

УДК 577.1. 577.352.34

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ КЛЕНА СЕМЕНОВА *ACER SEMENOVII*

© **К.В. Раимова¹*, Х.К. Алимов², Н.Г. Абдулладжанова¹**

¹ Институт биоорганической химии им. акад. А.С. Садыкова АН РУз,
ул. Мирзо Улугбека, 83, Ташкент, 100125, Республика Узбекистан,
k.raimova_81@mail.ru

² Ташкентский фармацевтический институт, ул. Айбека, 45, Ташкент,
100015, Республика Узбекистан

Впервые изучен химический состав (полифенолы) листьев растения клена Семенова – *Acer semenovii* – семейства *Aceraceae* Juss., произрастающего в горных районах Ташкентской области Республики Узбекистан. Проведено изучение выхода суммы полифенолов оптимизированным методом экстракции из растительного сырья в зависимости от состава экстрагента, модуля экстракции, кратности экстракции, соотношения сырья: экстрагента, температуры, условий сгущения, обработки водного остатка органическими растворителями, условия осаждения суммы полифенолов и их высушивания. В результате подобраны оптимальные условия выделения полифенолов из растительного сырья и при подобранных условиях получена сумма полифенолов из листьев клена Семенова с выходом 8.9%. При хроматографическом изучении выделенных фракций было установлено, что полифенолы этилацетатной фракции представлены в основном мономерными катехинами, флавонолами и танинами. С помощью физико-химических методов – бумажной хроматографии, тонкослойной хроматографии, ультрафиолетовой спектроскопии, инфракрасной спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии установлены структуры выделенных соединений. В результате из листьев клена Семенова выделено более 14 полифенолов, таких как кверцетин-3-О-β-D-глюкопиранозид, рутин, кемпферол, кверцетин, (+)-катехин, (-)-эпикатехин, галловая кислота, (-)-эпигаллокатехингаллат, 1-О-галлоил-β-D-глюкоза, процианидин, эллаговая кислота, апигенин-6-С-глюкозид, 1,6-бис-О-галлоил-β-D-глюкоза, изокверцетин.

Ключевые слова: полифенолы, экстракция, клен Семенова, хроматограмма, катехин, флавонолы, танины.

Для цитирования: Раимова К.В., Алимов Х.К., Абдулладжанова Н.Г. Изучение полифенольного состава листьев клёна Семенова *Acer semenovii* // Химия растительного сырья. 2025. №1. С. 118–126. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115047>.

Введение

Клен Семенова (латинское название *Acer semenovii*) – вид клена, широко распространенный в Средней Азии, а именно в горах Тянь-Шаня, Восточного Памиро-Алая, в Узбекистане, Казахстане, Афганистане и Иране. Растение было названо в честь русского путешественника Семенова-Тян-Шанского, который впервые нашел данное растение в горах Средней Азии [1]. Изучая результаты исследования и пути применения данного растительного сырья, мы можем заметить огромный разброс в применении этого лекарственного растения. Клен очень эффективен от ушибов, при нарушении метаболизма печени, также при лечении различных глазных заболеваний и ревматизма [2, 3]. Растение проявляет выраженное противовирусное, тонизирующее, а также антибактериальное действие в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий и вирусов. Кроме того, листья обладают мочегонным, жаропонижающим, общеукрепляющим действием. Наряду с этими полезными свойствами клен улучшает пищеварительный процесс, нормализует работу желудочно-кишечного тракта, снимает воспаление бактериальной этиологии, благотворно воздействует на центральную нервную систему, улучшает работу мышц, нормализует кровообращение, останавливает кровотечение, снижает артериальное давление, снимает боль в суставах [4].

* Автор, с которым следует вести переписку.

В соке содержатся органические кислоты. В плодах, коре, ветвях, листьях обнаружены сапонины, следы алкалоидов, дубильные вещества. В листьях найдены углеводы, алкалоиды, альдегиды (альфа-гексеновый, бета-гексеновый), органические кислоты (уксусная, янтарная, фталевая), каучук, каротиноиды (альфа-, бета-каротин, ксантофилл и др.), азотсодержащие соединения (метиламин и др.), витамины С, Е, фенолкарбоновые кислоты (салициловая, галловая), флавоноиды, антоцианы, высшие жирные кислоты, липиды (фитиниллиноленат). В семенах выявлены циклотолы, каучук и жирные масла (олеиновая кислота, линолевая кислота) [5]. Согласно литературным данным, липофильные и хлорофильные вещества в листьях растения *Acer tataricum* экстрагированы хлороформом, этилацетатом и *n*-бутанолом для дальнейшего фракционирования. Поскольку экстракт хлороформа дал небольшой результат, этилацетат и *n*-бутанол были отобраны для хроматографического выделения [6]. Всего было выделено и изучено четырнадцать фенольных соединений и из экстрактов были идентифицированы: кемпферол, кверцетин, кемпферол-3-О-(2"-галлоил)-β-D-галактозид, кверцетин-3-О-(2",6"-дигаллоил)-β-галактопиранозид, кверцетин-3-О-(2"-галлоил)-β-арабинозид, кверцетин-3-О-(2"-галлоил)-β-D-галактопиранозид, кверцетин-3-О-β-ликсозид, кверцетин-3-О-β-галактопиранозид, кверцетин-3-О-(2"-галлоил)-β-рамнозид, гинналин А, гинналин В, гинналин С, 3,6-ди-О-галлоил-1,5-ангидро-D-глюцит и галловая кислота. Все это относится к флавоноидам или галлотаннинам. Среди этих соединений кверцетин-3-О-(2",6"-дигаллоил)-β-галактопиранозид, кемпферол-3-О-(2"-галлоил)-β-D-галактозид, кверцетин-3-О-(2"-галлоил)-β-галактопиранозид были идентифицированы впервые в растении *Acer tataricum* [7–9].

