

УДК 541.15:543.426

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИЗАТОВ МОЛОЗИВА И ИХ КОМПЛЕКСОВ С β - И γ -ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ

Е. И. ТАРУН¹⁾, В. В. РЫЖИКОВА¹⁾, С. А. КОСТЮКОВЕЦ¹⁾, О. С. КРЫЖ¹⁾, Т. Н. ГОЛОВАЧ²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Изучена антиоксидантная активность (АОА) 10 образцов: сухое молозиво, его гидролизаты со степенью гидролиза 1 и 5 %, ультрафильтраты гидролизатов, полученные с применением фильтров с разделяющей способностью 10 и 5 кДа, кластеры β - и γ -циклодекстринов с пептидами, а также β - и γ -циклодекстрины. Определены основные показатели АОА из зависимостей интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации всех образцов.

Образец цитирования:

Тарун ЕИ, Рыжикова ВВ, Костюковец СА, Крыж ОС, Головач ТН. Антиоксидантная активность гидролизатов молозива и их комплексов с β - и γ -циклодекстринами. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;2:73–80.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-2-73-80>

For citation:

Tarun EI, Ryzhikova VV, Kostyukovets SA, Kryzh OS, Halavach TN. Antioxidant activity of colostrum hydrolysates and their complexes with β - and γ -cyclodextrins. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;2:73–80. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-2-73-80>

Авторы:

Екатерина Ивановна Тарун – кандидат химических наук, доцент кафедры экологической химии и биохимии.

Вероника Владимировна Рыжикова – студентка, факультет экологической медицины.

Софья Анатольевна Костюковец – студентка, факультет экологической медицины.

Ольга Сергеевна Крыж – магистрант кафедры экологической химии и биохимии.

Татьяна Николаевна Головач – кандидат биологических наук, доцент; старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории прикладных проблем биологии, биологический факультет.

Authors:

Ekaterina I. Tarun, PhD (chemistry), associate professor at the department of ecological chemistry and biochemistry.
tarunekaterina@gmail.com

Veronika V. Ryzhikova, student, faculty of ecological medicine.
veronika960510@gmail.com

Sofia A. Kostyukovets, student, faculty of ecological medicine.
sonsonson2431@gmail.com

Olga S. Kryzh, master's student at the department of ecological chemistry and biochemistry.
olgakryzh97@gmail.com

Tatsiana N. Halavach, PhD (biology), docent; senior researcher at the research laboratory of applied problems of biology, faculty of biology.
halavachtn@gmail.com

Показатели IC_{50} находились в пределах 4,0–56,9 мкг/мл. Образцы восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 74–96 % при их концентрации 0,15–0,3 мг/мл. Степень гидролиза и последующая ультрафильтрация, а также комплексообразование с циклодекстринами оказывали влияние на увеличение антиоксидантной активности. Максимальная антиоксидантная активность получена для образца ультрафильтрата гидролизата молозива в комплексе с γ -циклодекстрином.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; гидролизат молозива; флуоресцеин.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF COLOSTRUM HYDROLYSATES AND THEIR COMPLEXES WITH β - AND γ -CYCLODEXTRINS

E. I. TARUN^a, V. V. RYZHIKOVA^a, S. A. KOSTYUKOVETS^a, O. S. KRYZH^a, T. N. HALAVACH^b

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bBelarusian State University,
4 Niezalieŭnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: E. I. Tarun (tarunekaterina@gmail.com)

The antioxidant activity (AOA) of 10 samples was studied: dry colostrum, its hydrolysates with a degree of hydrolysis of 1 and 5 %, ultrafiltrates of hydrolysates obtained using filters with a separation capacity of 10 and 5 kDa, clastrates of β - and γ -cyclodextrins with peptides, as well as β - and γ -cyclodextrins. The main AOA parameters were determined from the dependences of fluorescein fluorescence intensity on the logarithm of the concentration of all samples. IC_{50} values were in the range of 4,0–56,9 μ g/ml. The samples restored fluorescein fluorescence to 74–96 % at their concentration of 0,15–0,3 mg/ml. The degree of hydrolysis and subsequent ultrafiltration, as well as complexation with cyclodextrins, influenced the increase in antioxidant activity. The maximum antioxidant activity was obtained for a sample of colostrum hydrolysate ultrafiltrate in complex with γ -cyclodextrin.

