления свеклы. Указанные противоречия, возможно, обусловлены недостаточностью экспериментальной базы; во всяком случае, применимость беталаинов при легочной астме требует дальнейших уточнений, расширенных экспериментальных исследований и клинических наблюдений.

Беталаины оказывают также ЛП действие при токсических деструктивных процессах легких и нарушениях обменных процессов, о чем свидетельствуют, например, полученные на животной модели данные [15] о защите легких беталаинами при поражениях паракватом (N,N'-диметил-4,4'-дипиридила дихлорид, 20 мг/кг веса, внутривенно однократно). Применение бетанина (25 и 100 мг/кг перорально за 3 дня до и через 2 дня после введения параквата) сопровождалось дозозависимым значительным снижением выраженности

гистологических изменений, соотношений масс легких, проницаемости и нейтрофильной инфильтрации легочной ткани, активностей малонового диальдегида, милопероксидазы и супероксиддисмутазы, а также уровней прогностического белка клаудина-4, провоспалительных цитокинов (TNF)- α и IL-10, универсального каппа-фактора транскрипции за счет антиоксидантных и противовоспалительных механизмов. Судя по приведенным данным, бетанины как вспомогательные средства, а столовая свекла как функциональный продукт питания, вероятно, полезны при лечебной коррекции в случаях острых химических повреждений легких.

Онкологические проблемы усложняются высокой токсичностью традиционных химиотерапевтических средств, что вызывает необходимость поиска новых – малотоксичных, но в то же время подавляющих канцерогенез лекарственных средств. Одной из причин канцерогенеза является ОС. Различные антиоксиданты, в том числе и пигменты красной свеклы, на нескольких линиях раковых клеток *in vitro* продемонстрировали высокий химиопротективный потенциал. В частности, показано [16], что свекольный сок (79,3 мг/100 мл бетаксантинов и 159,6 мг/100 мл бетацианинов) защищает от канцерогенеза, вызываемого пищевым N-нитрозодиэтиламином, присутствующим часто в рыбных и мясных копченостях, и при этом значительно снижает повреждение ДНК в лейкоцитах крови; суммарные пигменты красной свеклы ингибируют индукцию опухолей легких, кожи, печени и пищевода и активируют апоптоз [17], что вместе взятое указывает на перспективность использования беталаинов в качестве химиопротективных средств разных видов рака.

Перепроизводство или внедрение в организм свободных радикалов извне сопровождается ОС, повреждением дофаминергических нейронов головного мозга, нарушениями работы центральной нервной системы и, как следствие (особенно в старческом возрасте) – прогрессирующей деменцией, расстройствами умственных, когнитивных функций, при этом антиоксиданты служат основными агентами ликвидации последствий ОС [18, 19]. В эксперименте на животных моделях нейродегенерации показано [20], что беталаины (10–20 мг/кг ежедневно в течение четырех недель) снижают выраженность повреждений головного мозга, расстройств памяти и другой симптоматики, сходной с болезнью Альцгеймера, повышают способность к обучению и снижают уровни перекисного окисления

липидов, а экстракты из плодов опунции (*Opuntia ficus-india*) проявляют нейротерапевтическую эффективность благодаря нейромодулирующим свойствам [21]. Беталаины, инактивируя свободные радикалы и активные формы кислорода, предохраняют от окислительного повреждения дофаминергические нейроны, могут составлять основу ЛП мероприятий деменции.

По данным нефрологических клинических наблюдений сообщается, что применение беталаинов способствует предотвращению возникновения и прогрессирования нефритов и улучшает общее состояние пациентов [22], а «свекольная» диета улучшает клинику при хронической почечной недостаточности [23]. По-видимому, указанные агенты – перспективные терапевтические инструменты при нефропатологиях разной этиологии.

Комплекс нарушений обменных процессов, или метаболический синдром (МС), обычно неразрывно связанный с ОС, нередко сопровождается сахарным диабетом второго типа (СД2) и снижением качества жизни [24]. В литературе [25] имеются указания, что беталаины красной свеклы уменьшают выраженность МС, снижают гликемию на 40% и уменьшают риски развития СД2. Однако красная свекла содержит сахара в довольно высоких концентрациях, поэтому употребление самих корнеплодов свеклы, водных экстрактов или сока из них при СД2 совершенно противопоказано. Для устранения этого недостатка предлагается [26] продукты красной свеклы предварительно сбавивать для освобождения от сахаров; указывается, что при этом уменьшение содержания бетацианинов и бетаксантинов невелико, не превышает 5,1 и 2,6% соответственно. Выявление возможностей применения для лечения СД2 беталаинов в «чистом виде» требует, по-видимому, специальных исследований.

