

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8>

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА КОРНЕЙ ЦИКОРИЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*CICHORIUM INTIBUS L.*)

Научная статья

Бутенко Л.И.^{1,*}, Лигай Л.В.², Мыкоц Л.П.³, Кулешова С.А.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-8057-6015;

⁴ ORCID : 0000-0001-7004-6889;

^{1,3,4} Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Российская Федерация

² Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (polechka2802[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью исследования являлось установление качественного и количественного состава углеводов корней цикория обыкновенного и продукта его переработки – цикория растворимого натурального, а также изучение сорбционной способности и кинетики этого процесса для полученных из цикория отдельных фракций полисахаридов.

Из измельченных корней цикория были выделены фракции полисахаридов: водорастворимых полисахаридов (ВРПС 3%), пектиновых веществ (ПВ 5,5%), гемицеллюлозы А (8,6%), и гемицеллюлозы Б (0,5%), а в продукте переработки корней цикория: ВРПС – 12% и ПВ – 10%. Определено содержание суммы фруктозидов и фруктозанов в корнях цикория – $27,27 \pm 0,24\%$ и в порошке растворимого цикория – $11,34 \pm 0,14\%$. Доминирующий компонент – фруктозиды (корни цикория – $19,22 \pm 0,18\%$, порошок растворимого цикория – $9,14 \pm 0,13\%$).

Для всех полученных фракций полисахаридов была исследована сорбционная емкость и комплексообразующая способность по отношению Pb^{2+} , которые с ПВ и ВРПС образуются пектаты, способные покидать кишечник вместе с токсичными ионами.

Поэтому корни цикория и продукты его переработки можно предлагать в качестве функциональных продуктов питания – энтеросорбентов, способных связывать токсичные ионы свинца и выводить их из организма.

Ключевые слова: корни цикория обыкновенного, полисахариды, фруктозиды, фруктозаны, сорбция ионов Pb^{2+} , пектаты свинца, энтеросорбенты.

PHYSICO-CHEMICAL STUDIES OF THE CARBOHYDRATE COMPOSITION OF COMMON CHICORY (*CICHORIUM INTIBUS L.*) ROOTS

Research article

Butenko L.I.^{1,*}, Ligai L.V.², Mikots L.P.³, Kuleshova S.A.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-8057-6015;

⁴ ORCID : 0000-0001-7004-6889;

^{1,3,4} Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russian Federation

² Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russian Federation

* Corresponding author (polechka2802[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of the study was to establish the qualitative and quantitative composition of carbohydrates of common chicory roots and the product of its processing – soluble natural chicory, as well as to study the sorption capacity and kinetics of this process for individual fractions of polysaccharides obtained from chicory.

Fractions of polysaccharides were isolated from crushed chicory roots: water-soluble polysaccharides (VRPS 3%), pectin substances (PV 5.5%), hemicellulose A (8.6%), and hemicellulose B (0.5%), and in the product of processing of chicory roots: VRPS – 12% and PV – 10%. The content of the sum of fructosides and fructosans in chicory roots was determined – $27.27 \pm 0.24\%$ and in powder of soluble chicory $11.34 \pm 0.14\%$. The dominant component is fructosides (chicory roots – $19.22 \pm 0.18\%$, soluble chicory powder – $9.14 \pm 0.13\%$).

For all obtained fractions of polysaccharides, the sorption capacity and complexing ability with respect to Pb^{2+} were studied, which form pectates with HP and VRPS, which can leave the intestine together with toxic ions.

Therefore, chicory roots and products of its processing can be offered as functional food – enterosorbents that can bind toxic lead ions and remove them from the body.

Keywords: roots of ordinary chicory, polysaccharides, fructosides, fructosans, sorption of Pb^{2+} ions, lead pectates, enterosorbents.

Введение

Углеводы являются важнейшим классом биологически активных соединений необходимых для жизнедеятельности человека. Содержание углеводных запасов в массе тела человека составляет не более 1%, а суточная потребность

человека в углеводах составляет 400-500 г. Низкомолекулярные полисахариды живой природы играют активнейшую роль в формировании иммунитета, являясь носителями химической информации о любой живой клетке. Наиболее интересными источниками углеводов являются сельскохозяйственные культуры, содержащие в большом количестве такие соединения, как инулин и олигофруктозу [1], [2]. Корни цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L. семейства Астровые Asteraceae Bercht. & J. Presl) содержат инулин и олигофруктозаны (14-16 %) [3], [4].

Корни цикория обыкновенного обладают широким спектром биологического действия. Полисахариды, выделенные из корней цикория, активизируют энтеро-гепатическую циркуляцию, способствуют выделению из организма излишнего холестерина и ионов свинца (Pb^{2+}) из костной ткани, играют важную роль в профилактике атеросклероза [5], [6]. Кроме того, из корней цикория получают такие популярные продукты, как жареный измельченный цикорий и жареный растворимый цикорий (*цикорий натуральный растворимый – ЦНР*), которые используются в качестве заменителя кофе. Причем эти продукты имеют ряд преимуществ: в них нет кофеина, но они обладают кофейным ароматом, вкусом и содержат растворимые пищевые полисахариды [7], [8]. В настоящее время напитки из цикория приобрели огромную популярность благодаря своему уникальному химическому составу и экономической доступности. Помимо того, на основе корней цикория получают цикорную муку, которая придает хлебобулочным изделиям полезные свойства [9], [10].

