УДК 664
DOI: 10.31515/1019-8946-2023-03-49-52

Минеральный состав
пробиотических напитков из козьей сыворотки с нетрадиционным растительным сырьем

Наталья Сергеевна Родионова, д-р техн. наук, профессор кафедры
Евгений Сергеевич Попов, д-р техн. наук, заведующий кафедрой
E-mail: e_s_popov@mail.ru
Вадим Сергеевич Захаров, студент
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Сергей Иванович Будник, технолог, член Национальной ассоциации специалистов народной медицины
Олег Викторович Сахно, нутрициолог-диетолог, управляющий
Центр семейной медицины «Создравие»
(ООО «Инжиниринговая группа «Консул»)

Показана возможность ферментации экстрактов борщевика, хвоща, чистотела в среде козьей сыворотки консорциумом микроорганизмов B. bifidum, B. longum, B. adolescentis, L. casei, L. rhamnosus, L. acidophilus, L. plantarum, L. fermentum. Концентрация активных клеток лакто- и бифидобактерий в конечном продукте составила 10^6–10^7 КОЕ/г. Элементный состав ферментированных экстрактов изучен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, определено количественное содержание 40 элементов. Показана специфичность массообмена между сывороткой и каждым видом растительного сырья, включающая как переход элементов в сыворотку, так и сорбцию веществ из сыворотки. Количество кальция, калия, магния и фосфора в экстрактах по сравнению с исходной сывороткой возросло на 35–47, 7–27, 19–29, 22–123 % соответственно. Отмечено обогащение экстрактов кремнием, марганцем, цинком, йодом, кобальтом, оловом, хромом, селеном и другими микро- и ультрамикроэлементами. По содержанию тяжелых металлов напитки соответствовали требованиям безопасности. Исследуемые пробиотические напитки можно рекомендовать в качестве минерализованных напитков повышенной функциональности за счет наличия биоформ широкого спектра химических элементов в сочетании с активными формами лакто- и бифидобактерий.

Ключевые слова: *козья сыворотка, борщевик, чистотел, хвощ, экстрагирование, пробиотические микроорганизмы, ферментирование, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, структурные элементы, макроэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы.*

N.S.Rodionova[1], E.S.Popov[1], V.S.Zakharov[1], S.I.Budnik[2], O.V.Sakhno[2]. Mineral composition of probiotic drinks from goat whey with non-traditional plant raw materials
[1]Voronezh State University of Engineering Technologies
[2]Center for Family Medicine «Sozdravie» (LLC Engineering Group Consul)

The elemental composition of probiotic extracts of wild plants: cow parsnip, horsetail, celandine based on goat whey fermented by a consortium of microorganisms was studied. The consortium included B. bifidum, B. longum, B. adolescentis, L. casei, L. rhamnosus, L. acidophilus, L. plantarum, L. fermentum, the concentration of active cells in the test product was 10^6–10^7 CFU/g. The elemental composition was studied by inductively coupled plasma mass spectrometry; the quantitative content of 40 elements is presented. The effect of enrichment of probiotic drinks with structural elements, macro-, micro- and ultra-microelements specific for each plant component has been established. The drinks contain platinum, silver, zirconium and other ultra-microelements. The amount of calcium, potassium, magnesium and phosphorus in the extracts increased by 35–47 %, 7–27 %, 19–29 %, 22–123 %, respectively. An increase in the concentration of silicon, manganese, zinc, iodine, cobalt, nickel, tin, and chromium in the extracts was noted. The studied probiotic drinks can be recommended as mineralized drinks with increased functionality due to the presence of bioforms of a wide range of chemical elements in combination with active forms of lacto- and bifidobacteria.

Key words: *goat whey, hogweed, celandine, horsetail, extraction, probiotic microorganisms, fermentation, inductively coupled plasma mass spectrometry, structural elements, macro-, micro-, ultramicroelements.*

Дикорастущее растительное сырье всегда привлекало внимание фитотерапевтов, а в настоящее время отмечается активный интерес к дикоросам и со стороны технологов пищевой отрасли. Дикоросы в качестве источников природных биологически активных веществ, обладающих функциональным, профилактическим, терапевтическим влиянием на организм, находят применение в рецептурах продуктов с функциональными свойствами. Получены данные о богатом аминокислотном составе, антиоксидантных свойствах и отсутствии цитотоксичности пробиотических экстрактов нетрадиционного растительного сырья на основе козьей сыворотки [1, 2]. Важным аспектом введения дикоросов в состав пищевых систем является возможность обогащения широким спектром природных элементов, несущих важные биологические функции в качестве активных центров множества ферментов и специфических белков.

