

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ И БИОХИМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМАХ ВЛИЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ЗЕЛЕННОГО И ЧЕРНОГО ЧАЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Цикуниб А.Д., Шестопалова Д.И.

ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», Майкоп, e-mail: cikunib58@mail.ru

**Аннотация.** Целью обзора явился анализ современных представлений об особенностях и биохимических механизмах влияния биологически активных веществ зеленого и черного чая на организм человека. Поиск научных данных проведен по открытым электронным наукометрическим базам данных eLIBRARY и PubMed. Глубина поиска – 2018–2023 гг. Показано, что современные исследования влияния БАВ чая на функциональные возможности организма и здоровье человека можно классифицировать по двум направлениям: 1) исследования, посвященные изучению положительного влияния БАВ и 2) исследования, посвященные изучению негативного влияния БАВ чая при его избыточном потреблении. Выявлены особенности и обсуждены биохимические механизмы как позитивного, так и негативного влияния БАВ зеленого и черного чая на функциональные возможности и здоровье человека в зависимости от уровня потребления. Показано, что ПФО-ферментация как метод обработки чая существенно влияет на химический состав и функциональные свойства черного чая, делая его более безопасным, чем зеленый ферментированный чай. Заключается, что различия в химическом составе и функциональной активности БАВ зеленого и черного чая определяют необходимость подбора как вида чая, так и оптимальных уровней его потребления в зависимости от индивидуальных особенностей и функционального состояния организма.

**Ключевые слова:** зеленый чай, черный чай, функциональные свойства БАВ чая, ПФО-ферментация, позитивное влияние чая, негативное влияние чая

## MODERN VIEWS ABOUT THE FEATURES AND BIOCHEMICAL MECHANISMS OF THE INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF GREEN AND BLACK TEA ON FUNCTIONAL CAPABILITIES AND HUMAN HEALTH

Tsikunib A.D., Shestopalova D.I.

Adyghe State University, Maykop, e-mail: cikunib58@mail.ru

**Annotation.** The purpose of the review was to analyze modern ideas about the characteristics and biochemical mechanisms of the influence of biologically active substances of green and black tea on the human body. The search for scientific data was carried out using open electronic scientometric databases eLIBRARY and PubMed. Search depth – 2018–2023 It is shown that modern research into the influence of biologically active substances in tea on the functionality of the body and human health can be classified in two directions: 1) studies devoted to the study of the positive effects of biologically active substances and 2) studies devoted to the study of the negative effects of biologically active substances in tea when consumed in excess. The features and biochemical mechanisms of both positive and negative effects of biologically active substances of green and black tea on human functionality and health, depending on the level of consumption, have been identified and discussed. It has been shown that PPO fermentation, as a tea processing method, significantly affects the chemical composition and functional properties of black tea, making it safer than unfermented green tea. It turns out that differences in the chemical composition and functional activity of biologically active substances in green and black tea determine the need to select both the type of tea and the optimal levels of its consumption, depending on the individual characteristics and functional state of the body.

**Keywords:** green tea, black tea, functional properties of biologically active substances in tea, PPO fermentation, positive effects of tea, negative effects of tea

Одним из наиболее популярных напитков во всем мире является чай, который производится из обработанных листьев чайного растения (*Camellia sinensis*). В зависимости от биотехнологии производства существуют различные типы чая, наиболее распространенными из которых являются зеленый (неферментированный) и черный (ферментированный) [1]. Степень ферментации зеленого чая (ЗЧ) составляет не более 3–12%, а черного чая (ЧЧ) – 70–85%. Ферментация чая происходит под действием

полифенолоксидазы (ПФО-ферментация), которая окисляет полифенолы до о-хинонов с образованием соответствующих окрашенных продуктов реакции. Общее содержание полифенолов в зеленом и черном чаях практически одинаково, однако под воздействием процесса обработки присутствуют разные типы флавоноидов [2]. Так, основными биологически активными веществами (БАВ) ЗЧ являются катехины: эпикатехин (ЭК), эпикатехин-3-галлат (ЭКГ), эпигаллокатехин (ЭГК) и эпигаллокатехин-