ЦНР – это порошок водного экстракта измельченных обжаренных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.). В настоящее время для контроля качества цикория растворимого натурального применяется техническое условие «Цикорий натуральный растворимый» [11], которое регламентирует содержание фруктозы 5,0-20,0%, глюкозы – 2,0-5,0% и сахарозы – 2,0-5,0%.

Целью исследования являлось установление качественного и количественного состава углеводов корней цикория обыкновенного и продукта его переработки – цикория растворимого натурального, а также изучение сорбционной способности и кинетики этого процесса для полученных из цикория отдельных фракций полисахаридов.

Методы и принципы исследования

Объектами исследования были выбраны:

- 1) корни цикория, заготовленные Пшуковой Ириной Васильевной в конце октября после отмирания надземной части растения на территории ботанического сада ПМФИ;
- 2) цикорий натуральный растворимый порошкообразный «Русский цикорий» – ГОСТ Р 55512-2013, изготовитель – торгово-производственная компания «СТОКРОС», г. Ярославль.

Методика получения отдельных фракций полисахаридов. Выделение водорастворимых полисахаридов (ВРПС), пектиновых веществ (ПВ), гемицеллюлозы А и гемицеллюлозы Б (ГЦ А и ГЦ Б) проводили по методике [12], основанной на последовательной экстракции ВРПС водой, ПВ – оксалатным буфером (раствора оксалата аммония 0,5% и раствора щавелевой кислоты 0,5% (1:1)), ГЦ А и ГЦ Б – 7% раствором гидроксида натрия. Полисахаридные комплексы осаждали двойным объемом спирта этилового 96%. Полученные осадки полисахаридов высушивали в эксикаторе над кислотой серной концентрированной.

Определение суммы фруктозидов и фруктозанов проводили по методике, разработанной на кафедре фармакогнозии и ботаники Волгоградского государственного медицинского университета [13]. Основой методики является различная растворимость инулина и фруктозидов в воде и в спирте этиловом.

Инулин хорошо растворим в воде, но плохо растворим в спирте этиловом 96%, а фруктозиды хорошо растворимы и в воде, и в спирте этиловом. Из сырья цикория готовили два извлечения: водное, в которое переходил инулин и спиртовое, в которое экстрагировались только фруктозиды. Далее получали красный комплекс с резорцином в кислоте соляной и измеряли оптическую плотность на спектрофотометре при длине волны (480 ± 2) нм в кювете с толщиной слоя 10 мм относительно раствора сравнения, полученного с использованием дистиллированной воды.

Определение сорбционных характеристик. Изучение сорбционной способности и кинетики этого процесса для полученных из цикория водорастворимых полисахаридов, пектиновых веществ, гемицеллюлозы А и гемицеллюлозы Б проводили по методике определения комплексобразующей способности (КС) полисахаридов при обработке этих растворов стандартным раствором свинца. Пектинат свинца осаждался, а в надосадочной жидкости с помощью комплексометрического титрования определялось содержание ионов свинца. Сорбционная емкость пектинов определялась по разнице между вносимым и остаточным количеством ионов свинца в расчете на 1 г пектина.

Навеску полисахаридов (0,20 г) помещали в колбу объемом 100 мл, добавляли 30 мл воды очищенной. С помощью магнитной мешалки раствор перемешивали до полного растворения полисахаридов. При добавлении раствора ацетата свинца (0,035 М) выпадал осадок пектата свинца, который разбавляли водой очищенной до 100 мл.

Через определенный промежуток времени (10, 20, 30, 40, 60 мин) растворы центрифугировали, фильтровали. В колбу на 100 мл помещали 10 мл фильтрата, добавляли 10 мл ацетатного буферного раствора (рН = 5,5), доводили водой очищенной до метки.

Содержание связавшихся ионов свинца в надосадочной жидкости находили титриметрическим методом, используя раствор натрия этилен диамина тетра ацетат двузамещенного (0,01М) в присутствии ксиленового оранжевого до перехода малиновой окраски в лимонно-желтую [14], [15], [16].

Основные результаты

1. Из корней цикория обыкновенного были выделены четыре фракции полисахаридов: ВРПС – 3%, ПВ – 5,5%, ГЦА – 8,6%, ГЦБ – 0,5%. А из растворимого порошка цикория выделены две фракции: ВРПС – 12%, ПВ – 10%;

2. Определено содержание основных биологически активных соединений водорастворимых полисахаридов – суммы фруктозидов и фруктозанов: в корнях цикория обыкновенного $27,27 \pm 0,24\%$, а в порошке растворимого цикория $11,34 \pm 0,14\%$. Также установлено количество фруктозидов: в корнях цикория $19,22 \pm 0,18\%$, а в порошке растворимого цикория $9,14 \pm 0,13\%$;

3. Для всех полученных фракций полисахаридов (ПВ, ВРПС, ГЦ А и ГЦ Б) из измельченных корней цикория была исследована сорбционная емкость по отношению к ионам свинца (Pb^{2+}), извлекаемых из водного раствора ацетата свинца;

4. Установлено, что время достижения сорбционного равновесия в системе «раствор – сорбент» составляет 0,5 часа;

5. Изучение механизма протекания процесса образования пектатов свинца показало, что процесс комплексообразования протекает по реакции первого порядка;

6. Установлено, что комплексообразующая способность по отношению к ионам свинца (Pb^{2+}) фракций полисахаридов – ВРПС (559,6 мк/г) и ПВ (456,0 мк/г) более выражена, чем для целлюлозных фракций ГЦ А (145,2 мк/г) и ГЦ Б (166 мк/г);