Тринадцать производных галловой кислоты, включая пять новых галлотаннинов, названных маплексинами А–Е, были выделены из стеблей красного клена (*Acer Rubrum*). Соединения идентифицировали с помощью спектрального анализа. Маплексины различаются по количеству и расположению галлоильных групп, присоединенных к 1,5-ангидро-d-глюкиту. Изоляты оценивали на ингибирующую и антиоксидантную активность альфа-глюкозидазы [10].

В связи с этим целью нашей работы является изучение полифенольного состава листьев растения *Acer semenovii* физико-химическими методами исследования.

Экспериментальная часть

Объект исследования. Объектом исследования служили листья клена Семенова (*Acer semenovii*), сырье собрано весной в конце апреля – начале мая 2022 года. Место отбора и проб – Ташкентская область, Республика Узбекистан.

Выделение полифенолов. С целью выделения суммы полифенолов была использована экстракция сырья с органическими растворителями. Для этого проведено изучение некоторых факторов, влияющих на выход суммы полифенолов: степень измельчения сырья, состава экстрагента, модуль экстракции, кратность экстракции, соотношения сырья-экстрагента, температуры экстракции, условий сгущения, обработки водного остатка органическими растворителями, условия осаждения суммы полифенолов и их высушивания. На основании полученных результатов разработана оптимальная методика выделения суммы полифенолов. Она заключается в следующем: воздушно-сухие измельченные (до размера 2–4 мм) листья *Acer semenovii* (100 г) предварительно экстрагируют хлороформом для удаления липофильных веществ. Для этого сырье поместили в колбу емкостью 3 л, снабженную обратным холодильником, и экстрагировали хлороформом на водяной бане в соотношениях от 1 : 2 до 1 : 10 (сырье : хлороформ), при температуре от 20 до 60 °С в течение 2 ч, от однократной до пятикратной экстракции сырья. После обработки сырья хлороформом экстракцию продолжили в водном этиловом спирте при концентрациях от 25 до 70%. Экстракцию повторяли от одного до трех раз. Далее полученные водно-этиловые экстракты упаривали под вакуумом на ротационном испарителе до остатка водной части. Очищенный водный экстракт обрабатывали этилацетатом на делительной воронке, в соотношениях от 1 : 1 до 1 : 6 (водный остаток : этилацетат). Этилацетатные фракции сгущали и осаждали хлороформом в соотношениях от 1 : 1 до 1 : 5 (концентрат : осадитель), образовался хлопьевидный осадок.

Для экстракции растительного сырья использовали растворители ЗАО «Himreaktivkomplekt» (Узбекистан), все остальные реактивы – производства Реахим (Россия). УФ-спектры полифенолов сняли в спиртовом растворе на приборе EPS-3Т фирмы «Hitachi» (Япония), ИК-спектры сняли на приборе «IRTracer-100» (Shimadzu, Япония) в области 400–3800 см⁻¹.

Разделение полифенолов проводили методом колоночной хроматографии на полиамиде и силикагеле марки LS 100/40 (Чехословакия). Для идентификации и определения однородности веществ применяли методы бумажной хроматографии (бумагу для хроматографии марки «Filtrak») и тонкослойной хроматографии (на пластинках Silufol UV-254 (элюент – бензол : ацетон 9 : 4)).

Для разделения и изучения состава полифенолов использовали следующие системы растворителей:

- 1) *n*-бутанол – уксусная кислота – вода (40 : 12 : 28);
- 2) 2% уксусная кислота;
- 3) *n*-бутанол – уксусная кислота – вода (4 : 1 : 5);
- 4) диэтиловый эфир – этилацетат (7 : 3);
- 5) диэтиловый эфир – этилацетат (4 : 6).

В качестве проявителей для опрыскивания хроматограмм использовали следующие реактивы:

- 1) 1% раствор ванилина в концентрированной соляной кислоте;
- 2) 1% водный и спиртовый растворы FeCl_3 ;
- 3) смесь 1% водных растворов FeCl_3 и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- 4) катехиновый реактив (1% раствор пикриновой кислоты в 95% этаноле и 5% раствор КОН в 80% этаноле).

Обсуждение результатов

Процесс выделения полифенолов из растительного сырья включает в себя ряд стадий: экстракцию сырья, обработку экстракции органическими растворителями, выпарку, осаждение суммы полифенолов, очистку и т.д. Повышение эффективности использования сырья достигается в основном на первой стадии – экстракции.

Проведено изучение выхода суммы полифенолов в зависимости от: состава экстрагента, модуля экстракции, кратности экстракции, соотношения сырья-экстрагента, температуры экстракции, условий сгущения, обработки водного остатка органическими растворителями, условия осаждения суммы полифенолов и их высушивания [11, 12]. Для определения оптимального модуля экстракции сырья-экстрагента были взяты в соотношениях 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6, 1 : 8, 1 : 10. По выходу экстрактивных веществ, вычисленных в процентах, судили об эффективности экстракции. Полученные результаты приведены на рисунке 1.

Из приведенных данных видно, что оптимальным соотношением сырье : экстрагент является 1 : 8.

Среднее значение выхода экстрактивных веществ составило 41.1%. При более низком модуле экстракции (1 : 2; 1 : 4; 1 : 6) выход экстрактивных веществ неполный, а использование соотношения 1 : 10 приводит к увеличению объема экстракции, что в свою очередь приводит к перерасходу органических растворителей.