3-галлат (ЭГКГ), с преобладанием ЭГКГ [3, 4], а основными БАВ ЧЧ являются теафлавины (ТФ) и крупные полимерные соединения, такие как теарубигины (ТР) [5]. ТФ и ТР способствуют уникальному вкусу и цвету ЧЧ благодаря содержащимся в них бензотрополон-связанным гетеродимерам катехинов [6]. Из-за своей более высокой молекулярной массы ТР недостаточно исследованы химически и биохимически. По сравнению с ЗЧ, ЧЧ содержит меньшее количество мономерных полифенолов и большее количество полимерных соединений [7]. Изучению биохимических механизмов влияния БАВ на функциональные свойства ЗЧ и ЧЧ в научной литературе уделяется все большее внимание, однако накопленная информация требует более четкой систематизации в части как позитивного, так и возможного негативного влияния ЧЧ и ЗЧ на организм человека, что определило актуальность, цель и задачи нашего исследования. Цель исследования – анализ и систематизация современных представлений об особенностях и биохимических механизмах влияния биологически активных веществ зеленого и черного чая на организм человека.

#### **Материалы и методы исследования**

Поиск научных данных проведен по открытым электронным базам данных eLIBRARY и PubMed. Для поиска использовали ключевые слова. Глубина поиска – 2017–2023 гг. Для проведения анализа и оценки литературных данных были определены критерии включения источников в исследование и исключения из исследования. Критерии включения источников в исследование: наличие полнотекстовых источников. Критерии исключения источников из исследования: исследования, направленные на изучение других видов чая; исследования, имеющие признаки «дублирования». В случае обнаружения «дублирующих» статей выбирали более поздний по дате публикации источник.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Благодаря высокому уровню содержания и разнообразию БАВ разные виды чая, как зеленый, так и черный, оказывают существенное влияние на функциональные возможности организма и здоровье человека (рис. 1, а и б).

Сравнительный анализ показывает, что и ЗЧ, и ЧЧ в той или иной степени обладают противораковой активностью, что обусловлено ингибированием под действием ЭГКГ пролиферации и метастазирования

опухоли, стимулированием им клеточного апоптоза и подавлением мутагенов [8], а кофеин также может оказывать ингибирующее действие на рост опухолевых клеток, увеличивая внутриклеточный цАМФ [9]. У женщин в постменопаузе БАВ ЗЧ могут снизить риск рака щитовидной железы [10]. Биохимической основой антиоксидантной активности как ЗЧ, так и ЧЧ является снижение под действием катехинов уровня АФК, усиление активности антиоксидантных ферментов, включая супероксиддисмутазу в печени [11]. По данным Fu Q.U. с соавт. [12] флавоноиды ЗЧ и ЧЧ снижают риск развития СД2, имитируя действие инсулина, а ЭГКГ предотвращает повреждение бета-клеток поджелудочной железы. БАВ чая снижают риск алиментарного ожирения: катехины усиливают окисление жиров, а полифенолы подавляют аппетит и снижают усвоение питательных веществ из рациона за счет подавления активности генов, кодирующих синтез орексигенных факторов; способствуют преимущественному поступлению глюкозы в мышцы для использования в качестве источника энергии [13]. Полифенолы чая обладают антимикробной активностью [14], ингибируя синтез жирных кислот клеточной стенки бактерий, способствуют разрушению клеточной мембраны микробов. Теафлавины ЧЧ благодаря большому количеству ОН-групп проявляет хелатирующую активность к ионам тяжелых металлов, в частности ионам меди [15]. Несмотря на то, что эффекты позитивного влияния на функциональные возможности организма и здоровье человека БАВ ЗЧ и ЧЧ схожи, все же большинство авторов признают, что из всех видов чая ЗЧ обладает лучшим антиоксидантным эффектом, а ЧЧ – лучшей хелатирующей активностью.

Чай является полезным напитком, но при условии адекватного потребления. Недавние исследования показывают, что после приема большого количества чая, особенно ЗЧ (более 3–5 чашек/день), появляются нежелательные побочные эффекты из-за негативного влияния высокого уровня БАВ на функциональные возможности и здоровье человека (рис. 2, а и б).

При высоких концентрациях катехинов чая проявляют цитотоксичность, преимущественно гепатотоксичность [16], что обусловлено образованием активных форм кислорода и разрушением митохондриальных мембран, сопровождающихся воспалительными инфильтратами, некрозом и стеатозом, выраженным повышением уровня ферментов печени в сыворотке крови.

