

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСЧЕРПЫВАЮЩЕЙ ЭКСТРАКЦИИ МАНГИФЕРИНА ИЗ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЯ-ИНТРОДУЦЕНТА *HEDYSARUM ALPINUM* L. В УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА*

В.В. Пунегов, *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*

С.А. Патов, *Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*

О.В. Скроцкая, *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*

Для цитирования:

Пунегов В.В., Патов С.А., Скроцкая О.В. Оценка возможности исчерпывающей экстракции мангиферина из надземной части растения-интродуцента *Hedysarum alpinum* L. в условиях микроволновой активации процесса // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2025. – № 4. – С. 6–16. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2025.4.1>

Исследована зависимость выхода и чистоты мангиферина из фитомассы копеечника альпийского *Hedysarum alpinum* L. (Fabaceae), интродуцированного в Ботаническом саду Института биологии Коми научного центра, от концентрации спирта в экстрагенте в условиях микроволновой активации процесса экстракции. Установлено, что максимальный выход мангиферина – 1,87-2,0%, достигается при концентрации спирта в экстрагенте 10-30% или 80%, мощности излучения 800 Вт в объеме камеры СВЧ, суммарной продолжительности стадий экстракции 9 мин. и гидромодуле процесса, равном восьми.

Ключевые слова: мангиферин, экстракция, микроволновое излучение, ВЭЖХ-МС-, УФ-, ЯМР-спектроскопия, *Hedysarum alpinum*, интродукция.

Введение

Мангиферин – природное соединение растительного происхождения, имеющее структуру 1,3,6,7-тетрагидроксиксантон-2-С-глюкопиранозида. Это известное биологически активное вещество, выделяемое из различных видов растений для использования в фармакологии. Мангифе-

рин обладает противодиабетическими, кардиопротекторными, антиоксидантными, противоопухолевыми и гепатопротекторными свойствами, применяется при лечении гепатита и кожных заболеваний [1, 2, 3]. Растительным сырьем для получения мангиферина являются в основном листья и кора *Mangifera indica* L. (манго

* Работа выполнена на экспериментальной базе УНУ «Научная коллекция живых растений Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН» (регистрационный номер 507428) и оборудовании ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН в рамках государственного задания по теме «Оценка влияния климатических условий Севера на процессы репродукции ресурсных растений», номер государственной регистрации 125021302139-3.

индийское), *Curcuma amada* Roxb. (куркума амада), а также надземная масса некоторых видов рода *Hedysarum* (Копеечник) – *Hedysarum alpinum* L., *Hedysarum theinum* Krasnob. [4, 5, 6, 7]. Из надземной части *H. alpinum* был получен препарат «Алпизарин», который, согласно доклиническим исследованиям, оказывает прямое ингибирующее действие на вирус простого герпеса, цитомегаловирус, а также влияет на выработку γ -интерферона, обладает иммуностимулирующей активностью [8].

Результаты интродукционных исследований в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми показали высокую перспективность культивирования *H. alpinum* с целью расширения сырьевой базы для производства мангиферина и лекарственных препаратов, его содержащих [9, 10]. *H. alpinum* – многолетнее травянистое растение из семейства Fabaceae (Бобовые), включенное в Красную книгу Республики Коми (категория статуса редкости 3), редкий вид с естественно низкой численностью; лимитирующими факторами и угрозами являются реликтовость и изолированность отдельных популяций на северном пределе распространения вида. Ареал вида евразийский – северные районы Монголии, Китая, Кореи, север, северо-восток европейской части России, Урал, Западная и Восточная Сибирь и Дальний Восток с арктическими районами [11]. *H. alpinum* – ценное лекарственное растение, не обеспеченное естественной сырьевой базой. В научную коллекцию живых растений Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН вид привлечен в 1994 году из ВИЛАР (Москва), и по итогам первичного интродукционного изучения он вошел в группу перспективных лекарственных растений для дальнейшего культивирования в Республике Коми. В настоящее время в коллекции лекарственных растений сохраняется

и изучается третья местная репродукция *H. alpinum*. Подробно была изучена морфология растений в прегенеративном и генеративном периодах онтогенеза, установлен возраст перехода растений в соответствующие онтогенетические состояния. Показано, что сезонные ритмы роста и развития данного вида в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми стабильны и растения приспособлены к почвенно-климатическим условиям Севера. Также определено, что особи второго – восьмого годов жизни отличаются значительными показателями надземной сырьевой фитомассы (7-9 г/на побег) с высоким содержанием мангиферина, что говорит о целесообразности продолжения изучения данного лекарственного растения с целью дальнейшей разработки технологии культивирования в северном регионе и совершенствования условий получения мангиферина. В данной работе отражены результаты оптимизации условий получения мангиферина с активацией процесса экстракции целевого продукта микроволновым излучением.

