

УДК 615.322

ЯКОН КЛУБНЕНОСНЫЙ: ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР)

© А.В. Дронова, Н.А. Дьякова*

Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
Воронеж, 394006 (Россия), e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Литературный обзор посвящен якону клубненосному (*Smallanthus sonchifolius*), многолетнему растению семейства *Asteraceae*, широко используемому в традиционной медицине. Клубни якона характеризуются достаточно высоким содержанием инулина для промышленного получения. Приведенные в обзоре данные показывают, что *Smallanthus sonchifolius* обладает доказанным пребиотическим эффектом благодаря высокому содержанию фруктоолигосахаридов, а также других химических соединений и имеет большой потенциал в качестве пребиотика. Помимо пребиотического эффекта якон обладает широким спектром фармакологического действия, включая антидиабетическое, гипогликемическое, гиполлипидемическое, противовоспалительное, противоопухолевое, иммуностимулирующее, антиоксидантное, антидепрессивное, гепатопротекторное, сперматогенное, антибактериальное, противогрибковое, противопаразитарное, анальгезирующее. Настои, приготовленные из листьев якона, могут быть не только эффективными средствами против гипергликемии, но и относительно богатым источником полифенольных антиоксидантов. Якон имеет потенциал в качестве растительной добавки для лечения мужского бесплодия и нормализации низкого уровня тестостерона, например, при ЛОН-синдроме. Многообразие фармакологического действия якона обусловлено содержанием различных групп биологически активных веществ, описанных в обзоре. В подземных органах, листьях, цветках якона содержатся различные химические соединения, включая фенолокислоты, сесквитерпеновые лактоны, фруктоолигосахариды инулинового типа β (2→1), дубильные вещества, флавоноиды, сапонины, антраценпроизводные.

Ключевые слова: *Polymnia sonchifolia*, *Smallanthus sonchifolia*, якон клубненосный, фитохимический состав, фармакологическое действие.

Введение

Якон клубненосный (полимния осотolistая) (*Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. (syn. *Smallanthus sonchifolia*, *Polymnia edulis* Weddell [1])) – многолетнее растение из семейства Compositae (Asteraceae) [2].

На андских рынках якон классифицируется как фрукт и продается вместе с яблоками, авокадо и ананасами. Его клубни имеют сладкий вкус, они хрустящие, и местные жители обычно выставляют их на солнечный свет, чтобы усилить их сладость. Их употребляют в очищенном виде, обычно во фруктовых салатах вместе, например, с овощами, бананами или апельсинами [3]. В Японии клубни якона перерабатываются в соки, хлебобулочные изделия, ферментированные напитки, лиофилизированный порошок или мякоть, листья и стебли якона смешивают с чайными листьями для приготовления чая [3, 4].

Клубни якона использовались автохтонным перуанским населением в качестве традиционного народного лекарства для лечения гипергликемии, проблем с почками и для омоложения кожи. В Бразилии листьям якона приписывают лечебные свойства, которые используются для приготовления лечебного чая [4].

Надземная часть якона может достигать в высоту от 2 до 2.5 м. В более холодных регионах (на Украине, в России) высота растения не достигает 1.8 м [3]. Стебель может достигать 2 м в высоту, он густо покрыт темно-зелеными листьями и трихомами фиолетового цвета. Соцветие небольшое, около 30 мм в диаметре, желтого или оранжевого цвета. Оно растет на верхушке главного стебля, а также на других стеб-

Дронова Анастасия Владимировна – ординатор,
e-mail: dronova_olga@mail.ru

Дьякова Нина Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии,
e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

лях, растущих из нижних узловых почек. Цветение якона довольно ограничено в большей степени, чем у бесплодных видов *Smallanthus*. Плоды черные, семечки около 2 мм диаметром [5]. Листья якона крупные, слегка опушенные, копьевидной

* Автор, с которым следует вести переписку.

формы. С нижней стороны они более светлые. Листья якона и его побеги являются однолетними. Погибают в осенний период. Но толстое и мясистое корневище, сформированное в основе главного побега, является многолетним и погибает лишь в случае промерзания грунта. Якон образует подземные органы двух типов – корневища и корневые клубни. На каждом растении может развиться до 25 корневых клубней. Корневища у растения формируются большие и имеют массу до 1.4 кг. От них в стороны отходят тонкие отростки, со временем вырастающие и приобретающие овальную (или грушевидную) форму. Цвет кожуры бывает как желтым, так и бледно-коричневым, а цвет мякоти – белым или желтым. Клубни имеют вытянутую форму, сладковатый вкус и яблочно-арбузный аромат.

Подземная система якона состоит из двух различных типов съедобных запасных органов: клубневых корней, собственно товарной культуры, и ризофоров, органов вегетативного размножения [6]. В начале своего роста корни корневища якона являются очень тонкими, однако чуть позже они утолщаются и приобретают веретенообразную, грушевидную или овальную форму. Их форма и размер зависят от конкретного клона, но в большинстве случаев клубни имеют неправильную веретенообразную, иногда почти округлую форму. Только что собранные клубни бесцветны. Эпидермис быстро темнеет после контакта с воздухом. Под эпидермой обнаруживается корковая ткань со слегка смолистым вкусом и под ней светло-желтая мякоть с фруктовым вкусом [3].

Помимо клубневидных корней, якон также образует короткие стебли, растущие непосредственно на базальной части основного стебля. Они обычно используются для вегетативного размножения якона (способность к генеративному размножению была утрачена в ходе эволюции) [7]. В настоящее время изучается размножение якона через культуру тканей листа. Соматический эмбриогенез и регенерация якона зависят от концентрации ауксина и цитокинина во время фазы индукции эмбриона [8].

Якон размножают отводками (небольшими «саженцами», взятыми из основания надземной части главного стебля) с несколькими цилиндрическими корнями. Одноузловые стеблевые черенки легко укореняются. Якон высаживают в течение всего года при условии подходящих влажности и температуры почвы. Ранний рост быстрый и не требует особого ухода, кроме прополки. Растение достигает зрелости через 6–7 месяцев. Отцветая, верхушки вянут и отмирают, в это время клубни собирают. Урожайность – 38 тонн клубней с гектара [1]. Клубни якона хорошо хранятся в свежем виде в прохладном темном месте [2].

История распространения

Древнейшие изображения якона на текстиле и керамике обнаружены в прибрежном археологическом комплексе Наска (500–1200 гг. до н.э.) [8]. Первое письменное упоминание о яконе принадлежит летописцу Бернабе Кобо 12 (1653 г.). Исторически культивирование якона простиралось от Венесуэлы до северо-запада Аргентины [9]. Из Анд якон был завезен в 80-х годах XX в. через Новую Зеландию в Японию [9]. Его выращивание было успешно внедрено в Италию, Германию, Францию и США. В Италии клубни якона используются для производства спирта и инулина [10]. В Россию якон был завезен сравнительно недавно, в XX столетии [11, 12]. Интродукция якона была начата в Подмосковье во ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур. Исходный материал аргентинского происхождения ими был получен из НТИМИ в 1994–1995 гг. [2]. Таким образом, в настоящее время основной ареал якона – средние широты Южной Америки. Он уже интродуцирован в США, Новой Зеландии, Южной Европе, Иране, Японии, Молдавии, Чехии и Узбекистане [13].

Химический состав

Якон представляет собой богатый источник антиоксидантов, прежде всего полифенольных соединений. Основными фенолокислотами, содержащимися в яконе, были хлорогеновая кислота > 3,5-дикофеилхинная кислота > кофейная кислота. Другие фенолокислоты, т.е. феруловая и прочие связанные формы кофейной кислоты присутствовали лишь в следовых количествах. По содержанию фенолкарбоновых кислот органы якона можно расположить в порядке убывания: корневища > листья > стебли > клубни. Корневища отличаются от других органов более высоким содержанием фенолокислот, их содержание в стеблях и клубнях было почти сопоставимо. При этом в корневищах и клубнях больше всего содержится хлорогеновая кислота, а в листьях – 3,5-О-дикофеилхинная кислота, в стеблях – их метаболический предшественник –

кофейная кислота. Фенолокислоты, производные коричной кислоты, прежде всего хлорогеновая кислота и ее изомеры, являются важным антиоксидантным компонентом якона [14].

Молекула инулина в яконе не охарактеризована, но у родственных видов его молекулярная масса составляет 3000–5000. Это полимер фруктозы, но концевой единицей является сахар глюкозы. Таким образом, инулин содержит небольшое количество глюкозы [1, 15].

Цветки. В головчатых железистых трихомах прицветников якона обнаружена высокая концентрация сесквитерпеновых лактонов. Возможно, эти метаболиты могут выполнять защитные и экологические функции [16].

Корни. Корень содержит 967 мг/100 г кальция, 415 мг/100 г фосфора, 7.29 мг/100 г железа, <0.5 мг/100 г меди, <0.5 мг/100 г магния, 2.93 мг/100 г цинка [17]. В корнях якона обнаружен триптофан в диапазоне концентраций 0.5–2.8 мг/100 г [18].

Из корней якона были выделены пять производных кофейной кислоты в качестве основных водорастворимых фенолов. Они были идентифицированы как хлорогеновая (3-кофеоилхинная) и 3,5-дикофеоилхинная кислоты и три эфира кофейной и альтрариновой кислот (2,4- или 3,5-дикафеоилальтрат, 2,5-дикафеоилальтрат и 2,3,5- или 2,4,5-трикофеоилальтратовых кислот) [19].

В корнях обнаружены флавоноиды кверцетин и апигенин [20].

Клубни. Клубни якона содержат макро- и микроэлементы: азот 0.626–0.72%, фосфор 0.04–0.07%, марганец 4.86–5.16 мг/кг, кобальт 1.15–1.2 мг/кг, железо 194.84–222.7480 мг/кг, магний 13.84–14.28 мг/кг, кальций 27.16–28.96 мг/кг, медь 6.82–7.04 мг/кг, цинк 40.10–41.62 мг/кг, селен 0.04–0.062 мг/кг [17, 21]. В клубнях выявлено содержание практически всех аминокислот, включая незаменимые: аспарагиновая кислота 0.54%, треонин 0.18%, серин 0.20%, глутаминовая кислота 0.68%, пролин 0.53%, глицин 0.20%, аланин 0.17%, валин 0.13%, изолейцин 0.10%, лейцин 0.14%, тирозин 0.15%, фенилаланин 0.14%, гистидин 0.10%, лизин 0.09%, аргинин 0.43%, метионин 0.05% [2, 21]. В корнях определены три свободные и четырнадцать связанных с белком аминокислот. Среди свободных аминокислот преобладал пролин (0.28 мкг/мг). Среди связанных с белком аминокислот преобладал пролин (3.14 мкг/мг) [22].

В качестве экстрагента был применен ультрафильтрат творожной сыворотки. Применение ультрафильтрата как экстрагента позволяет объединить свойства творожной сыворотки и дефицитные нутриенты, входящие в состав клубней якона, для последующей разработки новых видов молочносодержащих напитков с направленными функциональными свойствами. Аминокислотный состав ультрафильтрата творожной сыворотки представлен аргинином 0.0087 г/100 г, лизином 0.0044 г/100 г, тирозином 0.0012 г/100 г, фенилаланином 0.0027 г/100 г, гистидином 0.0028 г/100 г, лейцином 0.0043 г/100 г, изолейцином 0.0043 г/100 г, метионином 0.0018 г/100 г, валином 0.0034 г/100 г, пролином 0.0088 г/100 г, треонином 0.0042 г/100 г, серином 0.0037 г/100 г, аланином 0.0033 г/100 г, глицином 0.0018 г/100 г, глутаминовой кислотой 0.0034 г/100 г, аспарагиновой кислотой 0.0032 г/100 г [23].

В творожной сыворотке, полученной из клубней якона, содержится 0.39% витамина В1, 1.06% витамина В2, 1.80% витамина Е. В ультрафильтрате содержится 0.10% кальция, 0.05% фосфора, 0.27% витамина В1, 1.46% витамина В2, 1.70% витамина Е [23].

Экстракт клубней якона содержит аминокислоты: аргинин 0.0092 г/100 г, лизин 0.0065 г/100 г, тирозин 0.0046 г/100 г, фенилаланин 0.0036 г/100 г, гистидин 0.0051 г/100 г, лейцин 0.0068 г/100 г, изолейцин 0.0068 г/100 г, метионин 0.0032 г/100 г, валин 0.0042 г/100 г, пролин 0.0094 г/100 г, треонин 0.0060 г/100 г, серин 0.0051 г/100 г, аланин 0.0041 г/100 г, глицин 0.0031 г/100 г, цистин 0.0016 г/100 г, глутаминовая кислота 0.0039 г/100 г, аспарагиновая кислота 0.0041 г/100 г, триптофан 0.0012 г/100 г; витамины: витамин В1 0.00003%, витамин В2 0.00015%, витамин Е 0.00021%, а также кальций 0.16% и фосфор 0.08% [23].

Количество инулина в корневых клубнях в среднем составляет 42% и зависит от условий выращивания [21]. Содержание инулина в свежих клубнях составляет 12.5 мас.%, а в высушенных – 47.1 мас.%, в экстракте после очистки – 11.0 мас.%. При однократном экстрагировании степень извлечения инулина из клубней якона достигает 23.4 мас.% [24].

Клубни якона содержат в качестве запасных соединений в основном фруктаны с низким содержанием глюкозы [25]. В подземных запасных органах якона накапливается более 60% фруктанов инулинового типа $\beta(2-1)$, в основном олигомеров, что сходно со структурой полисахаридных комплексов других видов сложноцветных, например, топинамбура [6, 25].

Основными компонентами ФОС (фруктоолигосахаридов) якона являются кестоза, нистоза и фруктофуранозилнисто́за в количествах от 34 до 60% сухого вещества [26]. ФОС – это углеводы, которые встречаются в природе в растениях многих типов, но никогда в концентрациях, таких же высоких, как в корнях якона [27]. ФОС якона представлены линейными фруктоолигосахаридами, содержащими почти исключительно (2→1)-связанные β-фруктофуранозильные звенья, с концевыми α-глюкопиранозильными и β-фруктофуранозильными звеньями. Анализы ESI-MS показали широкую степень полимеризации в диапазоне от 2 до 10 [28].

Клубни якона также богаты свободной фруктозой (350.1±42.0 мг/г), глюкозой (158.3±28.6 мг/г) и сахарозой (74.5±19.0 мг/г) и имеют другие сахара в составе: глюкозилфруктоза-2 60.1±12.6 мг/г, глюкозилфруктоза-3 47.4±8.2 мг/г, глюкозилфруктоза-4 33.6±9.3 мг/г, глюкозилфруктоза-5 20.6±5.2 мг/г, глюкозилфруктоза-6 15.8±4.0 мг/г, глюкозилфруктоза-7 12.7±4.0 мг/г, глюкозилфруктоза-8 9.6±7.2 мг/г, глюкозилфруктоза-9 6.6±2.3 мг/г [29].

GF2 1-кестоза – трисахарид, состоящий из одной молекулы глюкозы, и две молекулы фруктозы GF3 нистоза – тетрасахарид, состоящий из одной молекулы глюкозы и три молекулы фруктозы GF4 1-β-D-фруктофуранозилнисто́за – пентасахарид, состоящий из одной молекулы глюкозы и четыре молекулы фруктозы [30].

Содержание редуцирующих сахаров в свежих клубнях составляет 0.0015%, в высушенных клубнях – 0.0293 мас.%, а в очищенном экстракте – 0.0218%. При однократном экстрагировании степень извлечения редуцирующих сахаров из клубней якона достигает 74.4% [24].

Свежие клубни якона содержат 69–83% влаги, 0.4–2.2% белков и 20% сахаров [24]. В сушеных клубнях содержится 4–7% золы, 6–7% белка, 0.4–1.3% жира, 4–6% клетчатки и примерно 65% сахаров [1].

Содержание сахаридов и связанных с ними ферментов в клубнях колеблется при выращивании и хранении. Во время культивирования степень полимеризации фруктанов увеличивается, а при хранении снижается, увеличивается содержание фруктозы, глюкозы и сахарозы [31–33].

Ферменты, участвующие в метаболизме олигофруктанов, а также сами олигосахариды были выделены и идентифицированы из клубней якона на разных стадиях роста. Энзимологические исследования метаболизма фруктана в подземных резервных органах видов *Asteraceae* предоставили используемую в настоящее время модель синтеза инулина у высших растений. В соответствии с этой моделью в синтезе участвуют два фермента: сахароза – сахарозо-1-фруктозилтрансфераза (1-SST), который продуцирует 1-кестозу путем переноса фруктозила от донора к акцепторной сахарозе, и фруктан – фруктан 1-фруктозилтрансфераза (1-FFT), ответственная за обратимое удлинение акцепторных фруктанов за счет переноса фруктозильных остатков от донорных фруктанов [6].

В клубнях якона обнаружены фенолы (203 мг/100 г), триптофан (14.6±7.1 мкг/г) и хлорогеновая кислота (48.5±12.9 мкг/г) [34, 35].

В клубнях якона содержатся производные октулозоновой кислоты со скелетом 6,8-диоксабицикло[3.2.1]октана, которые являются основными водорастворимыми фенольными соединениями. Структуры этих соединений представляют собой (1R,2S,3S,4R,5S,7R)-4-гидрокси-7-гидроксиметил-3-[3-(3,4-дигидроксифенил)-1-оксо-2-пропенилокси]-6,8-диоксабицикло[3.2.1]октан-5-карбоновая кислота (4-O-кофеоил-2,7-ангидро-d-глицеро-β-d-галакто-окт-2-улопиразононовая кислота) и (1R,2S,3R,4R,5S,7R)-2,4-дигидрокси-7-гидроксиметил-2,3-бис[3-(3,4-дигидроксифенил)-1-оксо-2-пропенилокси]-6,8-диоксабицикло[3.2.1]октан-5-карбоновая кислота (4,5-ди-O-кофеоил-2,7-ангидро-d-глицеро-β-d-галакто-окт-2-улопиразононовая кислота) [36].