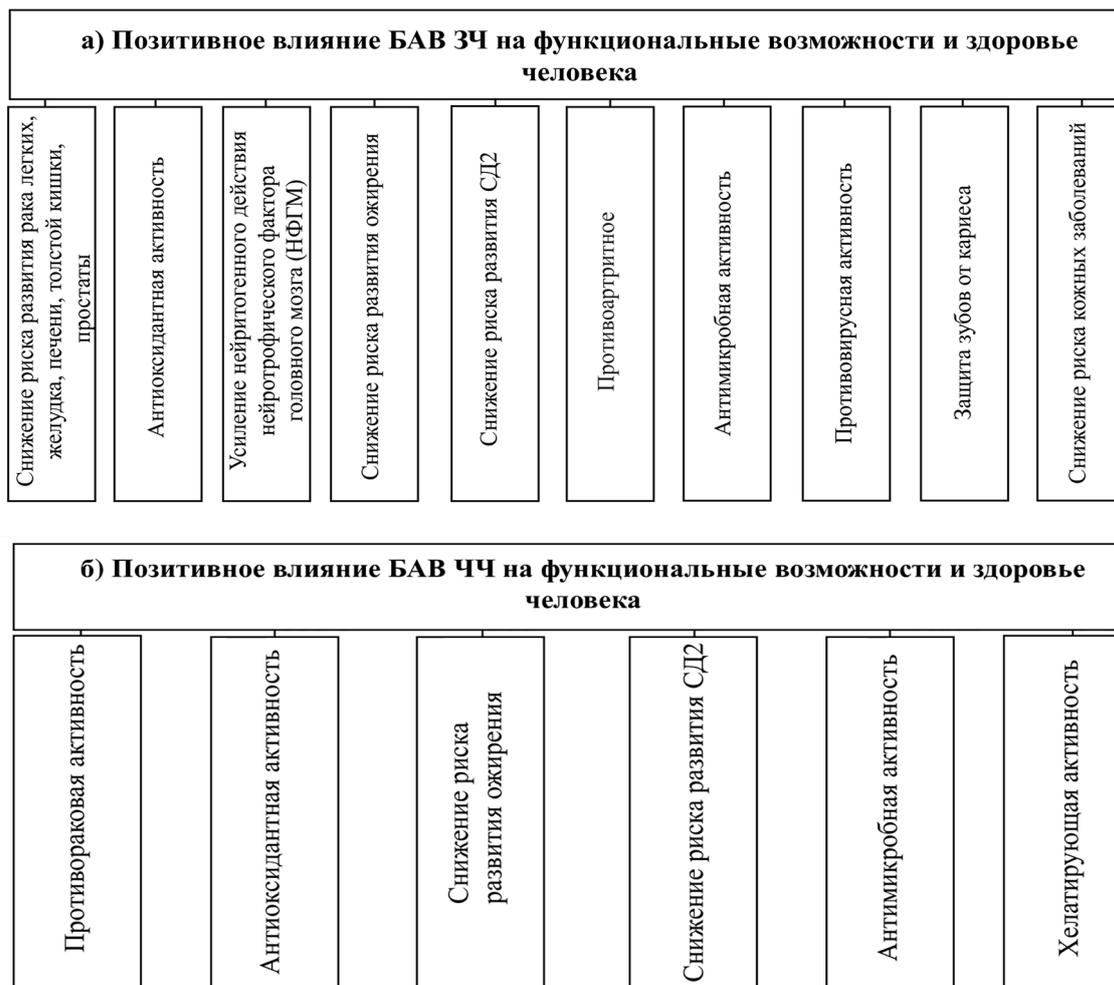


Рис. 1. Позитивное влияние БАВ а) ЗЧ и б) ЧЧ на функциональные возможности и здоровье человека

Флавоноиды чая обладают мощной антигипертензивной активностью, значительно снижают уровни Т3 и Т4 в сыворотке крови со значительным повышением уровня ТТГ [17], а катехины в высоких концентрациях могут увеличить риск рака ЩЖ у женщин в пременопаузе, воздействуя на рецептор альфа-эстрогена, который не обнаруживается в нормальных клетках ЩЖ, но присутствует в клетках рака ЩЖ [18]. Негативное влияние избыточного потребления чая на функцию почек связано с тем, что кофеин, увеличивая высвобождение простагландинов, АТФ, ацетилхолина и оксида азота из уротелия, способствует усилению чувствительности мочевого пузыря и симптомам гиперактивного мочевого пузыря, а также может уменьшать объем мочевого пузыря и повышать чувствительность к его наполнению [19].