Keywords: antioxidant activity; colostrum hydrolysate; fluorescein.

Введение

Молозиво обладает более высокой питательной и биологической ценностью, чем зрелое молоко. В нем увеличено содержание легкоусвояемых сывороточных белков, защитных иммунных факторов (иммуноглобулина А, лактоферрина, лейкоцитов-макрофагов, нейтрофилов, лимфоцитов), а также природных антиоксидантов (витаминов А и Е, β каротина, цинка, селена). Для получения продуктов с низким аллергенным потенциалом и высокой питательной ценностью применяют ферментативный гидролиз белкового компонента молозива.

Исследование биологически активных пептидов (БАП), содержащихся в коровьем молоке и других кисломолочных продуктах, свидетельствуют, что они обладают гипотензивным, иммуномодулирующим, антиоксидантным, антимикробным, антимуtagenным и др. эффектами [1]. БАП образуются в результате воздействия на белки молока пищеварительных ферментов желудочно-кишечного тракта, при технологической обработке очищенными протеазами, а также ферментации молочнокислыми бактериями [2; 3]. В результате ферментативного гидролиза основных белков-аллергенов молока (β -лактоглобулин, казеин) образуются гипоаллергенные пептиды, что связано с расщеплением участков антигенных детерминант в соответствующих белках [4; 5]. Использование различных протеолитических ферментов и пробиотических микроорганизмов обеспечивает получение гидролизированных и ферментированных белков молока со специфическим белково-пептидным профилем и характерными биологически активными свойствами [6; 7].

Циклодекстрины (ЦД) представляют собой макроциклическое соединение, общая формула которого $(C_6H_{10}O_5)_n$. Его структурная единица – это α -D-глюкоза в пиранозной форме, в состав которой входит 3 гидроксильных группы, две из которых находятся внутри кольца и одна – снаружи. β -циклодекстрин содержит 7, а γ -циклодекстрин – 8 остатков глюкозы. Соответственно, 7 или 8 гидроксильных групп, находящихся на поверхности циклодекстрина могут служить ловушками свободных радикалов. Использование ЦД в медицине направлено на повышение качества лекарственных препаратов.

Цель создания комплексов гидролизата белков молозива с β - и γ -циклодекстринами – устранение горького вкуса гидролизата. Вместе с тем актуальным представляется изучение влияния комплексообразования на функциональные свойства пептидов, в частности, на антиоксидантную активность гидролизированных белков молока.

Материалы и методы исследования

Определение АОО основано на измерении интенсивности флуоресценции флуоресцеина и ее уменьшении под воздействием свободных радикалов. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства [8–11]. В качестве таких веществ взяты образцы, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Образцы молозива, его гидролизатов, ультрафильтратов и их комплексов с β - и γ -циклодекстринами

Table 1

Samples of colostrum, its hydrolysates, ultrafiltrates and their complexes with β - and γ -cyclodextrins

Название образца	Краткое название образца	Содержание белка, мг/мл
Молозиво	М	3
Гидролизат молозива со степенью гидролиза 1 %	ГМ-1 %	3
Гидролизат молозива со степенью гидролиза 5 %	ГМ-5 %	3
Ультрафильтрат гидролизата молозива со степенью гидролиза 1 % и применением фильтров с разделяющей способностью 10 кДа	ГМ-1 %-УФ-10кДа	3
Ультрафильтрат молозива со степенью гидролиза 5 % и применением фильтров с разделяющей способностью 10 кДа	ГМ-5 %-УФ-10кДа	3
Ультрафильтрат молозива со степенью гидролиза 5 % и применением фильтров с разделяющей способностью 5 кДа	ГМ-5 %-УФ-5кДа	3
Комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с β -циклодекстрином	ГМ-5 %-УФ-5кДа- β -ЦД	3
Комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином	ГМ-5 %-УФ-5кДа- γ -ЦД	3
β -циклодекстрин	β -ЦД	
γ -циклодекстрин	γ -ЦД	

В работе использовали сухое молозиво (образец предоставлен ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Россия). Ультрафильтраты гидролизата молозива со степенью гидролиза 1 и 5 % получены в НИЛ прикладных проблем биологии (БГУ) с применением протеолитического фермента алкалазы.