В клубнях якона обнаружены хлорогеновая, феруловая и кофейная кислоты. ТСХ клубней якона и продуктов кислотного гидролиза клубней на ВЭТСХ пластинах с силикагелем с использованием проявляющих растворителей подтвердили наличие хлорогеновой, кофейной и феруловой кислот. При кислотном гидролизе клубней высвобождается повышенное количество фенолокислот (например, кофейной кислоты и феруловой кислоты), флавоноида кверцетина и неидентифицированного флавоноида, что было обнаружено анализом ТСХ [37].

В экстракте клубней якона на 50% этаноле обнаружены хлорогеновая, протокатеховая, феруловая, розмариновая, галловая, гентизиновая и кофейная кислоты и их производные. Подтвердили присутствие хлорогеновой кислоты и кофейной кислоты в экстракте клубней якона путем ВЭЖХ анализа [38].

Фенолокислоты. Производные кофеилхинной кислоты (14 видов) и производные кумароиловой кислоты (1 вид) были отделены и идентифицированы клубней якона. Отдельные производные присутствовали в комбинированной форме кофейной кислоты и альтрариновой кислоты, хинной кислоты и октулозоновой кислоты. Общее содержание каждого производного было высоким, за ним следовали производное кофеоилальтрариновой кислоты > производное кофеилхинной кислоты > производное кофеоилоктулозоновой кислоты. Из них 2,3,5- или 2,4,5-три-О-кофеоилальтрариновая кислота и хлорогеновая кислота были основными компонентами примерно на 63 и 14% от общего содержания соответственно. Идентифицированы метиловые эфиры 2,3,5- или 2,4,5-три-О-кофеоилальтрариновой кислоты и 5-О-р-кумароилхинная кислота, которые были новыми соединениями [39].

Сумма фруктозосодержащих углеводов составляет в корневых клубнях составляет 26.0–57.6%. Степень полимеризации фруктанов – диапазон 0 [40].

Хроматографический анализ спиртовых экстрактов из корнеклубней якона показал наличие фенольных соединений, среди которых преобладали производные гидроксикоричных кислот. На хроматограмме спиртового экстракта сухого корнеклубня производные гидроксикоричных кислот были представлены основным неидентифицированным пиком со временем удерживания 11.45 мин. Также выявлялись хлорогеновая и кофейная кислоты. Основным фенольным компонентом спиртового экстракта свежего корневого клубня оказалось вещество со временем удерживания 12.21 мин, которое отсутствовало на хроматограммах экстракта сухого корневого клубня и также представляло собой производное кофейной кислоты [41].

Клубни содержат дубильные вещества в количестве $18.76 \pm 0.46\%$, 1.80 ± 0.08 мг% аскорбиновой кислоты, $0.40 \pm 0.28\%$ сапонинов, $0.58 \pm 0.17\%$ антраценпроизводных [2]. В клубнях обнаружены кверцетин и 2 других неидентифицированных флавоноида [37].

Из клубней выделены противогрибковые фитоалексины, родственные 4'-гидроксиацетофенону 4'-гидрокси-3'-(3-метилбутаноил)ацетофенон, 4'-гидрокси-3'-(3-метилбутенил) ацетофенон и 5-ацетил-2-(1-гидрокси-1-метилэтил)бензофуран был выделены комбинацией хроматографических методов [42].

Неочищенный ферментный раствор клубней якона показал высокую окислительную активность в отношении бисфенола А (выработка монохинона $0.2 \mu\text{M}/\text{min}$). Клубни якона являются богатым источником фенолоксидазы – фермента, катализирующего оксигенацию фенольных соединений до хинонов, которые после полимеризации дают типичные пигменты от коричневого до черного, известные по ферментативному потемнению фруктов и овощей и наблюдаемые также у якона [43].

Дихлорметановый экстракт лиофилизированных клубней содержит энт-кауреновую кислоту [44].

Листья. Свежий лист содержит 83.20% воды, 2.87% протеинов, 1.24% липидов, 1.44% сахаридов, а высушенный – 17.12% протеинов, 7.40% липидов, 8.58% сахаридов [9]. Содержание макро- и микроэлементов в листьях якона: 1805 мг/100 г кальция, 543 мг/100 г фосфора, 10.82 мг/100 г железа, <0.5 мг/100 г меди, 3.067 мг/100 г магния, 6.20 мг/100 г цинка [17].

Листья якона содержат 15.97% белка. В листьях якона – 7 видов белков [45].

Высушенная трава содержит 11–17% белка, 2–7% жира и 38–41% безазотистых экстрактивных веществ [1]. Зеленая масса якона содержит макро- и микроэлементы: азот 0.84–0.88%, фосфор 0.21–0.27%, марганец 5.64–6.02 мг/кг, кобальт 0.60–0.71, железо 142–156.8 мг/кг, магний 19.66–20.08 мг/кг, кальций 94.04–95.06 мг/кг, медь 13.74–14.0 мг/кг, цинк 255.26–271.66 мг/кг, селен 0.39–0.41 мг/кг, а также аминокислоты: аспарагиновая кислота 1.63%, треонин 0.66%, серин 0.85%, глутаминовая кислота 1.93%, пролин 0.60%, глицин 0.91%, аланин 1.25%, валин 0.85%, изолейцин 0.98%, лейцин 1.15%, тирозин 1.08%, фенилаланин 0.88%, гистидин 0.76%, лизин 0.64%, аргинин 1.07%, метионин 0.15%. В траве якона определено четырнадцать свободных и пятнадцать связанных с белком аминокислот. Среди свободных аминокислот преобладали пролин (0.44 мкг/мг) и аспарагиновая кислота (0.12 мкг/мг). Среди связанных с белком аминокислот преобладали аспарагиновая кислота (18.58 мкг/мг), глутаминовая кислота (16.33 мкг/мг) и пролин (14.52 мкг/мг) метионин 0.15 [22].

В траве *S. sonchifolius* были идентифицированы в свободной форме фруктоза, сахароза и арабиноза с помощью газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Из травы получен полисахаридный комплекс, его выход составил $5.13 \pm 0.09\%$. Единственным моносахаридом, идентифицированным в гидролизате полученного комплекса, была фруктоза (3.11 мкг/мг) [22].

Доказано присутствие кофейной, хлорогеновой и феруловой кислот в листьях якона, обнаруженных с помощью ВЭЖХ/ДАД-МС в этилацетатном экстракте листьев [46]. Затем присутствие фенольных кислот

было подтверждено с помощью ВЭЖХ в сочетании с электрохимическим обнаружением (ВЭЖХ-ЭЗД) вместе с идентификацией галловой и гентизиновой кислот [47].

В экстракте из листьев якона обнаружены хлорогеновая, протокатеховая, феруловая, розмариновая, галловая, гентизиновая и кофейная кислоты и их производные [38].

ТСХ неочищенных экстрактов высушенных листьев на ВЭТСХ пластинах с силикагелем с использованием проявляющих растворителей подтвердили наличие хлорогеновой, кофейной и феруловой кислот. Эти фенолокислоты были выделены из неочищенного экстракта листьев якона. В составе листьев якона обнаружены феруловая кислота, изомеры дикофеоилхинной кислоты и неидентифицированное производное хлорогеновой кислоты [37].

Подтверждено наличие хлорогеновой, кофейной и феруловой кислот, трех изомеров дикофеоилхинной кислоты ($M_r=516$), еще одного неизвестного производного хлорогеновой кислоты ($M_r=562$) с помощью ВЭТСХ и ВЭЖХ/МС. Эти соединения были затем также подтверждены в листьях, стеблях и клубнях якона [14].

Флавоноидные соединения были выделены из родственного *S. fruticosus*, в частности кентауреидин (4,5,7-тригидрокси-3,6-диметокси-флавонон) [48].

Терпены. Метанольный экстракт листьев якона содержит энткауреновую кислоту и родственные дитерпеноидные вещества (энт-каур-16-ен-19-овая кислота, 15-ангелоилоксиэфир, 18-ангелоилокси-энт-каур-16-ен-19-овая кислота и 15-ангелоилокси-энт-каурен-19-овая кислота 16-эпоксид). Эти соединения, вероятно, играют определенную физиологическую роль в защитных механизмах растения и обладают высокой устойчивостью к вредителям. Кауреновая кислота является одним из промежуточных продуктов биосинтеза терпеноидных фитогормонов гиббереллинов у *Gibberella fujikuroi* [49].

Метанольный экстракт листьев содержит сесквитерпеновые лактоны меламполидного типа сончифолин (метилловый эфир 8-ангелоил-1(10),4,11(13)-гермакратрин-12,6-олид-14-овой кислоты), полиматин В (ацетоксипроизводное по С-9 сончифолина), уведалин (производное полиматина с эпоксицированной ангелоилокси группой) и энгидрин (эпоксидное производное уведалина) [50]. Эти вещества также содержатся в других видах *Smilacina*, напр. *S. uvedalia* (содержащие энгидрин), *S. fruticosus* и *S. maculatus*, а также виды из рода *Melampodium* (*Asteraceae*), давшего название этим соединениям [51–53]. Этанольный 95% экстракт листьев якона содержит два новых сесквитерпеновых лактона, они были охарактеризованы как метилловый эфир 8 β -ангелоилокси-13-метокси-11,13-дигидромеламполид-14-овой кислоты и метилловый эфир 8 β -(3-метилбут-2-еноил)окси-13-метоксил-11,13-дигидромеламполид-14-овой кислоты [54]. Из листьев выделен сесквитерпеновый димерный лактон, уведафолин, с молекулярной формулой $C_{43}H_{52}O_{15}$ [55].

Хроматографический анализ спиртовых экстрактов из листьев показал наличие фенольных соединений, среди которых преобладали производные гидроксикоричных кислот. В листьях якона производные гидроксикоричных кислот представлены в гораздо большем количестве, чем в клубнях. В зависимости от региона выращивания в них содержалось от 2.78 до 4.30%, что указывает на перспективность использования не только корнеклубней, но и надземной части в качестве лекарственного сырья [41].

Дихлорметановый экстракт высушенных на воздухе листьев содержит энт-кауреновую кислоту [44].

Из листьев выделены смилантадитерпеновые кислоты А-D [56], а также новые соединения 13(R)-гидроксиоктадека-(9E,11E,15Z)-триеновая кислота, бензиловый спирт 7-O- α -L-арабинопиранозил(1"→2')- β D-глюкопиранозид и 13(R)-гидроксиоктадека-(9Z,11E,15Z)-триеновая кислота, представляющие собой производные октадекатриеновой кислоты и бензилгликозидов [57].

Зеленая масса якона содержит дубильные вещества в количестве 28.96 \pm 1.17%, 1.64 \pm 0.03 мг% аскорбиновой кислоты, 0.76 \pm 0.2% сапонинов, 0.33 \pm 0.07% антраценпроизводных [2]. В листьях обнаружены флавоноиды кверцетин и апигенин [20].

На поверхности корней якона обнаружены 10 видов грибов микромицетов – продуцентов натуральных подсластителей, численностью 27 КОЕ/г [58].

Фармакологическая активность

Пребиотическое действие. Олигофруктаны, содержащиеся в яконе, проявляют пребиотическое действие, которое было подтверждено многочисленными лабораторными испытаниями и испытаниями на людях. Пищевые углеводы являются основным субстратом для ферментирования в проксимальном отделе тол-

стой кишки, и, поскольку они разрушаются во время бактериального брожения, белок становится доминирующим ферментируемым субстратом по направлению к дистальным областям. К продуктам белкового обмена бактерий относятся токсичные и потенциально канцерогенные соединения, такие как амины, аммиак и фенольные соединения. ФОС бывают разного молекулярного размера, олигомеры низкой степени полимеризации ферментируются проксимально, в результате чего пребиотик с более длинной цепью сохраняет активность в дистальном отделе толстой кишки [59]. В отличие от других источников ФОС, якон настолько богат ими, что эффективная доза для пребиотического эффекта обеспечивается при употреблении умеренного количества клубня [27].

ФОС не перевариваются в желудочно-кишечном тракте человека и транспортируются в толстую кишку, где ферментируются выбранными видами кишечной микрофлоры, особенно бифидобактериями и лактобациллами, оба индикатора сбалансированной кишечной флоры. Потребление пребиотиков изменяет состав кишечной флоры и ее метаболическую активность. Вероятно, благодаря этому действию они также модулируют метаболизм липидов, усвоение кальция, иммунную систему детей и функцию кишечника. Пребиотический эффект экстрактов клубней якона был продемонстрирован путем их ферментации несколькими распространенными кишечными бактериями *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus* и *Bifidobacterium bifidum* [31].

Корневые клубни якона благоприятствуют развитию бифидобактерий и *Bacillus subtilis* в ободочной кишке. Они способствуют также устранению роста микроорганизмов, которые вызывают гниение, при этом происходит улучшение ассимиляции кальция и синтеза витаминов группы В. Содержащиеся в корневых клубнях углеводы не вызывают кариес зубов и регулируют работу кишечника, усиливают его моторику. Клубни якона также являются профилактическим средством, препятствующим развитию раковых опухолей [60, 61].

Гистологический анализ ткани слепой кишки показал, что мука якона способствовала росту клеток слепой кишки и увеличивала глубину, а также количество раздвоенных крипт. Стимулирующее действие ФОС якона на увеличение слепой кишки и крипт стенки слепой кишки может способствовать минеральному всасыванию с последующим увеличением плотности костной ткани и поддержания здоровых костей.

Исследование *in vivo* показало, что диета из муки якона улучшает плотность клеток слепой кишки и крипты, подтверждая роль жирных кислот с короткой цепью как источника энергии для слизистой оболочки толстой кишки. Пребиотические эффекты муки якона проявлялись в стимулирующем действии на рост бифидо- и лактобактерий и повышением концентрации короткоцепочечных жирных кислот. Это свидетельствует о том, что потребление фруктоолигосахаридов якона может играть важную роль в здоровье толстой кишки [18].

Экстракт якона увеличивал ($p < 0.05$) численность *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium* и *E. coli*. Введение экстракта увеличивало концентрацию гликогена в грудных мышцах по сравнению с группами без инъекций, однако не изменяло экспрессию генов ферментов, связанных с гликолизом (фосфофруктокиназа) и глюконеогенезом (глюкозо-6-фосфатаза). Экстракт якона увеличивала глубину крипт, диаметр бокаловидных клеток крипты, количество и тип (кислые) и диаметр и тип бокаловидных клеток ворсинок (кислые) по сравнению со всеми другими группами. Экстракт якона продемонстрировал пребиотические эффекты, приводящие к улучшению профиля кишечных бактериальных популяций, функциональности щеточной каймы мембраны, пищеварительной и абсорбционной способности, морфологии кишечника, статуса гликогена [62].

Исследования показывают, что пробиотические штаммы *L. plantarum* NRRL B-4496, *L. acidophilus* NRRL B-1910 и *B. bifidum* ATCC 15696 эффективно ферментировали ФОС корней якона. Длина и состав индивидуальных цепочек ФОС экстракта якона влияют на их потребление бактериями. Штаммы *Lactobacillus* в основном использовали молекулы GF2, в то время как *Bifidobacterium* штамм использовал молекулы GF2, а также молекулы с большей длиной цепи ФОС. ФОС якона может рассматриваться как потенциальный источник пребиотиков для пищевых продуктов и биологически активных добавок [63].

Пероральное применение корней якона связано с увеличением веса и уровня короткоцепочечных жирных кислот, и снижением pH в содержимом слепой кишки, что указывает на то, что корни якона могут способствовать кишечной ферментации. Кроме того, потребление якона подавляет колит, индуцированный тринитробензолсульфоновой кислотой у мышей, что связано со значительным подавлением накопления нейтрофилов и выработки фактора некроза опухоли- α .

Неперевариваемые углеводы, включая олигосахариды, ферментировались и использовались микробиотой без разрушения пищеварительных ферментов организма. Введение якона влияет на микробный состав кишечника. Относительная численность микробного состава 22 родов, представленных *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Oscillospira* и *Allobaculum* была значительно выше у мышей, получавших лиофилизированные корни якона, чем у контрольных мышей. Среди них – *Bifidobacterium pseudolongum* и *Lactobacillus reuteri*, которые продуцируют короткоцепочечные жирные кислоты включая молочную, уксусную и пропионовую кислоты в качестве метаболитов из нескольких субстратов, таких как глицерин и глюкоза. Вид *Bifidobacterium pseudolongum* показал более высокую скорость роста и выход бактериальных клеток, чем другие виды *Bifidobacterium* в среде с ФОС в качестве единственного источника углерода. *L. reuteri* производит янтарную кислоту из лимонной кислоты и родственных кислот. Данные по концентрации короткоцепочечных жирных кислот показывают, что янтарная кислота, молочная кислота, уксусная кислота и пропионовая кислота были значительно выше у мышей, получавших корни якона. Эти концентрации могут быть связаны с увеличением концентрации *Bifidobacterium pseudolongum* и *L. reuteri*.

Содержание муцина в кале, который может отражать уровень кишечной слизи, было значительно выше у мышей, получавших корни якона, чем у мышей, получавших CD.

Потребление корней якона подавляет выработку фактора некроза опухоли- α в слизистой оболочке толстой кишки и модулирует кишечную среду, включая микробный состав, уровень короткоцепочечных жирных кислот и содержание слизи [64].

Якон улучшает иммунологические параметры, кишечный барьер, кишечную микробиоту и снижает воспаление, особенно при индуцированном колоректальном раке у животных [65].