При избыточном потреблении чая кофеин может вызвать целый ряд нежела-

тельных побочных эффектов. Так, в количестве более 80–87 мг кофеин, стимулируя нервную систему, ухудшает качество сна, вызывает бессонницу, гнев и беспокойство, тремор, головокружение и спутанность сознания, уменьшение мозгового кровотока, увеличение тревожности [20, 21]; в дозе выше 10 мг/кг/день ингибирует фосфодиэстеразу, вызывает нерегулярный сердечный ритм, уменьшает сердечное наполнение и снижает сердечный выброс, что приводит к вазодилатации и гипотонии, а также – тахикардии [22]. Избыток кофеина может вызывать гипокалиемию из-за бета-2-адренергического агонизма, вызванного высвобождением катехоламинов, из-за ингибирования фосфодиэстеразы или антагонизма аденозина [23]. Кофеин при чрезмерном употреблении может негативно повлиять на мужскую репродуктивную систему, повреждая ДНК сперматозоидов [24].



Рис. 2. Негативное влияние БАВ а) ЗЧ и б) ЧЧ на функциональные возможности и здоровье человека

По данным ряда авторов [25–27], при регулярном избыточном потреблении чая, особенно ЗЧ, ряд БАВ, в частности катехин, ЭГКГ и кофеин, могут вызывать врожденные дефекты. Так, катехин, снижая биодоступность витамина В9, проявляет антифолатное действие и высокий риск развития расщелины позвоночника у плода [26, 28]; ЭГКГ может ингибировать дигидрофолатредуктазу и снижать уровень витамина В9 в сыворотке крови [29], а кофеин, не только снижает биодоступность и повышает скорость выведения из организма фолиевой кислоты, но и легко проникает через плацентарный барьер, вызывая снижение плацентарного кровоснабжения плода и влияя на его рост [25, 30]. Людям, у которых наблюдается дефицит железа или предрасположенность к дефициту железа, а таковых по данным ряда авторов более миллиарда человек во всем мире [18, 31], же-

лательно минимизировать потребление чая или использовать другие напитки.

Аналитический материал показывает, что ПФО-ферментация, как метод обработки чая, снижает, в сравнении с ЗЧ, возможность негативного влияния ЧЧ на организм при избыточном потреблении, однако из-за высокой хелатирующей способности его потребление особенно нежелательно при скудном питании с дефицитом важнейших макро- и микроэлементов, в особенности белка и железа [32], так как ТР и ТФ, ингибируя пищеварительные ферменты, включая трипсин, липазу, амилазу и глюкозидазу, могут приводить к снижению доступности этих питательных веществ [33], а при избыточном питании с высоким содержанием макроэлементов, в особенности жиров и углеводов, наоборот, потребление ЧЧ может быть рекомендовано [34].

### Заключение

Чай относится к напиткам с широким спектром БАВ, обладающих при небольших концентрациях высокой физиологической активностью и позитивным влиянием на функциональные возможности организма и здоровье человека. Сравнительный анализ научных данных показывает, что БАВ как ЗЧ, так и ЧЧ в той или иной степени выраженности обладают противораковой, антиоксидантной, антимикробной и хелатирующей активностями, снижают риск развития СД2 и алиментарного ожирения. Однако прием большого количества чая, особенно ЗЧ, может привести к нежелательным побочным эффектам, таким как гепатотоксичность, сердечно-сосудистые проблемы, нарушение функции почек и щитовидной железы, железодефицитная анемия, гипокалиемия, врожденные дефекты и бесплодие. ПФО-ферментация, как метод обработки чая, существенно влияет на химический состав и функциональные свойства ЧЧ, делая его более безопасным, но тем не менее избыточное потребление ЧЧ может приводить к бессоннице, беспокойству, учащенному сердцебиению, тремору, повышению кровяного давления, дисфункции периферической и центральной нервной систем, снижению усвояемости макронутриентов, железодефицитной анемии, мочекаменной болезни. Различия в химическом составе и функциональной активности БАВ ЗЧ и ЧЧ определяют необходимость индивидуального подбора как вида чая, так и оптимальных уровней его потребления в зависимости от индивидуальных особенностей и функционального состояния организма.