Получение ультрафильтрата гидролизата молозива. 1 и 5%-ные растворы гидролизатов готовили в дистиллированной воде, центрифугировали для осаждения нерастворимых частиц при 6000 g и температуре 4 °C в течение 30 мин. Полученные супернатанты фракционировали с применением фильтров *SpinX UF Concentrator 20* (Corning, Англия) с разделяющей способностью 5 и 10 кДа.

Приготовление комплексов ультрафильтрата гидролизатов с циклодекстринами. Ультрафильтраты гидролизатов брали в пропорции с циклодекстрином 5 %:3 %. К 0,1 г сухой смеси добавляли 2 мл дистиллированной воды. Для получения однородной суспензии помещали стакан с комплексом гидролизатов с циклодекстринами на водяную баню при температуре 50 °C и перемешивали. Получали раствор комплексов гидролизатов с циклодекстринами с концентрацией 50 мг/мл.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре *RF-5301 PC* («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Статистическая обработка экспериментальных данных. Построение графиков и математическую обработку результатов исследований осуществляли при помощи компьютерной программы *Microsoft Office Excel 2003* (Microsoft Corporation, США). Результаты независимых экспериментов представлены как среднее арифметическое значение $\pm$ доверительный интервал. Достоверность различий между выборками данных определяли методом доверительных интервалов.

Результаты исследования и их обсуждение

Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации всех образцов молозива получены в ходе исследования ингибирования реакций свободных радикалов, генерируемых в системе Фентона, из которых графически определены основные показатели антиоксидантной активности образцов, представленных в табл. 2: $A_{\max}$ – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов, $C_{\max}$ – концентрация образца, при которой достигается $A_{\max}$ и IC_{50} – концентрация образца, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов.

Таблица 2

Показатели антиоксидантной активности образцов молозива и циклодекстринов

Table 2

Indicators of antioxidant activity of colostrum samples and cyclodextrins

№	Название образца	$A_{\max}$, %	$C_{\max}$, мг/мл	IC_{50} , мкг/мл сухого вещества	IC_{50} , мкг/мл белка
1	М	75	0,3		$56,9 \pm 0,5$
2	ГМ–1 %	74	0,15		$30,6 \pm 0,6$
3	ГМ–5 %	78	0,15		$17,3 \pm 0,5$
4	ГМ–1 %-УФ-10кДа	75	0,15		$13,5 \pm 0,4$
5	ГМ–5 %-УФ-10кДа	80	0,15		$11,3 \pm 0,5$
6	ГМ–5 %-УФ-5кДа	90	0,3		$8,6 \pm 0,3$
7	ГМ–5 %-УФ-5кДа– β -ЦД	92	0,3		$5,9 \pm 0,5$
8	ГМ–5 %-УФ-5кДа– γ -ЦД	96	0,3		$4,0 \pm 0,4$
9	β -ЦД	67	0,4	$106,5 \pm 0,5$	
10	γ -ЦД	69	0,3	$58,9 \pm 0,4$	

Образец молозива (М) показывал минимальную антиоксидантную активность. Флуоресценция флуоресцеина восстанавливается до 75 % при концентрации 0,3 мг/мл, а показатель IC_{50} ($56,9$ мкг/мл) имеет максимальное значение, что свидетельствует о самой слабой АОА.

Гидролиз белков молозива приводит к уменьшению высокомолекулярной фракции белка, что может способствовать повышению антиоксидантной активности. Образец гидролизата молозива со степенью гидролиза 1 % (ГМ–1 %) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 74 % при концентрации в 2 раза ниже, чем образец молозива, а его показатель IC_{50} ($30,6$ мкг/мл) в 1,9 раза ниже аналогичного показателя для молозива. Гидролизат молозива со степенью гидролиза 5 % (ГМ–5 %) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 78 %, а его показатель IC_{50} ($17,3$ мкг/мл) в 3,3 раза ниже аналогичного показателя молозива и в 1,8 раза ниже аналогичного показателя ГМ–1 % (рис. 1). Таким образом, более глубокий гидролиз позволяет усилить АОА.