7. Определено, что максимальное извлечение ионов свинца (Pb^{2+}) наблюдается при их сорбции на ВРПС (67,5%) и ПВ (55%). Извлечение ионов свинца (Pb^{2+}) целлюлозосодержащими сорбентами значительно ниже и составило 20% и 17,5% для ГЦ Б и ГЦ А соответственно;

8. Показано, что предел насыщения адсорбционного слоя (A_{∞}) у ВРПС и ПВ достигается быстрее, чем у целлюлозных сорбентов, что подтверждает их более высокую сорбционную активность;

9. Установлено, что эмпирическая константа Фрейндлиха (К), характеризующая природу адсорбента и адсорбата, имеет большую величину для ВРПС и ПВ. Значит и родство адсорбента к адсорбату в этом случае больше;

10. Отмечено, что аналитически адсорбционные изотермы ВРПС и ПВ лучше описываются уравнением Лэнгмюра. Адсорбция является локализованной и вызывается силами близкими к химическим;

11. Сорбенты ВРПС и ПВ могут быть предложены в качестве альтернативы для решения одной из проблем экологической пищевой промышленности и медицины, обусловленной поступлением в организм человека избыточных количеств тяжелых металлов.

Обсуждение

Углеводы являются одним из ведущих классов биологически активных соединений корней цикория обыкновенного. По классической методике [17] были получены четыре фракции полисахаридов, выделенных различными экстрагентами. Выход полисахаридов составляет ВРПС – 3%, ПВ – 5,5%, ГЦ А – 8,6%, ГЦ Б – 0,5%. Из корней цикория обыкновенного получают растворимый порошок, который используют как напиток. Поэтому были определены полисахариды продукта переработки корней цикория: ВРПС – 12% и ПВ – 10%. Содержание полисахаридов, хорошо растворимых в воде, намного выше в продукте переработки. Необходимо учесть, что во фракцию ВРПС переходит инулин.

Наиболее интересным и важным для характеристики продуктов на основе корней цикория обыкновенного является показатель содержания растворимого в воде полисахарида инулина. Инулин – это полифруктозан, состоящий из остатков фруктозы (30-35) в фуранозной форме. Инулин, как полисахарид, можно отнести к классу растворимых пищевых волокон, обладающих широчайшим спектром биологической активности. Его можно рассматривать как пребиотик, входящий в состав функциональных продуктов питания.

Количественное определение суммы фруктозидов и фруктозанов в корнях цикория и в порошке растворимого цикория определяли методом спектрофотометрии. Данный метод основан на измерении оптической плотности продуктов взаимодействия фруктозы, образующейся после гидролиза инулина с резорцином в кислой среде [13]. Измерение оптической плотности проводили при длине волны 480 нм.

Содержание суммы фруктозидов и фруктозанов в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье в процентах (X_1) и суммы фруктозидов (X_2) вычисляли по формулам:

$$X(1) = D \times 200 \times 100 \times 25 \times 100 / (498 \times m \times (100 - W)) \quad (1)$$

где D – оптическая плотность анализируемого образца;

498 – удельный показатель поглощения продуктов взаимодействия инулина с резорцином в кислой среде;

m – масса сырья, г;

W – влажность.

Количественное содержание суммы фруктозидов в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье в процентах (X_2) вычисляли по формуле:

$$X(2) = D \times 200 \times 50 \times 25 \times 100 / (498 \times m \times (100 - W)) \quad (2)$$

где D – оптическая плотность анализируемого образца;

498 – удельный показатель поглощения продуктов взаимодействия инулина с резорцином в кислой среде;

m – масса сырья, г;

W – влажность.

Определение фруктозанов. Содержание фруктозанов (X_3) в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье в процентах вычисляли по разности содержания фруктозидов и фруктозанов (X_1) и фруктозидов (X_2).

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты количественного определения суммы фруктозидов и фруктозанов в корнях цикория и в порошке растворимого цикория

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.1>

	корни цикория, содержание в %	порошок растворимого цикория, содержание в %
сумма фруктозидов и фруктозанов	27,27 ± 0,24	11,34 ± 0,14
сумма фруктозидов	19,22 ± 0,18	9,14 ± 0,13
сумма фруктозанов	7,95 ± 0,18	2,27 ± 0,13

Как видно из результатов, приведенных в таблице 1, содержание инулина в продукте переработки корней цикория более чем в два раза меньше, чем в сырье. При пирогенетическом процессе переработки корней цикория происходит частичный гидролиз инулина. Доминирующим компонентом в корнях и растворимом цикории являются фруктозиды.

Для полученных фракций полисахаридов изучали сорбционную способность относительно ионов свинца (II), при взаимодействии которого с ПВ и ВРПС образуются пектаты, способные покидать кишечник вместе с токсичными ионами.

Исследования сорбционной активности всех полученных фракций полисахаридов из корней цикория проводили методом осаждения пектата свинца и титриметрического содержания связавшихся ионов свинца [14]. Расчет количества ионов свинца (Pb^{2+} $m_{Pb^{2+}}$, мг/г) проводили по формуле (3)

$$m_{Pb^{2+}} = (\Delta Pb^2 + \times C_m \times V) \times 10 \quad (3)$$

где ΔPb^{2+} – молярная эквивалентная масса ионов свинца (Pb^{2+}), моль/л;

V – объем раствора титранта, мл;

C_m – концентрация раствора титранта, моль/л.

Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение количества ионов свинца (Pb^{2+}), при его сорбции на ПК, ВРПС, ГЦА и ГЦБ, выделенных из корней цикорияDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.2>

Полисахариды	t, мин	Количество ионов свинца (Pb^{2+}), мг	Концентрация ионов свинца (Pb^{2+}), ммоль/л	Степень связывания, в %	Комплексообраз. способность, мг/г
ПВ	0	82,9	40,0	-	-
	10	41,1	20,0	50,0	416,6
	20	39,4	19,0	52,5	435,3
	30	37,3	18,0	55,0	456,0
	40	37,3	18,0	55,0	456,0
ВРПС	0	82,9	40,0	-	-
	10	31,1	15,0	62,5	518,0
	20	29,0	14,0	65,0	539,0
	30	26,9	13,0	67,5	559,6
	40	26,9	13,0	67,5	559,6
ГЦА	0	82,9	40,0	-	-
	10	72,5	35,0	12,5	103,8
	20	70,5	34,0	15,0	124,5
	30	68,4	33,0	17,5	145,2
	40	68,4	33,0	17,5	145,2
ГЦБ	0	82,9	40,0	-	-
	10	68,4	33,0	17,5	145,2
	20	67,3	32,5	18,5	156,0
	30	66,4	32,0	20,0	166,0
	40	66,4	32,0	20,0	166,0

Отмечено, что сорбционная способность биополимеров по отношению к ионам Pb^{2+} находится в пределах от 20 до 67,5%. Время достижения равновесия не зависело от природы полисахарида и составило 0,5 часа. Однако наибольшей сорбционной способностью обладают ВРПС, выделенные из корня цикория обыкновенного, что позволяет рассматривать его как безопасный энтеросорбент.

Представляло интерес установление механизма протекания процесса образования пектатов свинца. Линейность графической зависимости $\ln C$ от времени (рисунок 1) для исследуемых образцов позволила предположить, что процесс протекает по реакции первого порядка.

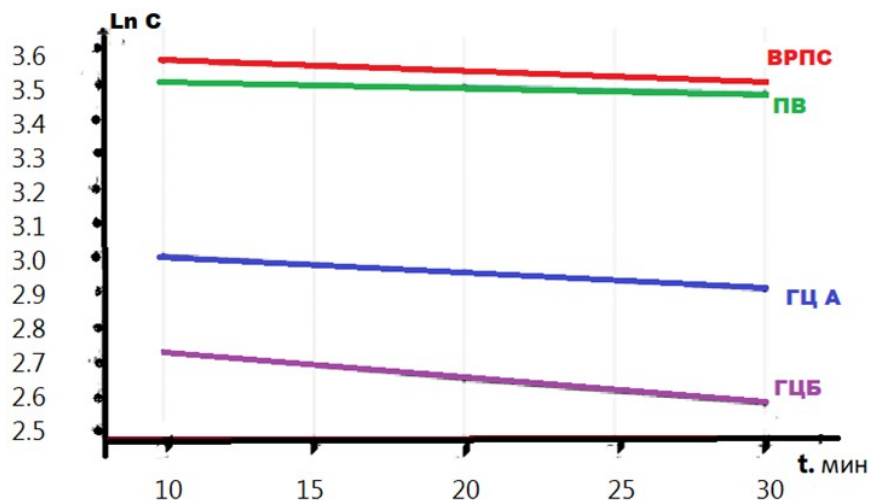


Рисунок 1 - Зависимость $\ln C$ от t (мин.) для процесса сорбции ионов свинца (Pb^{2+}).
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.3>

Константу скорости определяли графически по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс. Найденные величины составили для ВРПС, ПВ, Гц А и Гц Б соответственно: $1,22 \times 10^{-2}$; $1,17 \times 10^{-2}$; $3,5 \times 10^{-3}$; 4×10^{-3} (мин^{-1}).

Количественно сорбционную способность полисахаридов оценивали по величине адсорбции, рассчитанной по зависимости (4) [15], [16], [17].

$$A_{\text{экс.}} = \Delta C \times V/g \quad (4)$$

где $A_{\text{экс.}}$ – экспериментальная адсорбция (ммоль/г);

ΔC – изменение концентрации ионов свинца (Pb^{2+}), поглощенных адсорбентом (ммоль/л);

V – объем раствора (л);

g – масса навески адсорбента (г).

Кинетическая кривая сорбции ионов свинца (Pb^{2+}), представлена на рисунке 2.

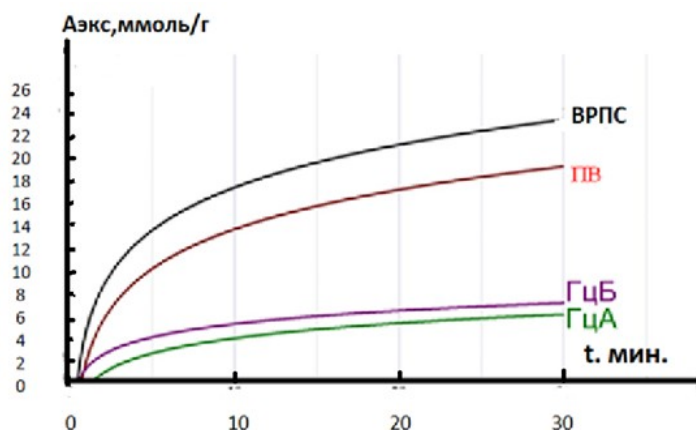


Рисунок 2 - Кинетическая кривая сорбции ионов свинца (Pb^{2+}).
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.4>

Сорбционная способность у ВРПС выше, чем у ПВ, а изотермы сорбции на целлюлозных полисахаридах близки друг другу.

