УДК 547.541.2. DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.011

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛАВАНОИДОВ

© Ширинов Панах Магомед оглу (a), Шахтахтинская Пери Турабхан гызы (a)

(a) Сумгаитский Государственный Университет

Аннотация. Флавоноиды известны как растительные пигменты более столетия. Однако первая работа, посвящённая возможной биологической роли флавоноидов для человека, была опубликована лауреатом Нобелевской премии по физиологии или медицине Альбертом де Сент-Дьёрди в 1936 году. Он сообщил, что флавоноид, выделенный из венгерского красного перца, вероятно, способствует укреплению ломких стенок кровеносных сосудов. Новая волна интереса к флавоноидам началась в 1990-х годах. Она связана с открытием антиоксидантных свойств флавоноидов и их способности нейтрализовать свободные радикалы. Флавоноиды играют важную роль в растительном метаболизме и очень широко распространены в высших растениях. Многие флавоноиды — пигменты, придающие разнообразную окраску растительным тканям. В этой работе рассмотрены биологически активные свойства флаваноидови их применение в медицинской практике.

***Ключевые слова*:** флаваноиды, биологическая активность, пигменты, лекарственные препараты, физиологическая активность.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF FLAVANOIDS

© Shirinov Panah Mahammad (a), Shakhtakhtinskaya Peri Turabkhan (b)

(a) Sumgayit State University

Abstract. Flavonoids have been known as plant pigments for over a century. However, the first paper on the possible biological role of flavonoids in humans was published by Nobel Prize winner in Physiology or Medicine Albert de Szent-Györgyi in 1936. He reported that a flavonoid isolated from Hungarian red pepper probably helps strengthen fragile blood vessel walls. A new wave of interest in flavonoids began in the 1990s. It is associated with the discovery of the anti-oxidant properties of flavonoids and their ability to neutralize free radicals. Flavonoids play an important role in plant metabolism and are very widespread in higher plants. Many flavonoids are pigments that impart a variety of colors to plant tissues. This paper examines the biologically active properties of flavonoids and their use in medical practice.

Key words: флаваноиды, биологическая активность, пигменты, лекарственные препараты, физиологическая активность.

Флавоноиды представляют собой класс растительных пигментов с широким спектром биологической активности, включая антиоксидантные, противовоспалительные, противораковые и противовирусные свойства. Они способны нейтрализовывать свободные радикалы, и таким образом, уменьшать риск формирования окислительных стрессов, которые предшествуют различным заболеваниям. С другой стороны, флаваноиды уменьшают риск воспалительных процессов, в том числе могут быть использованы при лечении диабета, раковых заболеваний, астмы и др. Так, кверцетин: известен своими антиоксидантными, противовоспалительными и противораковыми свойствами, а также потенциалом защиты от сердечно-сосудистых заболеваний.

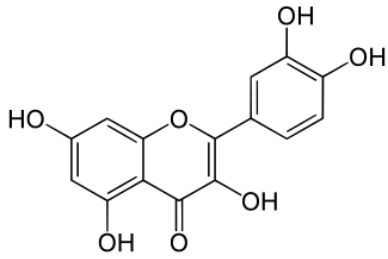


Рис. 1. Химическое строение кверцетина

Лютеолин: обладает противораковым, противовоспалительным и нейропротекторным действием.

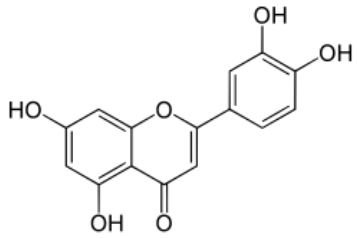
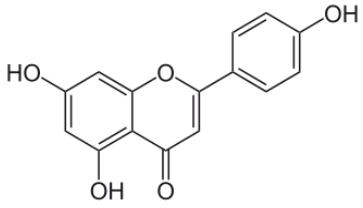


Рис. 2. Химическая структура лютеолина

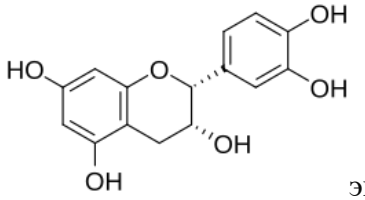
Апигенин: обладает противораковыми, противовоспалительными и антиоксидантными свойствами.



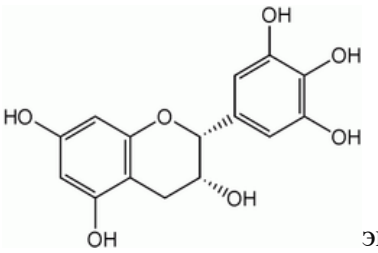
апигенин

Рис. 3. Химическая структура апигенина

Катехины (в зелёном чае): известны своей антиоксидантной и противораковой активностью.



эпикатехин



эпигаллокатехин

Рис. 4. Химическая структура эпикатехина и эпигаллокатехина

Антоцианы (в ягодах): обладают антиоксидантным и противовоспалительным действием.

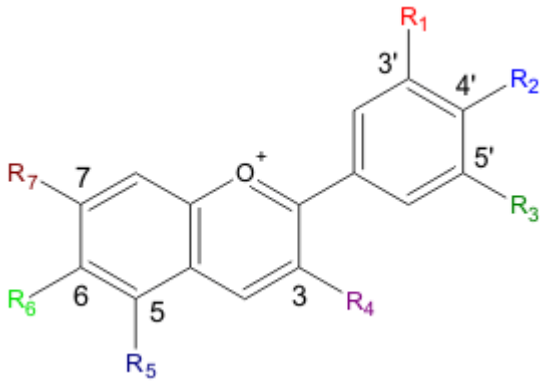


Рис. 5. Общая химическая структура антоцианов

Таким образом, флавоноиды представляют собой разнообразную группу растительных соединений с широким спектром полезных биологических свойств, что делает их важными для здоровья человека. В представленной работе нами рассмотрены наиболее основные результаты исследований в области изучения биологической активности флаваноидов.