Экспериментальная часть.

Растительный материал

Надземная масса *H. alpinum* была собрана с экспериментальных делянок в Ботаническом саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН в фазе массового цветения, высушена до воздушно-сухого состояния воздушно-теневым способом и перемолота на лабораторной мельнице до степени измельчения менее 0,25 мм. По данным ВЭЖХ анализа, содержание мангиферина в указанном образце растительного сырья составляло $2,0 \pm 0,2$ % в пересчете на абсолютно сухое сырье (что несколько уступает свежесобранному воздушно-сухому сырью), однако это так же говорит о его хорошем качестве (так, например, содержание мангиферина в траве *H. alpinum*, заготовленной в 2022

и 2023 годах в Ботаническом саду ВИЛАР (Москва), составляло 2.55 % и 1.66 % соответственно [12]; трава копеечника кавказского (*H caucasicum* M. Vieb.), близкого вида, также рекомендуемого в качестве лекарственного растения, произрастающего на территории Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республик Северного Кавказа, содержит мангиферин в количестве 0,13–0,15 % [13].

Микроволновая экстракция (МАЭ)

Микроволновая экстракция проводилась с использованием микроволновой печи (LG, модель MS2322T; 230В, ~50Гц) в открытой системе сосудов. Навеску травяной муки 100 г вносили в химический стакан емкостью 1,2 дм³, подливали водный раствор спирта этилового в объеме 800 см³. Гидро модуль процесса (отношение объема жидкости к массе сухого сырья, используемого для экстракции мангиферина, см³/г) равен восьми из-за сильного набухания сырья в экстрагенте. Стакан с суспензией выдерживали в микроволновой печи 1 мин. с нагревом содержимого до 36 °С, извлекали, перемешивали суспензию, повторно вносили в микроволновую печь на 1 мин. При этом суспензия разогревалась до 48 °С, снова извлекали, перемешивали содержимое стакана и третий раз помещали в СВЧ печь на 1 мин. В процессе происходил разогрев суспензии до 62 °С с признаками начала поверхностного кипения экстрагента. Мощность СВЧ излучения была равна 800 Вт. Суспензию сырья в экстрагенте остужали до 40 °С и фильтровали экстракт на воронке Бюхнера через бумажный фильтр «синяя лента» в вакууме водоструйного насоса. Шрот с фильтра переносили в исходный химический стакан и экстрагировали целевое вещество аналогичным образом ещё два раза. Экстракты объединяли и концентрировали на

роторном испарителе ИР-1М (ЗАО «Химлаборприбор», г. Клин, РФ) до водного остатка объемом 50-80 мл. Все эксперименты по экстракции целевого вещества выполняли в трехкратной повторности.

Очистка экстракта от сопутствующих веществ

Водный остаток, полученный после концентрирования спиртового экстракта, количественно переносили в делительную воронку и пятикратно экстрагировали неполярные липиды хлороформом по методике, отраженной в авторском свидетельстве на изобретение [9]: (трехкратно с расходом 100 мл хлороформа и двукратно – по 50 мл хлороформа). Хлороформные извлечения отделяли от водного остатка центрифугированием на лабораторной центрифуге Heinz Janetzki T23 (Чехословакия) и подвергали рекуперации растворителя.

Из водного остатка в делительной воронке экстрагировали мангиферин н-бутанолом шестикратно с использованием по 100 мл н-бутанола на каждой стадии. Бутанольные реэкстракты отделяли от водного остатка центрифугированием на лабораторной центрифуге Heinz Janetzki T23, объединяли, концентрировали на роторном испарителе до сухого остатка. Сухой остаток, представляющий собой концентрат технического мангиферина, количественно переносили в химический стакан емкостью 250 см³, растворяли в 100 мл 60% (v/v) этанола, нагревали в СВЧ печи до 68 °С и полного растворения осадка, фильтровали. Раствор остужали до комнатной температуры. При этом происходило выпадение осадка бежевого цвета – мангиферина. Для окончательной кристаллизации стакан с материалом помещали в морозильную камеру (-10°С) на 2 – 5 суток. Осадок отфильтровывали через мембранный фильтр с размером пор 45 мкм. Продукт

на фильтре промывали с использованием 10 мл 96 %-го этанола, охлажденного до -10°C . Мангиферин высушивали в течение 1,5 ч. в сушильном шкафу при 115°C , определяли выход продукта весовым методом. Маточный раствор концентрировали до сухого остатка и аналогичным образом перекристаллизовывали продукт при охлаждении, получали дополнительную массу мангиферина. Данные по выходу мангиферина и его зависимости от концентрации спирта в экстрагенте отражены в таблице.