Относительно применения свекольных пигментов при «не остро угрожающих» состояниях сообщается, что, например, обогащенные беталаинами пищевые добавки повышают остроту зрения и оказывают защитные эффекты от глаукомы [27]. Небезынтересно для спортсменов также отметить, что потребление концентрата сока красной свеклы (100 мг внутрь в течение шести дней) улучшает достижения легкоатлетов на дистанции 5 км [28], а беталаины, как известно, не считаются допингом.

Широта терапевтического действия беталаинов сочетается с чрезвычайно низкой токсичностью. Фармакокинетические исследования на добровольцах, получавших внутрь 500 г мякоти плодов кактусовой

груши, содержащей 28 мг индиаксантина и 16 мг бетанина, показали, что максимальные концентрации беталаинов в плазме крови достигаются через 3 ч, а снижение до «следовых» количеств – через 12 ч после приема [29]. Здоровым людям с профилактической целью рекомендуется ежедневная доза беталаинов 50–100 мг [30].

Однако беталаины, как и многие другие антиоксиданты, чувствительны к теплу и кислороду, разрушаются или деградируют, хотя и не так быстро, как, скажем, антоцианы, при хранении растительного сырья, что требует поиска специальных технологических приемов его переработки [31].

Сравнительный анализ ЛП эффектов показывает, что беталаины и фитопрепараты красной свеклы оказывают аналогичное по сравнению с другими известными антиоксидантами (антоцианами [18] и каротиноидами [32]) действие в отношении наиболее угрожающих заболеваний, за исключением случаев с астмой, где имеется еще много неясностей, и СД2, при котором противопоставлен сахар свеклы. В остальном беталаины и обогащенные ими продукты нетоксичны и являются многообещающей альтернативой дополнительной терапии заболеваний, связанных с ОС [33]. Хотя беталаины и уступают антоцианам и каротиноидам по своей АОА [34], но имеют более широкую распространенность, высокую биологическую доступность в связи с хорошей растворимостью в воде и сравнительно низкую стоимость. Столовая красная свекла – неприхотливая, довольно урожайная («Бордо односемянная» дает до 470 ц/га), экономически эффективная сельскохозяйственная культура с высокой лежкоспособностью корнеплодов [35]. Мировой рынок свекольного сока возрастает ежегодно в среднем на 5%, и эта тенденция, по мнению специалистов, довольно устойчива, а употребление препаратов из красной свеклы одобрено Европейским управлением по безопасности пищевых продуктов и Управлением по контролю за продуктами и лекарствами США [8].

Выводы

Свекла является доступным источником группы биологически активных соединений, демонстрирующих широкий спектр полезных для здоровья свойств – противовоспалительную, антиоксидантную и химиопротекторную активности; кроме того, беталаины являются единственными пищевыми поставщиками оксида азота – важнейшего компонента в регуляции многих обменных процессов и сердечной деятельности. Тем не менее, остаются еще недостаточно изученными вопросы, связан-

ные, например, с фармакодинамикой разных беталаинов, что необходимо для более глубокого понимания их биологических функций. Недостаточно изучена сравнительная эффективность беталаинов относительно соответствующих известных фармакопейных препаратов и слабо разработаны эффективные щадящие технологии создания беталаинсодержащих фитопрепаратов.

1. Благодаря токсикологической безопасности, доступности, низкой цене и благоприятному воздействию на здоровье целесообразно включение беталаинов в пищевую промышленность и смежные отрасли, что способствует преодолению рисков наиболее угрожающих патологических состояний.

2. Дальнейшие исследования беталаинов должны быть направлены на изыскание фармакокинетических и фармакодинамических параметров беталаиновой терапии.