Подобным же образом нами проведено исследование оптимальной кратности экстракции. При этом применялись 1-, 2-, 3-, 4-, 5-кратные методы экстракции. Полученные результаты приведены на рисунке 2.

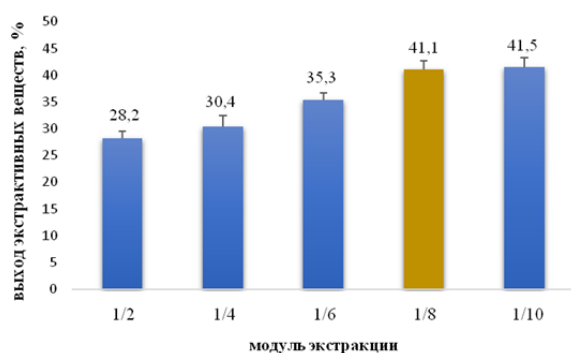


Рис. 1. Зависимость выхода экстрактивных веществ от модуля экстракции

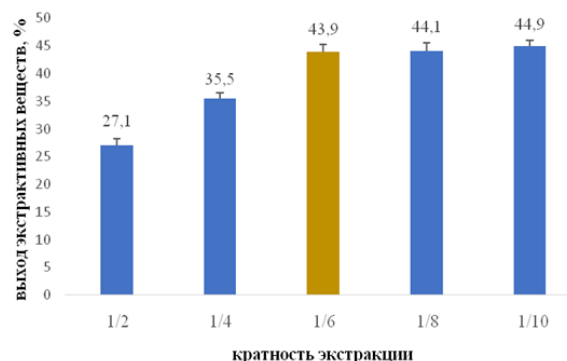


Рис. 2. Зависимость выхода экстрактивных веществ от кратности экстракции

Об эффективности экстракции судили по выходу экстрактивных веществ. Как видно из приведенных данных, наиболее оптимальной является 3-кратная экстракция. Среднее значение выхода экстрактивных веществ составило 44.0%. При малой кратности экстракции (1-, 2-кратная) выход экстрактивных веществ неполный, а при увеличении кратности (4-, 5-кратная) экстракции выход экстрактивных веществ изменяется незначительно. При этом процесс экстракции занимает много времени и увеличивается объем экстракта, что также приводит в дальнейшем к увеличению расхода органических растворителей.

Для определения оптимального состава экстрагента нами использовался водный раствор этанола разной концентрации. В качестве экстрагента применяли 30, 40, 50, 60, 70% водные растворы этанола. Полученные результаты приведены на рисунке 3.

Как видно из приведенных данных, наиболее оптимальным в качестве экстрагента является 40% водный этанол. При этом среднее значение выхода экстрактивных веществ составило 46.0%. Использование же водного этанола с низкой концентрацией приводит к неполному извлечению экстрактивных веществ из сырья, а применение высокой концентрации этанола также не приводит к увеличению выхода экстрактивных веществ.

Подобным же образом нами проведен поиск оптимальной температуры экстракции. При этом экстракцию вели в следующих температурных режимах: 20, 30, 40, 50, 60 °С. Полученные данные приведены на рисунке 4.

Из приведенных данных видно, что наиболее оптимальной температурой экстракции является 40 °С и при таком режиме среднее значение экстрактивных веществ составило 39.1%. При более низких температурах выход экстрактивных веществ неполный, а при увеличении температуры экстракции до 50 и 60 °С полифенольные вещества гидролизуются, что подтверждается данными бумажной хроматографии.

Подобным же образом исследована зависимость выхода экстрактивных веществ от времени экстракции, которую варьировали от 1 до 3 ч. Выявлено, что наиболее оптимальной является 2-часовая экстракция.

Полученные экстракты концентрировали под вакуумом до водного остатка. Извлечение полифенолов из водного остатка проводили этилацетатом в соотношениях 1 : 1; 1 : 2; 1 : 3; 1 : 4; 1 : 5; 1 : 6. Этилацетатные вытяжки объединяли, высушивали над безводным Na_2SO_4 и концентрировали. Полученные результаты приведены на рисунке 5.

Из приведенных данных видно, что оптимальное соотношение водного остатка с этилацетатом равно 1 : 5. При низких соотношениях водного остатка и растворителя происходит неполное извлечение полифенолов из водного остатка. Выход полифенолов незначительно увеличивается при соотношении 1 : 6, но при этом увеличивается расход растворителя.

Для осаждения полифенолов из этилацетатного концентрата использовали хлороформ. Соотношение концентрата с осадителем было 1 : 1; 1 : 2; 1 : 3; 1 : 4; 1 : 5. Полученные данные приведены на рисунке 6.

Из приведенных данных следует, что оптимальным соотношением концентрата и осадителя является 1 : 4. Средний выход суммы полифенолов при этом составил 4.28%. При соотношении 1 : 5 выход полифенолов увеличивается незначительно, но существенно увеличивается расход осадителя. При низком соотношении этилацетатного концентрата с осадителем происходит неполное осаждение полифенолов. Полнота осаждения полифенолов определяется появлением мути или осадка при дополнительном добавлении хлороформа к маточнику.