Анализ мангиферина методом ВЭЖХ

Аналитические исследования выполняли по методике, отраженной в публикации Y.-J. App Li, K.-S. Bi (2003) [14] и адаптированной нами для применения микроколоночного аналитического хроматографа «Милихром-5». Полученные образцы мангиферина и маточные растворы после кристаллизации продукта анализировали методом микроколоночной обращенно-

фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием аналитической хроматографической системы «Милихром-5», оснащенной аналитической колонкой Диасфер С18 (с размером зёрен сорбента 5 мкм, внутренним диаметром 2 мм и длиной 80 мм) и УФ-детектором при 320 нм с применением градиентного режима элюирования (ЗАО «Медикант», г. Орел, РФ), а также петлевым дозатором емкостью 5 мкл. Для аналитических исследований приготовили образцы растворов мангиферина с концентрацией 5 мкг/мл в 50%-ном этаноле в мерных колбах емкостью 100 см³. ВЭЖХ анализ выполняли при детектировании хроматографического сигнала на длине волны детектора 320 нм в режиме градиентного элюирования компонентов из колонки. Элюент А – 1 % уксусная кислота в воде, элюент В – ацетонитрил марки «0», программа градиента – 0–20 мин. 0–100% В. Объемная скорость элюирования компонентов из аналитической колонки – 100 мкл/мин.

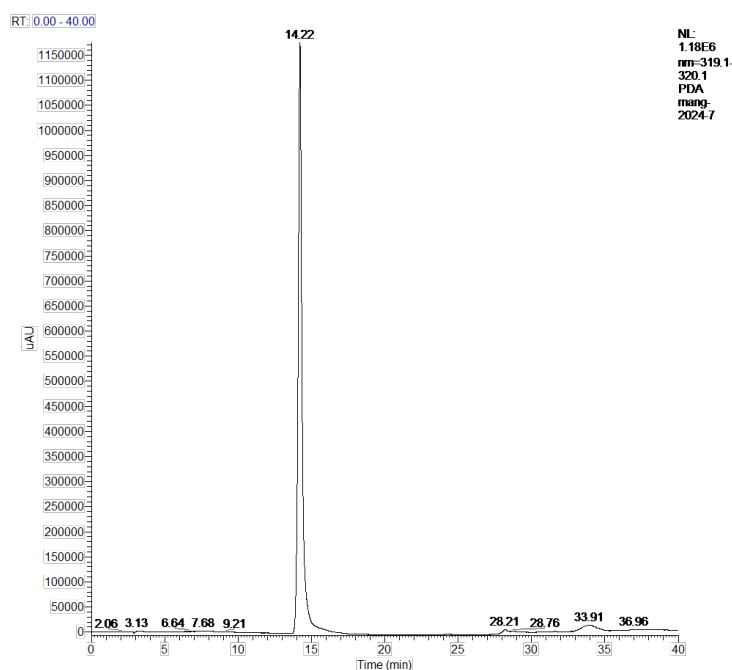


Рис. 1. Хроматограмма образца № 8 (см. табл.) мангиферина, полученная методом ОФ-ВЭЖХ-PDA (диодно-матричный детектор) при детектировании на длине волны 320,1 нм. По вертикали: интенсивность хроматографического сигнала, μV , По горизонтали: время хроматографического удерживания компонентов в аналитической колонке, мин., для мангиферина это значение соответствует 14.22 мин.

Для получения калибровочной зависимости интегральной интенсивности хроматографического сигнала от концентрации мангиферина в анализе использовали растворы рабочего стандартного образца мангиферина с массовой долей 98 %, полученного нами ранее в соответствии со способом, приведенным в патенте [14]. Калибровочная зависимость линейна в области концентраций мангиферина от 0.2 мкг/мл до 12 мкг/мл при поглощении УФ-излучения растворами аналита на длине волны 320 нм.

Образцы мангиферина исследовали методом ВЭЖХ-МС в лаборатории физико-химических методов исследования в Институте химии Коми НЦ УрО РАН с целью подтверждения качественных характеристик полученных веществ и возможной природы сопутствующих примесей.