1)Общая биологическая активность флаваноидов

Флавоноиды представляют собой основной класс вторичных метаболитов растений и встречаются в тканях и органах различных видов растений [1]. В растениях флавоноиды участвуют во многих биологических процессах и реагируют на различные экологические стрессы. Известно, что потребление флавоноидов снижает риск многих хронических заболеваний благодаря их антиоксидантным свойствам и свойствам нейтрализовать свободные радикалы. В этом обзоре авторы суммируют классификацию, распределение, пути биосинтеза и регуляторные механизмы флавоноидов. Кроме того, авторы исследовали их биологическую активность и обсуждают их применение в пищевой промышленности и косметике, а также их фармацевтическое и медицинское применение. Также кратко описаны современные тенденции в исследованиях флавоноидов, включая поиск новых функциональных генов и метаболитов с помощью омикс-исследований и инженерию флавоноидов с использованием нанотехнологий.

Растет интерес к исследованию флавоноидов из растительных источников из-за их многогранной пользы для здоровья, о которой сообщалось в различных эпидемиологических исследованиях [2]. Поскольку флавоноиды напрямую связаны с ингредиентами и здоровьем человека, необходимо оценить взаимосвязь структуры и функции. Биодоступность, метаболизм и биологическая активность флавоноидов зависят от конфигурации, общего числа гидроксильных групп и замещения функциональных групп в их ядерной структуре. Фрукты и овощи являются основными диетическими источниками

флавоноидов для человека, наряду с чаем и вином. Большинство последних исследований были сосредоточены на аспектах здоровья флавоноидов для человека. Показано, что многие флавоноиды обладают антиоксидантной активностью, способностью связывать свободные радикалы, профилактикой ишемической болезни сердца, гепатопротекторной, противовоспалительной и противораковой активностью, в то время как некоторые флавоноиды проявляют потенциальную противовирусную активность. В растительных системах флавоноиды помогают бороться с окислительным стрессом и действуют как регуляторы роста. Микробная биотехнология позволила организовать экономически эффективное массовое производство различных типов флавоноидов для фармацевтических целей. В данном обзоре рассматриваются структурные особенности флавоноидов, их благотворное влияние на здоровье человека, а также их значение для растений и их микробного производства.

Флавоноиды представляют собой основной класс полифенольных соединений, которые встречаются в природе в растениях и широко распространены в различных пищевых продуктах [3]. Флавоноиды проявляют выраженные физико-химические свойства и биологическую активность, тем самым привлекая значительное внимание. Примечательно, что физико-химические свойства и функциональные возможности флавоноидов зависят от структуры. Различия в химической структуре приводят к различиям в физико-химических характеристиках между различными типами флавоноидов. Структурные изменения могут модифицировать эти характеристики, влияя на биологическую активность и механизмы действия. Однако эти структурные вариации и их биологические последствия не были всесторонне изучены. В этом обзоре авторы описывают структурные характеристики флавоноидов, обсуждают биосинтез, пищеварение *in vivo* и всасывание, и особенно подчеркивают разнообразную биологическую активность и механизмы действия, связанные с различными структурами флавоноидов. Обобщая текущие научные результаты, авторы стремятся прояснить взаимосвязь структуры и активности флавоноидов и предоставить теоретическую основу для разработки новых сфер применения флавоноидов, что поможет нацелить разработку функциональных молекул и фрагментов в пищевой и фармацевтической промышленности для использования при проектировании и разработке лекарственных препаратов.

Флавоноиды представляют собой обширное семейство полифенолов, включающее несколько классов, основанных на следующих соединениях: флаваноны, флавоны, изофлавоны, флавонолы, флаванолы и антоцианы [4].. Они обладают множеством биологических свойств, таких как противовоспалительное, антиоксидантное, противовирусное, противомикробное, противораковое, кардиопротекторное и нейропротекторное действие. Современные тенденции исследований и разработок флавоноидов связаны с их идентификацией, экстракцией, изоляцией, физико-химической характеристикой и применением в медицинских целях. В данном обзоре представлен актуальный анализ последних достижений в области изучения классов природных флавоноидов, биологической активности представителей флавоноидов, современных методов экстракции и перспектив.

Сообщается [5], что флавоноиды — это органические соединения, характеризующиеся широким спектром фенольных структур, которые в изобилии присутствуют в различных природных источниках, таких как фрукты, овощи, злаки, кора,

корни, стебли, цветы, чай и вино. Польза для здоровья этих природных веществ общеизвестна, и предпринимаются инициативы по извлечению флавоноидов. Апигенин, галангин, гесперетин, кемпферол, мирицетин, нарингенин и кверцетин — семь наиболее распространенных соединений, принадлежащих к этому классу. Согласно данным исследований *in vitro, in vivo* и клинических исследований, эти флавоноиды, по-видимому, обладают многообещающей противодиабетической, противовоспалительной, антибактериальной, антиоксидантной, противовирусной, цитотоксической и гиполипидемической активностью. В обзоре рассматриваются последние тенденции, терапевтические вмешательства и футуристические аспекты применения флавоноидов для лечения ряда заболеваний, таких как диабет, воспаление, бактериальные и вирусные инфекции, рак и сердечно-сосудистые заболевания. Тем не менее, данная рукопись может быть полезна для будущих исследований лекарственных средств. Несмотря на эти обнадеживающие результаты, в клинических исследованиях существует значительный пробел, препятствующий всестороннему пониманию влияния флавоноидов как в высоких, так и в низких концентрациях на здоровье человека. В будущих исследованиях приоритетное внимание следует уделить изучению биодоступности, учитывая потенциальную высокую межиндивидуальную вариабельность. В качестве отправной точки для дальнейшего изучения этих флавоноидов, данная обзорная статья может способствовать выявлению и созданию инновационных терапевтических применений.