Список литературы

1. Sies H., Berndt C., Jones D.P. Oxidative stress // Annual review of biochemistry. 2017. Vol. 86. No 1. P. 715-748. DOI: 10.1146/annurev-biochem-061516-045037.
2. Zhang Y-J., Gan R-Y., Li S., Zhou Y., Li A-N., Xu D-P., Li H-B. Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases // Molecules. 2015. Vol. 20. No. 12. P. 21138-21156. DOI: 10.3390/molecules201219753.
3. Khan M.I., Giridhar P. Plant betalains: chemistry and biochemistry // Phytochemistry. 2015. Vol. 117. P. 267-295. DOI: 10.1016/j.phytochem.2015.06.008.
4. Slimen I.B., Najar T., Abderrabba M. Chemical and antioxidant properties of betalains // Journal of agricultural and food chemistry. 2017. Vol. 65. No. 4. P. 675-689. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04208.
5. Kaur G., Thawkar B., Dubey S., Jadhav P. Pharmacological potentials of betalains // Journal of complementary and integrative medicine. 2018. Vol. 15. No. 3. P. 1-9. DOI: 10.1515/jcim-2017-0063.
6. Gengatharan A., Dykes G.A., Choo W.S. Betalains: natural plant pigments with potential application in functional foods // LWT – Food science and technology. 2015. Vol. 64. No. 2. P. 645-649. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.06.052.
7. Global, regional, and national age–sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 // The Lancet. 2015. Vol. 385. No. 9963. P. 117–171. DOI: 10.1016/s0140-6736(14)61682-2.
8. Milton-Laskibar I., Martínez J.A., Portillo M.P. Current knowledge on beetroot bioactive compounds: Role of nitrate and betalains in health and disease // Foods. 2021. Vol. 10. No. 6. P. 1314. DOI: 10.3390/foods10061314.
9. Farah C., Michel L.Y.M., Balligand J.-L. Nitric oxide signalling in cardiovascular health and disease // Nature reviews cardiology. 2018. Vol. 15. P. 292–316. DOI: 10.1038/nrcardio.2017.224.
10. Rahimi P., Mesbah-Namin S.A., Ostadrahimi A., Separham A., Jafarabadi M.A. Betalain- and betacyanin-rich supplements' impacts on the PBMC SIRT1 and LOX1 genes expression and Sirtuin-1 protein levels in coronary artery disease patients: A pilot crossover clinical trial // Journal of functional foods. 2019. Vol. 60. P. 103401. DOI: 10.1016/j.jff.2019.06.003.
11. Rahimi P., Mesbah-Namin S.A., Ostadrahimi A., Separham A., Jafarabadi M.A. Effects of betalains on atherogenic risk factors in patients with atherosclerotic cardiovascular disease //