На основании полученных результатов разработана оптимальная методика выделения суммы полифенолов. Измельченное до 2–4 мм сырье высушивали под навесом. Высушенное сырье обрабатывали хлороформом для удаления смолистых веществ, пигментов и других сопутствующих примесей. Обработанный таким образом материал высушивали под воздушной тягой для удаления остатков растворителя и высушенный материал трехкратно экстрагировали 40% этиловым спирте в соотношении 1 : 10. Полученные экстракты объединяли, концентрировали под вакуумом до небольшого объема и оставшийся водный остаток дополнительно обрабатывали хлороформом, затем многократно – этилацетатом (водный остаток : этилацетат 1 : 5).

Объединенные этилацетатные вытяжки высушили над свежeproкаленным безводным сернокислым натрием и концентрировали под вакуумом в токе азота при 40 °С [13, 14]. Из концентрированного этилацетатного экстракта (1.5 л) полифенолы осаждали прибавлением четырехкратного количества хлороформа. Выпавший хлопьевидный осадок фильтровали на стеклянном фильтре, перерастворили в абсолютном этиловом спирте, концентрировали и переосадили. Осадок отфильтровали через воронку Шотта, высушили в вакуумно-сушильном шкафу, выход суммы полифенолов составил 8.9% от 100 г массы сухих листьев растения.

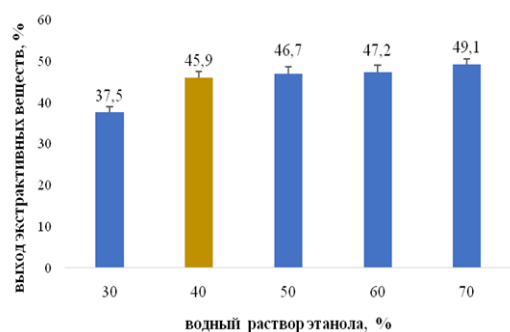


Рис. 3. Зависимость выхода экстрактивных веществ от состава экстрагента

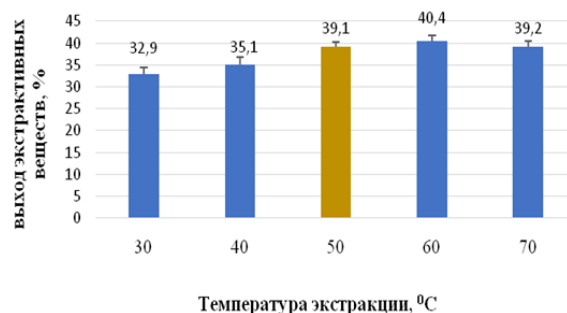


Рис. 4. Зависимость выхода экстрактивных веществ от температуры экстракции

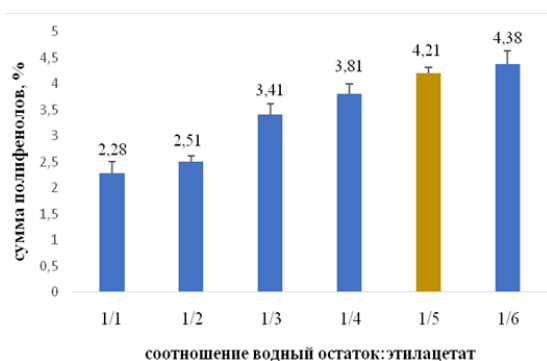


Рис. 5. Подбор оптимального соотношения водного остатка с этилацетатом

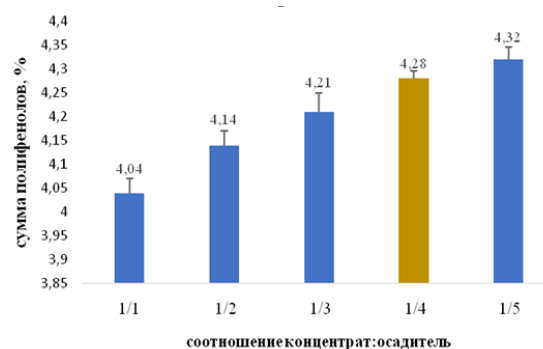


Рис. 6. Зависимость полноты осаждения полифенолов от соотношения концентрата с осадителем

Полученная таким образом сумма полифенолов из этилацетатной фракции листьев клена Семенова представляет собой аморфный порошок светло-коричневого цвета, вязущего вкуса. С хлорным железом сумма дает синюю окраску (проявители 2 и 3), с 1% раствором ванилина в концентрированной соляной кислоте – ярко-красную (проявитель 1).

При хроматографическом изучении выделенных фракций было установлено, что полифенолы этилацетатной фракции представлены в основном мономерными флавонолами, такими как эпикатехин, кверцетин.

Двумерная хроматография на бумаге в системах растворителей 1 и 2 показала, что в составе суммы полифенолов этилацетатной фракции содержатся катехины, а именно (+)-катехин, (-)-эпикатехин.

5 г препарата суммы полифенолов из этилацетатной фракции многократно растирали в ступке с влажным диэтиловым эфиром (общий объем 1000 мл). При этом в эфир переходят только мономерные катехины, полностью освобожденные от продуктов конденсации, проверенные бумажной хроматографией. Эфирный раствор хроматографировали на колонке (4.5×70 см) с силикагелем (100 г), используя в качестве элюента свободный от перекисей водонасыщенный диэтиловый эфир (система 4, 5). Контроль за разделением проводили с помощью бумажной хроматографии в системе 1. В результате в индивидуальном состоянии выделены флаван-3-олы. Выделенные флаван-3-олы идентифицированы как: (+)-катехин, (-)-эпикатехин и (-)-эпигаллокатехингаллат. Фенольные соединения, не переходящие на диэтиловую эфир, идентифицировали методом ВЭЖХ с использованием стандартных образцов флавоноидов.