Флавоноиды – обширный класс вторичных метаболитов, присутствующих в различных частях растений в различных концентрациях [8]. Лекарственное сырье, содержащее флавоноиды, веками использовалось в традиционной медицине разных стран, а также используется в современной медицине для производства лекарственных препаратов. По сравнению с другими группами вторичных метаболитов, флавоноиды часто присутствуют в относительно больших количествах. Интерес к флавоноидам обусловлен постоянно обновляемыми данными об их биологической активности и широким распространением в растительном мире. В настоящем обзоре рассматриваются два наиболее часто встречающихся в растениях полифенольных соединения – кверцетин и кемпферол.

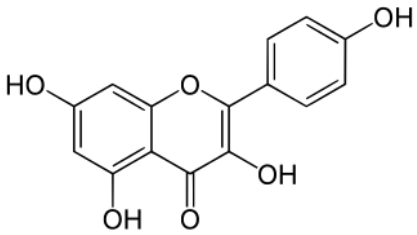


Рис. 6. Химическое строение кемпферола

В статье описаны основные гликозидные формы рассматриваемых флавоноидов и современные результаты изучения их биологической активности, а именно антиоксидантной, противоаллергической, противовоспалительной, кардиопротекторной и противоопухолевой. Кроме того, обсуждаются некоторые механизмы реализации перечисленных видов биологической активности. Проведенный анализ свидетельствует о перспективности дальнейшего углубленного фармакологического исследования этих флавоноидов и разработки на их основе новых перспективных лекарственных препаратов.

Ядра кверцетина и кемпферола могут быть рекомендованы для химической модификации с целью получения высокоактивных соединений, обладающих антиоксидантной, противоаллергической, противовоспалительной, кардиопротекторной и противоопухолевой активностью.

Естественно многофункциональный гесперидин Rutaceae и его агликон гесперетин обладают большим разнообразием биофармацевтической активности, например, противораковой, противовоспалительной, антиоксидантной и противоопухолевой; однако влияние молекулярных структур гесперидина и гесперетина, и в частности структурных свойств, таких как гибкость и динамические характеристики белка, на биологическую активность этих биоактивных соединений остается неоднозначным [11].

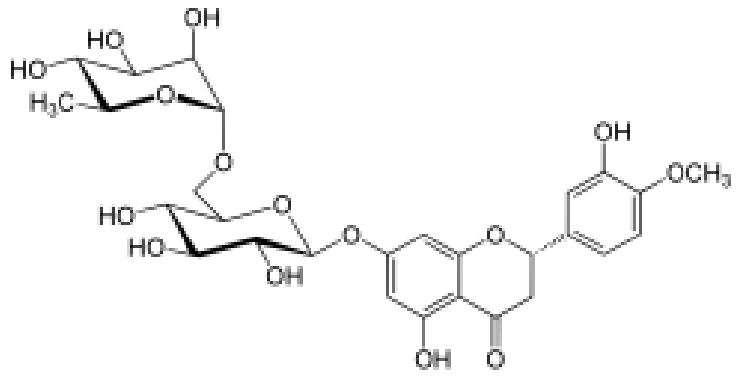


Рис. 7. Химическая структура гесперидина

Результаты продемонстрировали, что (1) агликон гесперидин может образовывать более прочные нековалентные связи с HSA и обладать более высокой стабильностью распознавания по сравнению с гесперидином. Это явление предполагает, что введение гликозидной структуры во флаванон, возможно, не способно усилить нековалентное распознавание флаванона биополимером, и, наоборот, это событие, вероятно, снизит способность к распознаванию. (2) Хотя гесперидин и гесперетин могут располагаться в субдоменах IIA и IIIA соответственно, конформационная стабильность флаванонов в субдомене IIA выше, чем в субдомене IIIA; в результате способность субдомена IIIA распознавать флаваноны заметно ниже, чем в субдомене IIA. Эти расхождения, вероятно, обусловлены уникальными характеристиками соответствующей полости, а именно тем, что субдомен IIA представляет собой практически замкнутое пространство, тогда как субдомен IIIA представляет собой полуоткрытую область. Между тем, подробный анализ среднеквадратичной флуктуации интерпретировал распознавание флаванонов субдоменом IIA на HSA, которое могло бы вызвать более значительные конформационные изменения в нескольких аминокислотных остатках. Аналогичное явление наблюдается и в субдомене IIIA, что означает, что гибкие характеристики различных участков связывания в белке могут оказывать довольно заметное влияние на распознавание HSA-флаванонов. Более того, интегральные структурные изменения HSA демонстрируют некоторые различия из-за различий в способности к распознаванию и биовзаимодействиях белок-флаванон, и все эти выводы получили дальнейшее убедительное подтверждение в экспериментах по флуоресценции и круговому дихроизму в растворе.

Флавоноиды являются важными активными ингредиентами в продуктах питания растительного происхождения, которые оказывают множество полезных эффектов на

здоровье [12]. Однако низкая растворимость, низкая биодоступность при пероральном приеме и невысокая стабильность многих флавоноидов могут ограничивать их применение в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. Структурная модификация может преодолеть эти недостатки, чтобы улучшить и расширить применение флавоноидов. Изучение способов модификации флавоноидов и влияния различных модификаций на биологическую активность вызвало большой интерес в современной литературе. В данном обзоре обобщены принципы работы и условия проведения методов модификации, а также их потенциал и ограничения с точки зрения эксплуатационной безопасности, стоимости и производительности. Обсуждалось и освещалось влияние различных модификаций на биологическую активность и взаимосвязь между структурой и активностью производных флавоноидов, что может послужить руководством для синтеза высокоэффективных активных веществ. Кроме того, рассматривается безопасность производных флавоноидов и обсуждаются будущие направления исследований в области модификации флавоноидов.

Флавоноиды – широко распространённые вторичные метаболиты с различными метаболическими функциями в растениях [15]. Выяснение путей биосинтеза, а также их регуляции MYB, факторами транскрипции типа «основная спираль-петля-спираль» (bHLH) и WD40, позволило использовать метаболическую инженерию растений, манипулируя различными конечными продуктами с ценными прикладными задачами. В настоящем обзоре описывается регуляция биосинтеза флавоноидов, а также биологические функции флавоноидов в растениях, такие как защита от УФ-излучения типа В и патогенных инфекций, образование клубеньков и фертильность пыльцы. Кроме того, авторы обсуждают различные стратегии и достижения генной инженерии биосинтеза флавоноидов, имеющие промышленное применение, а также комбинаторный биосинтез в микроорганизмах путём реконструкции пути для получения больших количеств специфических соединений.