Предложена пищевая рецептура, представляющая собой пребиотический сок якона, консервированный лактобионовой (LBA) и яблочной кислотами. Подтвержден беспрецедентный пребиотический потенциал сока якона: в отношении *Lactobacillus casei* и *Lactobacillus acidophilus* в течение не менее 120 дней и в течение 105 дней в отношении *Bifidobacterium animalis* [66].

Мука клубней якона значительно улучшает рост *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium breve* [67].

Изучена жизнеспособность *Lactobacillus casei* (LC-01) в сушеном яконе, который хранился при комнатной температуре. Высушенный якон и биомасса LC-01 оставались в контакте в течение 1 ч при температуре 25 °C или 37 °C в присутствии или в отсутствие трегалозы. Условия обработки А (25 °C/без трегалозы) оказались наиболее благоприятными для выживания пробиотиков, представляя 5.65 log КОЕ.г⁻¹ после 56 дней хранения. Время хранения снижало ($p < 0.05$) исходное количество пробиотиков в образце с 9.35 log КОЕ.г⁻¹ до 7.24 log КОЕ.г⁻¹ на 1-е и 56-е сутки хранения соответственно. В случае образца обработки А 84.87% клеток LC-01 выжили в моделированных условиях желудка и 89.36% выжили в моделированных условиях кишечника через 56 дней [68].

Концентрат, созданный на основе якона, улучшал концентрацию короткоцепочечных жирных кислот в кале (муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная и валериановая), снижал pH фекалий и повышал влажность и вязкость фекалий. Потребление концентрата модулирует иммунный ответ в толстой кишке, снижая экспрессию FOXP3 и увеличивая ROR γ t и T-bet, что может способствовать активации и пролиферации CD8 T-лимфоцитов и улучшению прогноза колоректального рака. Предполагается, что экстракт якона может улучшить здоровье кишечника на ранних стадиях колоректального канцерогенеза, особенно за счет модуляции продукции короткоцепочечных жирных кислот и адаптивного иммунного ответа толстой кишки [69].

Потребление продуктов на основе якона у мышей снижает аппетит, улучшает влажность и вязкость фекалий, усиливает выработку фекальных короткоцепочечных жирных кислот, увеличивает количество регуляторных T-клеток и подавляет экспрессию фактора транскрипции ROR γ t в толстой кишке. Таким образом, потребление продуктов на основе якона улучшает чувство сытости и целостность слизистой оболочки и, возможно, способствует противовоспалительным иммунным реакциям в толстой кишке [70]. Разработан пребиотический напиток из якона и ананаса, подслащенный стевией с пропорцией якон : ананас 50 : 50 [71]. Мука из клубней якона может обеспечить лучшую трансформацию уровня IL-23 и профили инфильтрации лейкоцитов у мышей с колитом, индуцированным TNBS [72].

Антидиабетическое и гипогликемическое действие. Якон считается ценной лекарственной культурой из-за высокой доли содержания в корневых клубнях инулина, полисахарида, который легко усваивается организмом и служит заменителем сахарозы в диетическом питании больных сахарным диабетом.

Фруктаны, подобные тем, что одержатся в яконе, имеют низкий DP (dawn phenomenon – Феномен рассвета – это термин, используемый для описания аномального повышения уровня сахара в крови рано утром) и используются в качестве заменителей сахарозы, они считаются диетическими и могут модифицировать некоторые гиперлипидемии. У человека нет фермента, способного гидролизовать $\beta(2\rightarrow1)$ связь [1]. Таким образом, $\beta(2\rightarrow1)$ фруктаны инулинового типа представляют собой пищевые волокна или неперевариваемые остатки растительного происхождения в рационе человека [73].

Пригодность продуктов из якона для диабетических блюд, диет для снижения веса и для пациентов с хроническими заболеваниями печени была показана в клинических исследованиях, проводимых в Оломоуцкой факультетской больнице [3]. Из клубней можно приготовить соки или концентраты, подходящие в качестве подсластителя для диабетиков [7].

Корнеплоды якона являются низкокалорийным и эффективным антидиабетическим продуктом. Также корневые клубни обладают гипогликемическим действием, что приводит к понижению уровня сахара в крови [74, 75].

Водный экстракт листьев *Samolanthus sonchifolius* снижал уровень глюкозы в крови мышей КК-Ау (животная модель генетически обусловленного диабета 2 типа с гиперинсулинемией) через 6 недель после повторного введения. Однако якон не влиял на уровень глюкозы в крови нормальных мышей. Якон также улучшал гипергликемию после толерантности к глюкозе. Якон снижал уровень глюкозы в крови при проведении теста на толерантность к инсулину [76].

В основном изучается лекарственный эффект у подземной части растения, хотя показано, что применение экстрактов из листьев снижает уровень сахара в крови [27, 77–79].

Экстракты листьев якона вводили крысам с диабетом, вызванным стрептозотоцином, и крысам без диабета. Водно-этанольный экстракт 10% вводили перорально в дозе 400 мг/кг массы тела в течение 14 дней, что привело к значительному снижению уровня глюкозы в крови диабетических крыс (59%) и недиабетических крыс (28%). Этот эффект не наблюдался при введении экстрактов, полученных водной экстракцией (холодной и горячей). Влияние экстракта на гликемию крыс наблюдали только через 14 дней лечения, что указывает на то, что активным веществам требуется определенный период времени для достижения эффективной концентрации в организме.

Существует несколько вариантов механизмов, с помощью которых якон снижает концентрацию глюкозы в крови: повышенное выделение инсулина за счет стимуляции β -клеток поджелудочной железы, резистентность к гормонам, повышающим скорость высвобождения глюкозы, увеличение количества и чувствительности рецепторов к инсулину, снижение расщепления гликогена, стимуляция поглощения глюкозы тканями и органами, а также снижение кишечной абсорбции глюкозы.

Водно-этанольный экстракт якона значительно снижает уровень глюкозы у больных диабетом крыс. Кроме того, экстракт способствует восстановлению некоторых измененных биохимических параметров (трансаминаз АСТ и АЛТ, щелочной фосфатазы) и веса больных диабетом животных [77].

Водный экстракт *S. sonchifolius* ($p=0.002$) снижает уровень сахара в крови крыс в эксперименте на 281.5 мг/дл. Он оказывает сходное гипогликемическое действие с метформинем у экспериментальных крыс с индуцированным диабетом [80].

Этилацетатный, н-бутанольный, метанольный, гексановый, хлороформный экстракты листьев якона и чистый кристаллический энгидрин, сесквитерпеновый лактон, выделенный из метанолового экстракта листьев якона, вводили перорально нормогликемическим, транзиторно гипергликемическим и стрептозотоциновым (STZ)-диабетическим крысам. Экстракты метанола, бутанола и хлороформа показали эффективную гипогликемическую активность при минимальных дозах 50 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг массы тела соответственно. Пероральное введение разовой дозы каждого экстракта вызывало небольшой эффект снижения уровня глюкозы в крови натощак у нормальных здоровых крыс, тогда как каждый экстракт значительно снижал гипергликемический пик после приема пищи. Ежедневное введение каждого экстракта в течение 8 недель приводило к гликемическому эффекту у животных с диабетом, а также повышению уровня инсулина в плазме. Фитохимический анализ наиболее активной фракции бутанольного экстракта показал, что значимыми компонентами являются кофейная, хлорогеновая и три дикофеоилхинные кислоты. Кроме того, энгидрин также был эффективен для снижения постпрандиальной глюкозы и полезен при лечении диабетиче-

ских животных (минимальная доза – 0.8 мг/кг массы тела). Фенольные соединения, а также энгидрин являются важными гипогликемическими компонентами листьев якона, которые могут улучшить состояние людей с диабетом [27].

В опытах на крысах исследована гистологическая структура поджелудочной железы в условиях экспериментального сахарного диабета после введения растительного экстракта корневых клубней якона и препаратов сравнения «Арфазетин» и метформин. Выявлено, что исследуемый растительный экстракт имеет выраженное защитное влияние на микроскопическое строение поджелудочной железы: деструктивные изменения в эндокринных островках уменьшались, количество морфологически полноценных инсулиноцитов существенно увеличивалось. Инкапсулированные 500 мг сырого экстракта якона имеют больший эффект, чем 300 мг и 100 мг сырого экстракта якона, в снижении уровня глюкозы в крови у подопытных мышей. Эффект от 500 мг неочищенного экстракта якона аналогичен эффекту 65 мг метформина [81].

Сырье, богатое инулином, широко используется и в составе различных пищевых добавок, применяемых при заболевании сахарным диабетом [82]. Инулин способствует отложению гликогена в печени, улучшает инсулинообразующую функцию поджелудочной железы [83]. Получены данные, свидетельствующие о том, что инулин снижает уровень глюкозы в крови при пероральной нагрузке углеводами; отмечены снижение уровня сахара в крови и нормализация показателей жирового обмена у больных сахарным диабетом второго типа [84]. Молекулы инулина способны сорбировать значительное количество глюкозы и препятствовать ее всасыванию в кровь, а также стимулировать усвоение глюкозы без участия инсулина [85].

В исследовании на крысах выявлено, что экстракт корневых клубней якона уменьшает диабетогенное действие дексаметазона. После введения в инсулярной ткани отсутствовали или были минимальными деструктивно-дистрофические проявления, отчетливо увеличилось количество морфологически полноценных инсулиноцитов, это способствует восстановлению количественных показателей: оптической плотности панкреатических островков, нормального процентного распределения разных по размеру островков, корреляции между островковым профилем и периметром островков, а в целом – увеличению объема и функциональной активности эндокринного аппарата поджелудочной железы. Экстракт якона по выраженности корректирующего воздействия на состояние инсулярного аппарата крыс превосходит активность препарата сравнения сбора «Арфазетин» и почти не уступает препарату сравнения – метформину [86].

Исследования сахароснижающих свойств водных экстрактов корневой и надземной частей якона показали, что все исследуемые части растения обуславливали гипогликемический эффект у крыс (стебли < кожуры корневых клубней < листья < корневые клубни). Установлено, что наиболее выраженное гипогликемическое действие оказывают водные экстракты листьев и корневых клубней якона. Снижение уровня постпрандиальной гликемии при применении исследуемых экстрактов может быть обусловлено повышением толерантности к глюкозе в связи с замедлением ее всасывания из желудочно-кишечного тракта, что ведет к более равномерной нагрузке на инсулярный аппарат в процессе пищеварения [87].

Спиртовые (50 и 95%) и водные экстракты листьев якона тестировали на ингибирующую активность α -глюкозидазы, при этом экстракт 95% этанола оказался наиболее активным. Соединения, связанные с активностью ингибитора α -глюкозидазы, включают соединения с функциональными группами -ОН, длинными цепями -СН, карбонил и алкен. Выявлено, что на активность ингибитора альфа-глюкозидазы влияют нистоза, 1-кестоза, лютеолин-3',7-ди-О-глюкозид, и изомеры 1,3-О-дикофеоилхинной кислоты [88].

Проведено исследование влияния листьев якона на ингибирование α -глюкозидазы. Результаты тестирования ингибирующей активности фермента α -глюкозидазы показали, что значения IC₅₀ для 96%-ного этанольного экстракта листьев якона составили 19.70 ppm. Смесь 96% спиртового экстракта листьев чая и листьев якона в соотношении 1 : 1; 1 : 3; 3 : 1 получили IC₅₀ 64.73 м.д. соответственно; 7.34 частей на миллион и 11.03 частей на миллион. По результатам исследования сделан вывод о том, что тест ингибирования фермента α -глюкозидазы 96%-ного этанольного экстракта листьев чая и листьев якона обладает наилучшей ингибирующей активностью в комбинации 3 : 1 со значением IC₅₀ 7.34 ppm, что лучше, чем у акарбозы со значением 17.73 промилле [89].

Изучено соединение ингибитор фермента α -глюкозидазы в 96%-ном этанольном экстракте листьев якона. Фракционирование этанольного экстракта колоночной хроматографии (SiO₂; дихлорметан-метанол-вода = 5 : 5 : 1) дало 5 фракций (Fr-1~Fr-5). По результатам теста ингибирования активности фермента α -глюкозидазы *in vitro* в отношении пяти фракций получена 3-я фракция как наиболее активная 87.84%. Очистка 3-й фракции препаративной тонкослойной хроматографией (SiO₂; *n*-BuOH-этанол-вода = 4 : 1 : 2.2)

дала чистый изолят в виде Fg 3-1. Идентификацию чистых изолятов Fg 3-1 проводили по расшифровке спектров УФ, Фурье-инфракрасного, масс-спектров (из ЖХ-МС) и сравнивали данные по химическому сдвигу ЯМР (протонный и углеродный) и определяли в виде соединения нистозы (GF3). Результаты ингибирования активности фермента α -глюкозидазы показали, что Fg 3-1 имеет IC₅₀ 21.36 м.д. [90].

Спиртовой экстракт листьев якона в дозировке 360 и 720 мг/кг увеличивает синтез гликогена в печени и мышцах по сравнению с метформином ($P > 0.05$), а также снижает уровень глюкозы в крови у сирийских хомяков с гипергликемией на 53.32 и 57.81%, соответственно, что сопоставимо ($P > 0.05$) с метформином на 60.12% [91].

Гипогликемические эффекты водных экстрактов листьев якона были продемонстрированы на нормальных крысах и крысах с диабетом [4, 7].

Получены данные, свидетельствующие о том, что инулин снижает уровень глюкозы в крови при пероральной нагрузке углеводами, также отмечены снижение уровня сахара в крови и нормализация показателей жирового обмена у больных сахарным диабетом второго типа [92]. Молекулы инулина способны сорбировать значительное количество глюкозы и препятствовать ее всасыванию в кровь, а также стимулировать усвоение глюкозы без участия инсулина [93].

Продемонстрировано, что экстракты листьев якона снижают выработку глюкозы в гепатоцитах посредством пути как глюконеогенеза, так и гликогенолиза, а их инсулиноподобный эффект был продемонстрирован на экспрессии мРНК CYP2B и 2E в клетках FaO [94].

Проведено исследование активности нового соединения листьев якона в ингибировании фермента ДПП-4 на основе энергетических и химических связей *in silico*. Новое соединение листьев якона представляет собой производное октадекатриеновой кислоты и бензилгликозидов. Результаты молекулярного связывания позволяют сделать вывод о том, что новое соединение листьев якона обладает потенциалом ингибировать активность фермента ДПП-4 в качестве антидиабетического средства на основе химического связи, образующейся между лигандом и рецептором на активном сайте фермента DPP-4, а именно Glu205, Glu206, Asn710, Tyr662, Arg125, Ser630, Phe357, Tyr666, Tyr547 и Ser209. Во взаимодействии лиганда и рецептора преобладают водородные связи [57].

Листья якона содержат фенольные соединения, обладающие гипогликемическим действием. Исследование проводилось с использованием самцов и здоровых белых крыс *Rattus norvegicus*. Крысам давали диету с высоким содержанием углеводов в течение 9 недель, чтобы вызвать гипергликемию. Результаты показали, что у крыс в группе лечения дозой 150 мг/кг массы тела снизился средний уровень сахара в крови на 114.10 мг/дл ($p = 0.002$), а дозой 300 мг/кг массы тела был 105.27 мг/дл ($p = 0.005$). Это показало, что листья якона оказывают влияние на уровень сахара в крови и могут использоваться в качестве альтернативного способа снижения уровня глюкозы в крови [95].

Исследовали влияние клубней якона на уровень сахара в крови у белых крыс с моделью сахарного диабета 2 типа. Мыши получали высокоуглеводную диету в течение 9 недель. Результаты показали, что у крыс в группе лечения дозой 100 мг/кг в течение 3 дней наблюдалось снижение среднего уровня сахара в крови на 122.83 мг/дл ($p = 0.002$) ($p = 0.009$). Исследование показывает, что клубни якона можно использовать в качестве противодиабетического средства для снижения уровня сахара в крови [96].

Ацетоновый экстракт листьев якона эффективен в снижении уровня сахара в крови у крыс, индуцированных аллоксанами [97].

Спиртовой экстракт листьев якона 95% в дозах 20, 30 и 40 мг способен снижать уровень глюкозы в крови у рыб данио-рерио, индуцированных аллоксаном [98].

Исследовано влияние кипяченой воды из клубней якона на мышей с гипергликемией. Результаты показали, что доза 350 мг/кг/м.т. вызвала среднее снижение уровня сахара в крови на 158.5 мг/дл ($p = 0.004$), а доза 700 мг/кг/м.т. – на 161.17 мг/дл ($p = 0.001$). Результаты свидетельствуют о наличии гипогликемического эффекта кипяченой воды от клубней якона. Кипяченая вода из клубней якона может быть использована в качестве альтернативы при регулировании уровня сахара в крови в условиях сахарного диабета [99].

Комбинированная доза этанольного экстракта листьев якона (перорально + местно) может снизить уровень глюкозы в крови и имеет хорошую эффективность в регенерации тканей при диабетической язве кожи крыс, индуцированных STZ-NA, травмированных биопсией [100]. В листьях якона содержится 7 видов белков, которые способствуют повышению секреции инсулина [45].

Гиполипидемическое действие. Корнеплоды якона способствуют понижению количества холестерина и обладают антиатеросклеротическим действием [74, 75].

Инулин, являясь антикоагулянтом, предотвращает образование кровяных сгустков, снижает уровень «вредного» холестерина, триглицеридов и фосфолипидов [2].