(+)-Катехин – (5,7,3',4'-тетрагидроксифлаван-3-ол). Молекулярная масса 290, т. пл. 172–173 °C, R_f 0.64 (система 1), УФ-спектр (EtOH, λ_{max} , нм): 280, $[\alpha]_D$ -16.9° (этанол с 1.05).

(-)-Эпикатехин – (5,7,3',4'-тетрагидроксифлаван-3-ол). Молекулярная масса 290, т. пл. 235 °C, R_f 0.56 и 0.30 (системы 1 и 2), УФ-спектр (EtOH, λ_{max} , нм): 276, $[\alpha]_D$ -60° (ацетон – вода 1 : 1, с 1.22).

(-)-Эпигаллокатехингаллат – (2R,3R)-3',4',5,5',7-пентагидроксифлаван-3-ол галлат). $C_{22}H_{18}O_{11}$ Молекулярная масса 458.37, т.пл. 257–258 °C, R_f 0.62 (система 1), УФ-спектр (EtOH, λ_{max} , нм): 270, $[\alpha]_D$ -14.6° (этанол, с 1.05).

Кверцетин-3-О-β-D-глюкопиранозид – желтое кристаллическое вещество состава $C_{21}H_{20}O_{12}$, т. пл. 236–238 °С, (системы 1 и 2), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 264, 362, характерен для 3-О-замещенных флавонолов. Данные УФ- спектров, снятых с добавлением диагностических реагентов: $+CH_3COONa$: 271, 371 нм; $+AlCl_3$: 273, 408 нм; $+NaOH$: исчезновение полосы II, общее понижение интенсивности поглощения. ИК-спектр (cm^{-1}): 3350–3256 (ОН-группы), 1645 (C=O γ-пирона), 1115–1061 (C-О связи гликозида). В масс-спектре пик иона с m/z 302 соответствует молекулярному иону агликаона кверцетина.

Рутин (кверцетин-3-рутинозид) – (элюировано 30% этанолом): $C_{21}H_{30}O_{16}$, т. пл. 190–192 °С (из CH_3OH), R_f 0.45 в системе 3. УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 256, 264, 355. При жестком кислотном гидролизе 10% H_2SO_4 образуются кверцетин и рутиноза (т. пл. 187–188 °С). При кислотном гидролизе 1% H_2SO_4 (ступенчатый гидролиз) образуются кверцетин (т. пл. 312–313 °С), D-глюкоза, L-рамноза, что было подтверждено тонкослойной хроматографией с достоверными образцами свидетелей.

Кемпферол – (3,5,7,4'-тетрагидроксофлавоон) – светло-желтое кристаллическое вещество состава $C_{15}H_{10}O_6$, т. пл. 268–270 °С, масс-спектр (m/z) M^+ 286. (системы 3– верхняя фаза) , УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 266, 369, что характерно для флавоноидов; $+NaOH$: 281, 415 нм; $+CH_3COOH$ 274, 387 нм. В ИК-спектре вещества присутствуют полосы поглощения гидроксильных групп (3323–3277 cm^{-1}), карбонила γ- пирон (1662 cm^{-1}), ароматических C=C-связей (1591 cm^{-1}).

Кверцетин – 3,5,7,3',4'-пентагидроксифлавоон – кристаллический порошок желтого с зеленоватым оттенком цвета $C_{15}H_{10}O_7$, т. пл. 310–312 °С (из CH_3OH), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм) 372, 264, 256. R_f 0.64 (система 2). ИК-спектр (KBr, ν , cm^{-1}) 3380, 3300 (ОН), 1665 (>C=O), 1615, 1565, 1515 (Ar), 815, 840 (*n*-замещение в кольце «В»). При щелочном плавлении образуются флороглюцин, протокатеховая кислота.

Галловая кислота (3,4,5-триоксibenзойная кислота) – белые кристаллы из воды, $C_7H_6O_5$, Мм 170, т. пл. 221–223 °С, R_f 0.51 в системе 3 – верхняя фаза), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 220, 271. ИК-спектр (KBr, ν , cm^{-1}): 3491, 3377, 1703, 1617, 1539, 1453, 1254.

1-О-галлоил-β-D-глюкоза – темно-коричневый аморфный порошок, $C_{13}H_{16}O_{10}$, Мм 332, R_f 0.25, 0.38 (системы 1 и 2), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 217, 276. ИК-спектр (KBr, ν , cm^{-1}): 3300–3400 (ОН), 1620–1610, 1450 (ароматическое кольцо), 1320 (C-ОН), 1250, 1045 (C-О-С), 1080–1070 (C-О), 1040, 1010 (часть сахара). В результате кислотного гидролиза образовались галловая кислота и глюкоза в соотношении 1 : 1 [15].

Изокверцетин (кверцетин-3-О-глюкоза) – желтое кристаллическое вещество состава $C_{21}H_{20}O_{12}$, т. пл. 236–238 °С, R_f 0.62 (система 1). УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 264, 362, характерен для 3-О-замещенных флавонолов. ИК-спектр (cm^{-1}): 3350–3256 (ОН-группы), 1645 (C=O γ-пирона), 1115–1061 (C-О связи гликозида).

Процианидин – представляет собой аморфный порошок светло-коричневого, $C_{30}H_{26}O_{12}$, Мм 578; т. пл. 290–300 °С (с разл.); $[\alpha]_D^{20} +33$ (с 0.26; ацетон – вода 1 : 1); УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 210, 277. ИК спектр (ν_{\max} , KBr, cm^{-1}): 3574–3543 (ОН), 1696 (C=O), 1606, 1506 (ароматическое кольцо), 1306 (=C-ОН), 1033 (=C-О-С).