Флавоноиды – это группа растительных пигментов, сочетание которых определяет ту или иную окраску цветков и плодов [16]. В растениях флавоноидные красители играют роль светофильтров, защищающих ткани от негативных воздействий. Флавоноиды – широко распространённые вторичные метаболиты с различными метаболическими функциями в растениях. Флавоноиды – группа полифенольных соединений С6-С3-С6-ряда, которые синтезируются исключительно в высших растениях. В данном обзоре рассматриваются четыре основные функции флавоноидов в растительном организме. Эти соединения принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах, в размножении растений играют роль ярких аттрактантов для насекомых и животных. Важная функция флавоноидов – защита растений от внешних неблагоприятных абиотических и биотических факторов. Они являются сигнальными молекулами в ауксиновом обмене, а также на различных этапах симбиоза растений с микоризными грибами и азотфиксирующими бактериями.

Человечество использовало натуральные растения и препараты на их основе с древнейших времён. В последние несколько лет многочисленные исследования были посвящены изучению терапевтического потенциала различных вторичных химических веществ, содержащихся в растениях. В литературе выявлено, что различные вторичные метаболиты, а именно фенолы и флавоноиды, отвечают за различные терапевтические

эффекты у человека [18]. В настоящем обзоре предпринята попытка обобщить данные об исследовании природных фенольных соединений, уделив особое внимание флавоноидам и их терапевтическому потенциалу. Примечательно, что длительное употребление многих пищевых продуктов (богатых фенолами) оказалось эффективным средством защиты от развития и лечения диабета, рака, остеопороза, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний и т. д. В данном обзоре представлен обзор флавоноидных соединений с целью их использования в качестве потенциальной терапевтической альтернативы при различных заболеваниях и расстройствах.

Флавоноиды – это разнообразная группа полифенольных соединений растительного происхождения, обладающих широким спектром биологической активности, что делает их объектом обширных исследований в последние годы [19]. В данном обзоре рассматриваются многофункциональные свойства флавоноидов, включая их антиоксидантное, противовоспалительное, противораковое, антимикробное и кардиопротекторное действие. Кроме того, рассматривается, как флавоноиды могут помочь предотвратить хронические заболевания, такие как диабет, сердечно-сосудистые и неврологические заболевания. Этот анализ подчеркивает применение флавоноидов как в питании, так и в медицине.

Флавоноиды представляют собой класс низкомолекулярных полифенольных вторичных метаболитов, широко распространенных в растениях. Они проявляют разнообразные биоактивные эффекты, связанные с базовой системой колец C6—C3—C6 и моделями замещения, которые определяют ряд подкатегорий соединений. В данной обзорной статье обобщены различные биологические эффекты экстрактов из натуральных продуктов традиционно используемых лекарственных растений [20].

Флавоноиды, класс вторичных метаболитов полифенолов, широко представлены в растениях и пищевых продуктах. Считается, что они обладают различными биологически активными свойствами, включая противовирусное, противовоспалительное, кардиопротекторное, противодиабетическое, противораковое, антивозрастное и т. д. Их базовые структуры состоят из колец C6—C3—C6 с различными типами замещения, что приводит к образованию ряда соединений подклассов, и корреляции между химической структурой и биологической активностью были изучены ранее. Однако, учитывая их низкую биодоступность, информация о взаимосвязи между структурой и биологической судьбой ограничена и крайне необходима. Поэтому в данном обзоре предпринята попытка упорядочить взаимосвязи между структурой, активностью, а также фармакокинетикой биоактивных флавоноидов [22,23].

2)Антиоксидантные свойства флаваноидов

Растения и травы, потребляемые человеком, являются богатыми источниками фитонутриентов, синтезируемых в самих растениях. Эти биоактивные вещества отвечают за антиоксидантные и лечебные свойства растений [6]. Флавоноиды являются важной группой природных полифенольных соединений, и их флавановое ядро характеризует ее. Это один из наиболее распространенных классов соединений, содержащихся в овощах, фруктах и напитках растительного происхождения. Флавоноиды считаются диетическими добавками, способствующими укреплению здоровья и профилактике заболеваний. В настоящее время они считаются незаменимым компонентом в различных нутрицевтических, фармацевтических, медицинских, косметических и других

приложениях. Их базовые структуры состоят из колец C6-C3-C6 с различными типами замещения, что приводит к образованию ряда соединений подкласса, таких как флавоны, флавонолы, флаваноны, изофлавоны, флаванолы или катехины и антоцианы. Многие флавоноидные соединения обладают антиоксидантной активностью, способностью нейтрализовать свободные радикалы, кардиопротекторными, противодиабетическими, противовоспалительными и противоаллергическими свойствами, а некоторые другие флавоноидные соединения проявляют потенциальную противовирусную активность. В последнее время доказано, что флавоноиды наиболее эффективны в качестве противораковых агентов, действуя посредством индукции апоптоза, остановки клеточного цикла и ингибирования ключевых ферментов, участвующих в развитии опухолей.

В последние годы всё больше внимания уделяется природным источникам антиоксидантов [7]. Флавоноиды – это природные вещества, синтезируемые в различных частях растений и обладающие высокой антиоксидантной активностью. Они представляют собой обширное семейство, разделённое на несколько классов, основанное на их базовой структуре. Флавоноиды способны контролировать накопление активных форм кислорода (АФК) посредством их нейтрализации при их образовании. Таким образом, эти антиоксидантные соединения играют важную роль в обеспечении устойчивости растений к стрессу и имеют большое значение для здоровья человека, главным образом благодаря своим противовоспалительным и антимикробным свойствам. Кроме того, флавоноиды находят применение в пищевой промышленности в качестве консервантов, пигментов и антиоксидантов, а также в других отраслях, таких как косметика и фармацевтика. Однако применение флавоноидов в промышленных целях предполагает использование процессов экстракции с высокой чистотой и качеством. Разработано несколько методологий, направленных на повышение выхода флавоноидов и обеспечение их экологической безопасности. В данном обзоре представлены наиболее распространённые природные флавоноиды, их структура и химические характеристики, методы экстракции и биологическая активность.