Цель исследований — оценка пребиотических свойств и возможностей обогащения элементного состава напитков на основе козьей сыворотки с применением нетрадиционного растительного сырья. В качестве растительных компонентов рассматривали чистотел (*Chelidonium*), борщевик (*Heracleum*) и хвощ (*Equisetum*), известные своими лекарственными свойствами и широко применяемые в фитотерапии [3–5].

Сыворотку для экстрактов получали в результате кислотной коагуляции козьего молока с последующей очисткой от сывороточных белков методом термокоагуляции. Растительное сырье измельчали, экстрагировали при 20–25 °С не менее 10 дней при гидромодуле 1:7–1:10. Затем части растений удаляли фильтрованием, вносили закваску прямого внесения на основе высокоактивного консорциума лакто- и бифидобактерий, включающего *B. bifidum, B. longum, B. adolescentis, L. casei, L. rhamnosus, L. acidophilus, L. plantarum, L. fermentum*. Широкий набор штаммов консорциума позволяет получить биомассу пробиотических микроорганизмов на различных питательных субстратах [2]. Ферментацию проводили при 38–40 °С до достижения не менее 10^6–10^7 КОЕ/см^3 по лакто- и бифидобактериям. Микробиологические показатели определяли согласно ГОСТ 33951–16 и ГОСТ 33491–15.

Полученные напитки с кисломолочным вкусом и легким растительным ароматом представляли собой прозрачные жидкости с кремовым оттенком и pH 3,4–3,5 ед.

Прозрачность экстрактов возрастала в процессе ферментации, завершение процесса определяли по окончательному осветлению напитков и выпадению небольшого осадка. Продолжительность процесса ферментации составляла от 12 до 14 суток. По окончании ферментации надосадочную жидкость декантировали. Высокое количество пробиотических микроорганизмов доказывает отсутствие негативного влияния водоэкстрактивных веществ исследуемых растений на процесс развития культур консорциума, а полученные напитки можно отнести к пробиотическим.

Важная роль химических элементов, регулирующих обменные процессы, убедительно доказана. Из 92 встречающихся в природе элементов 81 обнаружен в организме человека. К структурным элементам, кроме углерода, водорода, кислорода и азота, относятся Ca, Mg, Na, K, S, P, Cl, к эссенциальным — Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Ni, V, F, Se, Mn, As, Si, Li, как условно эссенциальные принято классифицировать B и Br. В отношении кадмия и свинца на лабораторных животных показано, что искусственно обедненный данными элементами рацион привел к развитию болезней крови, иммунодефициту [6, 7].

В результате интенсификации агро- и пищевых технологий активно сокращается приток микроэлементов в организм человека, формируя дефицит одних и профицит других. Необходимо учитывать, что важнейшим фактором высокой эффективности поступающих в организм макро- и микроэлементов является их природное происхождение. Получение экстрактов лекарственных трав и применение их в пищевых технологиях позволяет обогащать рацион питания эссенциальными микроэлементами в наиболее активной форме биолигандов.

Вторым важным аспектом эффективного действия биологически активных веществ, в том числе микроэлементов, является транспорт в кровь, что обеспечивается преимущественно пробиотической микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Показано, что эффективность приема БАД значительно возрастает при комбинировании с пробиотическими микроорганизмами [8]. Перечисленные аспекты доказывают перспективность разработки высокоэффективных пищевых пробиотических форм, обогащенных минеральными элементами природного происхождения.

Элементный состав пробиотических экстрактов хвоща, чистотела и борщевика исследовали высокочувствительным методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с применением масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) «Elan 9000» и атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) «Optima 2000 DV» (PerkinElmer Sciex, США) согласно методике изготовителя. За эталон сравнения (контроль) были приняты результаты определения минерального состава исходной козьей сыворотки.

Экстракты и исходную сыворотки исследовали на наличие 40 элементов, 12 из них представлены в исходной сыворотке и пробиотических экстрактах в следовых количествах (менее 0,0001 мкг/г):

Сыворотка	Ag, Be, Bi, Cd, La, Pt, Sn
Экстракт хвоща	Al, Bi, Hg, Pt, Tl
Экстракт чистотела	Al, Be, Bi, Cd, Ge, Hg, La, Pt, Tl, W
Экстракт борщевика	Al, Be, Bi, Hg, Pt, W