Хромато-масс спектрометрический анализ компонентного состава образца №8 мангиферина (таблица). Анализ выполнен с применением системы ВЭЖХ-МС LCQ Fleet (Thermo, США). Разделение компонентов осуществляли на колонке ODS Hypersil C18 (2×100 мм, 5 мкм зерно) в градиентном режиме элюирования в системе растворителей – ацетонитрил (А): 10% водный раствор муравьиной кислоты (В). Режим элюирования: А : В – 0 : 100 (30 мин) – 100 : 0 (10 мин) – 0 : 100, скорость элюирования 0.5 мл/мин, температура колонки 30 °С, длина волны при детектировании 320 нм (диодно-матричный детектор (PDA)) и по полному ионному току (МС-детектор). Условия МС: напряжение на капилляре 5 кВ, поток газа осушителя (гелий) – 7 дм³/мин, температура 275 °С, сканирование масс в режиме регистрации положительных ионов [M⁺] в диапазоне масс (m/z) 100 – 2000. Хроматограмма приведена на рис. 1, а масс-спектр мангиферина – на рис. 2.

УФ-спектр поглощения мангиферина получен на спектрофотометре UV-Vis

1700 Shimadzu (Япония). Как следует из рис. 3, спектр образца мангиферина в УФ – области характеризуется тремя интенсивными полосами поглощения с максимумами при длинах волн 258,5, 316,5 и 367 нм и практически идентичен спектру поглощения мангиферина, получаемого по патенту США [15].

Определение температуры плавления мангиферина

Температура плавления образцов мангиферина была определена с применением столика Кофлера. Установлено, что мангиферин плавится при температуре 269-270 °С с разложением.

Обсуждение результатов

H. alpinum является перспективным и альтернативным, по отношению к листьям и коре манго, сырьевым источником для получения мангиферина. При выращивании в лесной зоне Западной Сибири особи *H. alpinum* синтезируют до 3.0% мангиферина и 4.1% суммы ксантонов [5, 16, 17]. В сырьевой массе растения *H. alpinum*, культивируемого в среднетаежной подзоне Республики Коми, на основании данных ВЭЖХ анализа нами было установлено, что содержание мангиферина в листьях варьирует от 3.9 до 5.7 % в фазы бутонизации и цветения в пересчете на абсолютно сухое сырье [9]. К тому же полагаем, что оптимальными сроками заготовки сырья в условиях Севера следует считать фазы массовой бутонизации и начала цветения, характеризующиеся наиболее высоким содержанием ксантонов, при этом следует учитывать, что в фазу цветения в ряде случаев отмечается меньше веществ, чем в фазу бутонизации.

Многочисленные научные работы приводят данные о технологических преимуществах применения микроволновой активации экстракции мангиферина (microwave assisted extraction (MAE)) из

листьев *Mangifera indica*, *Curcuma amada* [3, 18, 19, 20]. В данной работе усилия были направлены на оптимизацию некоторых условий препаративного выделения мангиферина из сырьевой фитомассы *H. alpinum*. Основная задача заключалась в необходимости выяснения влияния концентрации этилового спирта в экстрагенте на выход и качество мангиферина в условиях МАЭ без применения стадии кислотного гидролиза О-гликозидов в водном остатке после концентрирования спиртового экстракта из сырья. В данной работе приводятся результаты изучения процесса экстракции мангиферина в интервале концентрации этилового спирта в экстрагенте от 0 до 95 %. По данным литературы [12], мангиферин из фитомассы *H. alpinum* наиболее полно экстрагируется этанолом с концентрацией 70 % при нагреве до 80 °С, при гидромодуле 100 за 60 мин. одной стадии экстракции. Приведенный исследователями вариант экстракции целевого продукта энерго- и материалозатратный. Альтернативой является способ экстракции мангиферина водно-спиртовыми экстрагентами под воздействием микроволнового излучения. Нами установлено в данной работе, что практически исчерпывающее извлечение мангиферина из фитомассы *H. alpinum* этанолом с концентрацией 20, 30 и 80 % может быть достигнуто за 9 мин. трехкратной экстракции с микроволновой активацией процесса. При этом гидромодуль процесса можно уменьшить до восьми. В этом случае основные трудозатраты переносятся со стадии экстракции на стадии концентрирования спиртового экстракта, его очистки от сопутствующих веществ хлороформом и бутанолом, а также кристаллизации продукта в среде 60 % этанола. Основное время в процессе получения мангиферина из фитомассы растения затрачивается на стадию кристаллизации из 60 % спирта при отрицательных температурах (-10 °С) –