В работе [9] авторы сообщают о применении аминирования Бухвальда–Хартвига для получения новых производных кверцетина и лютеолина. Это исследование посвящено влиянию анилинового фрагмента на антиоксидантную и противовоспалительную активность, цитотоксичность и способность флавоноидов модулировать механизмы лекарственной устойчивости у бактерий. Противовоспалительная активность исчезала после введения анилина в состав флавоноидов, а цитотоксичность оставалась низкой. Хотя способность кверцетина и лютеолина модулировать бактериальную устойчивость к антибиотикам уже была опубликована, это первое сообщение о молекулярном механизме этого процесса. Оба флавоноида ослабляют устойчивость к эритромицину, подавляя рибосомальную метилтрансферазу, кодируемую геном ermA у золотистого стафилококка. Примечательно, что 4-(трифторметил)анилино кверцетин проявил себя как мощный ингибитор ErmA, вероятно, взаимодействуя с РНК-связывающим участком ErmA. Кроме того, оба 4-фторанилино производных эффективно блокировали систему стафилококкового эффлюкса. Все полученные производные продемонстрировали превосходную активность в модуляции резистентности к гентамицину у S. aureus по сравнению с исходными соединениями. В целом, включение замещенных анилинов в ядро флавоноида значительно

усилило его способность бороться с множественной лекарственной устойчивостью бактерий.

Листья *Acacia mearnsii*, которые являются богатым источником флавоноидов, были использованы для разделения и очистки мирицитрина (W3) и мирицетин-3-О-глюкозида (W1) [10].

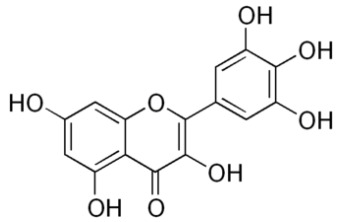


Рис. 7. Химическое строение мирицетина

Кроме того, была оценена антиоксидантная и гипогликемическая активность двух очищенных флавоноидов. Флавоноиды были разделены с использованием распределения растворителя, колонки с макропористой адсорбционной смолой и колоночной хроматографии с сефадексом и очищены с использованием препаративной обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Очищенные флавоноиды были охарактеризованы с использованием методов ВЭЖХ, масс-спектрометрии и ядерного магнитного резонанса. Был получен высокий выход (7,3 мг/г сырого экстракта) W3 с высокой чистотой 98,4%. Кроме того, чистота W1 составила более 95%. W1 и W3 проявили сильную антиоксидантную активность и значительно ингибировали α-глюкозидазу. W3 также продемонстрировал значительную ингибирующую способность α-амилазы. Данное исследование показало, что листья *A. mearnsii,* которые выбрасываются в значительных количествах, могут быть использованы в качестве источника мирицитрина, обеспечивая более подходящее сырье для производства антиоксидантов и ингибиторов диабета II типа. Следовательно, листья *A. mearnsii* могут представлять большую рыночную экономическую ценность и приносить пользу окружающей среде.

Флавоноиды вызвали большой интерес к исследованиям, поскольку они представляют большое разнообразие биологической активности, наблюдаемой *in vitro,* такой как: антиоксидантный эффект, модуляция ферментативной активности и ингибирование клеточной пролиферации, оказывая благотворное воздействие на организм, а также используя его терапевтический потенциал [13]. Обладая широким распространением в растительном мире, они представляют собой класс фенольных соединений, которые различаются по своей химической структуре и особым характеристикам. Некоторые фармакологические свойства некоторых флавоноидов и их польза для здоровья были подтверждены предыдущими исследованиями.

Растения и травы, употребляемые человеком в пищу, являются богатыми источниками фитохимических соединений, синтезируемых в самих растениях [14]. Эти биоактивные вещества обуславливают антиоксидантные и лечебные свойства растений. Основная их часть представлена фенольными соединениями. Флавоноиды – это компоненты растительных фенолов, которые представляют большой интерес благодаря своей антиоксидантной и многим другим биологическим свойствам. Таким образом, флавоноиды, непосредственно связанные с пищевыми ингредиентами человека, играют

важную роль в профилактике заболеваний и обладают разнообразными полезными свойствами для здоровья. Фрукты и овощи являются основными пищевыми источниками флавоноидов для человека, наряду с чаем и вином. Микробная биотехнология в последние годы сделала возможным массовое производство различных типов флавоноидов, используемых в фармацевтических целях.

Показано [24], что цитрусовые являются одними из самых популярных источников пищевых флавоноидов, таких как гесперидин, гесперетин, нарингин, нарингенин, кверцетин, рутин, диосмин, диосметин, кемпферол, мирицетин, нобилетин, танжеретин и так далее. Флавоноиды - это полифенолы и ароматические биологически активные соединения, встречающиеся в растениях в качестве вторичных метаболитов. Они участвуют в различных биохимических процессах в организме человека и способствуют укреплению здоровья. Цитрусовые флавоноиды хорошо известны своими антиоксидантными и противовоспалительными свойствами. Они способствуют заживлению ран и противомеланомному действию, а также улавливают свободные радикалы, апоптозу, модулируют липидный обмен, улучшают чувствительность к инсулину и эндотелиальную дисфункцию. Цитрусовые флавоноиды служат эффективными терапевтическими средствами для лечения различных проблем с кожей, таких как старение кожи/фотостарение, пигментация кожи и поддержание общего здорового состояния кожи. В настоящем обзоре предпринята попытка собрать актуальную информацию из недавно опубликованных статей, посвященных роли цитрусовых флавоноидов в оздоровительных мероприятиях, особенно в отношении здоровья кожи. Кроме того, в обзоре обсуждается недавний прогресс в разработке эффективных методов местного применения, позволяющих решить проблему плохой растворимости флавоноидов в воде и ограниченной проницаемости кожи.