Теоретически адсорбция на поверхности «твердое тело – жидкость» описывается уравнениями Лэнгмюра (A_n) и Фрейндлиха (A_f). Их применимость связана с природой поверхности адсорбента и концентрацией адсорбтива.

Уравнение Фрейндлиха – (5) [16], [17]:

$$A_{\Phi} = K \times C^{1/n} \quad (5)$$

где: C – равновесная концентрация адсорбата (ммоль/л);

K и $1/n$ – эмпирические константы.

Физический смысл константы K – это величина адсорбции при равновесной концентрации адсорбтива, равной 1 моль/л. Поэтому она зависит от природы адсорбата и адсорбтива, и колеблется в широких пределах. Показатель $1/n$ характеризует степень приближения изотермы адсорбции к прямой. Но так как константа $1/n < 1$ для адсорбции ионов свинца (Pb^{2+}) на всех углеводородных сорбентах, то уравнение Фрейндлиха более пригодно для интервалов средних концентраций.

Константы уравнения Фрейндлиха находили, используя уравнение Фрейндлиха в логарифмической форме (6):

$$LgA = LgK + 1/n \times LgC \quad (6)$$

Используя экспериментальные данные, строили график зависимости: $Lg A_{\text{экс}}$ от $Lg \Delta C$. На примере адсорбции ВРПС представлена линейность этой зависимости на рисунке 3.

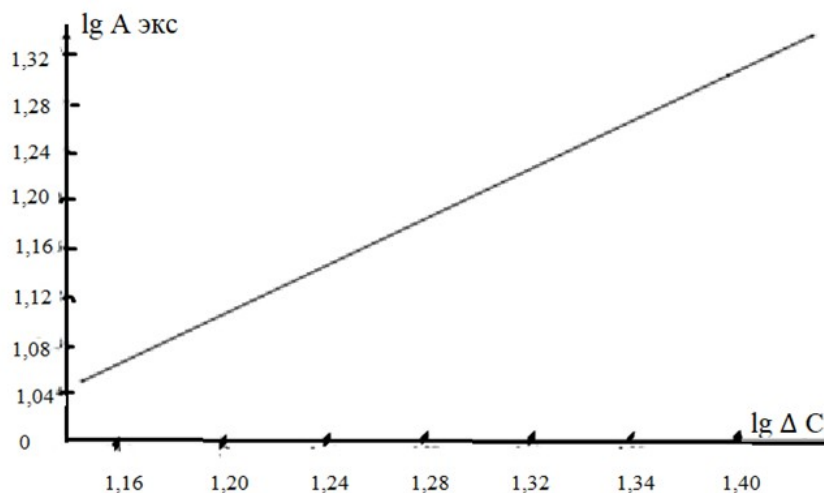


Рисунок 3 - Графическое определение констант уравнения Фрейндлиха
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.5>

Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс позволил определить константу $1/n$, а отрезок отсекаемый прямой от оси ординат равен $Lg K$. Тогда $K = 10^x$, где x – величина отрезка.

Теория Лэнгмюра описывает явления как химической, так и физической адсорбции с известными ограничениями. В случае действия адсорбционных сил, имеющих природу, близкую к химической, каждый активный центр адсорбента адсорбирует только одну молекулу адсорбтива. Тогда на поверхности адсорбента и образуется монослой, характеризующийся величиной предельной адсорбции (A_{∞}). Для описания такой адсорбции используется уравнение Лэнгмюра.

Уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра (7) [16], [17]:

$$A_{\text{л}} = A_{\infty} C / (B + C) \quad (7)$$

где: C – равновесная концентрация (ммоль/л);

B , A_{∞} – константы.

Константы A_{∞} и B являются индивидуальными характеристиками процесса адсорбции каждого вещества на каждом адсорбенте. Адсорбционный коэффициент B показывает сродство адсорбтива к адсорбенту.

Константа A_{∞} – количество адсорбтива (ммоль), адсорбированное единицей массы адсорбента (г), соответствующее полному заполнению всех активных центров.

Константы уравнения Ленгмюра определяли по графической зависимости $1/A_{\text{экс}}$ от $1/\Delta C$. На примере адсорбции ионов свинца (Pb^{2+}) на ВРПС эта зависимость представлена на рисунке 4.