от 2 до 5 суток. В таблице приведены аналитические данные, отражающие влияние концентрации этилового спирта (в интервале 0 – 95 %) в экстрагенте на выход мангиферина и его содержание в конечном продукте. Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что оптимальным составом экстрагента, необходимого для успешного извлечения мангиферина в условиях МАЭ из сырьевой фитомассы *H. Alpinum*, является водный раствор этилового спирта с объемной долей, равной 20-30 или 80 %. Выход целевого продукта с применением экстрагента указанного состава из растительного сырья достигает 1,86 – 2,0 % при содержании мангиферина в исходном растительном сырье $2,0 \pm 0,2$ %. Массовая доля мангиферина в очищенных образцах продукта в этом случае составляет 97,2 – 97,9 %. Полученные результаты выделения мангиферина согласуются с литературными данными [3]. Так, максимальный выход мангиферина из фитомассы *Curcuma amada* в условиях микроволновой активации процесса наблюдался при концентрации этилового спирта в экстрагенте, равной 80 %.

При низком содержании этилового спирта в экстрагенте (40 – 60 %) выход мангиферина из фитомассы *H. alpinum* в выбранных условиях экстракции существенно ниже и составляет 0,94 – 1,73 %. Второй максимум выхода мангиферина наблюдается при концентрации этанола в экстрагенте 10 – 30 % (2,0 – 1,86 %). Но при концентрации этанола 10 % происходило сильное загрязнение продукта сопутствующими экстрактивными веществами растения и массовая доля мангиферина, при прочих равных условиях экстракции, в данном случае не превышала 92,6 %. Экстрагенты с высокой объемной долей этилового спирта (90 и 95 %) также не обеспечивают высокий выход целевого вещества из фитомассы растения. В основном, вероятно, это связано с плохой

набухаемостью травяной муки из фитомассы *H. alpinum* в экстрагентах с относительно высоким содержанием этилового спирта (степень набухания меньше 84 %) и, следовательно, затруднением процессов массопереноса в системе капиллярно-пористое тело – экстрагент даже в условиях МАЭ. При объемной доле этилового спирта 90% из растительного сырья *H. alpinum* удается извлечь 1,15 % мангиферина. Кроме того, в этом случае конечный продукт даже после двукратной перекристаллизации содержит примеси, преимущественно фенольной природы, судя по цветной реакции с раствором треххлористого железа. Массовая доля мангиферина в конечном продукте в этих экспериментах не превышала 94,3 %. Масс-спектр мангиферина (образец № 8 в таблице) приведен на рис. 2. Хроматограмма, полученная методом ОФ-ВЭЖХ, приведена на рис. 1. Как следует из рисунка, в представленном для анализа образце мангиферин является доминирующим компонентом с массовой долей не менее 97 %. Помимо мангиферина в продукте присутствуют, как минимум, два минорных компонента неустановленной структуры.

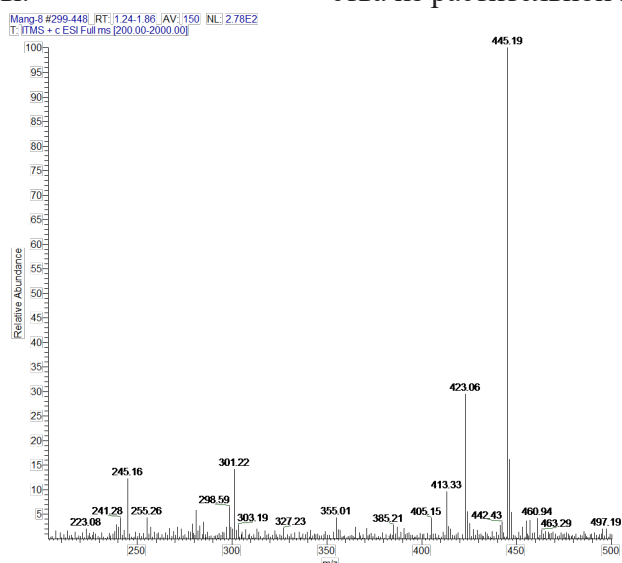


Рис. 2. Масс-спектр мангиферина, образец №8 (в табл.). По вертикали – относительная амплитуда сигнала, %, по горизонтали – отношение массы дочерних ионов к заряду (m/z). Сигнал от молекулярного иона мононатриевой соли мангиферина проявляется при соотношении m/z , равном 445.19.

На рис. 3 приведен УФ-спектр поглощения раствора мангиферина в водном спирте: в УФ – спектре поглощения мангиферина имеется три максимума при длинах волн 258,5, 316,5 и 367 нм, практически совпадающих с максимумами поглощения чистого мангиферина.