- Food and Function. 2019. Vol. 10. No. 12. P. 8286-8297. DOI: 10.1039/c9fo02020A.
12. Cheok A., George T.W., Rodriguez-Mateos A., Caton P.W. The effects of betalain-rich cacti (dragon fruit and cactus pear) on endothelial and vascular function: a systematic review of animal and human studies // Food and Function. 2020. Vol. 10. No. 1039.D0FO00537A. DOI: 10.1039/d0fo00537A.
13. Dai R., Wang Y., Wang N. Betalain alleviates airway inflammation in an ovalbumin-induced-asthma mouse model via the TGF- β 1/Smad signaling pathway // Journal of environmental pathology, toxicology and oncology. 2021. Vol. 40. No. 2. P. 11-21. DOI: 10.1615/JEnvironPatholToxicolOncol.2021037050.
14. El-Elimat T., Al-Khawlani A.R., Al-Sawalha N.A., Sa'ed M.M., Al-Qiam R., Al A.H., Sharie A.H., Qinna N.A. The effect of beetroot juice on airway inflammation in a murine model of asthma // Food biochemistry. 2022. Vol. 46, No. 12. e14381. DOI: 10.1111/jfbc.14381.
15. Han J., Ma D., Zhang M., Yang X., Tan D. Natural antioxidant betanin protects rats from paraquat-induced acute lung injury interstitial pneumonia // Biomed research international. 2015. Vol. 2015. No. ID 608174. DOI: 10.1155/2015/608174.
16. Tan M.L., Shahrul B., Sahul H. Beetroot as a potential functional food for cancer chemoprevention, a narrative review // Journal of cancer preventive. 2021. Vol. 26. No. 1. P. 1-17. DOI: 10.15430/JCP.2021.26.1.1.
17. Lechner J. F., Stoner G. D. Red beetroot and betalains as cancer chemo-preventative agents // Molecules. 2019. Vol. 24. No. 8. P. 1602-1614. DOI: 10.3390/molecules24081602.
18. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Антоцианы в практической медицине // Тихоокеанский медицинский журнал. 2021. № 3. С. 24-28. DOI: 10.34215/1609-1175-2021-3-24-28.
19. Uttara B., Singh A.V., Zamboni P., Mahajan R.T. Oxidative stress and neurodegenerative diseases: A review of upstream and downstream antioxidant therapeutic options // Current neuropharmacology. 2009. Vol. 7. No. 1. P. 65-74.
20. Di S., Yu M., Guan H., Zhou Y. Neuroprotective effect of betalain against $A\beta$ -induced Alzheimer's disease in Sprague Dawley rats via putative modulation of oxidative stress and nuclear factor kappa B (NF- κ B) signaling pathway // Biomedicine and pharmacotherapy. 2021. Vol. 137. No. 111369. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.111369.
21. Allegra M., Tutone M., Tesoriere L., Almerico A.M., Culetta G., Livrea M.A., Attanzio A. Indicaxanthin, a multi-target natural compound from *Opuntia ficus-indica* fruit: From its poly-pharmacological effects to biochemical mechanisms and molecular modelling studies // European journal of medicinal chemistry. 2019. Vol. 179. No. 1. P. 753-764. DOI: 10.1016/j.ejmech.2019.07.006.
22. Avila-Carrasco L., García-Mayorga E.A., Díaz-Avila D.L., Garza-Veloz I., Martínez-Fierro M.L., González-Mateo G.T. Potential Therapeutic effects of natural plant compounds in kidney disease // Journals molecules. 2021. Vol. 26. No. 20. 6096. DOI: 10.3390/molecules26206096.
23. Moreira L.S.G., Fanton S., Cardozo L., Borges N.A., Combet E., Shiels P.G., Stenvinkel P., Mafra D. Pink pressure: beetroot (*Beta vulgaris rubra*) as a possible novel medical therapy for chronic kidney disease // Nutrition Reviews. 2022. Vol. 80, No. 5. P. 1041-1061. DOI: 10.1093/nutrit/nuab074.
24. Haswell C., Ali A., Page R., Hurst R., Rutherford-Markwick K. Potential of beetroot and blackcurrant compounds to improve metabolic syndrome risk factors // Metabolites. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 338. DOI: 10.3390/metabo11060338.
25. Madadi E., Mazloum-Ravasan S., Yu J.S., Ha J.W., Hamishehkar H., Kim K.H. Therapeutic application of betalains: A review // Plants. 2020. Vol. 9. No. 1219. DOI: 10.3390/plants9091219.
26. Dygas D., Nowak S., Olszewska J., Szymańska M., Mroczynska-Florczak M., Berłowska J., Dziugan P., Kręgiel D. Ability of yeast metabolic activity to reduce sugars and stabilize betalains in red beet juice // Fermentation. 2021. Vol. 7. No. 105. P. 1-14. DOI: 10.3390/fermentation7030105.
27. Gahlawat I.N. Emerging new insights into significance and applications of plant pigments // Journal of integrated science and technology. 2019. Vol. 7. No. 2. P. 29-34.
28. Hoorebeke J.S., Trias C.O., Davis B.A., Lozada C.F., Casazza G.A. Betalain-rich concentrate supplementation improves exercise performance in competitive runners // Sports. 2016. Vol. 4. No. 3. P. 40-49. DOI: 10.3390/sports4030040.
29. Tesoriere L., Allegra M., Butera D., Livrea M. Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans // The american journal of clinical nutrition. 2004. vol 80. No. 4. P. 941-945. DOI: 10.1093/ajcn/80.4.941.
30. Khan M.I. Plant betalains: safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2016. Vol. 15. No. 3. P. 316-330. DOI: 10.1111/1541-4337.12185.
31. Fu Y., Shi J., Xie S.-Y., Zhang T.-Y., Soladoye O.P., Aluko R.E. Red beetroot betalains: perspectives on extraction, processing, and potential health benefits // Agricultural and food chemistry. 2020. Vol. 68. No. 42. P. 11595-1611. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c04241.
32. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Каротиноиды в практической медицине // Тихоокеанский медицинский журнал. 2022. № 1. С. 65-71. DOI: 10.34215/1609-1175-2022-1-65-71.
33. Rahimi P., Abedimanesh S., Mesbah-Namin S.A., Ostadrahimi A. Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases // Critical reviews in food science and nutrition. 2019. Vol. 59. No. 18. P. 2949-2978. DOI: 10.1080/10408398.2018.1479830.
34. Cai Y., Sun M., Corke H. Antioxidant activity of betalains from plants of the *Amaranthaceae* // Journal of agricultural and food chemistry. 2003. Vol. 51. No. 8. P. 2288-2294. DOI: 10.1021/jf030045u.
35. Малхасян А.Б. Урожайность и качество продукции сортов свеклы столовой в условиях Псковской области // Известия великолукской ГСХА. 2018. № 2. С. 8-13.