3)Антивирусная и противобактериальная активность

Флавоноиды, разнообразная группа природных полифенольных соединений, встречающихся в различных источниках, таких как фрукты и овощи, привлекли внимание своей разнообразной биологической активностью, включая антиоксидантные, антибактериальные и противогрибковые свойства [17]. В этом всестороннем обзоре рассматриваются механизмы, посредством которых флавоноиды борются с окислительным стрессом и препятствуют росту бактерий и грибков. С точки зрения антиоксидантного действия, флавоноиды проявляют свою эффективность, нейтрализуя активные формы кислорода посредством донорства атомов водорода и электронов, усиливая активность эндогенных антиоксидантных ферментов и хелатируя ионы переходных металлов. Их антибактериальное действие направлено как на грамположительные, так и на грамотрицательные бактерии, разрушая клеточные мембраны, ингибируя ключевые ферментативные процессы и подавляя эффлюксные насосы, что в совокупности препятствует росту бактерий и вызывает гибель клеток. Кроме того, флавоноиды проявляют противогрибковые свойства, нарушая целостность клеточной мембраны грибка, биосинтез эргостерола и модулируя критически важные пути передачи сигнала, что в конечном итоге подавляет рост и патогенность грибка. Это глубокое понимание механизмов действия флавоноидов не только открывает перспективы для разработки терапевтических средств, но и вдохновляет на дальнейшие достижения в фармакологических исследованиях.

В результате анализа экстрактов корней *Lonchocarpus montanus A.M.G. Azevedo* было выделено двадцать три соединения, в основном флавоноиды, пять из которых (четыре флавоноида и один бензофенон) описаны впервые [25]. Молекулярные структуры новых соединений (1-5) были определены с помощью спектрального анализа (УФ, ИК, МС и ЯМР) как: 2'-гидрокси-8-(a,a</FONT>-диметилаллил)-2", 2"-диметилпирано-(5",6":3',4')-дибензоилметан (1), 2'-метокси-8-(a, a</FONT>-диметилаллил)-2", 2"-диметилпирано-(5",6":3',4')-дибензоилметан (2), 4'-метокси-2", 2"-диметилпирано-(5",6":8,7)-флавон (3), 2"-(1-гидрокси-1-метилэтил)-фурано-(4",5":8,7)-флавон (4) и [2'-метоксифурано-(4",5":3',4')-фенил]-фенилметанон (5). Кроме того, методом ГХ-МС было обнаружено пятнадцать жирных кислот в соответствующих метиловых эфирах [$(CH_3)_2CH(CH_2)_8COOH$ и $CH_3(CH_2)_nCOOH$ (n = 6, 12-24)]. Количественная ОФ-ВЭЖХ показала, что наиболее распространенными флавоноидами в петролейном эфире и дихлорметановом экстрактах были понгамол (19%) и ланцеолатин B (8,0%) соответственно. В биоавтографическом анализе экстракты понгамол (9), ланцеолатин B (10), изолонхокарпин (14), дерриобтузон A (17) и медикарпин (18) были активны против *Staphilococus aureus*, тогда как 9 также против *Bacillus subtilis* и *Cladosporium cladosporioides*. Соединение 1, 2",2"-диметилпирано-(5",6":8,7)-флавон (11) и фурано-(1200,1300:7,8)-4'-метоксифлавон (12) были активны против *Fusarium oxysporium*, тогда как 11 также против *Rhizopus orizae*. Экстракты, соединения 9, 10, 17 и (E)-7-O-метоксипонгамол (23) продемонстрировали высокую токсичность в анализе летальности артемии.

4) Цитотоксическая активность

Цитотоксические, фитотоксические, антимикробные и антиоксидантные свойства кверцетина 3-O-глюкозида (Q3G), выделенного методом ВЭЖХ из надземных частей *Prangos ferulaceae*, были изучены с помощью МТТ-теста, анализа прорастания салата, диско-диффузионного метода и метода DPPH [21]. Результаты показали, что Q3G проявляет высокий антиоксидантный эффект с RC_{50} 22 мкг/мл, обладает низкой цитотоксичностью и не обладает антибактериальным действием. Q3G также проявляет высокий фитотоксический эффект со значением IC_{50} 282,7 мкг/мл. Предполагается, что Q3G не выполняет защитной функции у растений и может действовать как аллелопатический агент.

Исследования в области изучения свойств и применения флаваноидов в качестве биологически активных веществ также рассматривались в работах [26-31].

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что интерес к флаваноидам с точки зрения их биологической активности обусловлен тем, что эти соединения являются потенциальными синтонами для получения целого ряда лекарственных средств различного назначения, причем спектр биологической активности флаваноидов весьма широк и исследования в этой области продолжают интенсивно развиваться.