Исследовано влияние этанолового экстракта листьев якона на снижение уровня триглицеридов у крыс с моделями дислипидемии. Доза 90 мг на кг массы тела этанолового экстракта листьев якона была эффективна в снижении уровня триглицеридов. Эффективность была сравнима с эффективностью гемфиброзила ($P > 0.05$) [101]. В группах, получавших экстракт якона, наблюдалось улучшение липидного профиля. Гиперхолестеринемическая диета повысила сывороточные уровни креатинкиназы, СК-МВ и LDH (L-лактат-НАД-оксидоредуктазы), но прием экстракта значительно снизил уровни этих маркеров по сравнению с контрольной группой, не получавшей лечения. Кроме того, экстракт снижал перекисное окисление липидов, карбонилирование белков и частоту микроядер, вызванных гиперхолестеринемией, а также повышал антиоксидантные защитные силы (CAT, SOD, GPx, GSH, витамин С, полифенолы) в крови [101].

Противовоспалительное действие. Пероральное введение энт-кауреновой кислоты, выделенной из дихлорметанового экстракта листьев и клубней якона, эффективно снижало воспаление легких мышей на $98.1 \pm 2.0\%$ аналогично действию диклофенака ($85.2 \pm 15.9\%$). Эмиграция воспалительных клеток в плевральную полость мышей была значительно ($P < 0.01$) снижена через час после индукции плеврита по сравнению с контролем (2.15×10^{-5}) [44].

Флавоноидные соединения с антимитотической активностью были выделены из родственного *S. fruticosus*, в частности кентауреидин (4,5,7-тригидрокси-3,6-диметокси-флавонон) [48].

Сесквитерпеновые лактоны *S. maculatus* проявляли противовоспалительную активность [102]. Сесквитерпеновые лактоны, по-видимому, являются хемотаксономическим признаком сложноцветных. Они регулярно присутствуют в растениях этого семейства и проявляют сильную биологическую активность, т.е. артемизинин и родственные сесквитерпеновые лактоны из *Artemisia annua* проявляют противомаларийную и цитотоксическую активность в отношении костных узких и опухолевых клеток, репин из *Acroptilon repens* токсичен в отношении эмбриональных сенсорных нейронов. Гипокретенолиды из *Leotodon hispidus* цитотоксичны в отношении раковых клеток. Сесквитерпеновые лактоны гермакранового типа среди других соединений (флавоноиды, кумарины, фенолокислоты, тритерпеноиды, стероиды и сесквитерпеновые лактоны геевского типа) были выделены из одуванчика (*Taraxacum officinale*).

Лечение экстрактом листа якона при индуцированном липополисахаридом нейровоспалении регулирует экспрессию воспалительных факторов как *in vitro*, так и *in vivo*. Эти результаты также показали, что лечение экстрактом листа якона ослабляло повреждение областей зубчатой извилины и гиппокампа в головном мозге мышей, получавших липополисахарид, а также значительно снижало повреждение нейронов от липополисахарид-стимулированной микроглии. Хотя повышенный уровень NO в микроглии важен для защиты от патогенов, избыточная продукция NO активированной микроглией играет решающую роль в нейровоспалении и повреждении головного мозга. Липополисахарид усугубляет активность микроглии, например, индукцию NO, что может привести к повреждению нейронов. Воспаление играет важную роль в нейродегенеративных расстройствах. Экстракт листа якона значительно снижает NO в липополисахарид-стимулированных клетках BV2. Можно предположить, что экстракт листа якона является потенциальным средством для защиты нервной системы. Данные иммуногистохимии показали, что экстракт листа якона ингибирует нейровоспаление. Экстракт листа якона значительно снижает экспрессию проcitoкинов. Таким образом, он является перспективным средством против острых и хронических нейровоспалений. Лечение экстрактом листа якона значительно уменьшало вызванное липополисахаридом воспаление головного мозга мышей. Результаты показывают, что экстракт листа якона защищает мозг от повреждения, регулируя чрезмерное воспаление [103].

Противоопухолевое действие. Метанольный экстракт листьев якона способен убивать клетки злокачественного рака печени, подавляя их рост и миграцию, а также вызывая некроз и остановку клеточного цикла. Подтвержден антиоксидантный эффект метанольного экстракта на клетки рака печени. Эти данные свидетельствуют о том, что *S. sonchifolius* является многообещающим потенциальным средством против рака печени [104].

Экстракт на 70% этаноле и его этилацетатная фракция, полученные из листьев якона обладали цитотоксической активностью в отношении раковых клеток T47D при значениях IC50 71.77 мг/мл и 60.86 мг/мл.

Экстракт листьев якона может вызывать экспрессию белков p53 и bcl-2 при концентрации 35.88 мг/мл – 143.54 мг/мл, а этилацетатная фракция может вызывать экспрессию белков p53 и bcl-2 при концентрации 35.88 мг/мл – 121.72. мг/мл.

По результатам исследования можно сделать вывод, что экстракт листьев и этилацетатная фракция *Smallanthus sonchifolius* оказывает цитотоксическое действие на клетки рака молочной железы [105].

Оценен потенциал цитотоксичности гексанового, метанольного и дихлорметанового экстрактов листьев якона в отношении клеточных линий MCF-7 (рак молочной железы), HT-29 (рак толстой кишки) и HDFn (нормальный кожный фибробласт человека) с использованием анализа. Результаты показали значительное снижение клеточной жизнеспособности клеточных линий MCF-7, вызванное гексановым, метанольным и дихлорметановым экстрактами в зависимости от дозы, причем дихлорметановый экстракт был наиболее сильным. Дихлорметановый экстракт также проявлял значительную цитотоксическую активность в отношении клеток HT-29, при этом IC50 была ниже, чем у 5-фторурацила. Все экстракты якона продемонстрировали значительно более низкую цитотоксичность на HDFn по сравнению с контрольными препаратами, при этом экстракт дихлорметановый показал наименьшую токсичность [106].

Димерные сесквитерпеновые лактоны, уведафолин и энгидрофолин, по сравнению с четырьмя мономерными сесквитерпеновыми лактонами, выделенными из листьев якона были наиболее цитотоксическими веществами на клетках HeLa (клеточная культура опухоли шейки матки) (значения IC50 2.96–3.17 мкМ через 24 ч). Димерные сесквитерпеновые лактоны обладали низкой токсичностью для клеток NIH/3T3 (IC50 4.81–4.98 мкМ через 24 ч), а затем опосредованная уведафолином остановка клеточного цикла в фазе G2/M и индуцированный апоптоз на клетках HeLa, о чем свидетельствует появление пика subG1. Апоптоз, вызванный уведафолином, был связан с активностью каспазы-9 и каспазы-3/7. Эффективно индуцируемый путь апоптоза был продемонстрирован по изменению потенциала митохондриальной мембраны и высвобождению цитохрома c в цитозоль. Уведафолин индуцирует апоптоз через митохондриальный путь. Уведафолин имеет потенциал в качестве ведущего соединения новых противоопухолевых средств [107].

Иммуностимулирующее действие. Инулин активирует иммунную систему, усиливая движение лейкоцитов к областям инфекции, увеличивая растворимость иммунных комплексов, разрушая бактерии, вирусы и другие микроорганизмы, стимулируя фибробласты и угнетая гиалуронидазу [108]. Бета-глюканы специфически связываются с макрофагами, активируют их и инициируют каскад иммунитета. рекомендуются для лечения дефектов иммунитета, инфекций, аллергии, синдрома хронической усталости, высокого уровня холестерина, проблем с желудком и в качестве вспомогательного средства при терапии карциномы [109].

Влияние ФОС якона на неспецифическую иммунную активность клеток ТНР-1 оценивали по фагоцитарной активности против убитых нагреванием дрожжей *Saccharomices cerevisiae*. Стимулирующий эффект ФОС якона зависел от дозы и времени, показывая результаты более эффективные, чем разветвленные ФОС. Результаты подтверждают использование линейных ФОС якона в качестве иммуномодуляторов [28].

Антиоксидантное действие. Листья якона обладают антиоксидантными свойствами из-за содержащихся в них хлорогеновой, кофейной кислот и других фенольных соединений [94, 110–112].

Наибольшее содержание общих полифенолов обнаружено в корневищах, а наименьшее – в клубневых корнях [110].

Для сохранения антиоксидантной активности листьев якона подобран оптимальный метод сушки. Высушивание листьев при 45 °С считается оптимальным, листья якона при этом температурном режиме обладают антиоксидантной активностью 35%. Повышение температуры сушки приводит к значительному снижению антиоксидантной активности [113].

Клубни якона содержат соединения, характеризующиеся антиоксидантной активностью, а также способны накапливать селен до 1.1 мг/кг. Молочно-растительный экстракт якона проявляет антиоксидантную активность по отношению к процессу электровосстановления кислорода. Значение суммарного содержания природных антиоксидантов позволяет рекомендовать экстракт для антиоксидантной терапии [114].

Описана антиоксидантная активность экстрактов по отношению к содержанию фенолов [46].

Хлорогеновая и феруловая кислоты, выделенные из клубней якона, проявляют антиоксидантную активность, схожую с витамином Е [38].

Водный экстракт листьев якона продемонстрировал самый высокий выход общего количества полифенолов и эффект удаления 1,1-дифенил-2-пикрилгидразильного (DPPH) радикала среди четырех экстрактов (водный, метанольный, этанольный и этилацетатный). Кроме того, среди этих экстрактов также была

продемонстрирована более высокая восстановительная способность водного экстракта. Различные концентрации водного экстракта приводили к различной активности по очистке в четырех синтетических моделях свободных радикалов: радикал DPPH (EC50 28.1 мкг/мл), 2,2'-азинобис(3-этилбензотиазолин-6-сульфокислота) катион-радикал (EC50 23.7 мкг/мл), гальвиноксильный радикал (EC50 3.06 мкг/мл) и катион-радикал хлорпромазина (EC50 475 мкг/мл). Экстракт листа якона также продемонстрировал эффекты удаления супероксидных анионов ($O_2(-)$) в системах анализа феназинметосульфат-НАДН-нитросиний тетразолий (EC50 64.5 мкг/мл) и ксантинооксидазы (EC50 20.7 мкг/мл). Впоследствии инкубация нейтрофильных клеток человека в присутствии экстракта листа якона могла подавлять образование клеточных радикалов $O_2(-)$ (IC50 65.7 мкг/мл) в модели клеток, активированных форболом 12-миристат-13-ацетатом. Эти результаты подтверждают, что листья якона могут быть хорошим источником природных антиоксидантов для предотвращения заболеваний, опосредованных радикалами $O_2(-)$ [115].

Стерилизованная мука клубней якона показала высокую антиоксидантную активность. Лучший экстракт, полученный путем кипячения 8.9% (масса/объем) муки якона в деионизированной воде в течение 10 мин, показал общую антиоксидантную способность 222 ± 2 мг (эквивалент аскорбиновой кислоты)/100 г сухой массы и общее содержание полифенолов 275 ± 3 мг (эквивалент галловой кислоты)/100 г DW связано с наличием четырех основных фенольных соединений: хлорогеновой, кофейной, кумаровой и протокатеховой кислот, а также аминокислоты триптофана. Наиболее распространенной была хлорогеновая кислота, за ней следует кофейная кислота. Биологические анализы показали, что экстракт обладал антиоксидантной защитой и не обладал прооксидантной активностью [116].

Антидепрессивное действие. Экстракт клубней якона вводили мышам внутривентрикулярно в дозе 100 мг/кг, он индуцировал антидепрессантоподобное поведение в FST (тест принудительного плавания) у мышей. Комбинированное введение субэффективных доз экстракта якона (50 мг/кг) с гидрохлоридом имипрамина (7.5 мг/кг), флуоксетина гидрохлоридом (20 мг/кг) или ребоксетина мезилатом (5 мг/кг) достоверно уменьшал время неподвижности животных в этом поведенческом тесте. Результаты показывают, что экстракт клубней якона является многообещающим в качестве альтернативного препарата, улучшающего настроение, поскольку он обладает антидепрессивным потенциалом и может действовать синергетически с антидепрессантами [117].

Гепатопротекторное действие. Показано, что водные экстракты листьев якона проявляют цитопротекторное действие против индуцированного *трет*-бутилгидропероксидом и аллиловым спиртом окислительного повреждения гепатоцитов крыс в первичных культурах. Экстракт проявлял сильный защитный эффект от окислительного повреждения первичных культур гепатоцитов крысы в концентрациях от 1 до 1000 мкг/мл, снижал продукцию глюкозы печенью посредством глюконеогенеза и гликогенолиза при 1000 мкг/мл. Более того, эффекты органических фракций (200 и 250 мкг/мл) и, в меньшей степени, настоя чая (500 мкг/мл) на экспрессию мРНК CYP2B и CYP2E у крыс были сопоставимы с таковыми, наблюдаемыми при применении инсулина. Сочетание активности по удалению радикалов, цитопротекторной и антигипергликемической активности предопределяет использование листьев *S. sonchifolius* для профилактики и лечения хронических заболеваний, связанных с окислительным стрессом, в частности диабета [94].

Пероральное введение крысам муки корней *S. sonchifolius*, содержащей 340 мг ФОС/кг массы тела, значительно снижало потребление энергии, массу тела, жировую массу и массу печени ($P < 0.05$), а также улучшало митохондриальную морфологию, предотвращало клеточный апоптоз и нормализовало активность трансаминаз в печени крыс, получавших диету с высоким содержанием фруктозы. Корни *S. sonchifolius* оказывают модулирующее действие на окислительный стресс, вызванный потреблением фруктозы, за счет снижения перекисного окисления липидов ($P < 0.05$) и активности антиоксидантных ферментов ($P < 0.05$) в печени. Таким образом, корни *S. sonchifolius* могут улучшить состояние при неалкогольной жировой болезни печени за счет уменьшения окислительного стресса и повреждения печени [118].

Smallanthus sonchifolius может предотвращать некроз гепатоцитов у белых крыс (*Rattus norvegicus*) линии Wistar, индуцированный аллоксаном. Повышенная доза этанольного экстракта листьев якона оказалась неэффективной для предотвращения индуцированного аллоксаном некроза гепатоцитов белых крыс (*Rattus norvegicus*) линии Wistar [119].

Сперматогенное действие. Экстракт клубней якона индуцировал значительную дозозависимую увеличение количества сперматозоидов в яичках. Кроме того, после введения хлорогеновой кислоты и феруловой кислоты крысам количество сперматозоидов в придатках яичка увеличилось на 9 и 38% соответственно.

Предположительно, усиление эффекта выработки спермы экстрактом клубней якона может быть связано с повышенным уровнем тестостерона за счет ингибирования фермента деградации тестостерона [38]. Нормальный сперматогенез может быть нарушен недостатком тестостерона в условиях стресса, когда уровень NO патологически повышен. Экстракт клубней якона дозозависимо ингибировал LPS-индуцированное высвобождение NO в клетках RAW 264.7 [38].

В исследовании было доказано, что *Smallanthus sonchifolius* в дозах 200 мг/кг массы тела, 400 мг/кг массы тела, 800 мг/кг массы тела может реформировать гистологически семенные каналы белых крыс (*Rattus norvegicus*), подвергшихся индукции аллоксаном [120].

Антибактериальное действие. В листьях якона содержатся антибактериальные сесквитерпеновые лактоны меламполидного типа: метиловый эфир 8b-тиглоилоксимеламполид-14-овой кислоты, метиловый эфир 8b-метакрилоилоксимеламполид-14-овой кислоты, сонхифолин, уведалин, энгидрин и уктуанин. Эти соединения показали антибактериальный эффект против *Bacillus subtilis*. Среди этих шести соединений наибольшую активность проявлял уктуанин. Вторым по силе был уведалин, а третьим был энгидрин. Все эти три соединения имеют ацетоксигруппу в положении С-9. Таким образом, кажется, что ацетокси-группа необходима для сильной антибактериальной активности.

Активность уведалина выше, чем у энгидрина, единственное различие между этими двумя соединениями, наличие эпоксидной группы при С-4WC-5. Таким образом, эпоксидная группа у С-4WC-5 отвечает за антибактериальную активность.

Метиловый эфир 8b-тиглоилоксимеламполид-14-овой кислоты, который является изомером сонхифолина и имеющий тиглоильную группу вместо ангелоильной группы, показал более высокую антибактериальную активность, чем сонхифолин в отношении *B. subtilis*. 8b-метакрилоилоксимеламполид-14-оик метиловый эфир кислоты показал большую антибактериальную активность, чем сонхифолин и метиловый эфир 8b-тиглоилоксимеламполид-14-овой кислоты.

Флуктуанин, который показал сильнейшую антибактериальную активность против *B. subtilis* показал очень низкий противогрибковый эффект [121].

Антимикробную активность сесквитерпеновых лактонов, экстрагированных из листьев якона, оценивали в отношении *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Staphylococcus aureus* и *Salmonella enterica Typhimurium* методом диско-диффузии. Результаты показывают антимикробную активность только в отношении *S. aureus*. Минимальная ингибирующая концентрация в отношении *S. aureus* составила 0.09 мг/мл. Результаты подтверждают антимикробную активность сесквитерпеновых лактонов в отношении грамположительных бактерий [122].

Спиртовой экстракт листьев якона в концентрациях (50%, 75%, 100%) *in vitro* проявлял антибактериальный эффект на *Staphylococcus aureus* [123].

Противогрибковое действие. В листьях якона обнаружен противогрибковый меламполид, метиловый эфир 8-ангелоил-1(10),4,11(13)-гермакуратриен-12,6-олид-14-овой кислоты, названный сонхифолином, а также три известных меламполида, полиматин В, уведалин и энгидрин. Сонхифолин показал самую высокую фунгицидную активность против *Pyricularia oryzae*, грибка, вызывающего пирикулярриоз риса, и значение ED50 для прорастания спор составило 22 ppm [50].

Этанольный (10%) экстракт листьев якона обладает антибактериальной активностью в отношении *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* [100].