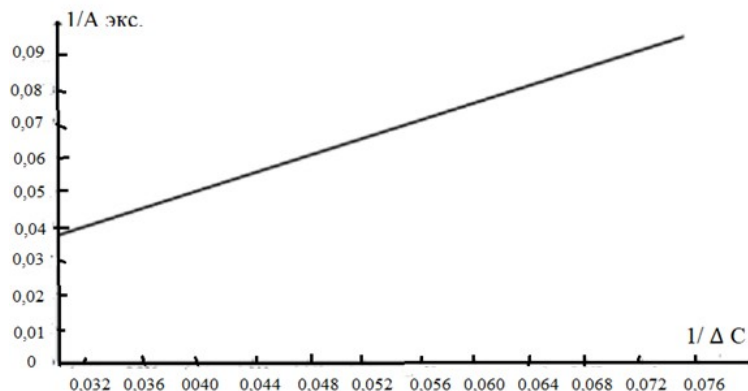


Рисунок 4 - Графическое определение констант уравнения Лэнгмюра
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.6>

График при экстраполяции отсекает от оси ординат отрезок равный $1/A\infty$. Величина константы $1/v=1/\Delta C$ найдена через удвоение отрезка и нахождения величины на оси абсцисс = $2/A\infty$. Результаты найденных констант представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Коэффициенты уравнений Лэнгмюра и Фрейндлиха природных сорбентов, полученных из корней цикория
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.7>

Сорбент	$A\infty$.	B	K	1/n
ВРПС	21,71	12,52	2,70	0,67
ПВ	18,52	10,0	2,63	0,64
Гц Б	50,0	33,3	2,28	0,78
Гц А	33,3	25,0	1,99	0,75

Чем быстрее достигается предел насыщения поверхности сорбента, тем больше должна быть величина K – константа Фрейндлиха. Для ВРПС она оказалась выше (2,7), чем для Гц А (1,99), что хорошо согласуется со степенью связывания ионов свинца (Pb^{2+}), – 67,5% и 17,5% соответственно. Предел насыщения адсорбционного слоя ($A\infty$) у ВРПС и ПВ достигался быстрее, чем у целлюлозных сорбентов, что подтверждает их более высокую сорбционную эффективность. При этом и константа Фрейндлиха (K), характеризующая природу адсорбента и адсорбтива, у ВРПС и ПВ имеет большую величину. Значит, и в этом случае сродство адсорбтива и адсорбента больше.

В таблице 4 представлены сравнительные результаты найденных величин адсорбции и их соотношения.

Таблица 4 - Результаты определения соотношений величин адсорбции
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.8>

ΔC , ммоль/л	Аэкс, ммоль/г	Аф, ммоль/г	Ал, ммоль/г	Аэкс/ Аф	Аэкс /Ал
ВРПС					
14	11,2	15,3	11,4	0,7	0,9
25	20,0	22,5	14,5	0,8	1,3
26	20,8	23,1	14,8	0,9	1,4
27	21,6	23,6	15,0	0,9	1,4
-	-	-	ср	0,8	1,2
ПВ					
10	8,0	11,2	9,3	0,7	0,8
20	16,0	18,8	12,3	0,75	1,3
21	16,8	19,5	12,5	0,8	1,3
22	17,6	20,2	12,7	0,8	1,3
-	-	-	ср	0,8	1,2
Гц А					
2,5	2,0	3,9	3,0	0,5	0,7
5,0	4,0	6,6	5,6	0,6	0,7

ΔС, ммоль/л	Аэкс, ммоль/г	Аф, ммоль/г	Ал, ммоль/г	Аэкс/ Аф	Аэкс /Ал
6,0	4,8	7,6	6,4	0,6	0,8
7,0	5,6	8,5	7,3	0,6	0,8
-	-	-	ср	0,6	0,8
Гц Б					
4,0	3,2	6,8	5,4	0,5	0,6
7,5	6,0	11,1	9,2	0,5	0,7
8,0	6,4	11,6	9,7	0,5	0,7
8,0	6,4	11,6	9,7	0,5	0,7
-	-	-	ср	0,5	0,7

Анализ сорбционного процесса показал, что при использовании полисахаридов ВРПС и ПВ из корня цикория процесс лучше описывается уравнением Лэнгмюра. В случае целлюлозосодержащих сорбентов подчинение уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха оказалось сопоставимым.

Полученные данные показывают, что среди полисахаридов ВРПС и ПВ наибольшее сродство сорбента к ионам свинца (Pb^{2+}), наблюдается у ВРПС. Возможно, на его поверхности большее число активных центров, поэтому параметр сорбционного взаимодействия адсорбата с адсорбентами так же оказался большей величиной. Среди целлюлозных сорбентов такая же зависимость наблюдается относительно Гц Б. Значительную роль при адсорбции выполняет строение поверхности раздела. На поверхности адсорбента одной и той же природы, но разной конфигурации поверхности: гладкой или шероховатой, адсорбция протекает различно. Судить об этом можно по характеру изученных изотерм и данным таблицы 4. Соотношение экспериментальных и рассчитанных по уравнениям Фрейндлиха и Лэнгмюра величин адсорбции показало, что функциональная зависимость величин сорбции от равновесной концентрации ионов свинца (Pb^{2+}) больше подчиняется уравнению Лэнгмюра. Это может свидетельствовать о небольшой шероховатости поверхности сорбентов, с энергетически эквивалентными адсорбционными центрами.

На основании проведенных исследований фракционного состава полисахаридных фракций корней цикория обыкновенного и исследовании их физико-химических характеристик можно сделать вывод, что фракция водорастворимых полисахаридов является наиболее значимой. Полисахариды ВРПС обладают наиболее выраженной комплексообразующей способностью к токсичным ионам свинца (Pb^{2+}). Во фракцию ВРПС переходит главный компонент корней цикория, ответственный за фармакологическую активность – инулин. С другой стороны, в настоящее время цикорий обыкновенный перестал быть заменителем кофе, а является самостоятельным вкусным и полезным напитком. Обладая энтеросорбирующими свойствами, он способствует очищению организма от биогенных токсинов, анаболиков, биологически вредных веществ (аммиака, желчных кислот, различных цитокинов). Учитывая вышеизложенное, целесообразно предложить применение корней цикория в формате добавки в лечебно-профилактической медицине и диетическом питании в качестве источника растворимых пищевых волокон. Они способствуют защите организма от солей тяжелых металлов, попадающих в него с пищей, водой и их выведению из организма.