Последующая ультрафильтрация гидролизатов приводит к еще большему уменьшению высокомолекулярной фракции белка, что может повлиять на повышение антиоксидантной активности. Проведено сравнение образцов ГМ–1 % и ГМ–1 %-УФ-10 кДа. Для образца ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–1 %-УФ-10кДа) показатель $A_{\max}$ на 1 % выше, чем для образца ГМ–1 %. Показатель IC_{50} ($13,5$ мкг/мл) для ГМ–1 %-УФ-10кДа уменьшается в 2,3 раза по сравнению с аналогичным показателем ГМ–1 % и в 4,2 раза по сравнению с аналогичным показателем молозива (рис. 2).

Сравнение образцов ГМ–5 % и ГМ–5 %-УФ-10кДа показывает, что ультрафильтрация приводит к увеличению показателя $A_{\max}$ 2 %. Показатель IC_{50} ($11,3$ мкг/мл) при этом уменьшается в 1,5 раза по сравнению с аналогичным показателем ГМ–5 % и в 5 раз по сравнению с аналогичным показателем молозива. Сравнение двух образцов ультрафильтратов ГМ–1 %-УФ-10кДа и ГМ–5 %-УФ-10кДа показывает повышение показателя $A_{\max}$ на 5 % и снижение показателя IC_{50} в 1,2 раза в образце ГМ–5 %-УФ-10кДа по сравнению с ГМ–1 %-УФ-10кДа, что свидетельствует в пользу применения более глубокой гидролизации.

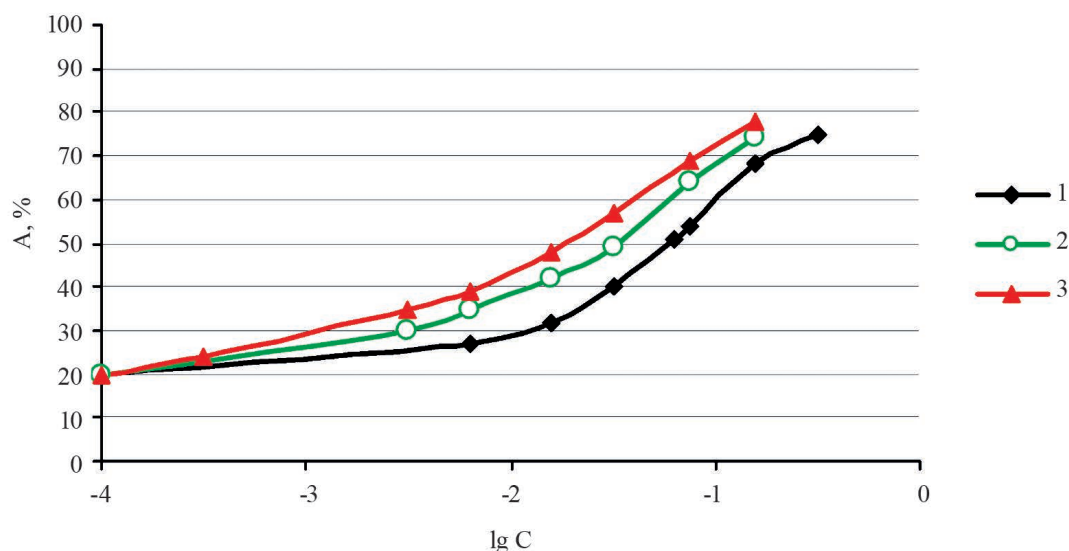


Рис. 1. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) молозива (М) (1), гидролизата молозива со степенью гидролиза 1 % (ГМ-1 %) (2) и гидролизата молозива со степенью гидролиза 5 % (ГМ-5 %) (3)

Fig. 1. Dependence of fluorescein fluorescence intensity (A) on the logarithm of the concentration (C) of colostrum (M) (1), colostrum hydrolysate with a degree of hydrolysis of 1 % (ГМ-1 %) (2) and colostrum hydrolysate with a degree of hydrolysis of 5 % (ГМ-5 %) (3)