Противопаразитарное действие. Лейшманиоз и болезнь Шагаса представляют собой опасные для жизни заболевания, вызываемые простейшими паразитами *Leishmania spp.* и *Trypanosoma cruzi* соответственно. В исследовании оценивалась активность энгидрина, уведалина и полиматина В, сесквитерпеновых лактонов, выделенных из *Smallanthus sonchifolius*, на *Leishmania mexicana* (MNYC/BZ/62/M) и *Trypanosoma cruzi* (Dm28c). Оценивалась трипаноцидная активность энгидрина и уведалина *in vivo* и влияние сесквитерпеновых лактонов на ультраструктуру паразитов. Просвечивающая электронная микроскопия показала заметные ультраструктурные изменения, такие как интенсивная вакуолизация и набухание митохондрий как у промастигот *Leishmania mexicana*, так и у эпимастигот *Trypanosoma cruzi*, подвергшихся воздействию сесквитерпеновых лактонов, выделенных из *Smallanthus sonchifolius*. В исследовании *in vivo* энгидрин и уведалин продемонстрировали значительное снижение количества циркулирующих паразитов (50–71%), признаков гепатотоксичности обнаружено не было. Исследование показало, что энгидрин, уведалин и полима-

тин В обладают значительной лейшманицидной и трипаноцидной активностью в отношении различных стадий развития паразита, поэтому эти соединения могут стать ценным средством для разработки новых лекарств против этих паразитарных заболеваний [124].

Анальгезирующее действие. Анальгетический потенциал якона наблюдался у мышей, которым перорально вводили энт-кауреновую кислоту (100 мг/кг мыши) с последующим однократным внутривентральным введением 1% ледяной уксусной кислоты через час после исследуемого препарата. Частота корчей была значительно снижена ($P < 0.01$) у мышей, получавших якон, которые показали самый высокий уровень максимальный обезболивающий эффект ($68.5 \pm 19.9\%$) в сравнении с индометацином ($41.0 \pm 25.0\%$) и отрицательным контролем ($-1.25 \times 10^{-9} \pm 25.0$). Такая дозировка энт-кауреновой кислоты превзошла обезболивающий потенциал индометацина на 27.6% [44].

Пищевая ценность. В человеческом организме нет фермента для гидролиза инулина, поэтому он проходит через пищеварительный тракт, не метаболизируясь, это означает, организм усваивает мало калорий из якона. Это может быть привлекательной маркетинговой особенностью для людей, сидящих на диете [1].

Диета с продуктами из якона изучалась на крысах. Отмечалось уменьшение окружности живота ($p = 0.2173$) на 3.5%, также было снижение ИМТ ($p = 0.3822$) на 6.25% и процентного содержания жира в организме ($p = 0.3528$) на 2.14% у животных, получавших продукты из якона в течение 24 недели по сравнению с животными контрольной группы [125].

Разработан напиток из чайного гриба с низким содержанием сахара с использованием якона в качестве субстрата ферментации. Напиток имел самое низкое содержание глюкозы по сравнению с чайной ложкой. Разработка синбиотического напитка с низким содержанием сахара может принести пользу микробиоте кишечника и может употребляться людьми с сахарным диабетом [126].

Разработан оптимальный метод получения муки из якона. Полученная мука показала высокое содержание редуцирующих сахаров, хорошее сохранение фруктанов, высокое общее содержание полифенолов (≈ 450 мг/100 г) и антиоксидантную активность [127].

Якон показал свойства против ожирения, ингибируя адипогенез и улучшая функцию висцеральной жировой ткани [128].

Якон может иметь потенциал в качестве кормовой культуры. Корм обильный, содержание белка в листьях составляет 11–17% в пересчете на сухую массу. При срезе листья снова прорастают из-под земли. Надземные части якона, содержащие большое количество белков, также могут использоваться в качестве зелени для домашнего скота [7].

Клубни также могут быть хорошим кормом для крупного рогатого скота, поскольку инулин быстро усваивается жвачными животными. Кроме того, растение может быть полезно в агролесоводстве, поскольку хорошо растет под кронами деревьев [1].

Токсичность. Экстракт листьев якона безопасен и нетоксичен. Дозировки 100, 300 и 500 мг препарата можно безопасно применять в составе инкапсулированных пероральных препаратов для снижения уровня глюкозы в крови [81].

Токсичность водно-спиртового экстракта листьев и корней якона (1, 10, 50 и 100 мкг/мл) оценивалась *in vitro* с помощью тестов на жизнеспособность клеток, генотоксическую и мутагенную активность в клетках культуры лейкоцитов; и цитотоксичность, и гибель клеток апоптоза (1, 10, 50, 100 и 500 мкг/мл) в клеточной линии, созданной из первичных эмбриональных клеток фибробластов мыши, которые культивировались по протоколу 3Т3 «3-дневный перенос, инокулят 3×10^5 клеток» (линия клеток 3Т3). Мутагенной и цитотоксической активности в культурах лейкоцитов не наблюдалось. Цитотоксическая активность проявлялась в самых высоких концентрациях экстракта листьев якона (50 и 100 мкг/мл), тогда как при всех концентрациях, исследованных с экстрактом листьев якона, наблюдалась индукция апоптоза в клетках 3Т3. Генотоксический потенциал наблюдался только при более высоких дозах экстракта листьев (50 и 100 мкг/мл) и корней (100 мкг/мл). Эти результаты свидетельствуют о том, что листья якона при высоких концентрациях могут иметь токсический потенциал, зависящий от концентрации [129].

Мутагенной и цитотоксической активности в культуре лейкоцитов не наблюдалось, тогда как генотоксический потенциал наблюдался при самых высоких дозах экстракта листьев (50 и 100 мкг/мл) и корней (100 мкг/мл). Самые высокие концентрации экстракта листьев якона (50, 100 и 500 мкг/мл) проявляли цито-

токсическую активность, и все концентрации индуцировали апоптоз в клетках ЗТЗ. Эти результаты свидетельствуют о том, что якон богат фенольными соединениями и в больших дозах может иметь токсический потенциал [20].

Водно-спиртовые экстракты листьев и корней якона в дозировках 20 и 40 мг/кг не показали нефротоксического эффекта [101].

Исследовано влияние сиропа клубней якона на печень самцов крыс. Использовались крысы-самцы, которых разделили на три группы обработки в трех повторностях, а именно контрольную группу (4 мг/г МТ аквадеста), обработку 1 (сироп клубней якона без добавления ингибитора в дозе 3 мг/г МТ) и лечение 2 (сироп клубней якона без добавления ингибитора в дозе 3 мг/г МТ) в течение 30 дней. Результаты теста Краскела-Уоллиса показали, что введение клубневого сиропа якона оказывало значительное влияние на гистопатологическую структуру печени ($P < 0.000$) и результаты теста Мана-Уитни показали, что введение клубневого сиропа якона в группе лечения сиропом клубней якона в дозе 3 мг/г массы тела вызвало самый высокий вред по сравнению с группой лечения 1, который составил 92.82% ($P < 0.000$). Сделан вывод о том, что введение сиропа клубней якона может оказывать токсическое действие на ткань печени самцов крыс, в результате чего гистопатологическая структура ткани печени претерпевает изменения в клетках гепатоцитов с повреждением в виде паренхиматозной дистрофии, гидропической дистрофии и некроза. Сироп из клубней якона без добавления ингибиторов имеет более высокий уровень токсичности, чем сироп с добавлением ингибиторов [119].

Заключение

Выпуск продуктов, бадов и лекарственных препаратов, обогащенных веществами, имеющими пребиотическую активность, растет из года в год как на Западе, так и в России. Спрогнозировать темпы роста спроса на инулин со стороны производителей пребиотиков в России довольно сложно, поскольку это достаточно молодой рынок, для которого характерен непредсказуемый рост, вызванный запуском все новых и новых продуктов. Но, вполне вероятно, что в среднем в ближайшие годы данный показатель не опустится ниже 30%. В случае если ситуация на рынке не изменится в отношении предложения, то уже к 2023 году спрос на инулин достигнет отметки в 2.1 тыс. тонн. Клубни якона характеризуются достаточно высоким содержанием инулина для промышленного получения. Приведенные в обзоре данные показывают, что *Smallanthus sonchifolius* обладает доказанным пребиотическим эффектом благодаря высокому содержанию ФОС, а также других химических соединений и имеет большой потенциал в качестве пребиотика. Помимо пребиотического эффекта якон обладает широким спектром фармакологического действия, включая пребиотическое, антидиабетическое, гипогликемическое, гиполипидемическое, противовоспалительное, противоопухолевое, иммуностимулирующее, антиоксидантное, антидепрессивное, гепатопротекторное, сперматогенное, антибактериальное, противогрибковое, противопаразитарное, анальгезирующее. Настои, приготовленные из листьев якона, могут быть не только эффективными средствами против гипергликемии, но и относительно богатым источником полифенольных антиоксидантов. Якон имеет потенциал как растительная добавка для лечения мужского бесплодия и нормализации низкого уровня тестостерона, например, при ЛОН-синдроме.

Список литературы

1. Bostid N.R.C. Yacon Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington National Academy Press, 1989. Pp. 115–123.
2. Гулуева Д.Т. Оценка кормовой ценности зеленой массы и клубней якона и эффективность их использования в кормлении свиней: дисс. ... канд. с-х. наук. Владикавказ, 2016. 170 с.
3. Valentova K., Frcek J., Ulrichov J. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and Maca (*Lepidium meyenii*), Traditional Andean Crops as New Functional Foods on the European Market // Chem. Listy. 2001. Vol. 95. Pp. 594–601.
4. Aybar M.J., Sánchez R.A.N., Grau A., Sánchez S.S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats // J. Ethnopharmacol. 2001. Vol. 74. Pp. 125–132. DOI: 10.1016/S0378-8741(00)00351-2.
5. Talledo D., Escobar C. Genética de las Células Somáticas de Raíces y Tuberosas Andinas. Raíces Andinas, Manual de Capacitación, Lima: CIP, 2000. Fascículo 7. Pp. 1–20.
6. Itaya N.M., de Carvakho M.A.M., Figueiredo-Ribeiro R.D.L. Fructosyl transferase and hydrolase activities in rhizomes and tuberous roots upon growth of *Polymnia sonchifolia* // Physiol Plant. 2002. Vol. 116. Pp. 451–459.

7. Grau A., Rea J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Robinson // *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon*. Rome: IPGRI, 1997. Pp. 199–242.
8. Niwa M., Arai T., Fujita K., Marubachi W., Inoue E., Tsukihashi T. Plant regeneration through leaf culture of yacon // *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.* 2002. Vol. 71. Pp. 561–567.
9. Lachman J., Fernández E.C., Orsák M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review // *Plant Soil. Environ.* 2003. Vol. 49. Pp. 283–290.
10. Бодруг М.В. Якон – новое овощное лекарственное растение // Второй международный симпозиум «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования»: материалы докладов. Пущино, 1997. Т. 4. С. 286–288.
11. Тюкавин Г.Б. Интродукция якона в России. М., 2001. 271 с.
12. Tyukavin G.B. Productivity and morphological determinants of yacon under the influence of growing conditions and in connection with date of harvesting // *Selskochozyaystvennaya biologiya*. 2002. Vol. 3. Pp. 81–87.
13. Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф., Дунич А.А., Дашенко А.В., Мищенко Л.Т. Фруктозаны и фенольные соединения растений якона // *Овощи России*. 2015. №3 (28). С. 118–122. DOI: 10.18619/2072-9146-2015-3-4-118-122.
14. Lachman J., Hejtmánková A., Dudjak J., Fernández E.C., Pivec V. Content of polyphenolic antioxidants and phenol-carboxylic acids in selected organs of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. Pp. 89–97.
15. Цугкиева В.Б. Содержание питательных веществ в биомассе якона // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2011. Т. 48. С. 117–118.
16. Padilla-Gonzalez G.F., Amrehn E., Frey M., Gómez-Zeledón J., Kaa A., da Costa F.D., Spring O. Metabolomic and Gene Expression Studies Reveal the Diversity, Distribution and Spatial Regulation of the Specialized Metabolism of Yacón (*Smallanthus sonchifolius*, Asteraceae) // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21. 4555. DOI: 10.3390/ijms21124555.
17. Valentova K., Ulrichova J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases // *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky*. 2004. Vol. 147(2). Pp. 119–130. DOI: 10.5507/bp.2003.017.
18. Campos D., Betalleluz-Pallardel I., Chirinos R., Aguilar-Galvez A., Noratto G., Pedreschi R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 135. Pp. 1592–1599.
19. Takenaka M., Yan X., Ono H., Mitsuru Y., Nagata T., Nakanishi T. Caffeic acid derivatives in the roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *J. Agric. Food Chem.* 2003. Vol. 51. Pp. 793–796.
20. Oliveira P.M. Avaliação dos efeitos toxicológicos in vitro e neuroprotetores in vivo do extrato hidroalcoólico das folhas e raízes do Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Uruguiana, 2019. 126 p.
21. Колесникова Е.О. Биологический потенциал и методы создания исходного материала якона (*Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl.) при интродукции в ЦЧР: дисс. ... канд. биол. наук. Рамонь, 2009. 143 с.
22. Demeshko O., Krivoguchko E., Volochai V., SamoiloVA V., Kovalev V. The amino acid and carbohydrate composition of the herb and roots of *Smallanthus sonchifolius* // *Ceska Slov Farm.* 2020. Vol. 69(1). Pp. 48–51.
23. Коренман Я.И., Рудниченко Е.С., Мельникова Е.И., Нифталиев С.И. Экстрагирование и определение пищевых компонентов якона (*Polymnia Sonchifolia* роерп. & endl) // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2007. №5 (6). С. 56–58.
24. Рудниченко Е.С., Коренман Я.И., Мельникова Е.И., Нифталиев С.И. Аминокислотный и углеводный составы молочно-растительного экстракта якона // *Химия растительного сырья*. 2008. №4. С. 79–82.
25. Goto K., Fukai K., Hikida J., Nanjo F., Hara Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*) // *Biosci Biotech Biochem.* 1995. Vol. 59. Pp. 2346–2347.
26. Kamp L., Hartung J., Mast B., Graeff-Hönninger S. Tuber Yield Formation and Sugar Composition of Yacon Genotypes Grown in Central Europe // *Agronomy*. 2019. Vol. 9. 301. DOI: 10.3390/agronomy9060301.
27. Genta S.B., Cabrera W.M., Mercado M.I., Grau A., Catalán C.A., Sánchez S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: Constituents of the most active fractions // *Chem. Biol. Interact.* 2010. Vol. 185(2). Pp. 143–152. DOI: 10.1016/j.cbi.2010.03.004.
28. Paredes L., Smiderle F.R., Santana-Filho A.P., Kimura A., Iacomini M., Sasaki G. Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction, characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells // *International journal of biological macromolecules*. 2018. Vol. 108. Pp. 1074–1081. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.034.
29. Ohyama T., Ito O., Yasuyoshi S., Ikarashi T., Minamisawa K., Kubota M., Tsukihashi T., Asami T. Composition of storage carbohydrates in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) // *Soil Sci. Plant Nutr.* 1990. Vol. 36. Pp. 167–171.
30. Lachman J., Havrland B., Fernandez E., Dudjak J. Saccharides of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson) tubers and rhizomes and factors affecting their content // *Plant Soil and Environment*. 2004. Vol. 50 (9). Pp. 383–390. DOI: 10.17221/4048-PSE.
31. Pedreschi R., Campos D., Noratto G., Chirinos G., Cisneros-Zevallos L. Andea yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl). Fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics // *J. Agric. Food Chem.* 2003. Vol. 51. Pp. 5278–5284.
32. Asami T., Minasawa K., Tsuchiya T., Kano K., Hori I., Ohyama T., Kubota M., Tzukihashi T. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage // *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1991. Vol. 62. Pp. 621–627.
33. Fukai K., Ohno S., Goto K., Nanjo F., Hara Y. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*) // *Soil Sci. Plant Nutr.* 1997. Vol. 43. Pp. 171–177.