В экстракте хвоща установлены более высокие количества бериллия (0,00024±0,0001 мкг/г) и лантана (0,0011±0,0001 мкг/г). Все исследуемые растения обладают бактерио- и фунгистатическими свойствами, что, вероятно, связано с наличием серебра в их составе, во всех экстрактах отмечено увеличение его концентрации. Зафиксировано увеличение содержания циркония, бария, галлия, сурьмы (табл. 1). Концентрация германия, алюминия, теллура снизилась. Это может быть обусловлено специфическими сорбционными или химическими взаимодействиями частей растений и сыворотки в процессе экстрагирования с последующим их удалением перед ферментацией. Кроме того, в процессе ферментации в сыворотке накапливаются метаболиты микроорганизмов, взаимодействующие с компонентами экстракта, что сопровождается выпадением осадка. По окончании процесса осадок удаляется, а с ним, вероятно, и часть элементов. Например, концентрация бора в исходной сыворотке составила 0,41±0,01мкг/г, а во всех растительных экстрактах данный элемент не был обнаружен.

Результаты обогащения экстрактов козьей сыворотки пятью структурными элементами представлены на рис. 1. Экстракты значительно обогатились кальцием на 35–47 %, калием — на 7–27 %, магнием — на 19–29 %, фосфором — на 22–123 %. Количество натрия возросло более чем в 2,8 раза. Хвощ можно оценить, как наиболее эффективный обогатитель экстрактов кальцием и фосфором, из борщевика было экстрагировано наибольшее количество магния.

Результаты обогащения пробиотических экстрактов микроэлементами с доказанной биологической функцией представлены на рис. 2.

Таблица 1

Содержание ультрамикроэлементов в исходной сыворотке и пробиотических экстрактах

Элемент	Содержание, мкг/г			
	Сыворотка (контроль)	Экстракты		
		хвоща	чистотела	борщевика
Серебро	Менее 0,0001	0,57±0,01	0,086±0,007	0,13±0,0013
Алюминий	0,1±0,01	Менее 0,0001	Менее 0,0001	Менее 0,0001
Барий	0,2±0,01	0,5±0,04	0,3±0,01	0,8±0,05
Галлий	0,0009±0,0001	0,0016±0,0001	0,0015±0,0001	0,0017±0,0001
Германий	0,0004±0,0001	0,0006±0,0001	Менее 0,0001	0,0002±0,0001
Молибден	0,0034±0,0003	0,0071±0.0006	0,0011±0,0001	0,0011±0,0001
Сурьма	0,0003±0,0001	0,0009±0,0001	0,0004±0,0001	0,0005±0,0001
Теллур	0,0005±0,0001	0,0003±0,0001	0,0002±0,0001	0,0001±0,0001
Цирконий	Не обнаружен	0,0003±0,0001	0,00011±0,0001	0,0002±0,0001