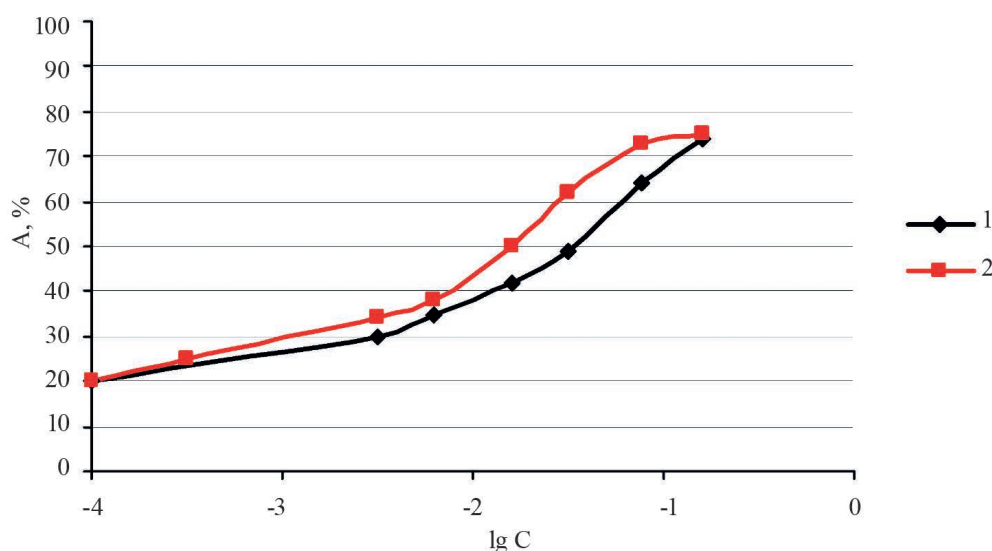


Рис. 2. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) гидролизата молозива со степенью гидролиза 1 % (ГМ-1 %) (1) и его ультрафильтрата (ГМ-1 %-УФ-10кДа) (2)

Fig. 2. Dependence of fluorescein fluorescence intensity (A) on the logarithm of the concentration (C) colostrum hydrolysate with a degree of hydrolysis of 1 % (ГМ-1 %) and its ultrafiltrate (ГМ-1 %-УФ-10кДа) (2)

Применение фильтра с большей разделяющей способностью позволяет получить фракцию белка с меньшей молекулярной массой и тем самым дает возможность увеличить АОА. Образец гидролизата молозива со степенью гидролиза 5 %, пропущенный через фильтр с большей разделяющей способностью (ГМ-5 %-УФ-5кДа) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 90 %, что на 10 % выше, чем для образца ГМ-5 %-УФ-10кДа и на 12 % выше, чем для образца ГМ-5 %. При этом показатель IC_{50} (8,6 мкг/мл) уменьшается в 1,3 раза по сравнению с ГМ-5 %-УФ-10кДа, в 2 раза по сравнению с аналогичным показателем ГМ-5 % и в 6,6 раза по сравнению с аналогичным показателем молозива (рис. 3).