Следует отметить, что оптимум концентрации этанола в экстрагенте при извлечении мангиферина может сильно различаться и зависит от вида используемого растительного сырья. Например, в работе исследователей из Китая [3] мангиферин экстрагируют из листьев *Mangifera indica* лучше всего при гидромодуле 30 и в этаноле 45 % при мощности СВЧ излучения 474 Вт и продолжительности СВЧ экстракции 123 секунды с выходом целевого продукта 36.1 ± 0.7 мг/г. Нами было установлено, что экстрагенты с низким содержанием этилового спирта (10 – 30 %) также проявляют высокую эффективность экстракции мангиферина из фитомассы *H. alpinum* в условиях микроволновой активации процесса (см. таблица). В этих условиях при гидромодуле процесса, равном восьми, удается достичь практически исчерпывающего извлечения целевого вещества из растительной матрицы в раствор.

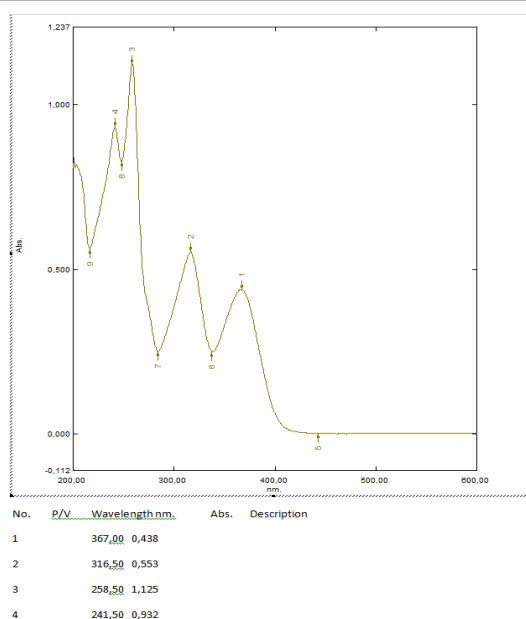


Рис. 3. Спектр поглощения раствора мангиферина (образец № 8) с концентрацией 10 мкг/мл в 60% этаноле в УФ- и видимой области спектра. Максимумы поглощения света: 1-367 нм, 2-316,5 нм, 3-258,5 нм, 4-241,5 нм. Спектрофотометр UV-Vis 1700 Shimadzu (Япония).

Таблица 1.

Влияние концентрации этанола на выход мангиферина в условиях микроволновой активации процесса экстракции (тройная повторность выполнения экспериментов по экстракции)

№	Этанол, % (v/v)	Выход, % масс.	Содержание, % масс.	СКО, % по содержанию	СКО, % по выходу	Степень набухания* сырья, %	СКО, % по степени набухания, %
1	0	1,24	84,4	0,08	0,1	169	13
2	10	2,00	92,6	0,06	0,08	110	11
3	20	1,99	97,8	0,02	0,1	140	12
4	30	1,86	97,2	0,02	0,13	155	13
5	40	1,73	95,4	0,04	0,15	139	12
6	50	0,95	95,2	0,03	0,14	133	11
7	60	0,94	95,1	0,06	0,08	132	12
8	70	1,70	96,4	0,05	0,12	131,6	12
9	80	1,87	97,9	0,4	0,1	131	12
10	90	1,15	94,3	0,2	0,2	83	9
11	95	1,22	90,6	0,8	0,16	81	9

*Степень набухания сырья рассчитывали по формуле :

$$\alpha = \frac{(m - m_0) \cdot 100\%}{m_0}$$

где m – масса набухшего сырья, г; m₀ – масса сухого сырья, г.

С целью достоверной идентификации структуры мангиферина образец вещества исследовали методами ¹H и ¹³C ЯМР анализа. Спектры ЯМР характеризуются следующими сигналами: ¹H-ЯМР (300 МГц, ДМСО): 6,38 (1H, с, Н-4),

6,85 (1Н, с, Н-5), 7,37 (1Н, с, Н-8), 4,06 (1Н, д, Н-10, J=60Гц); 13С-ЯМР (300 МГц, ДМСО): 162,2 (С-1), 108,3 (С-2), 164,15 (С-3), 93,7 (С-4), 102,9 (С-5), 154,9 (С-6), 144,2 (С-7), 108,3 (С-8), 179,5 (С-9), 156,7 (С-4а), 151,4 (С-4б), 111,9 (С-8а), 101,7 (С-8б); 2-Glc: 81,8 (С-1'), 73,5 (С-2'), 71,0(С-3'), 70,7 (С-4'), 79,3 (С-5'), 61,9 (С-6'). Что соответствует данным, приведенным в авторском свидетельстве № 050395 (СССР) «Способ получения мангиферина» [21].