Эллаговая кислота – белые кристаллы, $C_{14}H_6O_8$, Мм 302, т. пл. 221–223 °С, R_f 0.51 система 1, (верхняя фаза). УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 248 и 360. ИК спектр (ν_{\max} , KBr, cm^{-1}): 3400 (ОН), 2927, 2848 (C-H), 1705 (C=O), 1613, 1509 (ароматическое кольцо), 1190, 1052 (C-О).

Кверцетин – $C_{15}H_{10}O_7$, Мм 302, т. пл. 310–312 °С (из CH_3OH), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 372, 264, 256. R_f 0,64 (система 3– верхняя фаза). ИК-спектр (KBr, ν , cm^{-1}) 3380, 3300 (ОН), 1665 (>C=O), 1615, 1565, 1515 (Ar), 815, 840 (*n*-замещение в кольце «В»). При щелочном гидролизе образуются флороглюцин, протокатеховая кислота.

Кемпферол – $C_{15}H_{10}O_6$, т. пл. 276–278 °С, Мм 286; R_f 0.58, УФ-спектр (λ_{\max} 264, 362 нм) характерен для 3-О-замещенных флавонолов. (1, 2 системы), УФ-спектр (EtOH, λ_{\max} , нм): 264, 352; $+CH_3COONa$: 271, 371 нм; $+AlCl_3$: 273, 408 нм. ИК-спектр (cm^{-1}) 3350–3255 (ОН группа), 1645 (C=O γ-пирона), 1618, 1521 (ароматические C=O связи) [16].

Апигенин-6-С-глюкозид – желтый порошок, Мм 432, $C_{21}H_{20}O_{11}$. ТСХ R_f 0.54 (система 1). Т. пл. 173–175 °С. УФ-спектр (λ_{\max} , EtOH, нм): 256, 267. ИК-спектр (ν_{\max} , KBr, cm^{-1}): 3271 (ОН), 2964 (CH_2), 1717 (–COO–), 1715 (C=O), 872–567 (ароматическое кольцо) [17–20].

Выводы

Химический состав полифенолов в листьях клена Семенова изучали с помощью физико-химических методов. Для идентификации и выделения полифенольных соединений использовались следующие методы: бумажная хроматография, тонкослойная хроматография, ультрафиолетовая спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, высокоэффективная жидкостная хроматография. Полифенолы экстрагировали из листьев с помощью метода последовательной экстракции хлороформом и водно-этанольными растворителями. Оптимальные условия экстракции были следующими:

растворитель – 40% водный этанол, температура экстракции – 40 °С, время экстракции – 2 ч, соотношение твердое тело : жидкость 1 : 10.

Экстрагированные полифенолы фракционировали этилацетатом и концентрировали в вакууме. Затем полифенольную фракцию осаждали хлороформом и высушивали. Было обнаружено, что полифенольная фракция содержит: (+)-катехин, (-)-эпикатехин, (-)-эпигаллокатехингаллат, кверцетин-3-О-β-D-глюкозид, рутин, кемпферол, кверцетин, изорамнетин, галловая кислота, 1-О-галлоил-β-D-глюкоза, процианидин, эллаговая кислота.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова Академии наук Республики Узбекистан и Ташкентского фармацевтического института. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Murray A.E. *Acer semenovii* Regel & Herder is a synonym of *Acer tataricum* subsp. *semenovii* (Regel & Herder) // The Plant List. 2013. Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/>. Royal Botanic Gardens, Kew and Missouri Botanical Garden.
2. Гринкевич Н.И., Баландина И.А., Ермакова В.А. Лекарственные растения: справочное пособие. М., 1991. 398 с.
3. Махлаюк В.П. Лекарственные растения в народной медицине. М., 1992. 478 с.
4. Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения (Растения-целители): справочное пособие. 4-е изд. М., 1990. 544 с.
5. Liu C., Xu Y., Kirk R.D., Lia H., Lia D., DaSilva N.A., Bertin M.J., Seeram N.P., Maa H. Inhibitory effects of skin permeable glucitol-core containing gallotannins from red maple leaves on elastase and their protective effects on human keratinocytes // Journal of Functional Foods. 2020. Vol.75. Article 104208. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104208>.
6. Li R., Zhang J., Chen X., Jia J., Zhang H., Sun J. Studies on chemical constituents from ethyl acetate extracts of *Acer ginnala* Maxim. Leaves // Journal of Jilin Agricultural University. 2013. Vol. 35(6). Pp. 684–707.
7. Liu W., Ouyang Y., Wan C.-P. Flavonoids of the Genus *Acer* // Asian Journal of Chemistry. 2013. Vol. 25, no. 13. Pp. 7075–7078. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14643>.
8. Ogawa A., Miyamae Y., Honma A., Koyama T., Yazawa K., Pycnalin H.S. New α-Glucosidase Inhibitor from *Acer pycnanthum* // Chem. Pharm. 2011. Vol. 59, no. 5. Pp. 672–675. <https://doi.org/10.1248/cpb.59.672>.
9. Bi W., Shen J., Gao Y., He C., Peng Y., Xiao P. Ku-jin tea *Acer tataricum* subsp. *ginnala* or *A. tataricum* subsp. *theiferum*, an underestimated functional beverage rich in antioxidant phenolics // Journal of Functional Foods. 2016. Vol. 24. Pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.002>.
10. Wan C., Yuan T., Li L., Kandhi V., Cech N.B., Xie M., Seeram N.P. Maplexins, new α-glucosidase inhibitors from red maple (*Acer rubrum*) stems // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. 2012. Vol. 22, no. 1. Pp. 597–600. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2011.10.073>.
11. Абдулладжанова Н.Г., Пирниязов А.Ж., Мавлянов С.М., Далимов Д.Н. Оптимизация выделения полифенолов из растительного сырья // Конференция молодых ученых, посвященная памяти акад. С.Ю. Юнусова. Ташкент, 2003. С. 49.
12. Mavlyanov S.M., Islambekov S.Y., Ismailov A.I., Dalimov D.N., Abdulladzhanova N.G. Vegetable tanning agents // Chem. Nat. Comp. 2001. Vol. 37 (1). Pp. 1–24. <https://doi.org/10.1023/A:1017605223089>.