34. Tzukihashi T. Kiseki no kenkō jāsai jakon. Kosaido Books, 1999.
35. Yan X., Suzuki M., Ahnishi-Kameyama M., Sada Y., Nakanishi T., Nagata T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *J. Agric. Food Chem.* 1999. Vol. 47. Pp. 4711–4713.
36. Takenaka M., Ono H. Novel octulosonic acid derivatives in the composite *Smallanthus sonchifolius* // *Tetrahedron Lett.* 2003. Vol. 44. Pp. 999–1002.
37. Simonovska B., Vovk I., Andrenšek S., Valentová K., Ulrichová J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers // *J. Chromatogr. A.* 2003. Vol. 1016. Pp. 89–98.
38. Park J.S., Han K. The Spermatogenic Effect of Yacon Extract and Its Constituents and Their Inhibition Effect of Testosterone Metabolism // *Biomol Ther.* 2013. Vol. 21(2). Pp. 153–160. DOI: 10.4062/biomolther.2012.093.
39. Lee M.K., Kim H.W., Lee S., Asamenew G., Kim Y.J., Suji Lee, Jung H., Yoo S., Kim J.B. Profiles of Phenolic Acid Derivatives from Tuberos Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Using UPLC-DAD-QToF/MS // *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition.* 2018. Vol. 47. Pp. 1284–1293. DOI: 10.3746/jkfn.2018.47.12.1284.
40. Васфилова Е.С., Багаутдинова Р.И., Оконешникова Т.Ф. Некоторые особенности накопления фруктозосодержащих углеводов в травянистых лекарственных растениях // *Вестник Томского государственного университета. Биология.* 2015. №2 (30). С. 96–112. DOI: 10.17223/19988591/30/7.
41. Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф., Дунич А.А., Дашенко А.В., Мищенко Л.Т. Содержание фенольных соединений и фруктозанов у сорта якона (*Polymnia sonchifolia* Poir. & Endl.) украинской интродукции и других видов Asteraceae при разных условиях выращивания, поражении вирусами и фитофагами // *Сельскохозяйственная биология.* 2015. Т. 50. №5. С. 628–636. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.628rus.
42. Takasugi M., Masuda T. Three 4³-hydroxyacetophenone related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia* // *Phytochemistry.* 1996. Vol. 43. Pp. 1019–1021.
43. Yoshida M., Ono H., Mori Y., Chuda Y., Mori M. Oxygenation of bisphenol A to quinones by polyphenol oxidase in vegetables // *J. Agric. Food Chem.* 2002. Vol. 50. Pp. 4377–4381.
44. Ragasa C.Y., Alimboyoguen A.B., Urbana S., Raga D.D. A Bioactive Diterpene from *Smallanthus sonchifolius* // *Natural Product Communications.* 2008. Vol. 3. N10. Pp. 1663–1666.
45. Lolan A.B.W.P. Analisis profil protein daun Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) yang terlibat dalam pengaturan kadar darah menggunakan SDS-page dan bioinformatika // *Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.* 2017. Pp. 1–7.
46. Valentová K., Cvak L., Muck A., Ulrichová J., Šimánek V. Antioxidant Activity of Extracts from the Leaves of *Smallanthus sonchifolius* // *Eur. J. Nutr.* 2003. Vol. 42. Pp. 61–66. DOI: 10.1007/s00394-003-0402-x.
47. Jirovský D., Horáková D., Kotouček M., Valentová K., Ulrichová J. Analysis of phenolic acids in plant materials using HPLC with amperometric detection at a platinum tubular electrode // *J. Sep. Sci.* 2003. Vol. 26. Pp. 739–742.
48. Beutler J.A., Cardellina J.H., Lin C.M., Hamel E., Cragg G.M., Boyd M.R. Centaureidin, a cytotoxic flavone from *Polymnia fruticosa*, inhibits tubulin polymerization // *BioMed Chem. Lett.* 1993. Vol. 3. Pp. 581–584.
49. Barrero A.F., Oltra J.E., Cerdá-Olmedo E., Ávalos J., Justicia J. Microbial Transformation of ent-Kaurenoic Acid and Its 15-Hydroxy derivatives by the SG138 Mutant of *Gibberella fujikuroi* // *J. Nat. Prod.* 2001. Vol. 64. Pp. 222–225.
50. Inoue A., Tamogami S., Kato H., Nakazato Y., Akiyama M., Kodama O., Akatsuka T., Hashidoko Y. Antifungal melapolides from leaf extract of *Smallanthus sonchifolius* // *Phytochemistry.* 1995. Vol. 39. Pp. 845–848.
51. Bohlmann F., Knoll K.H., Robinson H., Kong R.M. Naturally-occurring derivatives. 237. New kaurene derivatives melapolides from *Smallanthus uvedalia* // *Phytochemistry.* 1980. Vol. 19. Pp. 107–110.
52. Bohlmann F., Knoll K.H., Robinson H., Kong R.M. Naturally-occurring derivatives. 260. New melapolides from *Smallanthus fruticosus* // *Phytochemistry.* 1980. Vol. 19. Pp. 973–974.
53. Castro V., Jakupovic J., Dominiguez X.A. Melapolides from *Melampodium* and *Smallanthus* species // *Phytochemistry.* 1989. Vol. 28. Pp. 2727–2729.
54. Ran X., Aung K.K.W., Bai J., Dou P., Zeng Z., Dou D. Two new sesquiterpene lactones from leaves of yacon, *Smallanthus sonchifolius* // *Journal of Asian Natural Products Research.* 2018. Vol. 20. Pp. 538–544. DOI: 10.1080/10286020.2017.1411346.
55. Kitai Y., Hayashi K., Otsuka M., Nishiwaki H., Senoo T., Ishii T., Sakane G., Sugiura M., Tamura H. New Sesquiterpene Lactone Dimer, Uvedafolin, Extracted from Eight Yacon Leaf Varieties (*Smallanthus sonchifolius*): Cytotoxicity in HeLa, HL-60, and Murine B16-F10 Melanoma Cell Lines // *Journal of agricultural and food chemistry.* 2015. Vol. 63. Pp. 10856–10861. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05229.
56. Zheng X., Fan H., Ting-Guo K., De-Qianga D., Kuo G., Yu-Yuan S., Young-Ho K., Feng D. Anti-diabetes Constituents in Leaves of *Smallanthus sonchifolius* // *Natural Product Communications.* 2010. Vol. 5. Pp. 95–98. DOI: 10.1177/1934578X1000500123.
57. Sinurat M.R., Rahmayanti Y., Rizarullah R. Uji Aktivitas Antidiabetes Senyawa Baru Daun Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sebagai Inhibitor Enzim DPP-4: Studi in Silico // *Jurnal IPA dan Pembelajaran.* 2021. Vol. 2. Pp. 138–150. DOI: 10.24815/JIPI.V5I2.20068.
58. Свистова И.Д., Кувшинова Н.М. Распространение опасных для человека микромицетов при выращивании растений-подсластителей // *Экспериментальная микология.* 2015. С. 69–71.
59. Andrieux C. *Prebiotics and health.* 2002.
60. Мальцева Т.В. в-фруктозидаза дрожжей *Kluyveromyces marxianus* Y-303: препаративное получение, свойства и применение в биотехнологии: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2003.
61. Томаева З.Р. Биолого-хозяйственные особенности якона в условиях РСО-Алания и перспективы его использования: дисс. ... канд. биол. наук. Владикавказ, 2006. 141 с.

62. Martino H., Kolba N., Tako E. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour soluble extract improve intestinal bacterial populations, brush border membrane functionality and morphology in vivo (*Gallus gallus*) // *Food Res. Int.* 2020. Vol. 137. 109705. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2020.109705.
63. Pedreschi R., Campos D., Noratto G., Chirinos R., Cisneros-Zevallos L. Andean Yacon Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics // *J. Agric. Food Chem.* 2003. Vol. 51. Pp. 5279–5283.
64. Higashimura Y., Hirabayashi M., Nishikawa H., Inoue R., Nagai E., Matsumoto K., Enomoto T., Mizushima K., Takagi T., Naito Y. Dietary intake of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*) affects gut microbiota and fecal mucin and prevents intestinal inflammation in mice // *J. Clin. Biochem. Nutr.* 2021. Vol. 69. Pp. 272–279. DOI: 10.3164/jcbn.20-203.
65. Verediano T., Viana M., Tostes M.G.V., Costa N. The Potential Prebiotic Effects of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in Colorectal Cancer // *Current Nutrition & Food Science.* 2021. Vol. 17. Pp. 167–175. DOI: 10.2174/1573401316999200605160433.
66. Marques C., Toazza C.E.B., Sari R., Mitterer-Daltoé M., Amaral W., Masson M.L. Long-term storage of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice: Phytochemical profile, in vitro prebiotic potential and discriminant bioactive properties // *Food Bioscience.* 2021. Vol. 41. 100970. DOI: 10.1016/J.FBIO.2021.100970.
67. Coronado D.A., Salazar M.E. Elaboracion de harina de *Smallanthus sonchifolius* (POEPP.) H. ROB. “Yacon” y su influencia en el crecimiento de dos bacteria probioticas // *Ciencia E Investigación.* 2017. Vol. 19 (2). Pp. 70–73. DOI: 10.15381/CI.V19I2.13631.
68. Leone R., de Andrade E.F., Ellendersen L., da Cunha A.T., Martins A.M.C.V., Granato D., Masson M.L. Evaluation of dried yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as an efficient probiotic carrier of *Lactobacillus casei* LC-01 // *LWT.* 2017. Vol. 75. Pp. 220–226. DOI: 10.1016/J.LWT.2016.08.027.
69. Marcon L.D.N. Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*)-Based Product Increases Fecal Short-Chain Fatty Acids Concentration and Up-Regulates T-Bet Expression in the Colon of BALB/c Mice During Colorectal Carcinogenesis // *Journal of Food Science & Nutrition.* 2020. Vol. 6. 069. DOI: 10.24966/FSN-1076/100069.
70. Marcon L.D., Moraes L.F.S., Cruz B.C.S., Teixeira M.D., Bruno T.C.V., Ribeiro I.E., Messias A.C., Ferreira C.L.L., de Oliveira L.D., Pelz M. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)-based product increases fecal short-chain fatty acids and enhances regulatory T cells by downregulating ROR γ t in the colon of BALB/c mice // *Journal of Functional Foods.* 2019. Vol. 55. Pp. 333–342. DOI: 10.1016/J.JFF.2019.02.039.
71. Prado E.C., Purisaca-Salinas P., Moreno-Rojo C., Guillén-Sánchez J. Prebiotic Beverage from *Smallanthus Sonchifolius* Sweetened with Stevia // *The Journal of medical research.* 2020. Vol. 20. Pp. 1–8. DOI: 10.34257/gjmrlvol20is1pg23.
72. Rahmaisyah D., Wasityastuti M.M.E.W., Widarsari S.P.A.D.I. Kadar interleukin 23 (IL-23) dan profil infiltrasi leukosit pada kolon mencit model kolitis hasil induksi TNBS (2,4,6-Trinitrobenzene Sulfonic Acid) yang diberi bubuk umbi yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Universitas Gadjah Mada, 2019.
73. Tungland B. Nondigestible Fructans as Prebiotics // *Human Microbiota in Health and Disease.* 2018. Pp. 349–379. DOI: 10.1016/B978-0-12-814649-1.00008-9.
74. Парыгина Л.А. В теплице лучше // *Приусадебное хозяйство.* 2001. С. 19–21.
75. Подобедов В.И. Якон – «яблоко планеты» // *Моя теплица.* 2001. №6.
76. Miura T. Antidiabetic activity of *Fuscoporia oblique* and *Smallanthus sonchifolius* in genetically type 2 diabetic mice // *Journal of Traditional Medicines.* 2007. Vol. 24(2). Pp. 47–50.
77. Baroni S., Suzuki-Kemmelmeier F., Caparroz-Assef S.M., Cuman R.K.N., Bersani-Amado C.A. Effect of crude extracts of leaves of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on glycemia in diabetic rats // *Revista Brasileira de Ciencias Farmaceuticas.* 2008. Vol. 44(3). Pp. 521–530. DOI: 10.1590/S1516-93322008000300024.
78. Volpato G.T., Vieira F.L., Almeida F.C.G., Camara F., Lemonica I.P. Study of the hypoglycemic effects of *Polymnia sonchifolia* leaf extracts in rats. Abstracts of the second WOCMAP. Pt. 2. Wageningen, 1999. 319 p.
79. Dou D.Q., Kang T.G., Qiu Y.K., Tian F. Studies on the anti-diabetic constituents of the leaves of *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) // *Planta Med.* 2008. Vol. 74. P. 71. DOI: 10.1055/s-2008-1075267.
80. Vargas-Tineo O.W., Segura-Muñoz D.M., Becerra-Gutiérrez L.K., Amado-Tineo J.P., Silva-Díaz H. Hypoglycemic effect of *Moringa oleifera* (moringa) compared with *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on *Rattus norvegicus* with induced diabetes mellitus // *Rev. Peru Med. Exp. Salud. Publica.* 2020. Vol. 37(3). Pp. 478–484. DOI: 10.17843/rpmpesp.2020.373.5275.
81. Ballatong C.F.B., Palayon C.J.B., Peralta Q.V., Ramel F.M.B., Ventura A.M., Carreon J.B. Encapsulated Extract of *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) as Glucose Reducing Agent // *Scientia Naturales.* 2016. Vol. 3. Pp. 91–101.
82. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения. Фармакогнозия: учебное пособие / под ред. Г.П. Яковлева. СПб., 2006. 845 с.
83. Левинова В.Ф., Решетникова М.Д., Хлебников А.В. Избранные лекции по фармакогнозии: учеб. пособие. Пермь, 2006. 305 с.
84. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В. Определение суммарного содержания полифруктанов и динамики их накопления в корневищах и корнях девясила высокого (*Inula helenium* L.), произрастающего в Волгоградской области // *Химико-фармацевтический журнал.* 2013. Т. 47. №3. С. 45–47.
85. Демидова И.Ю. Лечение сахарного диабета 2 типа // *Фарматека.* 2002. № 5. С. 3–8.
86. Марчишин С.М., Гудзь Н.А., Крицкая Г.А., Андришин А.П., Твердохлеб Н.О. Исследование корригирующего влияния растительного экстракта с сахароснижающими свойствами на гистоструктуру поджелудочной железы крыс со смоделированным диабетом 2-го типа // *Світ медицини та біології.* 2018. №2(64). С. 165–169.

87. Mishchenko M.N.L.T. Sugar-lowering effects of water extracts of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) // *Studia Biologica*. 2014. Vol. 8(2). Pp. 57–64. DOI: 10.30970/sbi.0802.350.
88. Aziz Z., Yuliana N.D., Simanjuntak P., Rafi M., Mulatsari E., Abdillah S. Investigation of Yacon Leaves (*Smallanthus sonchifolius*) for α -Glucosidase Inhibitors Using Metabolomics and In Silico Approach // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021. Vol. 76. Pp. 487–493. DOI: 10.1007/s11130-021-00926-3.
89. Sulastri L., Hidayat R., Citoreksoko P., Abdillah S., Simanjuntak P. Combination of 96% Ethanol Extract of Tea Leaves (*Camellia sinensis* Linn.) and Yacon Leaves (*Smallanthus sonchifolius*) as an Inhibitor of the α -glucosidase enzyme // *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*. 2021. Pp. 145–152. DOI: 10.25026/mpc.v14i1.563.
90. Aziz Z., Qisthi F.H.A., Yuliana N.D., Simanjuntak P. Identification of α -glucosidase Enzyme Inhibitor Compound from Ethanol 96% Extract of Yacon Leaves (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp.& Endl.] H. Robinson) // *Jurnal ilmu kefarmasian Indonesia*. 2019. Vol. 17. Pp. 21–26. DOI: 10.35814/JIFI.V17I1.652.
91. Dwitianti D., Hikmawati N., Putri A.P., Chulsum N. Uji aktivitas ekstrak etanol 70% daun Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) terhadap kadar glikogen hati, glicogen otot dan penurunan kadar glucosa darah pada hamster hiperlipidemia dan hiperlipidemia // *Jurnal tumbuhan obat Indonesia*. 2020. Vol. 13. Pp. 1–8. DOI: 10.22435/JTOI.V13I2.3015.
92. Mitrofanova I.Y., Yanitskaya A.V. Assay of the total content and dynamics of the accumulation of polyfructans in the rhizomes and roots of the elecampane (*Inula helenium* L.) grown in the Volgograd region // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2013. Vol. 47(3). Pp. 169–171. DOI: 10.1007/s11094-013-0918-1.
93. Файзилова З.Т. Изучение влияния гликоинувита на течение экспериментальной гипергликемии // *Сибирский медицинский журнал*. 2009. Т. 85. №2. С. 99–100.
94. Valentova K., Moncion A., de Waziers I., Ulrichova J. The effect of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts on rat hepatic metabolism // *Cell Biol. Toxicol.* 2004. Vol. 20. Pp. 109–120 DOI: 10.1023/B:CBTO.0000027931.88957.80.
95. Nurmawati T., Arsa S.A.W., Wulandari N., Saparudin A. The Effect of Yacon Leaf Powder (*Smallanthus Sonchifolius*) on White Rats (*Rattus norvegicus*) Blood Glucose Levels with High Sugar Diet // *Jurnal Ners dan Kebidanan*. 2021. Vol. 8. Pp. 219–220.
96. Nurmawati T., Sari Y.K., Ningtyas F.A. Efek Perlakuan Serbuk Umbi Tanaman Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pada Kadar Gula Darah Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Treatment Effect of the Powder of Yacon Plant (*Smallanthus sonchifolius*) on the Blood Sugar Levels of White Rats (*Rattus norvegicus*) // *Biosantropis*. 2021. Vol. 7. Pp. 56–62. DOI: 10.33474/E-JBST.V7I1.393.
97. Putra D., Manalu J.L. Ekstrak etanol biji Ipukat (*Persea americana* Mill.) DAN ekstrak aseton daun yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sama efektifnya dalam menurunkan kadar gula darah tikus yang diinduksi aloksan // *Damianus: Journal of Medicine*. 2020. Vol. 19. DOI:10.25170/djm.v19i2.1141
98. Aziz Z., Tamara N., Wahyuni R., Abdillah S. Effects of anti-hyperglycemic of yacon leaf (*Smallanthus sonchifolius*) ethanolic extracts using zebrafish as a model // *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019. Vol. 13(9). Pp. 113–117. DOI: 10.5897/AJPP2019.5023.
99. Nurmawati T., Rahmawati A., Mutiara F. Penatalaksanaan Kadar Gula Darah Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Model Diabetes Mellitus Tipe 2 Menggunakan Rebusan Umbi Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *Biosantropis*. 2022. Vol. 7. Pp. 105–112. DOI: 10.33474/e-jbst.v7i2.48.
100. Saputri S., Desi A. Aktivitas antibakteri, antidiabetes dan penyembuhan ulkus diabetik ekstrak etanol daun insulin (*Smallanthus sonchifolius*). Universitas Setia Budi, 2018.
101. Oliveira P.M., Maurer P., Pilar B.C. Evaluation of hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant effects in vivo of extracts hydroalcoholic of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *Diabetol Metab Syndr*. 2015. Vol. 7. 64. DOI: 10.1186/1758-5996-7-S1-A64.
102. Bork P.M., Schmitz M.L., Kuhnt M., Esher C., Heindrich M. Sesquiterpene lactone containing Mexican Indian medicinal plants and pure sesquiterpene lactones as potent inhibitors of transcription factor NF-kappa B // *Febs Lett*. 1997. Vol. 402. Pp. 85–90.
103. Baek S., Choi N., Lee K., Jhun H., Kim J. *Smallanthus sonchifolius* leaf attenuates neuroinflammation // *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*. 2018. Vol. 22(2). Pp. 031–035. DOI: 10.20463/jenb.2018.0014.
104. Myint P., Dao T.T.P., Kim Y.S. Anticancer Activity of *Smallanthus sonchifolius* Methanol Extract against Human Hepatocellular Carcinoma Cells // *Molecules*. 2019. Vol. 24. 3054. DOI: 10.3390/molecules24173054.
105. Imanuel L.K., Sunarni T., Herdwiani W. Aktivitas sitotoksik dan ekspresi protein p53 dan bcl-2 ekstrak dan fraksi daun yacon (*Smallanthus sonchifolius*) terhadap sel kanker T47D // *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*. 2021. Vol. 6. Pp. 74–81. DOI: 10.20961/JPSCR.V6I1.39540.
106. Mendoza R., Warren S., Vidar G. Oyong In vitro cytotoxic potential of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) against HT-29, MCF-7 and HDFn cell lines // *Journal of Medicinal Plants Research*. 2017. Vol. 11(10). Pp. 207–217. DOI: 10.5897/JMPR2016.6205.
107. Kitai Y., Zhang X., Hayashida Y., Kakehi Y., Tamura H. Induction of G2/M arrest and apoptosis through mitochondria pathway by a dimer sesquiterpene lactone from *Smallanthus sonchifolius* in HeLa cells // *J. Food Drug Anal*. 2017. Vol. 25(3). Pp. 619–627. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.10.005.
108. Burick J., Quick H., Wilson T. Лечебные свойства эхинацеи // *Провизор*. 1998. №4. URL: http://www.provisor.com.ua/archive/1998/N4/ekhinac.php?part_code=8.
109. Mertens G. From Quackery to Credibility // *Financial Times Business*. 2000. Pp. 317–322.