Заключение

Анализ результатов научных исследований в области исследования биологической активности флаваноидов и их функционально-замещенных производных показывает, что эти органические соединения являются весьма востребованными с точки зрения их фармакологической активности и наличие высокой биологической активности флаваноидов создает весомые предпосылки для проведения систематических исследований в области изучения их биологически активных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Sh., Wang X., Cheng Y., Gao H., Xuehao Ch. A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids // Molecules. 2023. Vol. 28. N 13. Pp. 4982-4999
2. Kumar Sh., Pandey A. Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview // Scientific World Journal. 2013. N 29. Pp. 162750-162759
3. Tang Sh., Wang B., Liu X., Wenxia X., Yue Y. Structural insights and biological activities of flavonoids: Implications for novel applications // Food Frontiers. 2025. Vol. 6. N 1. Pp. 218-247
4. Liga S., Paul Ch., Peter F. Flavonoids: Overview of Biosynthesis, Biological Activity, and Current Extraction Techniques // Plants. 2023. Vol. 12. N 14. Pp. 2732-2748
5. Hasnat H., Shompa S.A., Islam M., Alam S., Rici F.T. Flavonoids: A treasure house of prospective pharmacological potentials // Heliyon. 2024. Vol. 10. N 6. Pp. 27533-27539
6. Karak P. Biological activities of flavanoids – an overview // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2019. Vol. 10. N 4. Pp. 1567-1574
7. Dias M.C., Pinto D.C., Silva A.M. Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity // Molecules. 2021. Vol. 26. N 17. Pp. 5377-5391
8. Chiriapkin A., Zolotykh D.S., Pozdnyakov D.J. Review of Biological Activity of Flavonoids: Quercetin and Kaempferol // Juvenis Scientia. 2022. Vol. 9. N 2. Pp. 5-20
9. Hurtova M., Brdova D., Kuzkoyska B., Tedeschi G. Nitrogen-Containing Flavonoids─Preparation and Biological Activity // ACS Omega. 2024. Vol. 9. N 12. – Pp. 34938-34950
10. Cuihua W., Lingxiao H., Zhang Y., Chaoqun Y. Separation of flavonoids with significant biological activity from *Acacia mearnsii* leaves // RSC Advances. 2023. Vol. 13. N 13. Pp. 9119-9127
11. Ding F., Peng W. Biological activity of natural flavonoids as impacted by protein flexibility: an example of flavanones // Molecular BioSystems. 2015. Vol. 11. N 4. Pp. 1119-1133
12. Changhong L., Dai T., Chen J., Mingshun Ch. Modification of flavonoids: methods and influences on biological activities // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2023. Vol. 63. N 31. Pp. 10637-10658
13. Juca M., Cysne F., Almeida J.C., Mesquita D.S. Flavonoids: biological activities and therapeutic potential // Natural Product Research. 2018. Vol. 34. N 5. Pp. 692-705
14. Tiwari S.Ch., Husain N. Biological activities and role of flavanoids in human health – a review // Indian J. Sci. Res. 2017. Vol. 12. N 2. Pp. 191-196
15. Falcone Fereira M., Rius S.P., Casati P. Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications // Front. Plant Sci. 2012. Vol. 5. Pp. 127-140
16. Turatbekova A., Babamuradova L., Tasheva U., Saparbaeva N. A brief review on biological and chemical activities of flavonoids in plants // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 434. Pp. 3026-3035
17. Rodriguez B., Pacheco L., Bernal I., Pina Y.M. Mechanisms of action of flavonoids – antioxidant, antibacterial and antifungal properties // Clencia Ambiente y Clima. 2023. Vol. 6. N 2. Pp. 2333-2336

18. Mutha R.E., Tatiya A.U., Surana S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // Future Journal of Pharmaceutical Sciences. 2021. Vol. 7. Pp. 25-41
19. Vishae V., Kor N., Tarmale P., Sonawane P. Biological activity of flavanoids. // International Journal of Pharmaceutical Sciences. 2023. Vol. 3. N 6. Pp. 71-77
20. Yadav J., Chaurasia M., Dubey B. Flavanoids – a review on chemistry and versatile biological activity // ERAs Journal of Medical Research. 2020. Vol. 7. N 1. Pp. 75-78
21. Razavi S.M., Zahri S., Zanini Gh., Nazemiyeli H. Biological activity of quercetin-3-Q-glucoside, a known plant flavonoid // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2009. Vol. 35. Pp. 376-378
22. Wang T., Qing L., Shun B. Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate // Science Direct. 2018. Vol. 13. Pp. 12-23
23. Czeczot H. Biological activity of flavanoids – a review // Polish Journal of Food Nutr. Sci. 2000. Vol. 50. N 4. Pp. 3-13
24. Sebghatollahi Z., Ghanadian M., Agarwai P., Chaheh H.S. *Citrus* Flavonoids: Biological Activities, Implementation in Skin Health, and Topical Applications: A Review // ACS Food Sci. Technol. 2022. Vol. 2. N 9. Pp. 1417-1432
25. Magalhaes A.F., Tozzi A.M., Magalhaes E., Sannomiya M. Flavonoids of Lonchocarpus montanus A.M.G. Azevedo and biological activity // An Acad. Braz. Cienc. 2007. Vol. 79. N 3. Pp. 301-316
26. Johnstone A., Albanese E., Crabtree D.R., Dalile B. Consensus statement on exploring the Nexus between nutrition, brain health and dementia prevention // Nutrition and Metabolism. 2025. Vol. 22. Pp. 82-101
27. Xianqqin X., Qin D., Xiaoping Q., Gao X. Sustainable management of soil-borne disease: integrating fumigation with *Andrographis paniculata* residues to rebuild rhizosphere function // BMC Microbiology. 2025. Vol. 25. Pp. 460-469
28. Kumar Verma A., Pratap R. The biological potential of flavones // Natural Product Reports. – 2010. Vol. 27. N 11. Pp. 1571-1593
29. Kamal A., Nazish M., Siddique T., Azhar Khan M. Biogenic synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) from *Allium jacquemontii* extract and its assessment in different biological activities // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Pp. 27559-27564
30. Roca-Couso R., Flores-Felix J.D., Ayuda-Duran B., Ferreras-Charro R. *Rhizobium* biostimulation of blackberry modulates survival pathways in *Caenorhabditis elegans* across biological kingdoms // NPR Science of Food. 2025. Vol. 9. Pp. 160-167
31. Jingxin M., Yang M., Tingting L., Sun Y. Research progress on heteroterpene and meroterpenoid compounds from the *Rhododendron* genus and their NMR characterization and biological activity // Front. Pharmacol. 2025.Vol. 16. Pp. 13-25

REFERENCES

1. Chen Sh., Wang X., Cheng Y., Gao H., Xuehao Ch. A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids // Molecules. 2023. Vol. 28. N 13. Pp. 4982-4999
2. Kumar Sh., Pandey A. Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview // Scientific World Journal. 2013. N 29. Pp. 162750-162759