13. Потапович А.И., Костюк В.А. Сравнительное исследование антиоксидантных свойств и цитопротекторной активности флавоноидов // Биохимия. 2003. Т. 68, №5. С. 632–638.
14. Уткина Е.А. Зависимость антиоксидантной активности флавоноидов от физико-химических характеристик в различных системах: автореф. дис.... канд. мед. наук. М., 2005. 25 с.
15. Раимова К.В., Собирова Ф.А., Эсанов Р.С., Абдулладжанова Н.Г., Матчанов А.Д., Гафуров М.Б. Качественное исследование фенольных соединений и флавоноидов надземной части растения *Urtica Dioica* L. // Universum. 2019. №5. С. 50–60.
16. Боначева В.М., Ботиров Э.Х. Гликозиды флавоноидов *Equisetum silvaticum* L. Ханты-мансийского автономного округа // Химия растительного сырья. 2013. №1. С. 171–174.
17. Элькаиб Х.М., Феськова Е.В., Леонтьев В.Н., Игнатовец О.С. Идентификация флавоноидов в экстрактах лекарственных растений методом ВЭЖХ-МС // Молекулярно-генетические и биотехнологические основы получения и применения синтетических и природных биологически активных веществ: Нарочанские чтения - 11: материалы Международной научно-практической конференции. Минск, 2017. С. 156–160.
18. Raimova K.V., Abdulladjanova N.G., Kurbanova M.A., Makhmanov D.M., Kadirova Sh.O., Tashpulatov F.N., Juraev Sh.Sh., Matchanov A.D., Rakhimov R.N. Comprehensive Study of the Chemical Composition *Urtica Dioica* L. // Journal of Critical Reviews. 2020. Pp. 750–755.
19. Рахимов Р.Н., Абдулладжанова Н.Г., Мавлянов С.М. Новый танин // Узбекский химический журнал. 2011. №2. С. 40–44.
20. Раимова К.В., Абдулладжанова Н.Г., Матчанов А.Д., Тошпулатов Ф.Н., Эрагшев Н.А. Изучение флавоноидного состава и биологической активности листьев Боярышника понтийского *Crataegus pontica* // Химия растительного сырья. 2021. №3. С. 202–209. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021038023>.

Поступила в редакцию 14 апреля 2024 г.

После переработки 27 мая 2024 г.

Принята к публикации 25 июня 2024 г.

Raimova K.V.^{1}, Alimov Kh.K.², Abdulladzhanova N.G.¹ STUDY OF THE POLYPHENOLIC COMPOSITION OF LEAVES OF THE SEMENOV MAPLE *ACER SEMENOVII**

¹ Institute of Bioorganic Chemistry named after. acad. A.S. Sadykova Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Mirzo Ulugbeka st., 83, Tashkent, 100125, Republic of Uzbekistan, k.raimova_81@mail.ru

² Tashkent Pharmaceutical Institute, Aibeka st., 45, Tashkent, 100015, Republic of Uzbekistan

For the first time, the chemical composition (polyphenols) of the leaves of the Semenov Maple plant - *Acer semenovii* - family Aceraceae Juss., growing in the mountainous regions of the Tashkent region of the Republic of Uzbekistan, has been studied. A study was carried out to study the yield of the amount of polyphenols using an optimized method of extraction from plant raw materials, depending on the composition of the extractant, the extraction module, the multiplicity of extraction, the ratio of raw materials: extractant, temperature, thickening conditions, treatment of the aqueous residue with organic solvents, the conditions for the precipitation of the amount of polyphenols and their drying. As a result, optimal conditions for the isolation of polyphenols from plant materials were selected and, under the selected conditions, the amount of polyphenols from the leaves of Maple Semenov was obtained with a yield of 8.9%. During a chromatographic study of the isolated fractions, it was found that the polyphenols of the ethyl acetate fraction are represented mainly by monomeric catechins, flavonols and tannins. Using physicochemical methods: paper chromatography, thin layer chromatography, ultraviolet spectroscopy, infrared spectroscopy and high-performance liquid chromatography, the structures of the isolated compounds were established. As a result, more than 14 polyphenols were isolated from the leaves of Maple Semenov, such as quercetin-3-O- β -D-glucopyranoside, rutin, kaempferol, quercetin, (+)-catechin, (-)-epicatechin, gallic acid, (-)-epigallocatechin gallate, 1-O-galloyl- β -D-glucose, procyanidin, ellagic acid, apigenin-6-C-glucoside, 1,6-bis-O-galloyl- β -D-glucose, isoquercetin.

Keywords: polyphenols, extraction, *Acer Semenova*, chromatogram, catechin, flavonols, tannins.

For citing: Raimova K.V., Alimov Kh.K., Abdulladzhanova N.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 1, pp. 118–126. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115047>.