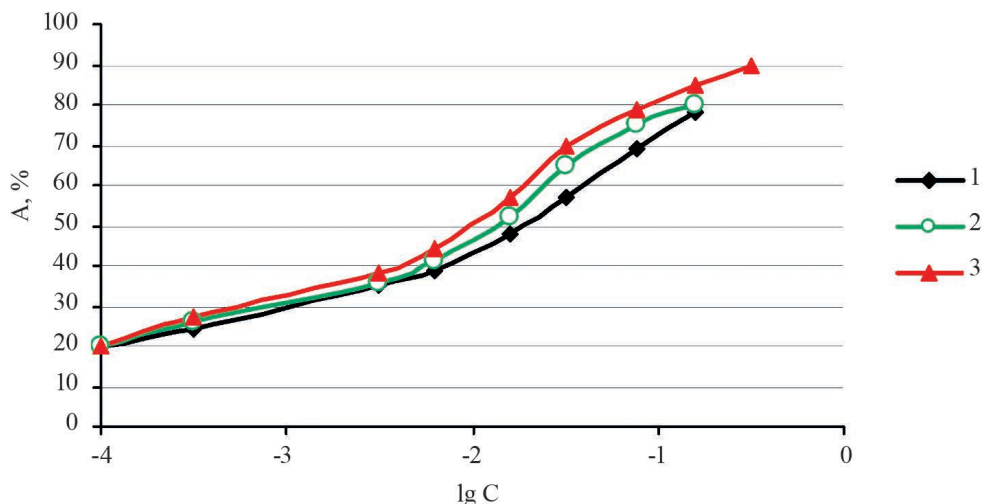


Рис. 3. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) гидролизата молозива со степенью гидролиза 5 % (ГМ-5 %) (1), его ультрафильтрата (ГМ-5 %-УФ-10 кДа) (2) и его ультрафильтрата (ГМ-5 %-УФ-5кДа) (3)

Fig. 3. Dependence of fluorescein fluorescence intensity (A) on the logarithm of the concentration (C) colostrum hydrolysate with a degree of hydrolysis of 5 % (ГМ-5 %), its ultrafiltrate (ГМ-5 %-УФ-10 кДа) (2) and its ultrafiltrate (ГМ-5 %-УФ-5кДа) (3)

Комплексообразование с циклодекстринами может приводить к повышению АОА за счет наличия гидроксильных групп в циклодекстринах. Комплексообразование ультрафильтрата гидролизата молозива с β -циклодекстрином (ГМ-5 %-УФ-5кДа- β -ЦД) приводит к восстановлению флуоресценции флуоресцеина до 92 %, что на 2 % выше, чем для исходного образца гидролизата ГМ-5 %-УФ-5кДа. Показатель IC_{50} (5,9 мкг/мл) при этом снижается в 1,5 раза по сравнению с аналогичным показателем для образца ГМ-5%-УФ-5кДа и в 9,6 раза по сравнению с аналогичным показателем для образца молозива (рис. 4).

Благодаря большому количеству гидроксильных групп, содержащихся в γ -циклодекстрине, комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином показывает более высокую АОА, чем комплекс гидролизата с β -циклодекстрином. Комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином (ГМ-5 %-УФ-5кДа- γ -ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 96 %, то есть на 4 % выше, чем комплекс гидролизата с β -циклодекстрином. Показатель IC_{50} (4,0 мкг/мл) в 1,5 раза ниже аналогичного показателя для образца ГМ-5 %-УФ-5кДа- β -ЦД, в 2,2 раза ниже аналогичного показателя для образца ГМ-5 %-УФ-5кДа и в 14,2 раза ниже аналогичного показателя для образца молозива.

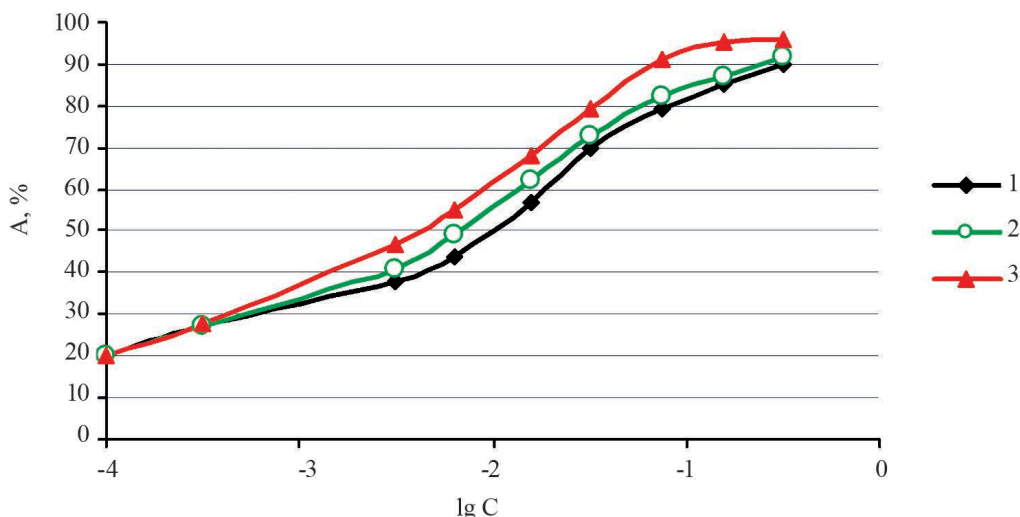


Рис. 4. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) ультрафильтрата гидролизата молозива со степенью гидролиза 5 % (ГМ-5 %-УФ-5 кДа) (1), его комплекс с β -циклодекстрином (ГМ-5 %-УФ-5кДа - β -ЦД) (2) и его комплекс с γ -циклодекстрином (ГМ-5 %-УФ-5кДа - γ -ЦД) (3)