Заключение

Многолетними интродукционными исследованиями установлена высокая перспективность выращивания *Hedysarum alpinum* в почвенно-климатических условиях подзоны средней тайги Республики

Коми с целью получения качественного лекарственного сырья с высоким содержанием мангиферина. Установлено, что мангиферин из сырьевой фитомассы интродуцируемых растений эффективно экстрагируется при микроволновой активации процесса за короткий период времени воздействия микроволнового излучения на суспензию сырья в водном растворе этилового спирта. Максимальный выход мангиферина достигается в условиях микроволновой активации экстракции этиловым спиртом с объемной долей спирта 10 – 30% и 80 %. Найдено, что условия МАЕ обеспечивают высокий выход целевого вещества (1,86 – 2,0 %) из растительной матрицы (при содержании в сырье 2.0±0.2 %) в раствор за суммарный период экстракции 9 мин.

Библиографический список

1. *Jatoi S.A, Kikuchi A, Gilani S.A, Watanabe K.N.* Phytochemical, pharmacological and ethnobotanical studies in mango ginger (*Curcuma amada* Roxb.; Zingiberaceae) // *Phytotherapy Research.*- 2007.- Vol. 21. - P. 507–516. <https://doi.org/10.1002/ptr.2137>.
2. *Yoshimia N., Matsunaga K., Katayama M., Yamada Y., Kuno T., Qiao Z., Hara A., Yamaharab J., Moria, H.* The inhibitory effects of mangiferin, a naturally occurring glucosylxanthone, in bowel carcinogenesis of male F344 rats // *Cancer Letters.*- 2001.- Vol. 163.- P. 163–170. [https://doi.org/10.1016/S0304-3835\(00\)00678-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3835(00)00678-9).
3. *Zou T.B., Wu H.F., Li H.W., Jia Q., Song G.* Comparison of microwave-assisted and conventional extraction of mangiferin from mango (*Mangifera indica* L.) leaves // *Separation Science.*- 2013.- Vol. 36.- P. 3457–3462. <https://doi.org/10.1002/jssc.201300518>.
4. *Kull, J., Dutta A., Constales D.* Experimental and modeling studies on microwave-assisted extraction of mangiferin from *Curcuma amada* // *3 Biotech.* - 2014.- Vol. 4.- P. 107–120. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0125-5>.
5. *Кукушкина Т.А., Зиннер Н.С., Высочина Г.И., Свиридова Т.П.* Содержание ксантонов в надземной части растений *Hedysarum theinum* Krasnov и *H. alpinum*. (Fabaceae) при выращивании в Сибирском ботаническом саду (Томск) // *Химия растительного сырья.*- 2011. - №3. - С. 113–116.
6. *Савченко О.М., Цыбулько Н.С., Ромашина С.И.* Сравнительная оценка морфотипов копеечника альпийского // *Вестник КрасГАУ.*- 2023.- №6.- С. 12–17. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-6-12-17>.
7. *Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М.* Почему растения лечат. М., 1989.- 255 с.
8. Авт. свид. № 596242 СССР, МПК А61 К 35/78. Способ получения мангиферина № 2317223/28-13: заяв. 23.01.1976. опул. 05.03.1978 / Русакова С.В., Глызин В.И., Кочерга С.И., Солдатова О.В., Мулевич В.М.: заявитель ВИЛАР, опубл. БИ № 9. - 2 с.
9. *Пунегов В.В., Фомина М.Г., Чуча К.К.* Содержание мангиферина в сырьевой фитомассе и органах растения *Hedysarum alpinum* L. в культуре в средней подзоне тайги Республики Коми // *Вестник Института Биологии Коми НЦ УрО РАН.* - 2015. - №6 (194). - С.13–16.
10. *Портнягина, Н.В., Фомина, М.Г., Пунегов, В.В., Зайнуллина, К.С., Эчишвили, Э.Э.* Итоги интродукции *Hedysarum alpinum* L. в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми // *Известия Самарского НЦ РАН.* - 2014.- Т.16. - №1(3). - С. 796–799.