* Corresponding author.

References

1. Murray A.E. *The Plant List*, 2013. Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/>. Royal Botanic Gardens, Kew and Missouri Botanical Garden.
2. Grinkevich N.I., Balandina I.A., Yermakova V.A. *Lekarstvennyye rasteniya: spravochnoye posobiye*. [Medicinal plants: a reference manual]. Moscow, 1991, 398 p. (in Russ.).
3. Makhlayuk V.P. *Lekarstvennyye rasteniya v narodnoy meditsine*. [Medicinal plants in folk medicine]. Moscow, 1992, 478 p. (in Russ.).
4. Gammerman A.F., Kadayev G.N., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Lekarstvennyye rasteniya (Rasteniya-tseliteli): spravochnoye posobiye. 4-ye izd.* [Medicinal plants (Plants-healers): reference manual. 4th ed.]. Moscow, 1990, 544 p. (in Russ.).
5. Liu C., Xu Y., Kirk R.D., Lia H., Lia D., DaSilva N.A., Bertin M.J., Seeram N.P., Maa H. *Journal of Functional Foods*, 2020, vol. 75, article 104208. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104208>.
6. Li R., Zhang J., Chen X., Jia J., Zhang H., Sun J. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2013, vol. 35(6), pp. 684–707.
7. Liu W., Ouyang Y., Wan C.-P. *Asian Journal of Chemistry*, 2013, vol. 25, no. 13, pp. 7075–7078. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14643>.
8. Ogawa A., Miyamae Y., Honma A., Koyama T., Yazawa K., Pycnalin H.S. *Chem. Pharm.*, 2011, vol. 59, no. 5, pp. 672–675. <https://doi.org/10.1248/cpb.59.672>.
9. Bi W., Shen J., Gao Y., He C., Peng Y., Xiao P. *Journal of Functional Foods*, 2016, vol. 24, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.002>.
10. Wan C., Yuan T., Li L., Kandhi V., Cech N.B., Xie M., Seeram N.P. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 597–600. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2011.10.073>.
11. Abdulladzhanova N.G., Pirniyazov A.Zh., Mavlyanov S.M., Dalimov D.N. Konferentsiya *molodykh, posvyashchonnaya pamyati akad. S.Yu. Yunusova*. [Conference of young scientists dedicated to the memory of academician S.Yu. Yunusova]. Tashkent, 2003, p. 49. (in Russ.).
12. Mavlyanov S.M., Islambekov S.Y., Ismailov A.I., Dalimov D.N., Abdulladzhanova N.G. *Chem. Nat. Comp.*, 2001, vol. 37 (1). Pp. 1–24. <https://doi.org/10.1023/A:1017605223089>.
13. Potapovich A.I., Kostyuk V.A. *Biokhimiya*, 2003, vol. 68, no. 5, pp. 632–638. (in Russ.).
14. Utkina Ye.A. *Zavisimost' antioksidantnoy aktivnosti flavonoidov ot fiziko-khimicheskikh kharakteristik v razlichnykh sistemakh: avtoref. dis. ... kand. med. nauk*. [Dependence of antioxidant activity of flavonoids on physicochemical characteristics in various systems: author's abstract. diss. ... candidate of medical sciences]. Moscow, 2005, 25 p. (in Russ.).
15. Raimova K.V., Sobirova F.A., Esanov R.S., Abdulladzhanova N.G., Matchanov A.D., Gafurov M.B. *Universum*, 2019, no. 5, pp. 50–60. (in Russ.).
16. Bonacheva V.M., Botirov E.Kh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 1, pp. 171–174. (in Russ.).
17. El'kaib Kh.M., Fes'kova Ye.V., Leont'yev V.N., Ignatovets O.S. *Molekulyarno-geneticheskiye i biotekhnologicheskiye osnovy polucheniya i primeneniya sinteticheskikh i prirodnikh biologicheskikh aktivnykh veshchestv: Narochanskiye chteniya – 11: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Molecular-genetic and biotechnological foundations for the production and use of synthetic and natural biologically active substances: Narochan readings – 11: materials of the International scientific and practical conference]. Minsk, 2017, pp. 156–160. (in Russ.).
18. Raimova K.V., Abdulladzhanova N.G., Kurbanova M.A., Makhmanov D.M., Kadirova Sh.O., Tashpulatov F.N., Juraev Sh.Sh., Matchanov A.D., Rakhimov R.N. *Journal of Critical Reviews*, 2020, pp. 750–755.
19. Rakhimov R.N., Abdulladzhanova N.G., Mavlyanov S.M. *Uzbekskiy khimicheskii zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 40–44. (in Russ.).
20. Raimova K.V., Abdulladzhanova N.G., Matchanov A.D., Toshpulatov F.N., Eragshev N.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 3, pp. 202–209. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021038023>. (in Russ.).

Received April 14, 2024

Revised May 27, 2024

Accepted June 25, 2024

Сведения об авторах

Раимова Камола Вахабджанова – старший научный сотрудник лаборатории белки и пептидов, k.raimova_81@mail.ru

Алимов Хайрулла Каюмович – кандидат фармацевтических наук, доцент, khairullo@gmail.com

Абдулладжанова Нодира Гуломжановна – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, anodira73@rambler.ru

Information about authors

Raimova Kamola Vahabdzhanova – Senior Researcher, Laboratory of Proteins and Peptides, k.raimova_81@mail.ru

Alimov Khayrulla Kayumovich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, khairullo@gmail.com

Abdulladzhanova Nodira Gulomzhanovna – Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher, anodira73@rambler.ru