Fig. 4. Dependence of fluorescein fluorescence intensity (A) on the logarithm of the concentration (C) ultrafiltrate of colostrum hydrolysate with a degree of hydrolysis 5 % (ГМ-5 %-УФ-5 кДа) (1), its complex with β -cyclodextrin (ГМ-5 %-УФ-5кДа - β -ЦД) (2) and its complex with γ -cyclodextrin (ГМ-5 %-УФ-5кДа - γ -ЦД) (3)

АОА комплексов гидролизатов с циклодекстринами намного возрастает при сравнении их с исходными циклодекстринами. Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от концентрации β и γ -циклодекстрина представлены на рис. 5. Циклодекстрины имели более низкие показатели $A_{\max}$ и более высокие показатели IC_{50} по сравнению с их комплексами с гидролизатами. Показатель $A_{\max}$ для β -циклодекстрина (β -ЦД) на 25 % ниже образца его комплекса с гидролизатом (ГМ-5 %-УФ-5кДа- β -ЦД), а его показатель IC_{50} (106,5 мкг/мл) в 18 раз выше аналогичного показателя для образца ГМ-5 %-УФ-5кДа- β -ЦД. Показатель $A_{\max}$ для γ -циклодекстрина (γ -ЦД) на 27 % ниже образца его комплекса с гидролизатом (ГМ-5 %-УФ-5 кДа - γ -ЦД), а его показатель IC_{50} (77,7 мкг/мл) в 19,4 раза выше аналогичного показателя для образца ГМ-5 %-УФ-5кДа- γ -ЦД.

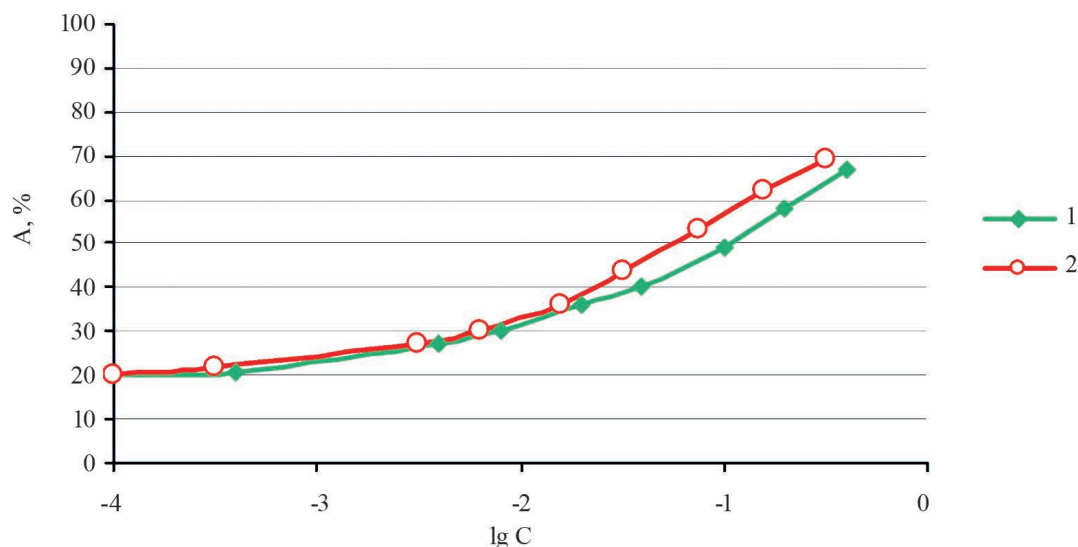


Рис. 5. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) β -циклодекстрина (1) и γ -циклодекстрина (2)

Fig. 5. Dependence of fluorescein fluorescence intensity (A) on the logarithm of the concentration (C) of β -cyclodextrin (1) and γ -cyclodextrin (2)