11. Красная книга Республики Коми / под общ. ред. С.В. Дегтевой. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография».-2019. - 498 с.
12. Коцур Е.В., Куляк О.Ю., Радимич А.И., Ромашкина С.И., Сайбель О.Л. Подбор условий экстрагирования мангиферина из травы копеечника альпийского (*Hedysarum alpinum* L.) // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения: матер. XI Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых. М., 2023. - С. 248–252.
13. Имачуева Д.Р., Серебряная Ф.К., Зилфикаров И.Н. Количественное определение мангиферина в траве *Hedysarum saucasicum* M. Vieb. методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Фармация. - 2022.- Вып. 71 (2). - С. 27–32. <https://doi.org/10/29296/25419218-2022-02-05>.
14. App Li Y.-J., Bi K.-S. RP-HPLC Determination and Pharmacokinetic Study of Mangiferin in Rat Plasma After Taking Traditional Chinese Medicinal-Preparation: Zhimu Decoction // Chromatographia. - 2003.- Vol. 57 (11-12). - P.767–770. <https://doi.org/10.1007/BF02491763>.
15. Talamond P., Mondolot L., Gargadennec A., Kochiko A., Hamon S., Fruchier A., Campa C. US Patent No 2011/0046077 February 2011
16. Зиннер Н.С., Высочина Г.И., Кукушкина Т.А., Свиридова Т.П. Биологически активные вещества *Hedysarum alpinum* L. и *H. theinum* Krasnob. (Fabaceae), интродуцируемых в Томскую область // Вестник Томского государственного университета. Серия Биология. - 2010. - №4 (12). - С. 116–122.
17. Высочина Г.И., Кукушкина Т.А. Биологически активные вещества некоторых видов рода *Hedysarum* L. // Химия растительного сырья. - 2011. - №4. - С. 251–258.
18. Khan A.B., Bhuvaneshwari J., Arif M. Microwave Supported Extraction and Optimization of Flavonoid Mangiferin from *Mangifera indica* L. Stem Bark using Orthogonal Array Design // Research Journal of Pharmacy and Technology. - 2023.- Vol. 16(3). - P. 1113–1117. - <https://doi.org/10/52711/0974-360X.2023.00185>.
19. Padmapriya K., Dutta A., Chaudhuri S., Dutta D. Microwave assisted extraction of mangiferin from *Curcuma amada* // Biotech. - 2012. - Vol. 2.- P. 27–30. <https://doi.org/10/1007/s13205-011-0023>.
20. Salomon S., Sevilla I., Betancourt R., Romero A., Nuevas-Paz L., Acosta-Esquivarosa J. Extraction of mangiferin from *Mangifera indica* L. leaves using microwave assisted technique // Emirates Journal of Food and Agriculture. - 2014.- Vol. 26 (7). - P. 616–622. <https://doi.org/10/9755/ejfa.v26i7.18188>.
21. Силла А., Глызин В.И. Авт. свид. СССР № 050395 от 22.08.1980.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF EXHAUSTIVE EXTRACTION OF MANGIFERIN FROM THE ABOVE-GROUND PART OF THE INTRODUCENT PLANT *HEDYSARUM ALPINUM* L. UNDER CONDITIONS OF MICROWAVE ACTIVATION OF THE PROCESS

Punegov V.V.¹, Patov S.A.², Skrotskaya O.V.¹

¹*Institute of Biology, Komi Scientific Center, UB RAS*

²*Institute of Chemistry, Komi Scientific Center, UB RAS*

For citation:

Punegov V.V., Patov S.A., Skrotskaya O.V. Evaluation of the possibility of exhaustive extraction of mangiferin from the above-ground part of the introduced plant *Hedysarum alpinum* L. under conditions of microwave activation of the process // Perm Federal Research Center Journal. – 2025. – № 4. – P. 6–16. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2025.4.1>

The dependence of the yield and purity of mangiferin from the phytomass of the alpine sweetvetch *Hedysarum alpinum* L. (Fabaceae) introduced in the Botanical Garden of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center on the concentration of alcohol in the extractant under conditions of microwave activation of the extraction process has been studied. It has been established

that the maximum yield of mangiferin – 1.87-2.0%, is achieved at an alcohol concentration in the extractant of 10-30% or 80%, a radiation power of 800 W in the microwave chamber volume, a total duration of the extraction stages of 9 minutes and a process hydromodule equal to eight.

Keywords: extraction, microwave radiation, mangiferin, HPLC-MS and UV, NMR spectrometry, product yield, Hedysarum alpinum, medicinal plant, introduction.

Сведения об авторах

Пунегов Василий Витальевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела Ботанический сад, Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: punegov@ib.komisc.ru

Патов Сергей Александрович, кандидат химических наук, научный сотрудник Лаборатории физико-химических методов исследования, Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167000, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 28; e-mail: ser-patov@yandex.ru

Скромцкая Ольга Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, зав. отделом Ботанический сад, Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; e-mail: skrockaja@ib.komisc.ru

Материал поступил в редакцию 02.10.2025