Поэтому корни цикория и продукты его переработки можно предлагать в качестве функциональных продуктов питания – энтеросорбентов, способных связывать токсичные ионы свинца и выводить их из организма.

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности использования корней цикория и порошка растворимого цикория в качестве энтеросорбентов и биологически активных добавок с лечебно-профилактическими целями.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность Пшуковой Ирине Васильевне за предоставленное сырье – корни цикория, заготовленные в конце октября после отмирания надземной части растения на территории ботанического сада Пятигорского Медико-Фармацевтического Института.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.9>

Acknowledgement

The authors express their gratitude to Pshukova Irina Vasilievna for providing the raw material – chicory roots harvested in late October after the dying off of the above-ground part of the plant in the botanical garden of the Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute.

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.8.9>

Список литературы / References

1. Singh R.S. Biotechnological Applications of Inulin-Rich Feedstocks / R.S. Singh, T. Singh, C. Larroche // *J. Biotech.* — 2019. — 273. — P. 641-653. — DOI: 10.1016/j.biortech.2018.11.031.
2. Balzarini M.F. Comparative Study of Hot Air and Vacuum Drying on the Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Chicory roots / M.F. Balzarini, M.A. Reinheimer, M.C. Ciappini et al. // *J Food Sci Technol.* — 2018. — 55(10). — P. 4067-4078. — DOI: 10.1007/s13197-018-3333-5.
3. Ali S.I. Chicory (*Cichorium intybus*) and Wormwood (*Artemisia absinthium*) Extracts Exhibit Strong Larvicidal Activity against Mosquito Vectors of Malaria, Dengue Fever, and Filariasis / S.I. Ali, B. Gopalakrishnan, V. Venkatesalu // *Parasitol Int.* — 2018. — 67(6). — P. 781-786. — DOI: 10.1016/j.parint.2018.08.005.
4. Maroufi A. Inulin Chain Length Modification Using a Transgenic Approach Opening New Perspectives for Chicory / A. Maroufi, M. Karimi, K. Mehdikhanlou et al. // *Biotech.* — 2018. — 8(8). — P. 349. — DOI: 10.1007/s13205-018-1377-x.
5. Wu Y. Chicory (*Cichorium intybus* L.) Polysaccharides Attenuate High-Fat Diet Induced Non-Alcoholic Fatty Liver Disease via AMPK Activation / Y. Wu, F. Zhou, H. Jiang et al. // *Int J Biol Macromol.* — 2018. — 118. — Pt. A. — P. 886-895. — DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.140.
6. Fouré M. Chicory Roots for Prebiotics and Appetite Regulation: A Pilot Study in Mice / M. Fouré, C. Dugardin, B. Foligné et al. // *J Agric Food Chem.* — 2018. — 66(25). — P. 6439-6449. — DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01055.
7. Хотимченко Ю.С. Применение энтеросорбентов в медицине / Ю.С. Хотимченко, А.В. Кропотков // *Тихоокеанский медицинский журнал.* — 1999. — 2. — С. 84-89.
8. Лузина Е.В. Пищевая ценность цикория / Е.В. Лузина // *Вопр. питания.* — 2013. — Т. 82. — 2. — С. 62-65.
9. Оробинская В.Н. Инулин, левулин и олигофруктозы — пребиотики XXI века / В.Н. Оробинская, О.Н. Писаренко // *Перспективы науки.* — 2015. — 2(65). — С. 18-23.
10. Малкина В.Д. Хлебобулочные изделия антидиабетического действия / В.Д. Малкина, Х.А. Балужан, Е.В. Жиркова и др. // *Вопросы питания.* — 2015. — Т. 84. — S5. — С. 52.
11. ГОСТ Р 55512-2013. Цикорий натуральный растворимый. Технические условия (с поправкой). — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 7 с.
12. Кочетков Н.К. Химия биологически активных веществ / Н.К. Кочетков. — М., 1970. — 631 с.
13. Яницкая А.В. Исследования по стандартизации инулин содержащего лекарственного растительного сырья и противодиабетических комплексов / А.В. Яницкая, И.Ю. Митрофанова // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета.* — 2012. — 4. — С. 80-82.
14. Бек М. Химия реакций комплексообразования / М. Бек. — М.: Мир, 1973. — 879 с.
15. Мыкоц Л.П. Изучение кинетики реакций образования полиуранатов свинца при взаимодействии свинца с биополимерами, выделенными из растительного сырья / Л.П. Мыкоц, О.М. Жилина, Т.Н. Сысоева // *Успехи современной науки и образования.* — 2017. — Т. 9. — 4. — С. 161-164.
16. Бутенко Л.И. Некоторые физико-химические свойства апитоксина / Л.И. Бутенко, Л.П. Мыкоц, Н.А. Туховская // *Успехи современного естествознания.* — 2019. — 2. — С. 5-10.
17. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. — М.: Химия, 1989. — 464 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Singh R.S. Biotechnological Applications of Inulin-Rich Feedstocks / R.S. Singh, T. Singh, C. Larroche // *J. Biotech.* — 2019. — 273. — P. 641-653. — DOI: 10.1016/j.biortech.2018.11.031.
2. Balzarini M.F. Comparative Study of Hot Air and Vacuum Drying on the Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Chicory roots / M.F. Balzarini, M.A. Reinheimer, M.C. Ciappini et al. // *J Food Sci Technol.* — 2018. — 55(10). — P. 4067-4078. — DOI: 10.1007/s13197-018-3333-5.
3. Ali S.I. Chicory (*Cichorium intybus*) and Wormwood (*Artemisia absinthium*) Extracts Exhibit Strong Larvicidal Activity against Mosquito Vectors of Malaria, Dengue Fever, and Filariasis / S.I. Ali, B. Gopalakrishnan, V. Venkatesalu // *Parasitol Int.* — 2018. — 67(6). — P. 781-786. — DOI: 10.1016/j.parint.2018.08.005.
4. Maroufi A. Inulin Chain Length Modification Using a Transgenic Approach Opening New Perspectives for Chicory / A. Maroufi, M. Karimi, K. Mehdikhanlou et al. // *Biotech.* — 2018. — 8(8). — P. 349. — DOI: 10.1007/s13205-018-1377-x.
5. Wu Y. Chicory (*Cichorium intybus* L.) Polysaccharides Attenuate High-Fat Diet Induced Non-Alcoholic Fatty Liver Disease via AMPK Activation / Y. Wu, F. Zhou, H. Jiang et al. // *Int J Biol Macromol.* — 2018. — 118. — Pt. A. — P. 886-895. — DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.140.
6. Fouré M. Chicory Roots for Prebiotics and Appetite Regulation: A Pilot Study in Mice / M. Fouré, C. Dugardin, B. Foligné et al. // *J Agric Food Chem.* — 2018. — 66(25). — P. 6439-6449. — DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01055.
7. Хотимченко Ю.С. Применение энтеросорбентов в медицине [The Medical Application of Enterosorbents] / Ю.С. Хотимченко, А.В. Кропотков // *Tihookeanskij medicinskij zhurnal [Pacific Journal of Medicine].* — 1999. — 2. — P. 84-89. [in Russian]
8. Лузина Е.В. Пищевая ценность цикория [Nutritional Value of Chicory] / Е.В. Лузина // *Vopr. pitaniya [Issues of Nutrition].* — 2013. — Vol. 82. — 2. — P. 62-65. [in Russian]
9. Оробинская В.Н. Инулин, левулин и олигофруктозы — пребиотики XXI века [Inulin, Levulin and Oligofructose – Prebiotics of the 21st Century] / В.Н. Оробинская, О.Н. Писаренко // *Perspektivy nauki [Perspectives of Science].* — 2015. — 2(65). — P. 18-23. [in Russian]
10. Малкина В.Д. Хлебобулочные изделия антидиабетического действия [Antidiabetic Baked Goods] / В.Д. Малкина, Х.А. Балужан, Е.В. Жиркова et al. // *Voprosy pitaniya [Issues of Nutrition].* — 2015. — Vol. 84. — S5. — P. 52. [in Russian]