3. Tang Sh., Wang B., Liu X., Wenxia X., Yue Y. Structural insights and biological activities of flavonoids: Implications for novel applications // Food Frontiers. 2025. Vol. 6. N 1. Pp. 218-247
4. Liga S., Paul Ch., Peter F. Flavonoids: Overview of Biosynthesis, Biological Activity, and Current Extraction Techniques // Plants. 2023. Vol. 12. N 14. Pp. 2732-2748
5. Hasnat H., Shompa S.A., Islam M., Alam S., Rici F.T. Flavonoids: A treasure house of prospective pharmacological potentials // Heliyon. 2024. Vol. 10. N 6. Pp. 27533-27539
6. Karak P. Biological activities of flavanoids – an overview // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2019. Vol. 10. N 4. Pp. 1567-1574
7. Dias M.C., Pinto D.C., Silva A.M. Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity // Molecules. 2021. Vol. 26. N 17. Pp. 5377-5391
8. Chiriapkin A., Zolotykh D.S., Pozdnyakov D.J. Review of Biological Activity of Flavonoids: Quercetin and Kaempferol // Juvenis Scientia. 2022. Vol. 9. N 2. Pp. 5-20
9. Hurtova M., Brdova D., Kuzkoyska B., Tedeschi G. Nitrogen-Containing Flavonoids─Preparation and Biological Activity // ACS Omega. 2024. Vol. 9. N 12. – Pp. 34938-34950
10. Cuihua W., Lingxiao H., Zhang Y., Chaoqun Y. Separation of flavonoids with significant biological activity from *Acacia mearnsii* leaves // RSC Advances. 2023. Vol. 13. N 13. Pp. 9119-9127
11. Ding F., Peng W. Biological activity of natural flavonoids as impacted by protein flexibility: an example of flavanones // Molecular BioSystems. 2015. Vol. 11. N 4. Pp. 1119-1133
12. Changhong L., Dai T., Chen J., Mingshun Ch. Modification of flavonoids: methods and influences on biological activities // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2023. Vol. 63. N 31. Pp. 10637-10658
13. Juca M., Cysne F., Almeida J.C., Mesquita D.S. Flavonoids: biological activities and therapeutic potential // Natural Product Research. 2018. Vol. 34. N 5. Pp. 692-705
14. Tiwari S.Ch., Husain N. Biological activities and role of flavanoids in human health – a review // Indian J. Sci. Res. 2017. Vol. 12. N 2. Pp. 191-196
15. Falcone Fereira M., Rius S.P., Casati P. Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications // Front. Plant Sci. 2012. Vol. 5. Pp. 127-140
16. Turatbekova A., Babamuradova L., Tasheva U., Saparbaeva N. A brief review on biological and chemical activities of flavonoids in plants // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 434. Pp. 3026-3035
17. Rodriguez B., Pacheco L., Bernal I., Pina Y.M. Mechanisms of action of flavonoids – antioxidant, antibacterial and antifungal properties // Clencia Ambiente y Clima. 2023. Vol. 6. N 2. Pp. 2333-2336
18. Mutha R.E., Tatiya A.U., Surana S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // Future Journal of Pharmaceutical Sciences. 2021. Vol. 7. Pp. 25-41
19. Vishae V., Kor N., Tarmale P., Sonawane P. Biological activity of flavanoids. // International Journal of Pharmaceutical Sciences. 2023. Vol. 3. N 6. Pp. 71-77
20. Yadav J., Chaurasia M., Dubey B. Flavanoids – a review on chemistry and versatile biological activity // ERAs Journal of Medical Research. 2020. Vol. 7. N 1. Pp. 75-78

21. Razavi S.M., Zahri S., Zanini Gh., Nazemiyeli H. Biological activity of quercetin-3-Q-glucoside, a known plant flavonoid // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2009. Vol. 35. Pp. 376-378
22. Wang T., Qing L., Shun B. Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate // Science Direct. 2018. Vol. 13. Pp. 12-23
23. Czeczot H. Biological activity of flavanoids – a review // Polish Journal of Food Nutr. Sci. 2000. Vol. 50. N 4. Pp. 3-13
24. Sebghatollahi Z., Ghanadian M., Agarwai P., Chaheh H.S. *Citrus* Flavonoids: Biological Activities, Implementation in Skin Health, and Topical Applications: A Review // ACS Food Sci. Technol. 2022. Vol. 2. N 9. Pp. 1417-1432
25. Magalhaes A.F., Tozzi A.M., Magalhaes E., Sannomiya M. Flavonoids of Lonchocarpus montanus A.M.G. Azevedo and biological activity // An Acad. Braz. Cienc. 2007. Vol. 79. N 3. Pp. 301-316
26. Johnstone A., Albanese E., Crabtree D.R., Dalile B. Consensus statement on exploring the Nexus between nutrition, brain health and dementia prevention // Nutrition and Metabolism. 2025. Vol. 22. Pp. 82-101
27. Xianqqin X., Qin D., Xiaoping Q., Gao X. Sustainable management of soil-borne disease: integrating fumigation with *Andrographis paniculata* residues to rebuild rhizosphere function // BMC Microbiology. 2025. Vol. 25. Pp. 460-469
28. Kumar Verma A., Pratap R. The biological potential of flavones // Natural Product Reports. – 2010. Vol. 27. N 11. Pp. 1571-1593
29. Kamal A., Nazish M., Siddique T., Azhar Khan M. Biogenic synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) from *Allium jacquemontii* extract and its assessment in different biological activities // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Pp. 27559-27564
30. Roca-Couso R., Flores-Felix J.D., Ayuda-Duran B., Ferreras-Charro R. *Rhizobium* biostimulation of blackberry modulates survival pathways in *Caenorhabditis elegans* across biological kingdoms // NPR Science of Food. 2025. Vol. 9. Pp. 160-167
31. Jingxin M., Yang M., Tingting L., Sun Y. Research progress on heteroterpene and meroterpenoid compounds from the *Rhododendron* genus and their NMR characterization and biological activity // Front. Pharmacol. 2025.Vol. 16. Pp. 13-25