### Список литературы

1. Qin H., Huang L., Teng J., Wei B., Xia N., Ye Y. Purification, characterization, and bioactivity of Liupao tea polysaccharides before and after fermentation // *Food chemistry*. 2021. Vol. 353. P. 129419.
2. Shi J., Yang G., You Q., Sun S., Chen R., Lin Z., Simal-Gandara J., Lv H. The latest information on the chemical composition, processing characteristics and use of tea flavonoids over the past two decades (2001–2021) // *Critical reviews in the field of food science and dietetics*. 2023. Vol. 63, Is. 20. P. 4757–4784.
3. Musial C., Kuban-Jankowska A., Gorska-Ponikowska M. Beneficial Properties of Green Tea Catechins // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, Is. 25. P. 1744.
4. Kochman J., Jakubczyk K., Antoniewicz J., Mruk H., Janda K. Health Benefits and Chemical Composition of Matcha Green Tea: A Review // *Molecules*. 2021. Vol. 26, Is. 1. P. 85.
5. Samantha S. Potential bioactive components and beneficial properties of tea (*Camellia sinensis*) for health promotion // *Journal of the American Nutrition Association*. 2022. Vol. 41, Is. 1. P. 65–93.
6. Wong M., Sirisena S., Ng K. Phytochemical profile of tea of various processing: a review // *Journal of Food Science*. 2022. Vol. 87, Is. 5. P. 1925–1942.
7. Tanaka T., Matsuo Y. Production mechanisms of black tea polyphenols // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 2020. Vol. 68, Is. 12. P. 1131–1142.
8. Negri A., Naponelli V., Rizzi F., Bettuzzi S. Molecular targets of epigallocatechin gallate (EGCG): special emphasis on signal transmission and cancer // *Nutrients*. 2018. Vol. 10, Is. 12. P. 1936.
9. Tedj G.N.V.K., Nayak P.K. Mechanistic considerations on the chemotherapeutic activity of caffeine // *Biomedicine and pharmacotherapy*. 2018. Vol. 105. P. 312–319.
10. Zamora-Ros R., A-Alghamdi M., Cayssials V., Franceschi S., Almqvist M., Hennings J., Sandström M., Tsilidis K.K., Weiderpass E., Boutron-Ruault M.C., Bech B.H., Overvad K., Tjønneland A., Petersen K.E., Mancini F.R., Mahamat-Saleh Y., Bonnet F., Kühn T., Fortner R.T., Boeing H., Trichopoulou A., Bamia C., Martimianaki G., Masala G., Grioni S., Panico S., Tumino R., Fasanelli F., Skeie G., Braaten T., Lasheras C., Salamanca-Fernández E., Amiano P., Chirlaque M.D., Barricarte A., Manjer J., Wallström P., Bueno-de-Mesquita H.B., Peeters P.H., Khaw K.T., Wareham N.J., Schmidt J.A., Aune D., Byrnes G., Scalbert A., Agudo A., Rinaldi S. The effect of coffee and tea consumption on the risk of differentiated thyroid carcinoma: results of the European Prospective Study of Cancer and Nutrition (EPIC) // *European Journal of Nutrition*. 2019. Vol. 58. P. 3303–3312.
11. Xu X.Y., Zheng J., Meng J.M., Gan R.Y., Mao Q.Q., Shang A., Li B.Y., Wei X.L., Li H.B. The effect of food processing on the antioxidant and hepatoprotective properties of green tea extracts in vivo // *Antioxidants*. 2019. Vol. 8, Is. 12. P. 572.
12. Fu Q.Y., Li Q.S., Lin X.M., Qiao R.Y., Yang R., Li X.M., Dong Z.B., Xiang L.P., Zheng X.Q., Lu J.L., Yuan C.B., Ye J.H., Liang Y.R. Antidiabetic Effects of Tea // *Molecules*. 2017. Vol. 22, Is. 5. P. 849.
13. Imran A., Arshad M.U., Arshad M.S., Imran M., Saeed F., Sohaib M. Lipid peroxidation diminishing perspective of isolated theaflavins and thearubigins from black tea in arginine induced renal malfunctioned rats // *Lipids in Health and Disease*. 2018. Vol. 17. P. 1–12.
14. Yang Yu., Zhang T. Antimicrobial activity of tea polyphenol against phytopathogens: a review // *Molecules*. 2019. Vol. 24, Is. 4. P. 816.
15. Sharma N., Phan H.T., Chikae M., Takamura Y., Azo Oussou A.F., Vestergaard M.C. Black tea polyphenol theaflavin as promising antioxidant and potential copper chelator // *Journal of the science of food and agriculture*. 2020. Vol. 100, Is. 7. P. 3126–3135.
16. Baldi A., Abramovic H., Ulrigh N.P., Daglia M. Tea catechins. Handbook of dietary phytochemicals. 2019. P. 1–46.
17. Pistollato F., Masias M., Agudo P., Giampieri F., Battino M. The effect of phytochemicals on thyroid function and their possible role in thyroid diseases // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2019. Vol. 1443, Is. 1. P. 3–19.
18. Tang G.Y., Meng X., Gan R.Y., Zhao C.N., Liu Q., Feng Y.B., Li S., Wei X.L., Atanasov A.G., Corke H., Li H.B. Health Functions and Related Molecular Mechanisms of Tea Components: An Update Review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20, Is. 24. P. 6196.
19. Averbek M.A., Goldman H.B. Pathophysiology of overactive bladder // *Modern pharmacotherapy of an overactive bladder*. 2019. P. 1–12.
20. Van Koert R.R., Bauer P.R., Schuitema I., Sander J.W., Visser G.H. Caffeine and seizures: A systematic review and quantitative analysis // *Epilepsy Behav.* 2018. Vol. 80. P. 37–47.
21. Zhao B. The pros and cons of drinking tea // *Traditional Medicine and Modern Medicine*. 2020. Vol. 3, Is. 3. P. 163–174.
22. Turnbull D., Rodricks J.V., Mariano G.F., Chowdhury F. Caffeine and cardiovascular health // *Regul Toxicol Pharmacol*. 2017. Vol. 89. P. 165–185.
23. Toya N., Isokawa S., Suzuki A., Otani N., Ishimatsu S. Bidirectional ventricular tachycardia induced by caffeine poisoning // *The American Journal of Emergency Medicine*. 2019. Vol. 37, Is. 11. P. 2118.