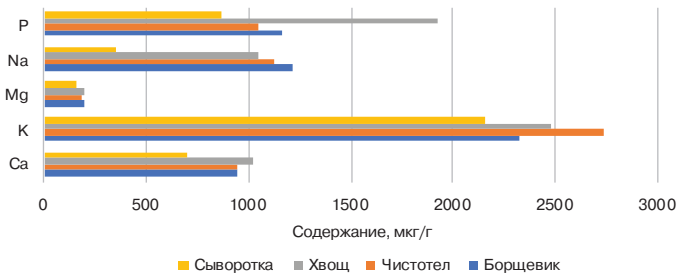

Рис. 1. Содержание структурных элементов в пробиотических экстрактах

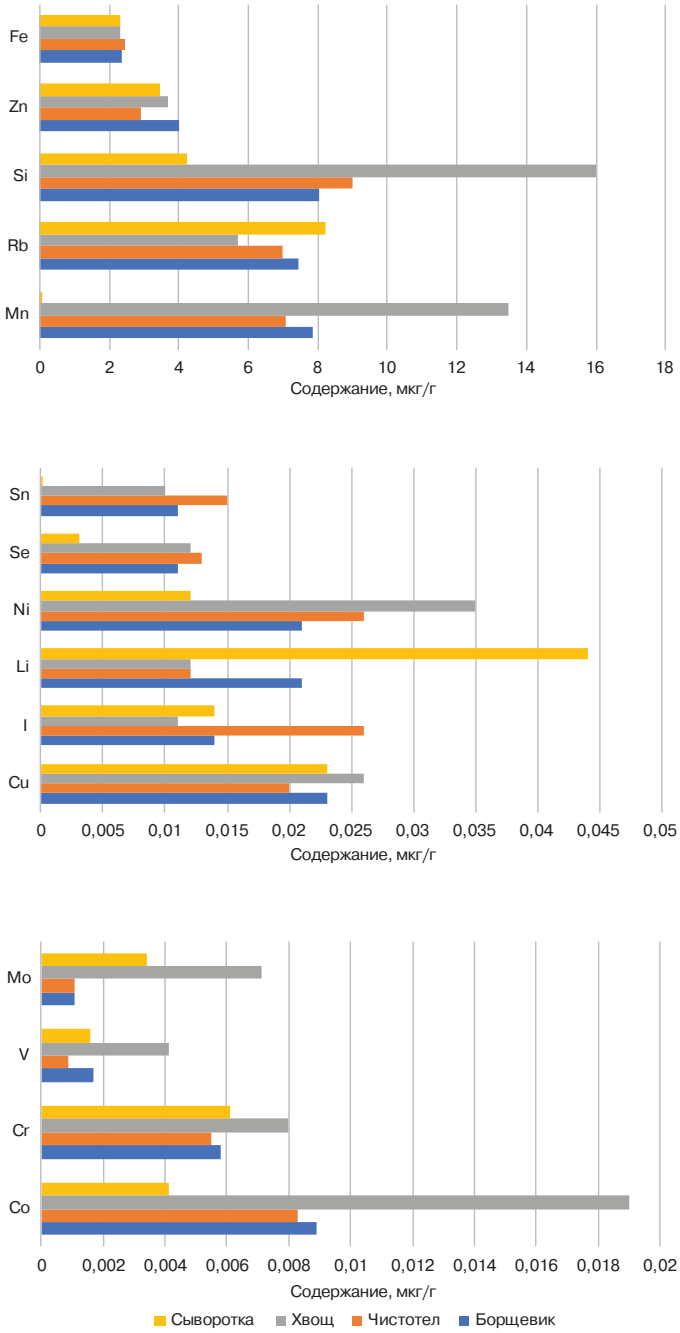

Рис. 2. Содержание макро-, микро- и ультрамикроэлементов в пробиотических экстрактах

Известно, что марганец входит в состав активного центра многих ферментов, его дефицит может приводить к различным формам анемии, дисфункции воспроизводства, задержке роста. Кремний при взаимодействии с магнием и фтором формирует костную ткань, играет важнейшую роль в синтезе коллагена. Цинк активирует около 200 различных ферментов, ответственных за регуляцию деления и созревания клеток, синтеза инсулина, тестостерона, подавления воспалительных процессов. Рубидий проявляет антигистаминные свойства, может частично замещать калий в организме. Все экстракты обогатились кремнием и марганцем. Содержание марганца в исходной сыворотке составляло 0,059 мкг/г. Содержание цинка и рубидия изменилось незначительно. Хвощ продемонстрировал максимальное обогащение напитков марганцем и кремнием, борщевик — цинком.

Ультрамикроэлемент селен проявляет защитные свойства в отношении ртути, мышьяка, кадмия, свинца и таллия, участвует в формировании иммунитета, его дефицит связывают с развитием атеросклероза и кардиомиопатии. Роль йода широко известна в функционировании щитовидной железы, максимальное обогащение йодом было достигнуто в экстракте хвоща, концентрация этого микроэлемента достигла 0,11±0,01 мкг/г. Медь влияет на активность более чем 30 ферментов, ответственна за синтез женских половых гормонов, тироксина, гема, нейромедиаторов. Никель участвует в кроветворении, синтезе ДНК и РНК, а также протеинов и гормона — пролактина. Олово катализирует окислительно-восстановительные процессы и в ультрамикроколичествах необходимо человеку. Литий — ультрамикроэлемент, участвует в регуляции нервной системы, установлено его влияние на водно-солевой обмен и на иммунитет. В результате биоконверсии количество лития в экстрактах понизилось в сравнении с исходной сывороткой (рис. 3). Во всех экстрактах увеличилось содержание селена, олова, никеля, экстракт чистотела был наиболее богат йодом.

Хром участвует в нормализации углеводного обмена, работы сердечной мышцы и сосудов. Кобальт входит в состав цианокобаламина, он особенно необходим после травм и кровопотерь, участвует в кроветворении, нормализует работу нервной системы. Максимальное обогащение кобальтом было отмечено в экстракте чистотела (0,0083±0,0002 мкг/г). Ванадий — ультрамикроэлемент, участвует в нормализации углеводного обмена и сердечно-сосудистой деятельности, при избыточном поступлении может проявлять токсичные свойства. Хвощ является явным источником ванадия, хрома и кобальта.

Анализ рис. 2 позволяет сделать заключение о разнонаправленности массообменных процессов, реализуемых при получении экстрактов. Растительное сырье не только привносит широкий спектр микро- и ультрамикроэлементов в экстракт, но и извлекает отдельные элементы из раствора, снижая их концентрацию в конечном продукте.

Определение концентрации тяжелых металлов (табл. 2) показало соответствие показателям безопасности экстрактов требованиям ТР ТС 022/2011.