11. GOST R 55512-2013. Cikorij natural'nyj rastvorimyj. Tehnicheskie uslovija (s popravkoj) [GOST P 55512-2013. Natural instantaneous chicory. Technical specifications (as amended)]. — Int. 2015-01-01. — Moscow: Standartinform, 2014. — 7 p. [in Russian]
12. Kochetkov N.K. Himija biologicheski aktivnyh veshhestv [Chemistry of Biologically Active Substances] / N.K. Kochetkov. — M., 1970. — 631 p. [in Russian]
13. Janickaja A.V. Issledovanija po standartizacii inulin sodержashhego lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja i protivodiabeticheskikh kompleksov [Studies on the Standardization of Inulin-containing Medicinal Plant Raw Materials and Antidiabetic Complexes] / A.V. Janickaja, I.Ju. Mitrofanova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta [Bulletin of the Volgograd State Medical University]. — 2012. — 4. — P. 80-82. [in Russian]
14. Bek M. Himija reakcij kompleksobrazovanija [Chemistry of Complexing Reactions] / M. Bek. — M.: Mir, 1973. — 879 p. [in Russian]
15. Mykoc L.P. Izuchenie kinetiki reakcij obrazovanija poliuranatov svinca pri vzaimodejstvii svinca s biopolimerami, vydelennymi iz rastitel'nogo syr'ja [Studying the Kinetics of Reaction Formation of Lead Polyuranates in the Interaction of Lead with Biopolymers Extracted from Plant Raw Materials] / L.P. Mykoc, O.M. Zhilina, T.N. Sysoeva // Uspehi sovremennoj nauki i obrazovanija [Advances in Modern Science and Education]. — 2017. — Vol. 9. — 4. — P. 161-164. [in Russian]
16. Butenko L.I. Nekotorye fiziko- himicheskie svoystva apitoksina [Some Physico-Chemical Properties of Apitoxin] / L.I. Butenko, L.P. Mykoc, N.A. Tuhovskaja // Uspehi sovremennogo estestvoznaniija [Advances in Modern Natural Science]. — 2019. — 2. — P. 5-10. [in Russian]
17. Frolov Ju.G. Kurs kolloidnoj himii. Poverhnostnye javlenija i dispersnye sistemy [A Course in Colloid Chemistry. Surface Phenomena and Dispersion Systems] / Ju.G. Frolov. — M.: Himija [Chemistry], 1989. — 464 p. [in Russian]