Заключение

Благодаря гидролизу и последующей ультрафильтрации молозива показано повышение антиоксидантной активности за счет обогащения низкомолекулярной фракции. Показатели $A_{\max}$ образцов гидролизатов молозива с разной степенью гидролизованности увеличивались на 6–10 %, а показатели IC_{50} уменьшались в 1,9–3,3 раза по сравнению с образцами молозива. Показатели $A_{\max}$ образцов ультрафильтратов гидролизованного молозива увеличивались на 1–12% и на 7–15 %, а показатели IC_{50} уменьшались в 1,5–2,3 и 4,2–6,6 раза по сравнению с образцами гидролизатов молозива и нативного молозива соответственно.

Образование комплексов белков молозива с циклодекстринами также приводило к повышению АОА по сравнению с ультрафильтратом гидролизованного молозива, а также с циклодекстринами. Показатели $A_{\max}$ образцов комплексов ГМ- β -ЦД и ГМ- γ -ЦД увеличивались на 2–6 % по сравнению с образцами ультрафильтрата и на 25–27 % по сравнению с циклодекстринами. Показатели IC_{50} комплексов ГМ- β -ЦД и ГМ- γ -ЦД уменьшались в 1,5–2,2 и в 18–19,4 раза по сравнению с образцами ультрафильтрата и циклодекстринами соответственно.

Библиографические ссылки

1. Wada Y, Lönnnerdal B. Bioactive peptides derived from human milk proteins – mechanisms of action. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2014;25(5): 503–514.
2. Mohanty D. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food. *International Journal of Food Properties*. 2016;19:837–846.
3. Raikos V, Dassios T. Health-promoting properties of bioactive peptides derived from milk proteins in infant food: a review. *Dairy Science and Technology*. 2014;94:91–101.
4. Tsabouri S., Douros K., Priftis K.N. Cow's milk allergenicity. *Endocrine, Metabolic and Immune Disorders*. 2014;14(1):16–26.
5. Wal J-M. Bovine milk allergenicity. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*. 2004;93(5):2–11.
6. Madureira AR. Invited review: physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(2):437–455.

7. Sánchez A, Vázquez A. Bioactive peptides: a review. *Journal of Food Safety*. 2017;1(1):29–46.
8. Cao GH, Alessio HM, Cutler RG. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radicals In Biology And Medicine*. 1993;3(14):303–311.
9. Ehlenfeldt MK., Prior RI. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49:2222–2227.
10. Wei Y. A novel H₂O₂-triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light. *Chemical Communications*. 2009;11:1413–1415.
11. Тарун ЕИ, Данькова АВ, Пырко АН. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:77–83.

References

1. Wada Y, Lönnnerdal B. Bioactive peptides derived from human milk proteins – mechanisms of action. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2014;25(5): 503–514.
2. Mohanty D. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food. *International Journal of Food Properties*. 2016;19:837–846.
3. Raikos V, Dassios T. Health-promoting properties of bioactive peptides derived from milk proteins in infant food: a review. *Dairy Science and Technology*. 2014;94:91–101.
4. Tsabouri S., Douros K., Priftis K.N. Cow's milk allergenicity. *Endocrine, Metabolic and Immune Disorders*. 2014;14(1):16–26.
5. Wal J-M. Bovine milk allergenicity. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*. 2004;93(5):2–11.
6. Madureira AR. Invited review: physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(2):437–455.
7. Sánchez A, Vázquez A. Bioactive peptides: a review. *Journal of Food Safety*. 2017;1(1):29–46.
8. Cao GH, Alessio HM, Cutler RG. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radicals In Biology And Medicine*. 1993;3(14):303–311.
9. Ehlenfeldt MK., Prior RI. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49:2222–2227.
10. Wei Y. A novel H₂O₂-triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light. *Chemical Communications*. 2009;11:1413–1415.
11. Tarun EI, Dankova AV, Pyrko AN. *Antioxidantnaya aktivnost' geksahidrokinolonov* [Antioxidant activity of hexahydroquinolones]. *Journal of Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:77–83. Russian.

Статья поступила в редколлегию 01.10.2025.
Received by editorial board 01.10.2025.