110. Lachman J., Fernandez E.C., Viehmannova I., Sulc M., Eepkova P. Total phenolic content of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) rhizomes, leaves, and roots affected by genotype // *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2007. Vol. 35(1). Pp. 117–123. DOI: 10.1080/01140670709510175.
111. Чекмарев П.А., Кононков П.Ф., Гинс В.К., Горюнова Ю.Д. Антиоксидантная активность листьев якона // *Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции овощных, плодово-ягодных и лекарственных растений*. 2011. С. 350–352.
112. Lebeda A., Dolezalova I., Fernandez E., Viehmannova I. Yacon (*Asteraceae: Smallanthus sonchifolia*). In: *Genetic resources, chromosome, engineering and crop improvement // Medicinal Plants*. 2012. Vol. 6. Pp. 641–702.
113. Naimah S.Y., Cicilia S. Kajian aktivitas antioksidan dan tingkat kesukaan teh daun insulin (*Smallanthus sonchifolius*) pada berbagai suhu pengeringan // *Pro Food (Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan)*. 2020. Vol. 6. Pp. 742–748. DOI: 10.29303/PROFOOD.V6I2.143
114. Рудниченко Е.С., Коренман Я.И. Определение антиоксидантной активности молочно-растительного экстракта методом жидкостной хроматографии // *Вестник ВГУИТ*. 2012. №2. С. 138–140.
115. Sugahara S., Ueda Y., Fukuhara K., Kamamuta Y., Matsuda Y., Murata T., Kuroda Y., Kabata K., Ono M., Igoshi K., Yasuda S. Antioxidant Effects of Herbal Tea Leaves from Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on Multiple Free Radical and Reducing Power Assays, Especially on Different Superoxide Anion Radical Generation Systems // *Journal of food science*. 2015. Vol. 80(11). Pp. 2420–2429. DOI: 10.1111/1750-3841.13092.
116. Sousa S., Pinto J., Rodrigues C., Gião M., Pereira C., Tavaría F., Malcata F., Gomes A., Pacheco M.T.B., Pintado M. Antioxidant properties of sterilized yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour // *Food Chem*. 2015. Vol. 188. Pp. 504–509. DOI: 10.3136/FSTR.21.255.
117. Wosko S., Serefko A., Szopa A., Kardas S., Widelski J., Mroczek T., Rostkowska E., Jolanta Szymanska J., Poleszak E. Influence of *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) on the Activity of Antidepressant Drugs in Mice // *Life*. 2021. Vol. 11. 1117. Pp. 1–13. DOI: 10.3390/life11111117.
118. Aleman M., Sánchez S., Honoré S. *Smallanthus sonchifolius* roots ameliorate non-alcoholic fatty liver disease by reducing redox imbalance and hepatocyte damage in rats fed with a high fructose diet // *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2019. Vol. 9(9). Pp. 365–372. DOI: 10.4103/2221-1691.267637.
119. Yana E.F., Budijastuti W. Gambaran Histopatologi Toksisitas Hepar Tikus Jantan (*Rattus norvegicus*) Pasca Pemberian Sirup Umbi Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*. 2022. Vol. 11. Pp. 202–207. DOI: 10.26740/lenterabio.v11n1.
120. Agustín C.D. Pengaruh pemberian ekstrak daun yacon (*Smallanthus sonchifolius*) terhadap gambaran histopatologi tubulus seminiferus tikus putih yang diinduksi aloksan // *Universitas Airlangga*. 2018. Pp. 18–166.
121. Lin F., Hasegawa M., Kodama O. Purification and identification of antimicrobial sesquiterpene lactones from yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves // *Biosci Biotechnol Biochem*. 2003. Vol. 67. Pp. 2154–2159.
122. Vieira P.R.N., Reis D.R.M.L. Atividade antimicrobiana das lactonas sesquiterpênicas da folha da yacon (*Smallanthus sonchifolius*, *Asteraceae*) // *Revista Fitos*. 2021. Vol. 15(1). Pp. 108–114. DOI: 10.32712/2446-4775.2021.864.
123. Lopes A.A., Pina E.S., Nader T.T., Da Costa F.B., Pereira A.M.S., Pupo M.T. Biosynthesis of (–)-ent-kaurenoic acid in *Smallanthus sonchifolius* and its effect against microbial biofilms // *Phytochemistry Letters*. 2016. Vol. 18. Pp. 162–167. DOI: 10.1016/j.phytol.2016.10.011.
124. Ulloa J., Spina R., Casasco A., Petray P., Martino V., Sosa M., Frank F., Muschietti L. Germacranolide-type sesquiterpene lactones from *Smallanthus sonchifolius* with promising activity against *Leishmania mexicana* and *Trypanosoma cruzi* // *Parasites & Vectors*. 2017. Vol. 10. 567. DOI: 10.1186/s13071-017-2509-6.
125. da Silva J.R., Reis K.M.N., de Freitas M.L.F., Ferreira C.L.L.F. O consumo de produto à base de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) aumenta glucagon-like peptide-1 e diminui o peso corporal de ratas Wistar ovariectomizadas // *Semináncias Agrárias*. 2021. Vol. 42. DOI: 10.5433/1679-0367.2021V42N1P37.
126. Durães G.C.S., Pires B., Lins T. Kombucha based synbiotic beverage using Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a fermentation substrate: development and sensorial analysis // *Food Research*. 2021. Vol. 5 (4). Pp. 66–71. DOI: 10.26656/fr.2017.5(4).703.
127. Lancetti R., Palavecino P.M., Bustos M.C., León A.E. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour obtention: Effect of process conditions on quality attributes and its incorporation in gluten-free muffins // *LWT*. 2020. Vol. 125. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109217.
128. Honoré S., Grande M.V., Rojas J.G., Sánchez S. *Smallanthus sonchifolius* (Yacon) Flour Improves Visceral Adiposity and Metabolic Parameters in High-Fat-Diet-Fed Rats // *Journal of Obesity*. 2018. Pp. 1–15. DOI: 10.1155/2018/5341384.
129. Martinez-Oliveira P., Zuravski L., de Oliveira M.F., Ströher D., Coelho R.P., Pilar B., de Oliveira L.F.D., Piccoli J., Machado M., Denardin C., Manfredini V. Evaluation In Vitro of Toxicity of Hydroalcoholic Extract of Leaves and Roots from Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) // *J. Med. Food*. 2021. Vol. 24(6). Pp. 660–665. DOI: 10.1089/jmf.2020.0131.

Поступила в редакцию 14 июня 2022 г.

После переработки 27 ноября 2022 г.

Принята к публикации 20 декабря 2022 г.

Для цитирования: Дронова А.В., Дьякова Н.А. Якон клубненосный: применение и перспективы (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2023. №1. С. 35–60. DOI: 10.14258/jcrpm.20230111529.

Dronova A.V., Dyakova N.A. * *SMALLANTHUS SONCHIFOLIA*: USES AND PROSPECTS (A REVIEW)

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006 (Russia), e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

This literature review is devoted to the tuberous yacon (*Smallanthus sonchifolius*), a perennial plant of the family Asteraceae, which is widely used in traditional medicine. Yacon tubers are characterized by a sufficiently high content of inulin for industrial production. The data provided in the review show that *Smallanthus sonchifolius* has a proven prebiotic effect due to its high content of fructooligosaccharides as well as other chemical compounds and has great potential as a prebiotic. In addition to the prebiotic effect, yacon has a wide range of pharmacological effects, including antidiabetic, hypoglycemic, hypolipidemic, anti-inflammatory, antitumor, immunostimulatory, antioxidant, antidepressant, hepatoprotective, spermatogenic, antibacterial, antifungal, antiparasitic, analgesic. Infusions made from yacon leaves can be not only effective agents against hyperglycemia, but also a relatively rich source of polyphenolic antioxidants. Yacon has potential as a plant supplement to treat male infertility and normalize low testosterone levels, such as in LOH-syndrome. The diversity of pharmacological action of yacon is due to the content of different groups of biologically active substances described in the review. The underground organs, leaves, and flowers of yacon contain various chemical compounds, including phenolic acids, sesquiterpene lactones, fructooligosaccharides of inulin type β (2 \rightarrow 1), tannins, flavonoids, saponins, and anthracene derivatives.

Keywords: *Polymnia sonchifolia*, *Smallanthus sonchifolia*, yacon, phytochemical composition, pharmacological action.

References

1. Bostid N.R.C. *Yacon Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. Washington National Academy Press, 1989, pp. 115–123.
2. Guluyeva D.T. *Otsenka kormovoy tsennosti zelenoy massy i klubney yakona i effektivnost' ikh ispol'zovaniya v kormlenii sviney: diss. ... kand. s-kh. nauk.* [Evaluation of the nutritional value of green mass and tubers of yacon and the effectiveness of their use in feeding pigs: diss. ... cand. agricultural sciences]. Vladikavkaz, 2016, 170 p. (in Russ.).
3. Valentova K., Frecz J., Ulrichov J. *Chem. Listy*, 2001, vol. 95, pp. 594–601.
4. Aybar M.J., Sánchez R.A.N., Grau A., Sánchez S.S. *J. Ethnopharmacol.*, 2001, vol. 74, pp. 125–132. DOI: 10.1016/S0378-8741(00)00351-2.
5. Talledo D., Escobar C. *Genética de las Células Somáticas de Raíces y Tuberosas Andinas*. Raíces Andinas, Manual de Capacitación, Lima: CIP, 2000. Fascículo 7, pp. 1–20.
6. Itaya N.M., de Carvakho M.A.M., Figueiredo-Ribeiro R.D.L. *Physiol. Plant*, 2002, vol. 116, pp. 451–459.
7. Grau A., Rea J. *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon*. Rome: IPGRI, 1997, pp. 199–242.
8. Niwa M., Arai T., Fujita K., Marubachi W., Inoue E., Tsukihashi T. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, 2002, vol. 71, pp. 561–567.
9. Lachman J., Fernández E.C., Orsák M. *Plant Soil. Environ.*, 2003, vol. 49, pp. 283–290.
10. Bodrug M.V. *Vtoroy mezhdunarodnyy simpozium «Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh prakticheskogo ispol'zovaniya»: materialy dokladov.* [Second International Symposium "New and non-traditional plants and prospects for their practical use": materials of reports]. Pushchino, 1997, vol. 4, pp. 286–288. (in Russ.).
11. Tyukavin G.B. *Introduktsiya yakona v Rossii.* [Introduction of the yacon in Russia]. Moscow, 2001, 271 p. (in Russ.).
12. Tyukavin G.B. *Selskochozyaystvennaya biologiya*, 2002, vol. 3, pp. 81–87.
13. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F., Dunich A.A., Dashchenko A.V., Mishchenko L.T. *Ovoshchi Rossii*, 2015, no. 3 (28), pp. 118–122. DOI: 10.18619/2072-9146-2015-3-4-118-122. (in Russ.).
14. Lachman J., Hejtmánková A., Dudjak J., Fernández E.C., Pivec V. *Content of polyphenolic antioxidants and phenol-carboxylic acids in selected organs of yacon [Smallanthus sonchifolius (Poepp. et Endl.) H. Robinson]*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, pp. 89–97.
15. Tsugkiyeva V.B. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, vol. 48, pp. 117–118. (in Russ.).
16. Padilla-Gonzalez G.F., Amrehn E., Frey M., Gómez-Zeledón J., Kaa A., da Costa F.D., Spring O. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, 4555. DOI: 10.3390/ijms21124555.
17. Valentova K., Ulrichova J. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky*, 2004, vol. 147(2), pp. 119–130. DOI: 10.5507/bp.2003.017.
18. Campos D., Betalleluz-Pallardel I., Chirinos R., Aguilar-Galvez A., Noratto G., Pedreschi R. *Food Chemistry*, 2012, vol. 135, pp. 1592–1599.
19. Takenaka M., Yan X., Ono H., Mitsuru Y., Nagata T., Nakanishi T. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, vol. 51, pp. 793–796.
20. Oliveira P.M. *Avaliação dos efeitos toxicológicos in vitro e neuroprotetores in vivo do extrato hidroalcoólico das folhas e raízes do Yacon (Smallanthus sonchifolius)*. Uruguaiana, 2019, 126 p.
21. Kolesnikova Ye.O. *Biologicheskyy potentsial i metody sozdaniya iskhodnogo materiala yakona (Polymnia sonchi-folia Poepp. & Endl.) pri introduktsii v TSCHR: diss. ... kand. biol. nauk.* [Biological potential and methods for creating the source material of yacon (*Polymnia sonchi-folia* Poepp. & Endl.) when introduced into the Central Chernozem region: diss. ... cand. biol. Sciences]. Ramon', 2009, 143 p. (in Russ.).
22. Demeshko O., Krivoruchko E., Volochai V., Samoilova V., Kovalev V. *Ceska Slov Farm.*, 2020, vol. 69(1), pp. 48–51.
23. Korenman Ya.I., Rudnichenko Ye.S., Mel'nikova Ye.I., Niftaliyev S.I. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2007, no. 5 (6), pp. 56–58. (in Russ.).
24. Rudnichenko Ye.S., Korenman Ya.I., Mel'nikova Ye.I., Niftaliyev S.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 79–82. (in Russ.).
25. Goto K., Fukai K., Hikida J., Nanjo F., Hara Y. *Biosci Biotech Biochem.*, 1995, vol. 59, pp. 2346–2347.

* Corresponding author.