ВЫВОДЫ

- Обоснована возможность получения пробиотических напитков на основе экстрактов борщевика, хвоща, чистотела в козьей сыворотке с концентрацией лакто- и бифидобактерий 10^6–10^7 КОЕ/см^3.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в сыворотке и пробиотических экстрактах

Элемент	Содержание, мкг/г			
	Сыворотка (контроль)	Экстракты		
		хвоща	чистотела	борщевика
Мышьяк	0,0037±0,0004	0,019±0,001	0,0064±0,0001	0,0067±0,0004
Стронций	0,74±0,02	1,61±0,13	0,76±0,02	0,85±0,02
Кадмий	Менее 0,0001	0,0003±0,0001	Менее 0,0001	0,0003±0,0001
Ртуть	0,0013±0,0002	Менее 0,0001	Менее 0,0001	Менее 0,0001
Свинец	0,0005±0,0001	0,0014±0,0001	0,0007±0,0001	0,0008±0,0001

- Показан эффект обогащения напитков структурными макроэлементами Ca на 35–47 %, K — на 7–27 %, Mg — на 19–29 %, P — на 22–123 %.
- Возросла концентрация эссенциальных микро- и ультрамикроэлементов Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Ni, V, Se, Mn, Si, Li, Zr специфично для каждого экстракта.
- Установлены изменения содержания Ag, Ba, Ga, Ge, Sb, Rb, B, Te, в следовых количествах в напитках идентифицированы Al, Be, Bi, La, Pt, Sn, Tl, W.
- Снижение концентрации отдельных элементов обусловлено разнонаправленностью массообмена в процессе экстрагирования с последующим удалением частей растений.
- Концентрация Cd, As, Hg, Pb, Sr соответствовала требованиям ТР ТС 022/2011.
- Полученные пробиотические напитки можно рекомендовать для коррекции дисбиозов и дисэлементозов вследствие наличия биоформ широкого спектра химических элементов в сочетании с активными формами лакто- и бифидобактерий. Максимальное обогащение элементного состава отмечено для экстракта хвоща.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Будник, С.И.*** *Свойства ферментированных напитков из козьей сыворотки с экстрактом чистотела (Chelidonium)/ С.И.Будник, О.В.Сахно, Н.С.Родионова, Н.А.Захарова [и др.]// Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств». 21–22 апреля 2022 года. – Могилев: БГУТ. Т. 1. С. 341– 342.*

2. ***Родионова, Н.С.*** *Напитки из козьей сыворотки с экстрактами лекарственных растений/ Н.С.Родионова, Е.С.Попов, Н.А.Захарова [и др.]// Молочная промышленность. 2022. № 5. С. 15–17. – DOI 10.31515/1019-8946-2022-05-15-17.*

3. ***Рузиева, И.Г.*** *Перспективное средство фитотерапии чистотел/ И.Г.Рузиева, И.Д.Кароматов// Биология и интегративная медицина. 2018. № 2(19). С. 75–90.*

4. ***Усик, А.В.*** *Качественный состав производных кумарина в тканях листа борщевика Сосновского/ А.В.Усик// Природные ресурсы. 2020. № 1. С. 58–61.*

5. ***Кайзер, А.А.*** *Биохимический состав хвоща полевого (Equisetum arvense), произрастающего на Таймыре, его пищевая и лекарственная ценность/ А.А.Кайзер, Г.А.Кайзер, М.О.Евдокимова// Материалы X Конференции исследователей территории (КИТ), Норильск, 26 января 2020 года/ Фонд Президентских грантов. – Норильск: АПЕКС, 2020. С. 115–119.*

6. ***Скальный, А.В.*** *Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие/ А.В.Скальный. – М.: 2018. – 295 с. ISBN 978-5-00150-066-7.*

7. ***Баранова, О.В.*** *Физические и экспериментальные методы оценки нутриентного статуса человека: методические указания/ О.В.Баранова, О.В.Кван, В.В.Скальный, А.В.Скальный. – Оренбург: ОГУ, 2014. — 57 с.*

8. ***Бикеева, М.В.*** *Статистический анализ антропогенного воздействия хозяйственной деятельности на уровень заболеваемости населения России/ М.В.Бикеева// Статистические оценки устойчивого развития: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27–28 января 2022 года. – СПб: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. С. 74–79.*

9. ***Родионова, Н.С.*** *Изучение влияния биоактивных пробиотических эмульсий на показатели энергетического обмена организма/ Н.С.Родионова, Е.С.Попов, Н.А.Захарова [и др.]// Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 16–17 марта 2022 года. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2022. С. 143–146.*