24. Kumar M., Zilate S., Gupta C. The effect of stress and caffeine on male infertility // *Cureus*. 2022. Vol. 14, Is. 8. DOI: 10.7759/cureus.28487.
25. Qian J., Chen Q., Ward S.M., Duan E., Zhang M.Y. The effects of caffeine during pregnancy // *Trends in endocrinology and metabolism*. 2020. Vol. 31, Is. 3. P. 218–227.
26. Afzal O., Dalhat M.H., Altamimi A.S.A., Rasool R., Sami I. Alzarea S.I., Almalki W.H., Murtaza B.N., Ifikhar S., Nadeem S., Nadeem M.S., Kazmi I. Green Tea catechins reduce neurodegenerative diseases and cognitive deficits // *Molecules*. 2022. Vol. 27, Is. 21. P. 7604.
27. Khaleel A., Shaari R.B., Nawi M., A-Yassiri A. The Adverse effects of Green Tea on Public Health: The Untold Story of Medicine // *Sys Rev Pharm*. 2020. Vol. 11. P. 883-887.
28. Sidhu D., Vasundhara M., Day P. Metabolic benefits of green tea catechins at the intestinal level: mechanistic conclusions from preclinical and clinical studies // *Phytomedicine*. 2023. P. 155207.
29. Saeki K., Hayakawa S., Nakano S., Ito S., Oishi Y., Suzuki Y., Isemura M. In vitro and in silico studies of the molecular interactions of epigallocatechin-3-O-gallate (EGCG) with proteins explaining the health benefits of green tea // *Molecules*. 2018. Vol. 23, Is. 6. P. 1295.
30. Patel P.H., Burrow K.A. Physiological, cognitive effects and influence on the development of prenatal caffeine consumption on fetal pregnancy outcomes // *Student studies in the Journal of Natural and Clinical Sciences and Technologies*. 2023. Vol. 7. P. 1–12.
31. Lazrak M., Kari K.E., Stoffel N.U., Elammari L., Al-Jawaldeh A., Loechl C.U., Yahyane A., Barkat A., Zimmermann M.B., Aguenau H. Tea consumption reduces iron bioavailability from NaFeEDTA in nonanemic women and women with iron deficiency anemia: Stable iron isotope studies in Morocco // *The Journal of Nutrition*. 2021. Vol. 151, Is. 9. P. 2714–2720.
32. Arya P., Dabra A., Guarve K. Green tea: Chemical composition, biological effects and health benefits // *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019. Vol. 5, Is. 2. P. 227–234.
33. Chen T., Yang K.S. Biological destinies of tea polyphenols and their interaction with the microbiota of the gastrointestinal tract: impact on health // *Critical reviews in the field of food science and dietetics*. 2020. Vol. 60, Is. 16. P. 2691–2709.
34. Naveed M., BiBi J., Kamboh A.A., Suheryani I., Kakar I., Fazlani S.A., FangFang X., Yunjuan L., Kakar M.U., El-Hack M.E.A., Noreldin A.E., Zhixiang S., Xia C.L., Hui Z.X. Pharmacological value and therapeutic properties of black tea (*Camellia sinensis*): a comprehensive review // *Biomedicine and pharmacotherapy*. 2018. Vol. 100. P. 521–531.