26. Kamp L., Hartung J., Mast B., Graeff-Hönninger S. *Agronomy*, 2019, vol. 9, 301. DOI: 10.3390/agronomy9060301.
27. Genta S.B., Cabrera W.M., Mercado M.I., Grau A., Catalán C.A., Sánchez S.S. *Chem. Biol. Interact.*, 2010, vol. 185(2), pp. 143–152. DOI: 10.1016/j.cbi.2010.03.004.
28. Paredes L., Smiderle F.R., Santana-Filho A.P., Kimura A., Iacomini M., Sasaki G. *International journal of biological macromolecules*, 2018, vol. 108, pp. 1074–1081. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.034.
29. Ohyama T., Ito O., Yasuyoshi S., Ikarashi T., Minamisawa K., Kubota M., Tsukihashi T., Asami T. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1990, vol. 36, pp. 167–171.
30. Lachman J., Havrland B., Fernandez E., Dudjak J. *Plant Soil and Environment*, 2004, vol. 50 (9), pp. 383–390. DOI: 10.17221/4048-PSE.
31. Pedreschi R., Campos D., Noratto G., Chirinos G., Cisneros-Zevallos L. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, vol. 51, pp. 5278–5284.
32. Asami T., Minasawa K., Tsuchiya T., Kano K., Hori I., Ohyama T., Kubota M., Tzukahashi T. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 1991, vol. 62, pp. 621–627.
33. Fukai K., Ohno S., Goto K., Nanjo F., Hara Y. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1997, vol. 43, pp. 171–177.
34. Tzukahashi T. *Kiseki no kenkô jasai jâkon*. Kosaido Books, 1999.
35. Yan X., Suzuki M., Ahnishi-Kameyama M., Sada Y., Nakanishi T., Nagata T. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, vol. 47, pp. 4711–4713.
36. Takenaka M., Ono H. *Tetrahedron Lett.*, 2003, vol. 44, pp. 999–1002.
37. Simonovska B., Vovk I., Andrenšek S., Valentová K., Ulrichová J. *J. Chromatogr A*, 2003, vol. 1016, pp. 89–98.
38. Park J.S., Han K., Biomol. Ther., 2013, vol. 21(2), pp. 153–160. DOI: 10.4062/biomolther.2012.093.
39. Lee M.K., Kim H.W., Lee S., Asamenew G., Kim Y.J., Suji Lee, Jung H., Yoo S., Kim J.B. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2018, vol. 47, pp. 1284–1293. DOI: 10.3746/jkfn.2018.47.12.1284.
40. Vasilova Ye.S., Bagautdinova R.I., Okoneshnikova T.F. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2015, no. 2 (30), pp. 96–112. DOI: 10.17223/19988591/30/7. (in Russ.).
41. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F., Dunich A.A., Dashchenko A.V., Mishchenko L.T. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 628–636. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.628rus. (in Russ.).
42. Takasugi M., Masuda T. *Phytochemistry*, 1996, vol. 43, pp. 1019–1021.
43. Yoshida M., Ono H., Mori Y., Chuda Y., Mori M. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, vol. 50, pp. 4377–4381.
44. Ragasa C.Y., Alimboyoguen A.B., Urbana S., Raga D.D. *Natural Product Communications*, 2008, vol. 3, no. 10, pp. 1663–1666.
45. Lolani A.B.W.P. *Universitas Katolik Soegijapranata Semarang*, 2017, pp. 1–7.
46. Valentová K., Cvak L., Muck A., Ulrichová J., Šimánek V. *Eur. J. Nutr.*, 2003, vol. 42, pp. 61–66. DOI: 10.1007/s00394-003-0402-x.
47. Jirovský D., Horáková D., Kotouček M., Valentová K., Ulrichová J. *J. Sep. Sci.*, 2003, vol. 26, pp. 739–742.
48. Beutler J.A., Cardellina J.H., Lin C.M., Hamel E., Cragg G.M., Boyd M.R. *BioMed Chem. Lett.*, 1993, vol. 3, pp. 581–584.
49. Barrero A.F., Oltra J.E., Cerdá-Olmedo E., Ávalos J., Justicia J. *J. Nat. Prod.*, 2001, vol. 64, pp. 222–225.
50. Inoue A., Tamogami S., Kato H., Nakazato Y., Akiyama M., Kodama O., Akatsuka T., Hashidoko Y. *Phytochemistry*, 1995, vol. 39, pp. 845–848.
51. Bohlmann F., Knoll K.H., Robinson H., Kong R.M. *Phytochemistry*, 1980, vol. 19, pp. 107–110.
52. Bohlmann F., Knoll K.H., Robinson H., Kong R.M. *Phytochemistry*, 1980, vol. 19, pp. 973–974.
53. Castro V., Jakupovic J., Dominiguez X.A. *Phytochemistry*, 1989, vol. 28, pp. 2727–2729.
54. Ran X., Aung K.K.W., Bai J., Dou P., Zeng Z., Dou D. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2018, vol. 20, pp. 538–544. DOI: 10.1080/10286020.2017.1411346.
55. Kitai Y., Hayashi K., Otsuka M., Nishiwaki H., Senoo T., Ishii T., Sakane G., Sugiura M., Tamura H. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2015, vol. 63, pp. 10856–10861. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05229.
56. Zheng X., Fan H., Ting-Guo K., De-Qianga D., Kuo G., Yu-Yuan S., Young-Ho K., Feng D. *Natural Product Communications*, 2010, vol. 5, pp. 95–98. DOI: 10.1177/1934578X1000500123.
57. Sinurat M.R., Rahmayanti Y., Rizarullah R. *Jurnal IPA dan Pembelajaran*, 2021, vol. 2, pp. 138–150. DOI: 10.24815/JIPI.V5I2.20068.
58. Svistova I.D., Kuvshinova N.M. *Eksperimental'naya mikologiya*, 2015, pp. 69–71. (in Russ.).
59. Andrieux C. *Prebiotics and health*, 2002.
60. Mal'tseva T.V. *v-fruktozidaza drozhzhey Kluyveromyces marxianus Y-303: preparativnoye polucheniye, svoystva i primeneniye v biotekhnologii: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk.* [β -fructosidase from yeast *Kluyveromyces marxianus* Y-303: preparative preparation, properties and application in biotechnology: abstract of diss. ... cand. biol. Sciences]. Voronezh, 2003. (in Russ.).
61. Tomayeva Z.R. *Biologo-khozyaystvennyye osobennosti yakona v usloviyakh RSO-Alaniya i perspektivy yego ispol'zovaniya: diss. ... kand. biol. nauk.* [Biological and economic features of the yacon in the conditions of North Ossetia-Alania and the prospects for its use: diss. ... cand. biol. Sciences]. Vladikavkaz, 2006, 141 p. (in Russ.).
62. Martino H., Kolba N., Tako E. *Food Res. Int.*, 2020, vol. 137, 109705. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2020.109705.
63. Pedreschi R., Campos D., Noratto G., Chirinos R., Cisneros-Zevallos L. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, vol. 51, pp. 5279–5283.

64. Higashimura Y., Hirabayashi M., Nishikawa H., Inoue R., Nagai E., Matsumoto K., Enomoto T., Mizushima K., Takagi T., Naito Y. *J. Clin. Biochem. Nutr.*, 2021, vol. 69, pp. 272–279. DOI: 10.3164/jcbs.20-203.
65. Verediano T., Viana M., Tostes M.G.V., Costa N. *Current Nutrition & Food Science*, 2021, vol. 17, pp. 167–175. DOI: 10.2174/1573401316999200605160433.
66. Marques C., Toazza C.E.B., Sari R., Mitterer-Daltoé M., Amaral W., Masson M.L. *Food Bioscience*, 2021, vol. 41, 100970. DOI: 10.1016/J.FBIO.2021.100970.
67. Coronado D.A., Salazar M.E. *Ciencia E Investigación*, 2017, vol. 19 (2), pp. 70–73. DOI: 10.15381/CI.V19I2.13631.
68. Leone R., de Andrade E.F., Ellendersen L., da Cunha A.T., Martins A.M.C.V., Granato D., Masson M.L. *LWT*, 2017, vol. 75, pp. 220–226. DOI: 10.1016/J.LWT.2016.08.027.
69. Marcon L.D.N. *Journal of Food Science & Nutrition*, 2020, vol. 6, 069. DOI: 10.24966/FSN-1076/100069.
70. Marcon L.D., Moraes L.F.S., Cruz B.C.S., Teixeira M.D., Bruno T.C.V., Ribeiro I.E., Messias A.C., Ferreira C.L.L., de Oliveira L.D., Pelizio M. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 55, pp. 333–342. DOI: 10.1016/J.JFF.2019.02.039.
71. Prado E.C., Purisaca-Salinas P., Moreno-Rojo C., Guillén-Sánchez J. *The Journal of medical research*, 2020, vol. 20, pp. 1–8. DOI: 10.34257/gjmr/vol20is1pg23.
72. Rahmaisyah D., Wasityastuti M.M.E.W., Widasari S.P.A.D.I. *Kadar interleukin 23 (IL-23) dan profil infiltrasi leukosit pada kolon mencit model kolitis hasil induksi TNBS (2.4.6-Trinitrobenzene Sulfonic Acid) yang diberi bubuk umbi yakon (Smalanthus sonchifolius)*. Universitas Gadjah Mada, 2019.
73. Tungland B. *Human Microbiota in Health and Disease*, 2018, pp. 349–379. DOI: 10.1016/B978-0-12-814649-1.00008-9.
74. Parygina L.A. *Priusadebnoye khozyaystvo*, 2001, pp. 19–21. (in Russ.).
75. Podobedov V.I. *Moya teplitsa*, 2001, no. 6. (in Russ.).
76. Miura T. *Journal of Traditional Medicines*, 2007, vol. 24(2), pp. 47–50.
77. Baroni S., Suzuki-Kemmelmeier F., Caparroz-Assef S.M., Cuman R.K.N., Bersani-Amado C.A. *Revista Brasileira de Ciencias Farmaceuticas*, 2008, vol. 44(3), pp. 521–530. DOI: 10.1590/S1516-93322008000300024.
78. Volpato G.T., Vieira F.L., Almeida F.C.G., Camara F., Lemonica I.P. *Study of the hypoglycemic effects of Polymnia sonchifolia leaf extracts in rats. Abstracts of the second WOCMAP. Pt. 2*. Wageningen, 1999, 319 p.
79. Dou D.Q., Kang T.G., Qiu Y.K., Tian F. *Planta Med.*, 2008, vol. 74, p. 71. DOI: 10.1055/s-2008-1075267.
80. Vargas-Tineo O.W., Segura-Muñoz D.M., Becerra-Gutiérrez L.K., Amado-Tineo J.P., Silva-Díaz H. *Rev. Peru Med. Exp. Salud. Pública.*, 2020, vol. 37(3), pp. 478–484. DOI: 10.17843/rpmpesp.2020.373.5275.
81. Ballatong C.F.B., Palayon C.J.B., Peralta Q.V., Ramel F.M.B., Ventura A.M., Carreon J.B. *Scientia Naturales*, 2016, vol. 3, pp. 91–101.
82. *Lekarstvennoye syr'ye rastitel'nogo i zivotnogo proiskhozhdeniya. Farmakognoziya: uchebnoye posobiye* [Medicinal raw materials of plant and animal origin. Pharmacognosy: textbook], ed. G.P. Yakovlev. St. Petersburg, 2006, 845 p. (in Russ.).
83. Levinova V.F., Reshetnikova M.D., Khlebnikov A.V. *Izbrannyye lektsii po farmakognozii: ucheb. posobiye*. [Selected lectures on pharmacognosy: textbook. allowance]. Perm', 2006, 305 p. (in Russ.).
84. Mitrofanova I.Yu., Yanitskaya A.V. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2013, vol. 47, no. 3, pp. 45–47. (in Russ.).
85. Demidova I.YU. *Farmateka*, 2002, no. 5, pp. 3–8. (in Russ.).
86. Marchyshyn S.M., Hudz' N.A., Krytskaya H.A., Andryyshyn A.P., Tverdokhlyb N.O. *Svit medytsyny ta biolohiyi*, 2018, no. 2(64), pp. 165–169. (in Russ.).
87. Mishchenko M.N.L.T. *Studia Biologica*, 2014, vol. 8(2), pp. 57–64. DOI: 10.30970/sbi.0802.350.
88. Aziz Z., Yuliana N.D., Simanjuntak P., Rafi M., Mulatsari E., Abdillah S. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2021, vol. 76, pp. 487–493. DOI: 10.1007/s11130-021-00926-3.
89. Sulastris L., Hidayat R., Citreksoko P., Abdillah S., Simanjuntak P. *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, 2021, pp. 145–152. DOI: 10.25026/mpc.v14i1.563.
90. Aziz Z., Qisthi F.H.A., Yuliana N.D., Simanjuntak P. *Jurnal ilmu kefarmasian Indonesia*, 2019, vol. 17, pp. 21–26. DOI: 10.35814/JIFL.V17I1.652.
91. Dwitiyanti D., Hikmawati N., Putri A.P., Chulsum N. *Jurnal tumbuhan obat Indonesia*, 2020, vol. 13, pp. 1–8. DOI: 10.22435/JTOI.V13I2.3015.
92. Mitrofanova I.Y., Yanitskaya A.V. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2013, vol. 47(3), pp. 169–171. DOI: 10.1007/s11094-013-0918-1.
93. Fayziyeva Z.T. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2009, vol. 85, no. 2, pp. 99–100. (in Russ.).
94. Valentova K., Moncion A., de Waziers I., Ulrichova J. *Cell Biol. Toxicol.*, 2004, vol. 20, pp. 109–120. DOI: 10.1023/B:CBTO.0000027931.88957.80.
95. Nurmawati T., Arsa S.A.W., Wulandari N., Saparudin A. *Jurnal Ners dan Kebidanan*, 2021, vol. 8, pp. 219–220.
96. Nurmawati T., Sari Y.K., Ningtyas F.A. *Biosantropis*, 2021, vol. 7, pp. 56–62. DOI: 10.33474/E-JBST.V7I1.393.
97. Putra D., Manalu J.L. *Damianus: Journal of Medicine*, 2020, vol. 19. DOI:10.25170/djm.v19i2.1141
98. Aziz Z., Tamara N., Wahyuni R., Abdillah S. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2019, vol. 13(9), pp. 113–117. DOI: 10.5897/AJPP2019.5023.
99. Nurmawati T., Rahmawati A., Mutiara F. *Biosantropis*, 2022, vol. 7, pp. 105–112. DOI: 10.33474/e-jbst.v7i2.48.
100. Saputri S., Desi A. *Aktivitas antibakteri, antidiabetes dan penyembuhan ulkus diabetik ekstrak etanol daun insulin (Smalanthus sonchifolius)*. Universitas Setia Budi, 2018.

101. Oliveira P.M., Maurer P., Pilar B.C. *Diabetol Metab Syndr*, 2015, vol. 7, 64. DOI: 10.1186/1758-5996-7-S1-A64.
102. Bork P.M., Schmitz M.L., Kuhnt M., Esher C., Heindrich M. *Febs Lett.*, 1997, vol. 402, pp. 85–90.
103. Baek S., Choi N., Lee K., Jhun H., Kim J. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 2018, vol. 22(2), pp. 031–035. DOI: 10.20463/jenb.2018.0014.
104. Myint P., Dao T.T.P., Kim Y.S. *Molecules*, 2019, vol. 24, 3054. DOI: 10.3390/molecules24173054.
105. Imanuel L.K., Sunarni T., Herdwiani W. *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 2021, vol. 6, pp. 74–81. DOI: 10.20961/JPSCR.V6I1.39540.
106. Mendoza R., Warren S., Vidar G. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2017, vol. 11(10), pp. 207–217. DOI: 10.5897/JMPR2016.6205.
107. Kitai Y., Zhang X., Hayashida Y., Kakehi Y., Tamura H. *J. Food Drug Anal.*, 2017, vol. 25(3), pp. 619–627. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.10.005.
108. Burick J., Quick H., Wilson T. *Provizor*, 1998, no. 4. URL: http://www.provisor.com.ua/archive/1998/N4/ekhinac.php?part_code=8. (in Russ.).
109. Mertens G. *Finacial Times Business*, 2000, pp. 317–322.
110. Lachman J., Fernandez E.C., Viehmannova I., Sulc M., Eepkova P. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2007, vol. 35(1), pp. 117–123. DOI: 10.1080/01140670709510175.
111. Chekmarev P.A., Kononkov P.F., Gins V.K., Goryunova Yu.D. *Rol' fiziologii i biokhimii v introduktsii i selektsii ovoshchnykh, plodovo-yagodnykh i lekarstvennykh rasteniy*, 2011, pp. 350–352. (in Russ.).
112. Lebeda A., Dolezalova I., Fernandez E., Viehmannova I. *Medicinal Plants*, 2012, vol. 6, pp. 641–702.
113. Naimah S.Y., Cicilia S. *Pro Food (Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan)*, 2020, vol. 6, pp. 742–748. DOI: 10.29303/PROFOOD.V6I2.143
114. Rudnichenko Ye.S., Korenman Ya.I. *Vestnik VGUIT*, 2012, no. 2, pp. 138–140. (in Russ.).
115. Sugahara S., Ueda Y., Fukuhara K., Kamamuta Y., Matsuda Y., Murata T., Kuroda Y., Kabata K., Ono M., Igoshi K., Yasuda S. *Journal of food science*, 2015, vol. 80(11), pp. 2420–2429. DOI: 10.1111/1750-3841.13092.
116. Sousa S., Pinto J., Rodrigues C., Gião M., Pereira C., Tavaría F., Malcata F., Gomes A., Pacheco M.T.B., Pintado M. *Food Chem.*, 2015, vol. 188, pp. 504–509. DOI: 10.3136/FSTR.21.255.
117. Wosko S., Serefko A., Szopa A., Kardas S., Widelski J., Mroczek T., Rostkowska E., Jolanta Szymanska J., Poleszak E. *Life*, 2021, vol. 11, 1117, pp. 1–13. DOI: 10.3390/life11111117.
118. Aleman M., Sánchez S., Honoré S. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2019, vol. 9(9), pp. 365–372. DOI: 10.4103/2221-1691.267637.
119. Yana E.F., Budijastuti W. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 2022, vol. 11, pp. 202–207. DOI: 10.26740/lentera-bio.v11n1.
120. Agustin C.D. *Universitas Airlangga*, 2018, pp. 18–166.
121. Lin F., Hasegawa M., Kodama O. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 2003, vol. 67, pp. 2154–2159.
122. Vieira P.R.N., Reis D.R.M.L. *Revista Fitos*, 2021, vol. 15(1), pp. 108–114. DOI: 10.32712/2446-4775.2021.864.
123. Lopes A.A., Pina E.S., Nader T.T., Da Costa F.B., Pereira A.M.S., Pupo M.T. *Phytochemistry Letters*, 2016, vol. 18, pp. 162–167. DOI: 10.1016/j.phytol.2016.10.011.
124. Ulloa J., Spina R., Casasco A., Petray P., Martino V., Sosa M., Frank F., Muschiatti L. *Parasites & Vectors*, 2017, vol. 10, 567. DOI: 10.1186/s13071-017-2509-6.
125. da Silva J.R., Reis K.M.N., de Freitas M.L.F., Ferreira C.L.L.F. *Semina-ciencias Agrarias*, 2021, vol. 42. DOI: 10.5433/1679-0367.2021V42N1P37.
126. Durães G.C.S., Pires B., Lins T. *Food Research*, 2021, vol. 5 (4), pp. 66–71. DOI: 10.26656/fr.2017.5(4).703.
127. Lancetti R., Palavecino P.M., Bustos M.C., León A.E. *LWT*, 2020, vol. 125. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109217.
128. Honoré S., Grande M.V., Rojas J.G., Sánchez S. *Journal of Obesity*, 2018, pp. 1–15. DOI: 10.1155/2018/5341384.
129. Martinez-Oliveira P., Zuravski L., de Oliveira M.F., Ströher D., Coelho R.P., Pilar B., de Oliveira L.F.D., Piccoli J., Machado M., Denardin C., Manfredini V. *J. Med. Food*, 2021, vol. 24(6), pp. 660–665. DOI: 10.1089/jmf.2020.0131.

Received June 14, 2022

Revised November 27, 2022

Accepted December 20, 2022

For citing: Dronova A.V., Dyakova N.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 1, pp. 35–60. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpr.20230111529.